



**Y A Y A S A N P E R G U R U A N C I K I N I
I N S T I T U T S A I N S D A N T E K N O L O G I N A S I O N A L**

Jl. Moch Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640 Telp. (021) 727 0090, 787 4645, 787 4647

Fax. (021) 786 6955

<http://www.istn.ac.id> E-mail: rektorat@istn.ac.id

KEPUTUSAN DEKAN

FAKULTAS SAINS TERAPAN DAN TEKNOLOGI

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

NOMOR 039/01-C.01/X/2025

TENTANG

PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR MAHASISWA

PROGRAM STUDI SARJANA FISIKA

TAHUN AKADEMIK 2025-2026

FAKULTAS SAINS TERAPAN DAN TEKNOLOGI

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

- Menimbang : a. bahwa untuk menyelesaikan Pendidikan pada Fakultas Sains Terapan dan Teknologi – ISTN Mahasiswa diwajibkan menulis Skripsi dan perlu melakukan penelitian sehingga dipandang perlu untuk menerbitkan Surat Keputusan Penetapan Dosen Pembimbing.;
- Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
2. Peraturan Permendiknas No. 39 Tahun 2025 tentang Penjaminan Mutu Pendidikan Tinggi;
3. SK Rektor Institut Sains dan Teknologi Nasional No. 046/01.1 A/III/2024 tentang Peraturan Akademik ISTN;
4. Penggabungan dan Perubahan Nama Fakultas Teknik dan Fakultas Sains dan Teknologi Informasi Menjadi Fakultas Sains Terapan Dan Teknologi Institut Sains Dan Teknologi;
- Memperhatikan : Keputusan Rapat atau Surat Usulan



**Y A Y A S A N P E R G U R U A N C I K I N I
I N S T I T U T S A I N S D A N T E K N O L O G I N A S I O N A L**

Jl. Moch Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640 Telp. (021) 727 0090, 787 4645, 787 4647

Fax. (021) 786 6955

<http://www.istn.ac.id> E-mail: rektorat@istn.ac.id

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : **PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR MAHASISWA
PROGRAM STUDI SARJANA FISIKA TAHUN AKADEMIK 2025-2026.**

Menunjuk Saudara yang namanya tersebut di bawah ini bertindak sebagai Pembimbing dari mahasiswa

Nama Mahasiswa : Amirah Wardah

NIM : 22320003

Program Studi : Sarjan Fisika

Pertama : **Judul : EKSTRAKSI BIJIH MINERAL ALAMI
MOROWALI UTARA MELALUI
ELEKTRODEPOSISI TERHADAP FASE NIKEL**

Nama Pembimbing : Dr. Musfirah Cahya Fajrah, S.Si., M.Si.

NIDN : 0004067109

Jabatan : Penata Tingkat 1

Kedua : Surat Keputusan ini berlaku sampai dengan mahasiswa yang bersangkutan menyelesaikan Tugas Akhir, dan dalam melaksanakan tugas pembimbingan, Saudara wajib berpedoman pada ketentuan peraturan perundang-undangan serta kebijakan akademik yang berlaku.

Ketiga : Surat Keputusan ini disampaikan kepada yang bersangkutan untuk diketahui dan dipergunakan sebagaimana mestinya, dengan ketentuan apabila di kemudian hari terdapat kekeliruan, akan dilakukan perbaikan sebagaimana mestinya.

Keempat : Hal-hal lain yang belum diatur dalam Keputusan ini akan diatur kemudian dalam ketentuan tersendiri.

Kelima : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal 23 Oktober 2025

Dekan Fakultas Sains Terapan dan
Teknologi,



Dr. Ir. Kun Wardana Abyoto, M.T.



**Y A Y A S A N P E R G U R U A N C I K I N I
I N S T I T U T S A I N S D A N T E K N O L O G I N A S I O N A L**

Jl. Moch Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640 Telp. (021) 727 0090, 787 4645, 787 4647

Fax. (021) 786 6955

<http://www.istn.ac.id> E-mail: rektorat@istn.ac.id

Tembusan:

1. Rektor
2. Wakil Rektor Bidang Akademik
3. Wakil Rektor Bidang Sumber Daya
4. Ketua Program Studi Sarjana Fisika
5. Dosen Pembimbing Yang Bersangkutan
6. Mahasiswa Yang Bersangkutan
7. Arsip



**EKSTRAKSI BIJIH MINERAL MOROWALI UTARA MELALUI
ELEKTRODEPOSISI TERHADAP FASE NIKEL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

AMIRAH WARDAH

22320003

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS TERAPAN DAN TEKNOLOGI

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

JAKARTA

JANUARI 2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Amirah Wardah

NPM : 22320003

Tanggal :

TTD di atas Materai

HALAMAN PERNYATAAN NON PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amirah Wardah

NPM : 22320003

Mahasiswa : Fisika

Tahun Akademik : 2025/2026

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan Skripsi yang berjudul **EKSTRAKSI BIJIH MINERAL MOROWALI UTARA MELALUI ELEKTRODEPOSISI TERHADAP FASE NIKEL.**

Apabila suatu hari nanti terbukti saya melakukan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang ditetapkan.

Dengan surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Jakarta,

TTD diatas Materai

Amirah Wardah

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Amirah Wardah

NPM : 22320003

Program Studi : Fisika

Judul Skripsi : Ekstraksi Bijih Mineral Alami Morowali Utara
Melalui Elektrodeposisi terhadap Fase Nikel

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Fisika, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Nasional

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Musfirah Cahya Fajrah, S.Si., M.Si. ()

Penguji : Prof. Dr. H. Masbah R. Tagore Siregar, APU ()

Penguji : Prof. Dr Bambang Soegijono, S.Si., M.Si. ()

Penguji : Mohamad Syafaat, A.Md., ST., M.Si. ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 10 Februari 2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan Skripsi ini. Penulisan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Program Studi Fisika pada Fakultas Sains Terapan dan Teknologi Institut Sains dan Teknologi Nasional. Penyusunan Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, yang telah mendampingi sejak masa perkuliahan hingga tahap ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- a) Dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Skripsi ini dan mendorong saya untuk selalu semangat dalam perkuliahan;
- b) Orang tua dan adik-adik saya yang selalu mendukung, mendoakan, menghibur ketika penulis merasa lelah dan memberikan semangat dalam menyelesaikan Skripsi;
- c) Teman-teman yang secara langsung maupun tidak langsung membantu saya dalam menyelesaikan Skripsi;
- d) Terakhir untuk diri saya sendiri, Amirah Wardah. Terima kasih sudah berjuang sejauh ini, mari bekerjasama untuk lebih berkembang menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari.

Saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 26 November 2025

Penulis

Amirah Wardah

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Institut Sains dan Teknologi Nasional, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amirah Wardah

NPM : 22320003

Program Studi : Fisika

Fakultas : Fakultas Sains Terapan dan Teknologi

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Sains dan Teknologi Nasional Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **EKSTRAKSI BIJIH MINERAL MOROWALI UTARA MELALUI ELEKTRODEPOSISI TERHADAP FASE NIKEL.**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Sains dan Teknologi Nasional berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) *soft copy* dan *hard copy*, merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dengan pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal :

Yang menyatakan

(Amirah Wardah)

ABSTRAK

Nama : Amirah Wardah

Program Studi : Fisika

Judul : Ekstraksi Bijih Mineral Morowali Utara Melalui Elektrodeposisi terhadap Fase Nikel.

Indonesia memiliki cadangan nikel laterit yang besar, salah satunya di Kabupaten Morowali Utara, Sulawesi Tengah. Namun, pemanfaatannya masih terkendala oleh rendahnya kadar logam nikel dan dominasi unsur pengotor. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji ekstraksi bijih mineral Morowali Utara melalui metode elektrodeposisi. Metode penelitian meliputi preparasi sampel, pelindian dengan larutan asam sulfat (H_2SO_4) pH 2 selama 72 jam, filtrasi, elektrodeposisi. Karakterisasi dilakukan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil penelitian menunjukkan lapisan endapan terbentuk namun masih tipis dan nikel tidak teridentifikasi sebagai fase kristal murni.

Kata kunci :

Morowali Utara, Nikel, Ekstraksi, Elektrodeposisi, XRF, XRD

ABSTRACT

Name : Amirah Wardah

Study Program: Physics

Title : Extraction of North Morowali Mineral Ore through
Electrodeposition toward Nickel Phases.

Indonesia has large laterite nickel reserves, one of which is located in North Morowali Regency, Central Sulawesi. However, its utilization is still constrained by low nickel content and the dominance of impurity elements. This study aims to investigate the extraction of North Morowali mineral ore using the electrodeposition method. The research methods include sample preparation, leaching using sulfuric acid (H_2SO_4) at pH 2 for 72 hours, filtration, and electrodeposition. Characterization was carried out using *X-Ray Fluorescence* (XRF) and *X-Ray Diffraction* (XRD). The results show that a deposit layer was formed but remained thin, and nickel was not identified as a pure crystalline phase.

Keywords:

North Morowali, Nickel, Extraction, Electrodeposition, XRF, XRD

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN NON PLAGIAT	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Nikel	6
2.1.1 Sifat Fisika dan Kimia Nikel.....	7
2.1.2 Jenis dan Sebaran Nikel di Indonesia	8
2.1.3 Kegunaan Nikel dalam Industri	9
2.2 Proses Pelindian dengan Asam Sulfat	10
2.3 Elektrodeposisi	13
2.3.1 Grafit sebagai Elektroda.....	15
BAB III	18
METODOLOGI PENELITIAN.....	18

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2	Alat dan Bahan	18
3.3	Tahapan Penelitian	18
3.3.1	Preparasi sampel bijih	19
3.3.2	Pengenceran Pelarut Pelindian	19
3.3.3	Pelindian.....	19
3.3.4	Penyaringan (Filtrasi).....	19
3.3.5	Elektrodeposisi.....	20
3.3.6	Karakterisasi Material	20
BAB IV		28
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		28
4.1	Preparasi Sampel	28
4.2	Pelindian.....	28
4.3	Penyaringan (Filtrasi)	29
4.4	Elektrodeposisi	29
4.5	Hasil pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM)	30
4.6	Hasil Pengukuran X-Ray Fluorescence (XRF)	31
4.7	Hasil Pengukuran X-Ray Diffraction (XRD).....	34
BAB V.....		41
KESIMPULAN DAN SARAN.....		41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	41
DAFTAR REFERENSI		42

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Rincian penjelasan tiap bab.....	4
Tabel 2. 1 Sifat fisika nikel	7
Tabel 2. 2 Sifat kimia nikel	8
Tabel 2. 3 Hasil analisis XRF sampel awal	11
Tabel 2. 4 Hasil analisis AAS sampel awal	11
Tabel 2. 5 Hasil analisis AAS sampel hasil pelindian menggunakan asam sulfat	11
Tabel 2. 6 Komponen unsur material massal NPI.....	12
Tabel 3. 1 Variasi waktu pada elektrodeposisi.....	20
Tabel 4. 1 Komposisi unsur sebelum elektrodeposisi.....	31
Tabel 4. 2 Komposisi unsur setelah elektrodeposisi	32
Tabel 4. 3 Komposisi oksida setelah elektrodeposisi.....	32
Tabel 4. 4 Daftar puncak-puncak difraksi sinar-X variasi 90 menit.....	39
Tabel 4. 5 Daftar puncak-puncak difraksi sinar-X variasi 150 menit.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen unsur material massal NPI.....	6
Gambar 2. 2 Kebutuhan nikel global	9
Gambar 2. 3 Analisis XRD NPI mentah dan NPI hasil elektrolisis.....	13
Gambar 2. 4 Skema proses elektrodeposisi	13
Gambar 2. 5 Struktur grafit	16
Gambar 2. 6 Mikro SEM serbuk nikel yang dihasilkan pada efisiensi arus 83,36%	17
Gambar 2. 7 Hasil uji XRD pada serbuk nikel yang dihasilkan pada efisiensi arus 83,36%	17
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian	19
Gambar 3. 2 XRF - Epsilon 1 malvern panalytical	21
Gambar 3. 3 Pancaran sinar-X	21
Gambar 3. 4 Interaksi sinar-X dengan substrat	22
Gambar 3. 5 Proses terjadinya sinar-X	22
Gambar 3. 6 Prinsip kerja XRF	23
Gambar 3. 7 XRD - Emphyrean malvern panalytical	24
Gambar 3. 8 Skema prinsip kerja XRD	24
Gambar 3. 9 Skema hukum bragg.....	25
Gambar 3. 10 Struktur kristal FCC	27
Gambar 4. 1 Bijih mineral alami Morowali Utara	28
Gambar 4. 2 Ekstraksi mineral.....	28
Gambar 4. 3 Larutan filtrasi	29
Gambar 4. 4 Proses elektrodeposisi	29
Gambar 4. 5 Plat logam sebelum dan sesudah elektrodeposisi.....	30
Gambar 4. 6 SEM plat logam sebelum elektrodeposisi	30
Gambar 4. 7 Spektrum XRF sampel	33
Gambar 4. 8 Hasil XRD plat logam sebelum elektrodeposisi	35
Gambar 4. 9 Puncak tertinggi Al	35
Gambar 4. 10 Struktur kristal Al.....	36
Gambar 4. 11 Perbandingan pola XRD plat Al	36
Gambar 4. 12 Hasil pencocokan fase XRD variasi 90 menit.....	38

Gambar 4. 13 Hasil pencocokan fase XRD variasi 150 menit.....	38
Gambar 4. 15 Perbandingan puncak XRD dengan nikel murni.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana jadwal penelitian	48
Lampiran 2. Rencana biaya penelitian	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel termasuk logam alami yang memiliki tampilan mengkilap dengan warna putih keperakan (D. Liu et al., 2025). Nikel sering digunakan dalam produksi baja tahan karat dan berbagai paduan logam karena sifatnya yang kuat dan tahan korosi (Permana et al., 2020). Nikel juga merupakan logam penghantar listrik dan panas yang cukup baik serta bersifat magnetik (Wahyudi et al., 2022). Selain itu, nikel berperan sebagai material katalis di dalam proses hidrogenasi industri kimia minyak bumi (Bahfie et al., 2021). Nikel memiliki peran dalam berbagai sektor industri terutama dalam produksi *stainless steel*, baterai dan komponen elektronik (Hidayat & Iryani, 2025).

Indonesia termasuk sebagai salah satu negara dengan tingkat produksi serta cadangan nikel yang sangat besar di tingkat global (Radhica, 2025). Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa Indonesia menempati posisi sebagai produsen terbesar kedua di dunia, dengan total sumber daya bijih sebesar 18.550.358.128 ton dan total cadangan bijih sebesar 5.325.790.841 ton (Adi, 2023). Sebaran cadangan nikel tersebut terdapat di pulau Sulawesi, Maluku serta pulau di wilayah sekitarnya (Budi Prasetyo et al., 2016). Potensi sumber daya ini menjadikan Indonesia sebagai pemasok global industri logam dan energi terbarukan, khususnya pada sektor baterai listrik yang sedang berkembang pesat. Salah satu wilayah penyediaan nikel di Indonesia adalah kabupaten Morowali Utara, Sulawesi Tengah. Wilayah ini memiliki cadangan bijih nikel yang melimpah dan menjadi lokasi utama bagi sejumlah industri pengolahan nikel di Indonesia (Natua et al., 2024).

Meskipun cadangan nikel Indonesia melimpah, pemanfaatannya masih terkendala oleh rendahnya kadar nikel pada bijih dan tingginya kandungan pengotor seperti Fe, Mg dan Si, sehingga diperlukan pemurnian yang efektif untuk meningkatkan kadar dan kemurnian nikel (Budi Prasetyo et al., 2016). Salah satunya adalah pelindian (*leaching*) yang bertujuan melarutkan nikel dari

bijih menggunakan pelarut asam, berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan asam sulfat merupakan metode yang efektif untuk melarutkan nikel dari bijih. Hasil pelindian masih menghasilkan larutan dengan kadar nikel yang relatif rendah (Saputra & Sufriadin, 2024). Sehingga, butuh metode lanjutan untuk memperoleh endapan logam nikel murni.

Salah satu metode lanjutannya yaitu elektrodeposisi, merupakan proses elektrokimia yang memanfaatkan arus listrik untuk mengendapkan logam dari larutan elektrolit ke permukaan katoda (Delgado et al., 2021). Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan metode konvensional karena mampu menghasilkan logam dengan kemurnian tinggi dan ketebalan lapisannya dapat dikontrol (Aliofkhazraei et al., 2021). Metode elektrodeposisi ini menunjukkan dapat meningkatkan kekerasan mikro dan ketahanan aus suatu logam (Liu et al., 2024). Selain itu, penerapan arus listrik pada sistem elektrolisis dapat meningkatkan efisiensi pelindian dan pemisahan logam nikel (Kwon et al., 2025). Proses elektrodeposisi nikel menghasilkan lapisan logam dengan struktur kristal seragam dan daya rekat yang baik pada substrat grafit (Guan & Zhang, 2024).

Namun, penelitian yang secara spesifik mengkaji proses elektrodeposisi bijih dari larutan hasil pelindian bijih Morowali Utara menggunakan asam sulfat masih terbatas. Penelitian terdahulu hanya meneliti proses pelindian atau menggunakan larutan nikel sintesis (Yetri et al., 2019), bukan hasil pelindian dari bijih alam. Selain itu, karakterisasi hasil elektrodeposisi umumnya terbatas pada pengamatan visual atau analisis berat endapan, belum menggunakan metode karakterisasi mendalam seperti *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) (Marathe et al., 2025).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melakukan analisis kemurnian dan struktur kristal bijih hasil elektrodeposisi dari larutan pelindian bijih Morowali Utara menggunakan asam sulfat (H_2SO_4). Analisis ini dilakukan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengidentifikasi komposisi kimia (Hidayat & Iryani, 2025) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk analisis struktur kristal (Raharjo et al., 2025).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi kimia bijih mineral Morowali Utara sesudah elektrodeposisi berdasarkan analisis XRF?
2. Bagaimana struktur kristal bijih mineral Morowali Utara sesudah elektrodeposisi berdasarkan analisis XRD?
3. Apakah proses pelindian bijih mineral Morowali Utara menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) menghasilkan material kristal atau amorf setelah proses elektrodeposisi?
4. Apakah hasil elektrodeposisi dari larutan pelindian bijih dapat menghasilkan nikel?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis komposisi bijih mineral Morowali Utara sesudah elektrodeposisi berdasarkan analisis XRF.
2. Mengetahui struktur kristal bijih mineral Morowali Utara sesudah elektrodeposisi berdasarkan analisis XRD.
3. Menganalisis karakteristik struktur material hasil elektrodeposisi dari larutan pelindian bijih mineral Morowali Utara menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4).
4. Mengetahui kemampuan metode elektrodeposisi dalam menghasilkan logam nikel.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Sampel bijih berasal dari Morowali Utara, Sulawesi Tengah.
2. Proses pelindian menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dengan pH 2 pada suhu ruang

3. Analisis hasil terbatas pada XRF untuk komposisi kimia dan XRD untuk struktur kristal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara pelindian bijih Morowali Utara menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4).
2. Memberikan data ilmiah tentang penerapan metode XRF dan XRD dalam analisis hasil pemurnian bijih.
3. Memberikan dasar ilmiah untuk penelitian lanjutan tentang proses elektrodeposisi dari bijih lokal.
4. Mendukung pengembangan teknologi pengolahan sumber daya bijih Morowali Utara agar lebih efisien dan berkelanjutan.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini disusun ke dalam lima bab utama beserta daftar pustaka, dimana masing-masing bab terdiri atas beberapa subbab yang saling berkaitan dan tersusun secara sistematis. Adapun kelima bab tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1. 1 Rincian penjelasan tiap bab

BAB 1: PENDAHULUAN	Bab ini membahas mengenai pendahuluan yang mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan skripsi.
BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA	Bab ini menguraikan teori dasar dan teori pendukung yang berkaitan dengan proses ekstraksi nikel dengan metode pelindian dan elektrodeposisi.

BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN	Bab ini berisi waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian, tahapan penelitian dan diagram alur penelitian.
BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN	Bab ini akan membahas tentang hasil analisis komposisi unsur, struktur kristal, dan fase bijih sebelum dan sesudah elektrodeposisi.
BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN	Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang disusun berdasarkan hasil pembahasan dari bab-bab sebelumnya.
DAFTAR REFERENSI	Berisi beberapa referensi yang telah digunakan untuk pembuatan skripsi sebagai acuan yang mendukung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nama nikel berasal dari Bahasa Saxony, Jerman yaitu *Kupfernickel*, atau dalam Bahasa Indonesia “tembaga iblis” (*Devils’copper*), ditemukan pada tahun 1751 oleh Axel Fredrik Cronstedt (Pratiwi et al., 2023). Logam ini terbentuk secara alami serta memiliki permukaan mengkilap dengan warna putih keperakan (D. Liu et al., 2025).



Gambar 2. 1 Komponen unsur material massal NPI

Sumber: (yayimage, 2025)

Nikel termasuk salah satu dari lima unsur logam yang paling banyak ditemukan di bumi dan tersebar luas di lapisan kerak bumi. Nikel dikenal memiliki konduktivitas listrik dan panas yang cukup baik serta bersifat magnetik (Wahyudi et al., 2022), sehingga banyak digunakan pada industri kelistrikan, katalis serta bahan paduan logam seperti baja tahan karat dan superalloy (Bahfie et al., 2021).

Nikel (Ni) tergolong sebagai logam transisi dengan nomor atom 28 dan massa atom relatif 58,69 (D. Liu et al., 2025). Dalam senyawa, nikel ditemukan dalam keadaan oksidasi +2, seperti pada NiO, Ni(OH)₂, dan NiSO₄ (G. Liu et al., 2025). Nikel juga mampu membentuk berbagai paduan logam stabil dengan

unsur besi, tembaga, kobalt dan kromium yang banyak dimanfaatkan dalam bidang rekayasa material dan pelapisan logam (Rani et al., 2022).

2.1.1 Sifat Fisika dan Kimia Nikel

Secara fisika, nikel memiliki massa jenis sekitar 8,9 g/cm³ dengan titik lebur sebesar 1455°C, sedangkan titik didihnya mencapai 2913°C (Royal Society of Chemistry, 2025). Struktur kristalnya termasuk dalam *face centered cubic* (FCC) yang memberikan stabilitas termal dan mekanik tinggi (Pereira et al., 2025). Selain itu, susunan atom yang teratur dalam struktur FCC memudahkan pergerakan elektron bebas dari ikatan logam, sehingga secara teori nikel memiliki konduktivitas listrik yang baik (Huang et al., 2023). Nikel termasuk dalam logam feromagnetik yang menjadikan logam ini bersifat magnetik (D. Liu et al., 2025).

Tabel 2. 1 Sifat fisika nikel

Sifat Fisika	Keterangan
Warna	Putih keperakan, mengkilap
Titik Leleh	1455°C
Titik Didih	2913°C
Kerapatan	8.90 g/cm ³
Kekerasan	4.0
Sifat Magnetik	Feromagnetik

Secara kimia, nikel dikenal stabil di udara karena membentuk lapisan oksida tipis NiO yang berfungsi melindungi permukaan dari oksidasi. Dalam keadaan asam kuat nikel dapat larut membentuk ion Ni²⁺, sedangkan pada keadaan basa dapat membentuk endapan Ni(OH)₂. Nikel mampu membentuk berbagai paduan logam stabil dengan unsur besi, tembaga, kobalt dan kromium (Rani et al., 2022).

Tabel 2. 2 Sifat kimia nikel

Sifat Kimia	Keterangan
Keadaan oksidasi umum	+2 (Ni^{2+})
Senyawa umum	NiO , $\text{Ni}(\text{OH})_2$, NiSO_4
Reaksi dengan Asam	Larut dalam HCl dan H_2SO_4 membentuk Ni^{2+}
Reaksi dengan Basa	Menghasilkan endapan $\text{Ni}(\text{OH})_2$
Sifat oksidasi	Stabil di udara, membentuk lapisan pasif NiO
Kemampuan membentuk paduan	Stabil dengan Fe , Cr , Co , Cu

2.1.2 Jenis dan Sebaran Nikel di Indonesia

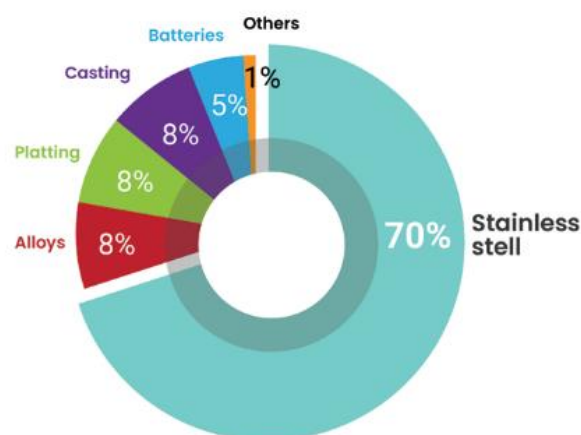
Sebagai negara beriklim tropis, Indonesia memiliki tingkat pelapukan tinggi sehingga menghasilkan tanah yang kaya akan mineral laterit (Sahputra et al., 2025). Kondisi tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu produsen nikel laterit terbesar di dunia. Proses pembentukan endapan dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu, batuan dasar, iklim, topografi, air tanah, kestabilan mineral, mobilitas unsur serta kondisi lingkungan menentukan tingkat kelarutan mineral (Cathelineau et al., 2024).

Endapan nikel laterit dapat dibedakan menjadi tiga jenis mineral, yaitu *nickeliferous limonite*, *garnierite*, dan *saprolite* (Bahfie et al., 2021). Indonesia memproduksi tiga jenis produk nikel seperti bijih nikel (*nickel ore*), nikel matte (*nickel matte*), dan feronikel (*ferronickel*). Bijih nikel merupakan bahan mentah yang langsung dihasilkan dari kegiatan penambangan, tidak melalui proses pengolahan atau pemurnian. Sedangkan nikel matte dan feronikel merupakan produk hasil pengolahan yang memiliki nilai tambah lebih tinggi (Sudaryanto et al., 2024).

Sebesar 90% cadangan nikel Indonesia tersebar di Sulawesi, khususnya di provinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara serta Maluku Utara. Selain di wilayah tersebut, cadangan nikel juga ditemukan di beberapa provinsi lain seperti Maluku, Papua dan Papua Barat. Dengan potensi sumber daya yang sangat besar, Indonesia memegang peran penting dalam sektor pertambangan serta pengembangan industri hilirisasi mineral (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2020).

2.1.3 Kegunaan Nikel dalam Industri

Logam nikel banyak di digunakan dalam berbagai sektor industri terutama pada produksi baja tahan karat, paduan logam tahan korosi dan katalis dalam proses hidrogenasi industri kimia minyak bumi (Permana et al., 2020), (Bahfie et al., 2021).



Gambar 2. 2 Kebutuhan nikel global

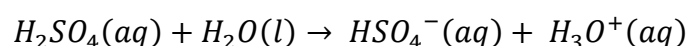
Sumber: (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2020)

Berdasarkan data pertambangan nikel global, sekitar 70% produksi nikel digunakan secara global sebagai bahan utama dalam pembuatan baja tahan karat (*stainless steel*). 8% digunakan untuk pembuatan paduan khusus (*alloys*). Penggunaan nikel untuk pelapisan logam (*plating*) juga mencapai 8% yang berfungsi untuk meningkatkan daya tahan logam terhadap karat dan memperbaiki penampilan permukaannya. Selain itu, 8% nikel digunakan dalam proses pengecoran logam (*casting*) untuk menghasilkan komponen industri

dengan sifat mekanik yang baik. Sekitar 5% digunakan untuk pembuatan baterai listrik, yang peminatnya terus meningkat seiring dengan perkembangan kendaraan listrik. Sisanya, sekitar 1% digunakan untuk keperluan lain seperti magnet, katalis, dan bahan keramik (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2020).

2.2 Proses Pelindian dengan Asam Sulfat

Pelindian merupakan suatu proses ekstraksi untuk memisahkan material atau zat terlarut dari bahan padat dengan menggunakan cairan sebagai media pelarut (Saputra & Sufriadin, 2024). Pada proses pelindian, larutan yang dapat digunakan berupa asam sulfat, asam nitrat dan asam klorida (Nurfaidah et al., 2020). Dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai pelarut utama karena sifat asamnya yang kuat, mudah diperoleh dan efektif dalam melarutkan logam nikel (Syafitri et al., 2024). Asam sulfat bersifat korosif dan dapat mengalami ionisasi kuat di dalam air, dengan reaksi sebagai berikut,



Ion hidrogen (H^+) yang dihasilkan berperan sebagai pelarut yang bereaksi dengan mineral pembawa nikel.

Faktor- faktor yang memengaruhi kadar Ni yang larut dan efisiensi pelindian (Permana et al., 2020),

1. Konsentrasi asam

Peningkatan konsentrasi asam dapat meningkatkan laju pelarutan Ni, tetapi juga dapat meningkatkan pelarutan unsur pengotor serta konsumsi asam.

2. Suhu

Suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat reaksi kimia dan difusi ion sehingga dapat meningkatkan hasil pelindian.

3. Waktu pelindian

Semakin lama waktu pelindian, semakin banyak ion Ni^{2+} yang larut. Tetapi pada titik tertentu laju pelarutan akan menurun karena tercapainya keseimbangan antara padatan dan larutan.

Pemulihan nikel dari bijih laterit umumnya mengandalkan pra-perlakuan dan pelindian asam untuk menghasilkan larutan kaya *Pregnant Leach Solution* (PLS). Pelindian dilakukan untuk mengekstraksi ion nikel dan kobalt dari bijih limonit yang telah dipersiapkan melalui pemanggangan sebagai pra-perlakuan. Dalam penelitian sebelumnya pelindian dilakukan menggunakan asam sulfat 2M pada suhu 80°C dengan persen padatan 10% (10 g bijih dalam 100 ml pelarut), pengadukan 400 rpm dan waktu pelindian 1 jam. Kondisi tersebut dipilih untuk mempercepat reaksi pelarutan sambil meminimalkan pelarut fase silikat yang tidak diinginkan. Karakterisasi awal bijih limonit menunjukkan komposisi kimia sampel Nikel hanya sebesar 1,67% dan dominan $\text{SiO}_2 \approx 42,17\%$ dan $\text{Fe} \approx 18,84\%$ berdasarkan hasil analisis XRF. Hasil AAS memperkuat data tersebut dengan kadar Ni sebesar 15.562,25 mg/kg ($\approx 1,56\%$).

Tabel 2. 3 Hasil analisis XRF sampel awal

Sample ID	Komposisi (%)							
	Ni	Co	Fe	SiO_2	Mg O	Ca O	Al_2O_3	Cr_2O_3
TA-RS LIM	1,6 7	0,0 6	18,8 4	42,1 7	4,48	0,1 3	3,83	1,13

Tabel 2. 4 Hasil analisis AAS sampel awal

Kadar	Unsur	Ni	Co
	(mg/Kg = ppm)	15.562,25	630,79
	(%)	1,56	0,06

Hasil pelindian bijih limonit kemudian dianalisis dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi Ni dalam larutan kaya *Pregnant Leach Solution* (PLS).

Tabel 2. 5 Hasil analisis AAS sampel hasil pelindian menggunakan asam sulfat

Sample ID	Suhu Pemanasan ($^\circ\text{C}$)	Ni (mg/L)	Co (mg/L)
T100	100	909,87	11,69
T200	200	994,56	13,26
T300	300	900,54	11,16
T400	400	897,08	9,54
T500	500	1.018,37	13,37
T600	600	1.121,9	13,28

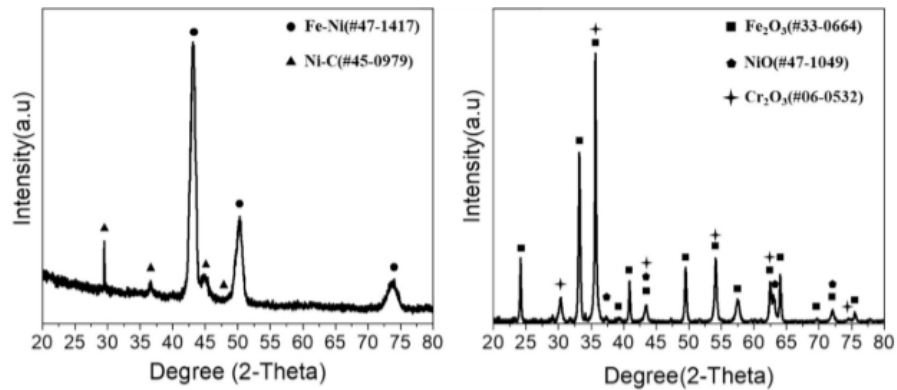
Data menunjukkan bahwa konsentrasi Ni bervariasi sesuai suhu pemanggangan bijih sebelum pelindian. Pada suhu 100 - 400°C, konsentrasi Ni stabil di kisaran 897,08 - 994,54 mg/L. Kenaikan konsentrasi nikel teramati pada suhu 500°C dan 600°C, dengan nilai masing-masing mencapai 1.018,37 mg/L dan 1.121,9 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanggangan bijih berperan dalam meningkatkan kelarutan Ni (Saputra & Sufriadin, 2024).

Penelitian (Kwon et al., 2025) memperkenalkan *anodic overpotential electrolysis* sebagai pra-perlakuan untuk meningkatkan efisiensi pelindian nikel dari *Nickel Pig Iron* (NPI). Dalam penelitian ini, NPI berfungsi sebagai anoda yang mengalami oksidasi anodic sehingga melepaskan ion logam yang bereaksi membentuk partikel oksida halus. Partikel oksida tersebut kemudian mudah larut dalam H₂SO₄ 2M pada kondisi atmosferik, menghasilkan efisiensi pelindian Ni yang tinggi dalam waktu singkat. Metode ini berbeda dengan elektrodeposisi yang merupakan proses reduksi dan pengendapan logam pada katoda. Analisis X-Ray Fluorescence (XRF) pada sampel NPI menunjukkan komposisi utama Fe ≈ 81,9 wt% dan Ni ≈ 11,1 wt% dengan jejak kromium dan unsur lain. Hasil XRF ini mendukung temuan bahwa NPI adalah sumber Ni berfraksi kecil dalam matriks besi yang dominan, sehingga pra-perlakuan yang mengubah Ni menjadi fase oksida halus dapat meningkatkan kinetika pelindian.

Tabel 2. 6 Komponen unsur material massal NPI

Element	Concentration (wt%) ICP-OES	Concentration (wt%) XRF
Fe	80.20	81.89
Ni	9.16	11.05
Cr	0.56	0.98

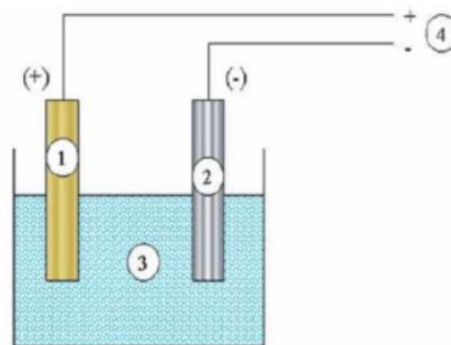
Pada penelitian ini pola XRD menunjukkan bahwa bahan NPI awal didominasi fase logam Fe-Ni, sedangkan serbuk hasil elektro-oksidasi berubah menjadi fase oksida utama yaitu Fe₂O₃ dan NiO.



Gambar 2. 3 Analisis XRD NPI mentah dan NPI hasil elektrolisis

2.3 Elektrodeposisi

Elektrodeposisi merupakan metode pelapisan logam yang dilakukan melalui proses elektrokimia. Ion-ion logam dalam larutan elektrolit direduksi dan membentuk lapisan tipis di permukaan katoda ketika arus listrik dialirkan. Proses ini banyak digunakan karena dapat menghasilkan lapisan logam yang halus, seragam, serta memiliki daya lekat tinggi pada substrat logam (Rahman, 2022).



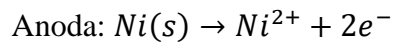
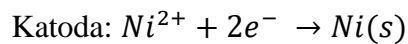
Gambar 2. 4 Skema proses elektrodeposisi

(Sumber: P. I. Pratiwi, 2019)

Keterangan:

1. Anoda
2. Katoda
3. Larutan elektrolit
4. Sumber arus listrik searah

Dalam proses elektrodeposisi nikel, larutan elektrolit yang umum digunakan adalah nikel sulfat ($\text{NiSO}_4\text{H}_2\text{O}$), nikel klorida ($\text{NiCl}_2\text{6H}_2\text{O}$) dan asam borat (H_3BO_3) yang berfungsi menstabilkan pH larutan serta meningkatkan kualitas hasil pelapisan. Reaksi reduksi yang terjadi pada katoda selama proses elektrodeposisi nikel dapat ditulis sebagai berikut,



Reaksi di atas menunjukkan bahwa ion Ni^{2+} dari larutan akan menerima elektron dan tereduksi menjadi logam nikel pada permukaan katoda, sementara anoda nikel akan teroksidasi dan melepaskan Ni^{2+} ke dalam larutan menjaga keseimbangan konsentrasi ion logam dalam sistem (Fayyad et al., 2018).

Elektrodeposisi merupakan salah satu penerapan proses elektrolisis dalam penerapan logam dan ion logamnya dalam larutan. Penerapan lain dari proses elektrolisis adalah:

1. Pemurnian logam

Pemurnian logam dengan elektrolisis dilakukan dengan menempatkan logam murni pada katoda. Metode ini banyak digunakan untuk pemurnian tembaga, nikel, perak dan emas karena mampu menghasilkan logam dengan kemurnian sangat tinggi.

2. Produksi zat

Proses elektrolisis juga digunakan untuk menghasilkan senyawa secara industri seperti produksi logam natrium, magnesium dan aluminium.

Faktor – faktor yang mempengaruhi elektrodeposisi antara lain:

1. Rapat arus

Rapat arus dapat menentukan laju reduksi ion logam. Semakin rendah rapat arus maka endapan yang dihasilkan lebih halus dan seragam. Jika rapat arus terlalu tinggi maka hasil endapan kasar dan berpori.

2. Konsentrasi larutan elektrolit

Konsentrasi ion logam dalam larutan memengaruhi kecepatan deposisi. Jika konsentrasi tinggi maka suplai ion lebih banyak dan laju deposisi

meningkat. Jika konsentrasi rendah, endapan yang dihasilkan tipis dan tidak merata karena ion cepat habis.

3. Waktu pelapisan

Durasi elektrolisis dapat menentukan ketebalan lapisan logam yang dihasilkan. Semakin lama durasi, semakin tebal lapisannya.

4. Temperatur

Semakin tinggi temperatur, maka endapan yang dihasilkan lebih cepat dan lebih halus.

Hukum faraday merupakan hukum dasar elektrolisis yang menyatakan bahwa jumlah total perubahan kimia akan berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang digunakan selama elektrolisis. Berdasarkan hukum tersebut, jika digunakan muatan listrik (Q) sebesar $i \cdot t$ (coulomb), dibagi dengan z mol ekivalen elektron dikali F konstanta faraday. Maka berat (W) dari suatu logam (Wahyudi et al., 2022) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$W = \frac{A_r \cdot i \cdot t}{z \cdot F} \quad (2.1)$$

Rapat arus (I) merupakan perbandingan antara arus yang dialirkan pada elektrolisis dengan luas permukaan (A) logam yang terlapsi, dinyatakan dalam A/dm^2 .

$$\text{Rapat arus} = \frac{i}{A} \quad (2.2)$$

Efisiensi arus dapat ditentukan dengan membandingkan hasil percobaan dengan hasil teori, yaitu sebagai berikut:

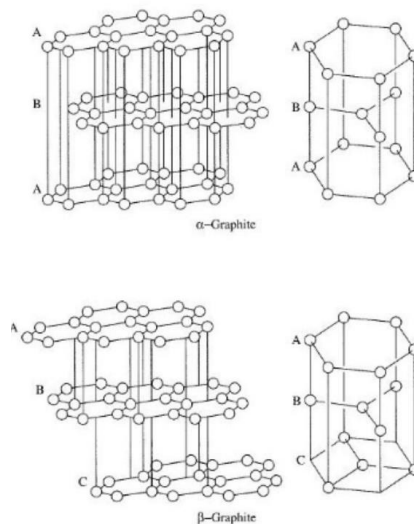
$$\begin{aligned} \% \text{ Efisiensi arus} & \quad (2.3) \\ & = \frac{\text{berat lapisan eksperimen}}{\text{berat lapisan teoritis}} \times 100\% \end{aligned}$$

Penelitian tentang elektrodeposisi

2.3.1 *Grafrit sebagai Elektroda*

Grafrit merupakan material karbon berstruktur heksagonal yang memiliki konduktivitas listrik tinggi, kestabilan kimia, serta ketahanan panas yang baik,

sehingga banyak digunakan sebagai elektroda pada proses elektrodeposisi logam. Struktur berlapis grafit memungkinkan elektron bergerak bebas, mendukung proses reduksi ion logam pada permukaannya (He et al., 2024).



Gambar 2. 5 Struktur grafit

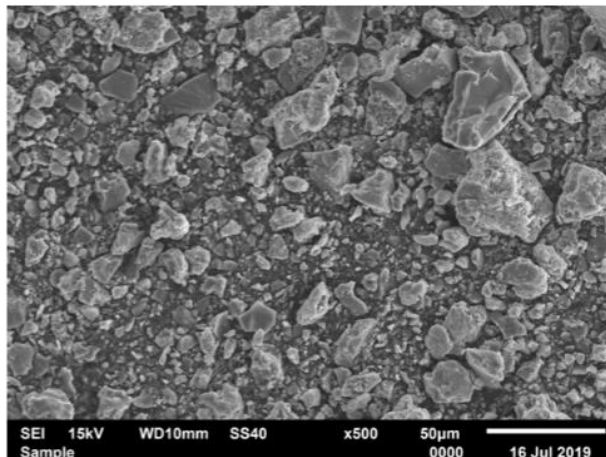
(Sumber: P. I. Pratiwi, 2019)

Sebagai katoda, grafit bersifat tidak larut terhadap asam dan tidak mudah mengalami korosi. Namun, permukaannya yang hidrofobik dapat menurunkan adhesi logam, sehingga sering dilakukan modifikasi permukaan untuk meningkatkan daya lekat endapan logam. Keunggulan grafit antara lain konduktivitas tinggi, harga murah dan stabilitas elektrokimia yang baik (Wang et al., 2024).

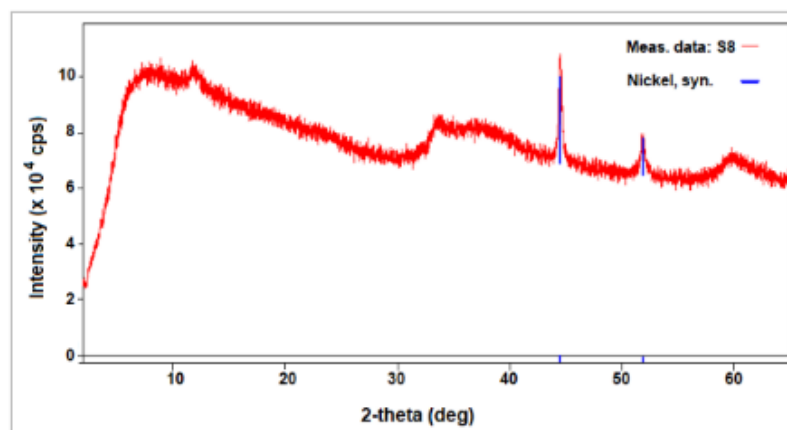
Penelitian (Marathe et al., 2025) menegaskan bahwa elektrodeposisi adalah metode hemat energi dan fleksibel untuk pemulihan logam dari larutan. Namun, keberhasilan aplikasinya bergantung pada kontrol parameter seperti pH, densitas arus, agen kompleks, temperatur dan pengadukan untuk mengatur spesiasi Ni^{2+} , morfologi deposit dan mengurangi co-deposition impuritas.

Hasil Penelitian (Wahyudi et al., 2022) menunjukkan bahwa perbandingan larutan $\text{NiSO}_4/\text{NiCl}_2$ serta rapat arus memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi arus dan morfologi serbuk nikel. Kondisi optimum diperoleh pada

rasio 9:1 dengan rapat arus sebesar $0,7 \text{ A/cm}^2$ yang menghasilkan efisiensi arus 83,36% serta serbuk nikel berbentuk angular dengan ukuran rata-rata $1,95 \mu\text{m}$.



Gambar 2. 6 Hasil mikro SEM serbuk nikel pada efisiensi arus 83,36%



Gambar 2. 7 Hasil XRD serbuk nikel pada efisiensi arus 83,36%

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan Desember 2025 sampai dengan waktu pengumpulan skripsi, yaitu pada Desember 2025 hingga Februari 2026. Penelitian tahap awal mengenai preparasi sampel, pelindian dan filtrasi bijih hingga elektrodeposisi bijih menggunakan grafit sebagai elektroda dilakukan selama ± 1 minggu di Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Nasional.

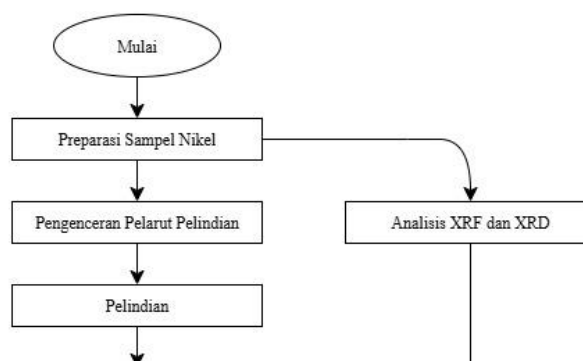
Adapun untuk analisis X-Ray Fluorescence (XRF) dan X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan di Laboratorium Riset UPP IPD FMIPA Universitas Indonesia.

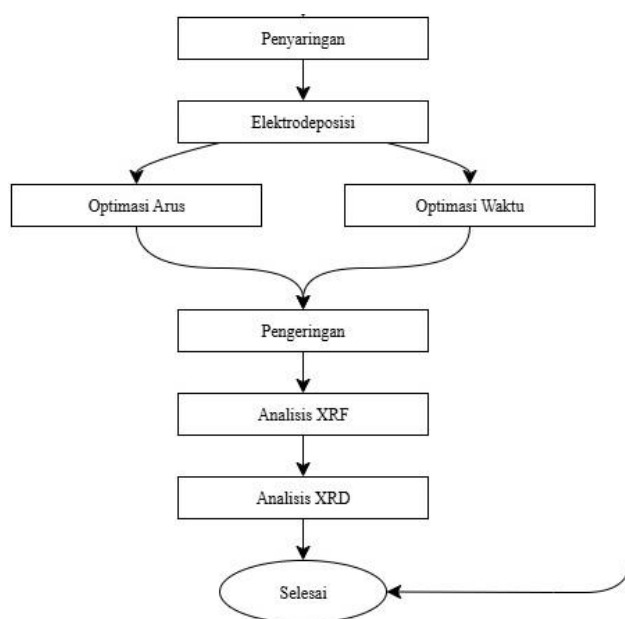
3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah gelas kimia, neraca, timbangan, spatula, pipet tetes, batang pengaduk, kertas saring, sumber arus searah DC, kabel penghubung, *X-Ray Fluorescence (XRF)* Epsilon 1 Malvern Panalytical dan XRD Empyrean Malvern Panalytical. Bahan – bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk bijih, aquades, asam sulfat (H_2SO_4), dan grafit.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa langkah sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian

3.3.1 Preparasi sampel bijih

Proses persiapan sampel bijih dengan menyesuaikan massa dan ukuran sampel bijih menjadi ukuran yang sesuai dengan persyaratan agar dapat dianalisis di laboratorium.

3.3.2 Pengenceran Pelarut Pelindian

Proses pengenceran dilakukan melalui penambahan pelarut seperti aquades ke dalam larutan berkonsentrasi tinggi sehingga dapat menurunkan konsentrasi larutan menjadi lebih encer sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan. Pengenceran dilakukan untuk mendapatkan pH 2 asam sulfat (H_2SO_4).

3.3.3 Pelindian

Proses pelindian dilakukan untuk mengekstraksi material dengan menggunakan cairan sebagai bahan pelarut. Pelindian ini menggunakan larutan asam sulfat dengan pH 2. Perbandingan padatan dengan larutan 1:10 (10 gram sampel bijih dalam 100 ml pelarut asam sulfat). Pelindian dilakukan selama 72 jam pada suhu ruang.

3.3.4 Penyaringan (Filtrasi)

Setelah dilakukan pelindian, dilakukan proses filtrasi atau pemisahan zat padat dari fluida menggunakan penyaring berpori sehingga zat padat tertahan.

Hasil penyaringan berupa larutan dan residu, larutan ini kemudian digunakan pada proses elektrodeposisi.

3.3.5 *Elektrodeposisi*

Proses elektrodeposisi menggunakan grafit sebagai elektroda dilakukan untuk mengendapkan nikel pada grafit. Proses dilakukan dengan mencelupkan grafit ke larutan dan dialiri arus listrik sesuai dengan variasi. Setelah sampai pada waktu yang ditentukan, matikan arus lalu keringkan grafit. Setelah itu, endapan nikel pada grafit akan dianalisis menggunakan XRF dan XRD. Proses elektrolisis dilakukan berulang dengan variasi waktu.

Tabel 3. 1 Variasi waktu pada elektrodeposisi

Waktu	Arus
60 menit	0,35 A
90 menit	0,35 A
120 menit	0,35 A
150 menit	0,35 A

3.3.6 *Karakterisasi Material*

Pada penelitian ini, proses karakterisasi bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai komposisi unsur serta struktur kristal pada bijih, baik sebelum dan setelah perlakuan. Metode yang diterapkan meliputi analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengidentifikasi komposisi kimia (Hidayat & Iryani, 2025) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk analisis struktur kristalnya (Raharjo et al., 2025).

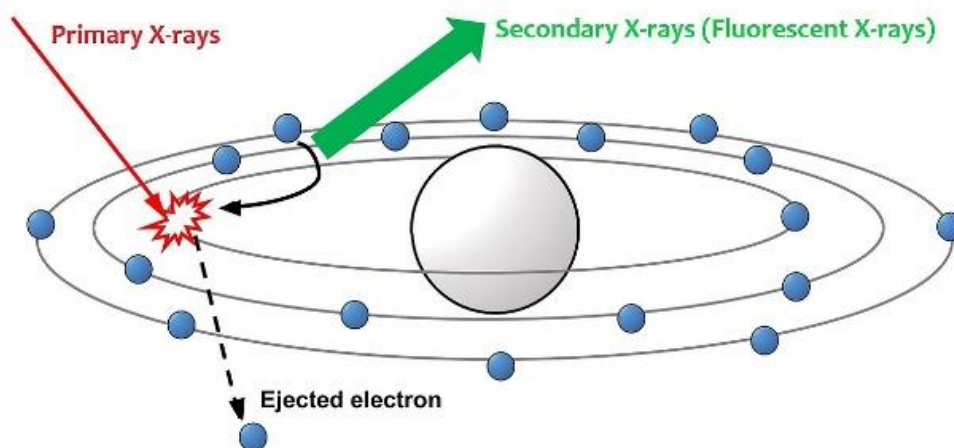
3.3.6.1 X-Ray Fluorescence (XRF)



Gambar 3. 2 XRF - Epsilon 1 malvern panalytical

Sumber: (Malvern Panalytical, 2025b)

Metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) digunakan dalam karakterisasi material untuk menentukan komposisi unsur, baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Malik, 2023). Analisis kualitatif dilakukan untuk mengidentifikasi jenis unsur yang terdapat dalam material, sedangkan analisis kuantitatif bertujuan untuk menentukan kadar atau konsentrasi masing-masing unsur dalam bahan tersebut (Wahab et al., 2024). Metode ini memanfaatkan sinar-X berenergi tinggi untuk menembus dan mengionisasi atom dalam sampel, sehingga menghasilkan pancaran sinar-X sekunder yang khas (Syahputra & Marzuki, 2025).

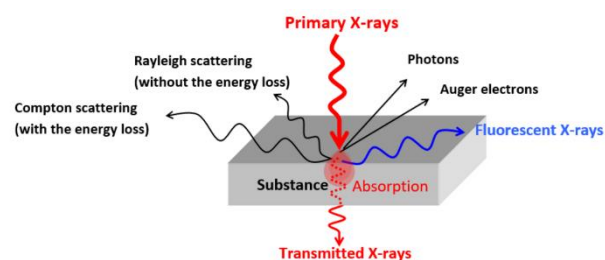


Gambar 3. 3 Pancaran sinar-X

Sumber: (HORIBA, 2025)

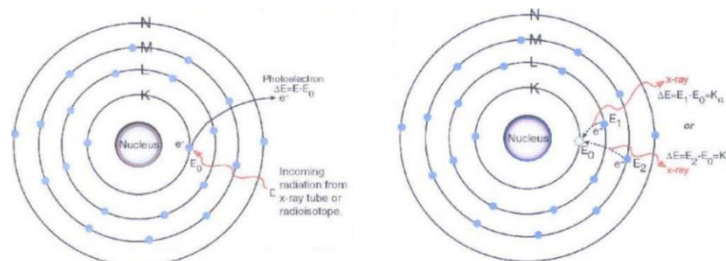
Metode XRF banyak digunakan dalam bidang material, geologi, metalurgi dan lingkungan karena mampu memberikan hasil yang cepat, akurat dan non-destruktif (Hidayat & Iryani, 2025). XRF dapat digunakan untuk menganalisis berbagai sampel, seperti padatan, bubuk, cairan, maupun film tipis (Malik, 2023). XRF bersifat non-destruktif yang membuat struktur asli sampel tidak mengalami perubahan selama proses pengujian (Hidayat & Iryani, 2025).

Prinsip kerja XRF memanfaatkan fenomena fluoresensi sinar-X yang dihasilkan oleh atom penyusun sampel. Paparan sinar-X primer menyebabkan elektron pada kulit energi dalam seperti kulit J, K, L dan M terlepas sehingga elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi berpindah untuk mengisi kekosongan tersebut (Mustamin & Djam'an, 2024). Perpindahan ini menyebabkan pelepasan energi dalam bentuk sinar-X sekunder. Setiap unsur memiliki energi fluoresensi yang khas, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur dan menentukan kadarnya dalam suatu material (Syahputra & Marzuki, 2025).



Gambar 3. 4 Interaksi sinar-X dengan substrat

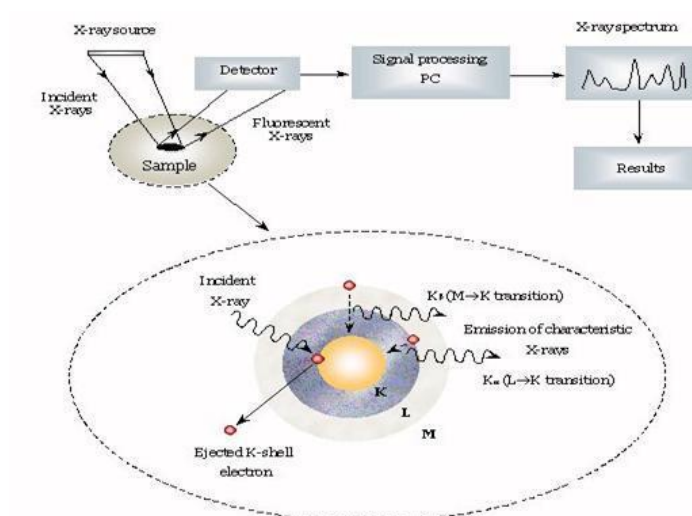
Sumber: (HORIBA, 2025)



Gambar 3. 5 Proses terjadinya sinar-X

Sumber: (Jamaludin & Adiantoro, 2012)

Sistem XRF terdiri dari tiga komponen utama yang meliputi sumber sinar-X, detektor dan unit pengolahan data. Sinar-X yang dihasilkan di tabung sinar-X diarahkan ke permukaan sampel untuk mengionisasi atom. Energi fluoresensi yang dipancarkan oleh atom akan ditangkap oleh detektor. Data spektrum hasil deteksi kemudian diolah menjadi grafik intensitas terhadap energi yang menunjukkan puncak-puncak khas dari setiap unsur penyusun (Mustamin & Djam'an, 2024).



Gambar 3. 6 Prinsip kerja XRF

Sumber: (Indah Ar, 2011)

XRF banyak digunakan untuk menentukan komposisi unsur logam, terutama dalam bahan tambang seperti bijih nikel, besi, dan tembaga (Amanda & Sinardi, 2025). Analisis ini sangat penting untuk mengetahui tingkat kemurnian dan kandungan unsur pengotor yang dapat memengaruhi sifat fisis maupun listrik suatu logam (Chowdhury et al., 2020).

XRF mampu mengukur konsentrasi hampir semua unsur dalam tabel periodik, mulai dari natrium hingga uranium dengan batas deteksi yang sangat rendah dalam kondisi optimal. Namun, XRF memiliki keterbatasan dalam pengujiannya seperti tidak sensitif terhadap unsur dengan nomor atom rendah serta potensi kesalahan akibat dari ketidakteraturan permukaan atau ketebalan sampel (Latahir et al., 2025). Dengan kalibrasi dan persiapan sampel yang tepat,

XRF menjadi metode yang efisien, akurat, dan non-destruktif untuk analisis unsur dalam penelitian material (Syahputra & Marzuki, 2025).

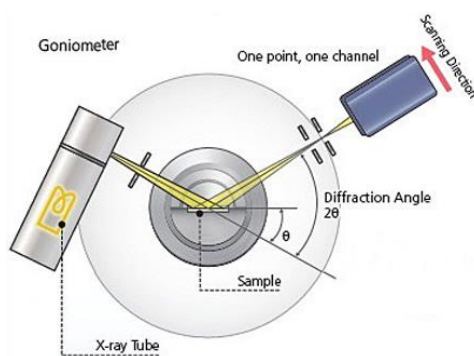
3.3.6.2 X-Ray Diffraction (XRD)



Gambar 3. 7 XRD - Empyrean malvern panalytical

Sumber: (Malvern Panalytical, 2025a)

Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fase dan struktur kristal material, baik secara kualitatif dan kuantitatif (Rath et al., 2023) berbagai bentuk kristal dari senyawa yang ada dalam sampel serbuk maupun padat (Muttaqin et al., 2023). Metode ini dapat menentukan struktur kristal, ukuran kristalit, parameter kisi, serta identifikasi fase kristal suatu material. Teknik ini bekerja berdasarkan difraksi sinar-X yang terjadi ketika berkas sinar-X mengenai bidang - bidang atom dalam kisi material (Warstek Media, 2024).



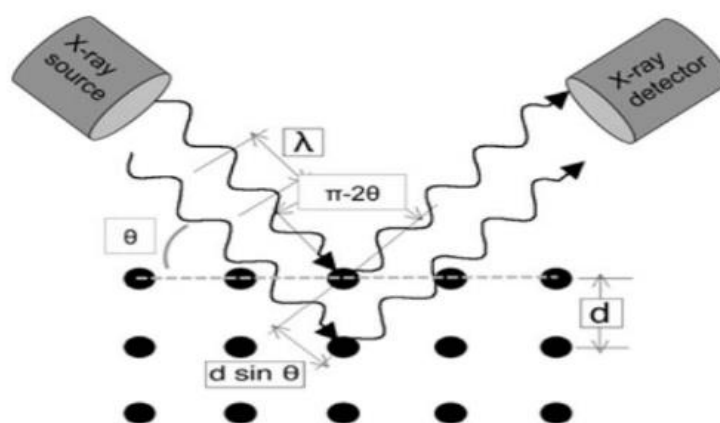
Gambar 3. 8 Skema prinsip kerja XRD

Sumber:(Shimadzu Corporation, 2025)

Pengujian XRD didasarkan pada prinsip difraksi, dimana berkas sinar-X diarahkan ke kisi kristal sehingga mengalami difraksi. Peristiwa ini terjadi Ketika panjang gelombang sinar-X berada pada orde yang sebanding dengan jarak antar bidang kristal sekitar 1 Angstrom (Febriliani et al., 2025). Difraksi terjadi apabila perbedaan jarak lintasan antarberkas sinar yang dipantulkan memenuhi hukum Bragg yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (3.1)$$

Pada persamaan tersebut, n menyatakan bilangan bulat sebagai orde difraksi, λ merupakan panjang gelombang sinar-X yang digunakan (\AA), d menunjukkan jarak antarbidang kristal (\AA), dan θ adalah sudut difraksi ($^\circ$). Hukum Bragg menjelaskan bahwa peristiwa difraksi sinar-X hanya terjadi pada sudut-sudut tertentu yang ditentukan oleh jarak antarbidang kristal. Setiap material pola difraksi yang khas, sehingga setiap puncak dalam pola XRD mewakili bidang kristal tertentu (Mahmood et al., 2025).



Gambar 3. 9 Skema hukum bragg

Sumber: (Mahmood et al., 2025)

Bidang kristal di dalam kisi dinyatakan menggunakan *indeks Miller*, yang dilambangkan dengan tiga bilangan bulat (hkl). Indeks ini menunjukkan orientasi bidang atom terhadap sumbu kristal. Hubungan antara jarak

antarbidang kristal (d) dengan parameter kisi a dan *indeks Miller* dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (3.2)$$

Persamaan ini berlaku untuk sistem kubik, dengan mengukur posisi puncak difraksi dan menghitung nilai d . Adapun untuk menentukan nilai parameter kisi suatu material, digunakan persamaan berikut:

$$a = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (3.3)$$

Sehingga, dapat ditentukan parameter kisi kristalnya. Selain identifikasi fase kristal, teknik XRD juga dimanfaatkan untuk memperkirakan ukuran kristalit dengan menggunakan persamaan Scherrer,

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.4)$$

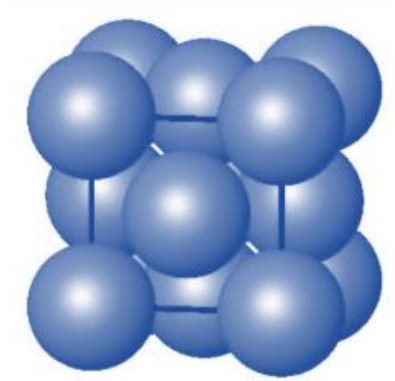
Pada persamaan tersebut, D menyatakan ukuran kristal, K merupakan konstanta Scherrer dengan nilai 0,9, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan (\AA), β menunjukkan lebar penuh setengah maksimum (FWHM) dari puncak difraksi dalam satuan radian, sedangkan θ menyatakan sudut difraksi ($^\circ$). Persamaan ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai β berkaitan dengan semakin kecilnya ukuran kristalit yang terbentuk. Analisis Scherrer umumnya berlaku untuk kristalit berukuran di bawah 100 nm (Hakam et al., 2022).

Metode XRD banyak digunakan dalam bidang material dan metalurgi untuk identifikasi fase logam, paduan dan oksida, dibidang kimia biasanya digunakan untuk kristalinitas senyawa, dibidang geologi untuk identifikasi mineral penyusun batuan., dan dibidang nanoteknologi untuk menentukan ukuran partikel dan strain kisi (Warstek Media, 2024).

Nikel tergolong sebagai logam transisi yang memiliki struktur kristal bertipe *face centered cubic* (FCC) pada suhu ruang. Memiliki Panjang sumbu kisi $a=b=c$ dan sudut antar sumbu $\alpha = \beta = \gamma$ yang membentuk sudut siku-siku sebesar 90° . Struktur FCC tersusun atas atom-atom yang menempati posisi di setiap sudut kubus dengan jumlah 8 atom yang masing-masing menyumbang $\frac{1}{8}$

bagian dan di tengah setiap bidangnya dengan jumlah 6 atom yang masing-masing menyumbang $\frac{1}{2}$ bagian, sehingga dalam satu sel satuan terdapat empat atom nikel.

$$N = \left(8 \times \frac{1}{8}\right) + \left(6 \times \frac{1}{2}\right) \quad (3.5)$$
$$= 4 \text{ atom per sel satuan.}$$



Gambar 3. 10 Struktur kristal FCC

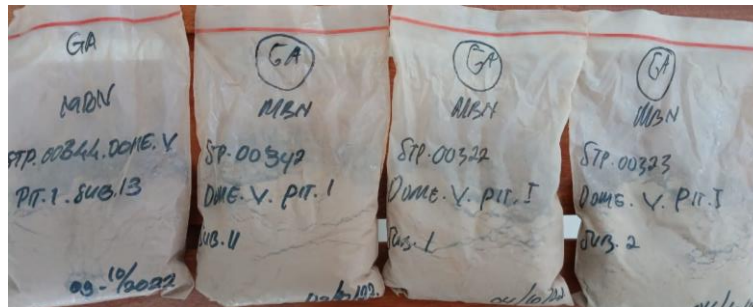
Sumber: (Musfirah Cahya Fajrah, 2024)

Struktur FCC nikel memiliki koordinasi atom 12 dikenal memiliki kepadatan atom tinggi yang menyebabkan ikatan logam pada nikel menjadi kuat dan stabil secara termal maupun mekanik (Musfirah Cahya Fajrah, 2024).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Sampel

Sampel bijih mineral alami yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Morowali Utara, Sulawesi Tengah. Sampel tersebut berbentuk serbuk berwarna coklat dengan ukuran partikel yang relatif kecil dan halus.



Gambar 4. 1 Bijih mineral alami Morowali Utara

Keempat sampel yang berasal dari lubang tambang terbuka pertama (PIT) 1 diaduk hingga tercampur dengan baik. Kemudian sampel ini akan diekstraksi dengan asam sulfat (H_2SO_4).

4.2 Pelindian

Sampel diekstraksi menggunakan asam sulfat pH 2 yang dilakukan selama 72 jam pada suhu ruang. Sampel akan diaduk sesering mungkin, kemudian didiamkan hingga terbentuk endapan.



Gambar 4. 2 Ekstraksi mineral

4.3 Penyaringan (Filtrasi)

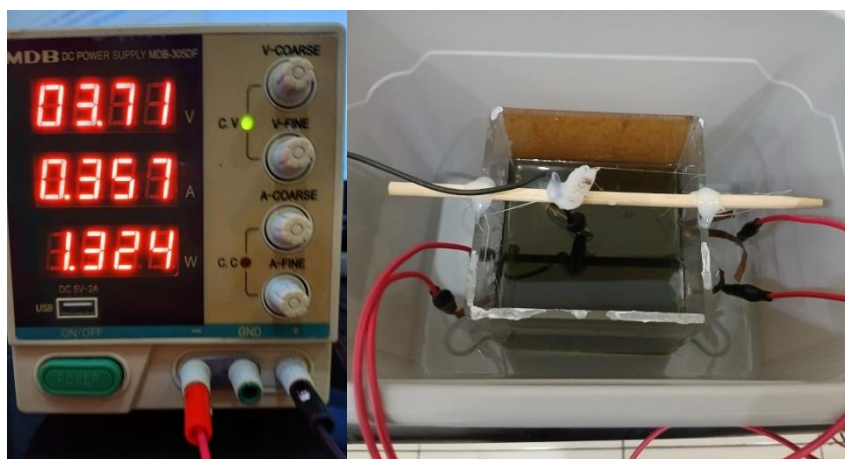
Setelah proses pelindian, dilakukan proses filtrasi untuk memisahkan zat padat dan fluida menggunakan penyaring berpori. Setelah itu, larutan digunakan pada proses elektrodeposisi.



Gambar 4. 3 Larutan filtrasi

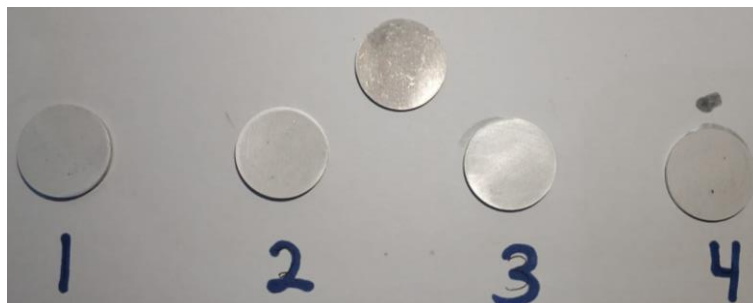
4.4 Elektrodeposisi

Proses elektrodeposisi dilakukan untuk mengendapkan mineral pada plat logam. Proses ini dilakukan dengan mencelupkan plat logam ke larutan dan dialiri arus listrik sebesar 0,35 A.



Gambar 4. 4 Proses elektrodeposisi

Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit. Setelah sampai pada waktu yang ditentukan, matikan arus listrik lalu keringkan plat logam.

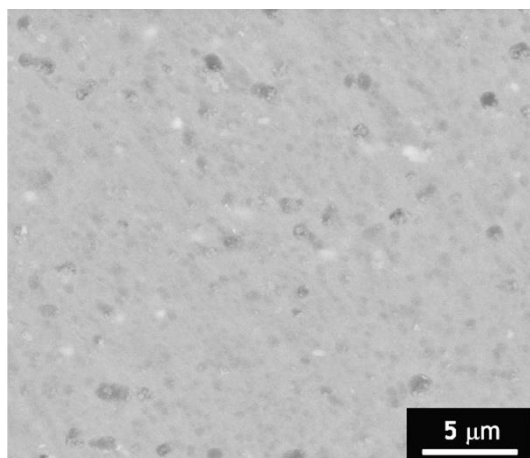


Gambar 4. 5 Plat logam sebelum dan sesudah elektrodeposisi

Pada plat logam yang telah melalui proses elektrodeposisi terbentuk lapisan endapan, yang selanjutnya dikarakterisasi menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) dan X-Ray Diffraction (XRD)

4.5 Hasil pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM)

Hasil pengamatan SEM disajikan untuk memberikan informasi mengenai morfologi permukaan plat logam sebelum elektrodeposisi.



Gambar 4. 6 SEM plat logam sebelum elektrodeposisi

Berdasarkan gambar 4.6 menunjukkan morfologi permukaan dari permukaan plat logam sebelum elektrodeposisi. Permukaan tampak bertekstur halus dan terdapat grain-grain kecil yang berwarna gelap yang tersebar secara tidak

merata, menunjukkan adanya partikel tertentu yang menempel pada permukaan. Pengukuran dimensi partikel dilakukan dengan membandingkan ukuran terhadap batang skala 5 μm sebagai acuan dimensi objek yang diamati.

4.6 Hasil Pengukuran X-Ray Fluorescence (XRF)

Karakterisasi sampel dilakukan untuk mengetahui kondisi awal plat logam sebelum elektrodeposisi. Analisis komposisi unsur dilakukan menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Hasil pengujian XRF sebelum elektrodeposisi digunakan sebagai acuan awal untuk mengevaluasi pengaruh elektrodeposisi terhadap perubahan komposisi sampel.

Tabel 4. 1 Komposisi unsur sebelum elektrodeposisi

Element	Concentration	Unit
Mg	1,49	%
Al	94,54	%
Si	0,56	%
P	0,45	%
S	0,13	%
Cl	0,39	%
Ca	0,60	%
Fe	1,63	%
Ag	0,20	%
Total	100	%

Komposisi unsur pada plat logam pada tabel 4.1 menunjukkan unsur selain aluminium terdapat pula unsur Mg, Si, P, S, Cl, Ca, Fe, dan Ag dengan komposisi 1,49% Mg; 94,54% Al; 0,56% Si; 0,45% P; 0,13% S; 0,39% Cl; 0,60% Ca; 1,63% Fe; dan 0,20% Ag.

Hasil pengujian XRF sesudah elektrodeposisi berdasarkan hasil komposisi kimia pada tabel 4.2 dan tabel 4.3, diperoleh bahwa sampel memiliki komposisi unsur dan oksida.

Tabel 4. 2 Komposisi unsur setelah elektrodeposisi

Element	Concentration	Unit
Mg	6,00	%
Al	84,19	%
S	9,39	%
Fe	0,43	%
Total	100	%

Tabel 4. 3 Komposisi oksida setelah elektrodeposisi

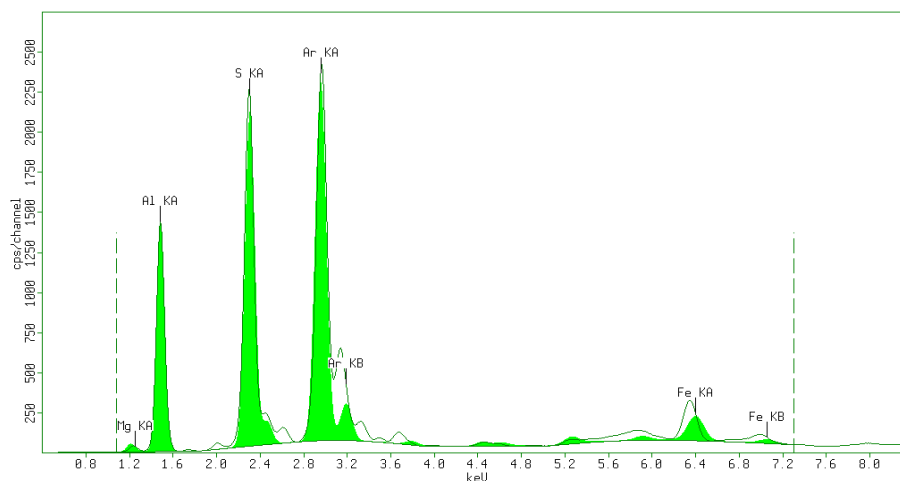
Element	Concentration	Unit
MgO	6,88	%
Al ₂ O ₃	84,96	%
SO ₃	7,97	%
Fe ₂ O ₃	0,19	%
Total	100	%

Komposisi unsur menunjukkan Al 84,19%; S 9,39%; Mg 6,00%; dan Fe 0,43%. Dalam bentuk oksida sampel mengandung Al₂O 84,96%; MgO 6,88 %; SO₃ 7,97% dan FeO₃ 0,19%.

Berdasarkan hasil analisis sebelum elektrodeposisi pada tabel 4.1 dan sesudah elektrodeposisi pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 terdapat perubahan pada komposisi unsur. Komposisi unsur sebelum dan sesudah elektrodeposisi didominasi oleh unsur aluminium (Al) sebagai penyusun substrat. Setelah proses elektrodeposisi, unsur Al tetap menunjukkan persentase tertinggi sebesar 84,19% disertai perubahan pada unsur-unsur minor. Dominasi unsur Al setelah elektrodeposisi menunjukkan bahwa sinyal XRF masih dipengaruhi oleh substrat aluminium, yang menunjukkan bahwa lapisan elektrodeposisi tipis dibandingkan dengan kedalaman penetrasi sinar-X.

Tingginya kandungan aluminium (Al) pada hasil analisis setelah elektrodeposisi dipengaruhi oleh plat logam Al yang digunakan sebagai media tempat melekatnya sampel selama proses elektrodeposisi. Tidak terdeteksinya nikel pada sampel kemungkinan akibat pelarutan nikel yang tidak berlangsung secara optimal. Selain itu, ketebalan lapisan endapan sampel yang sangat tipis, sehingga intensitas sinyal nikel rendah dan kandungan nikel yang ada berada di bawah batas deteksi alat XRF.

Hasil pengukuran XRF adalah pengukuran unsur yang diukur berdasarkan pengukuran energi ikat unsur di sampel. Konsentrasi yang dihasilkan adalah konsentrasi relatif. Hasil analisis unsur untuk sampel sebelum dan sesudah elektrodeposisi, memperlihatkan munculnya unsur magnesium (Mg) yang menyebabkan penurunan konsentrasi aluminium di permukaan. Spektrum energi ikat yang dikeluarkan oleh XRF, memperlihatkan bahwa data eksperimen dan basis data terdapat sedikit pergeseran khususnya magnesium (Mg) dan besi (Fe). Hal ini mengidentifikasi bahwa Mg dan Fe terikat oleh unsur lain.



Gambar 4. 7 Spektrum XRF sampel

Hasil analisis XRF dalam bentuk spektrum pada gambar 4.7 untuk memperkuat proses identifikasi unsur pada sampel. Spektrum garis merupakan representasi energi sinar-X karakteristik unsur yang berasal dari basis data atom, digunakan sebagai acuan untuk mengidentifikasi unsur dengan

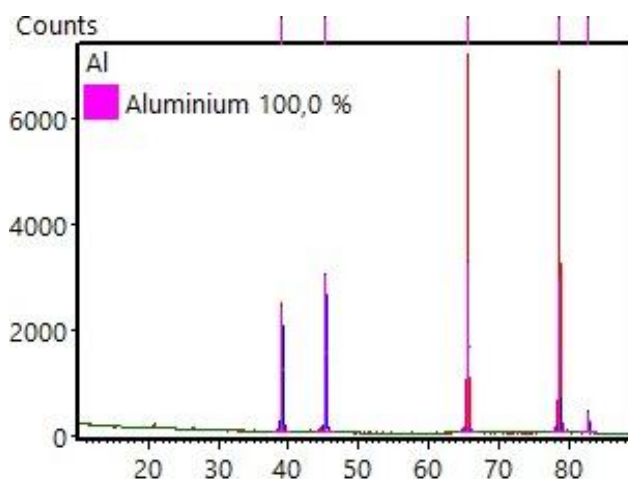
mencocokkan posisi puncak spektrum hasil pengukuran. Dengan sumbu X menunjukkan energi sinar-X dan sumbu Y menunjukkan intensitas sinar-X.

Spektrum unsur besi yang ditampilkan dengan warna hijau pada spektrum garis basis data atom pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa unsur Fe teridentifikasi dalam sampel, karena posisi puncak energi hasil pengukuran sesuai dengan karakteristik Fe. Intensitas Fe yang kecil menunjukkan bahwa jumlah atom Fe yang memancarkan sinar-X sedikit. Secara umum, semakin tajam dan tinggi puncak spektrum menunjukkan kandungan unsur dalam sampel relatif besar.

Unsur magnesium terdeteksi pada energi $\sim 1,2$ keV dengan intensitas puncak yang rendah, menunjukkan kadar Mg dalam sampel kecil. Unsur aluminium dengan puncak Al $k\alpha$ pada energi $\sim 1,49$ keV menunjukkan intensitas yang tinggi, menandakan kandungan Al relatif besar yang berasal dari plat logam sebagai tempat sampel melekat. Unsur sulfur pada energi $\sim 2,30$ keV dengan intensitas cukup besar, diduga berasal dari pengaruh proses pelindian. Selain itu, terdeteksi unsur argon dengan puncak yang sangat tinggi pada energi $\sim 2,96$ keV dan dikonfirmasi kembali oleh puncak Ar $k\beta$ pada energi $\sim 3,19$ keV yang menunjukkan adanya gas pelindung atau gas lingkungan selama proses pengukuran. Serta unsur besi pada energi Fe $k\alpha$ $\sim 6,40$ keV dengan puncak kecil menunjukkan bahwa besi terdeteksi dalam jumlah kecil dan puncak Fe $k\beta$ pada energi $\sim 7,06$ keV mengonfirmasi bahwa puncak Fe itu memang ada.

4.7 Hasil Pengukuran X-Ray Diffraction (XRD)

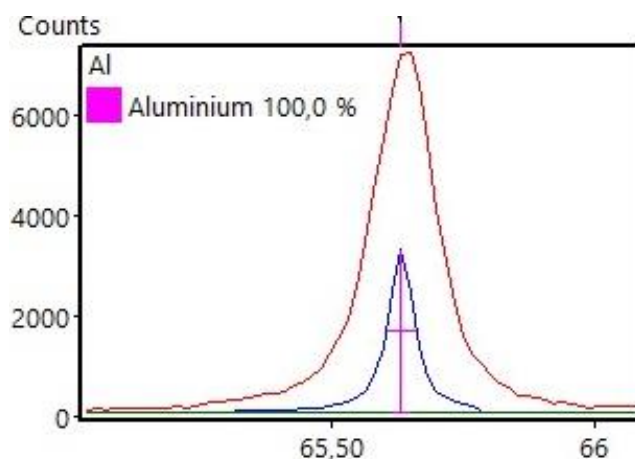
Hasil analisis X-Ray Diffraction (XRD) pada sampel plat logam sebelum elektrodeposisi ditunjukkan pada gambar 4.8. Pola difraksi yang dihasilkan memperlihatkan beberapa puncak intensitas pada sudut 2θ tertentu yang merupakan ciri khas dari struktur kristal aluminium.



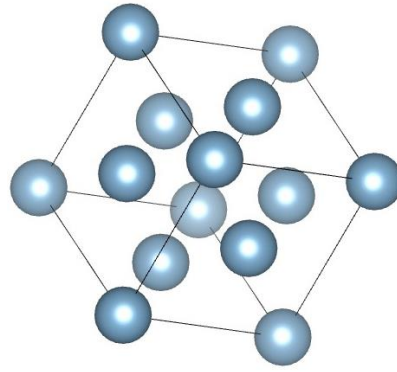
Gambar 4. 8 Hasil XRD plat logam sebelum elektrodeposisi

Berdasarkan hasil pencocokan pola difraksi dengan basis data COD Inorg 2025.12., puncak-puncak utama yang teramati pada sudut 2θ sekitar $39,08^\circ$; $45,31^\circ$; $65,63^\circ$; $78,71^\circ$; dan $82,90^\circ$ dapat diindeks sebagai bidang kristal dari fase aluminium dengan struktur kristal kubik seperti pada gambar 4.10.

Dari seluruh puncak yang teridentifikasi, puncak dengan intensitas tertinggi terlihat pada sudut 2θ sekitar $65,63^\circ$, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.9. dominasi puncak ini menguatkan bahwa plat logam sebelum proses elektrodeposisi didominasi oleh fase aluminium dengan kristalinitas yang baik.

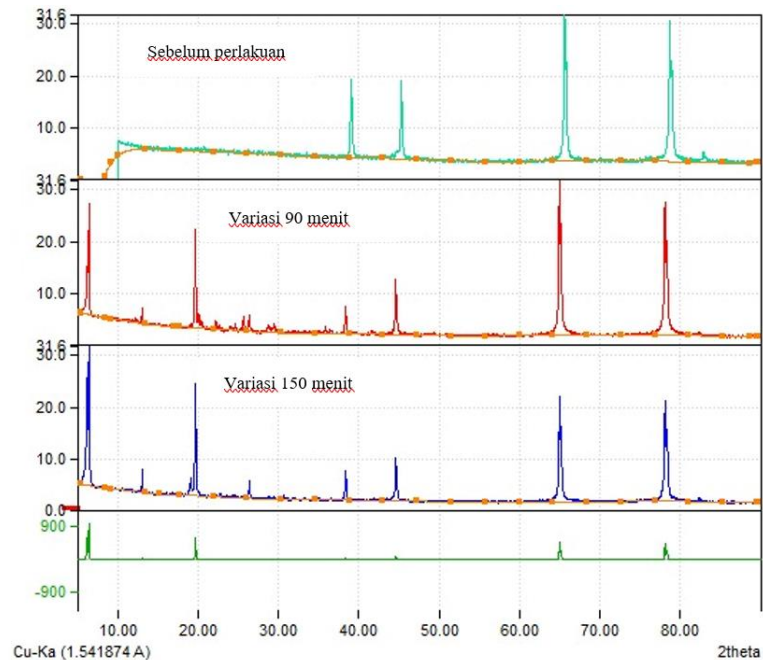


Gambar 4. 9 Puncak tertinggi Al



Gambar 4. 10 Struktur kristal Al

Pola XRD plat logam setelah perlakuan sampel yang diekstraksi menggunakan asam sulfat selama 72 jam dan dielektrodeposisi pada variasi waktu 90 menit dan 150 menit pada gambar 4.11. Jika dibandingkan dengan pola XRD aluminium sebelum perlakuan, terlihat adanya perubahan pada intensitas, posisi, dan kemunculan puncak difraksi yang menunjukkan terjadinya perubahan struktur permukaan akibat proses perlakuan yang diberikan.



Gambar 4. 11 Perbandingan pola XRD plat Al

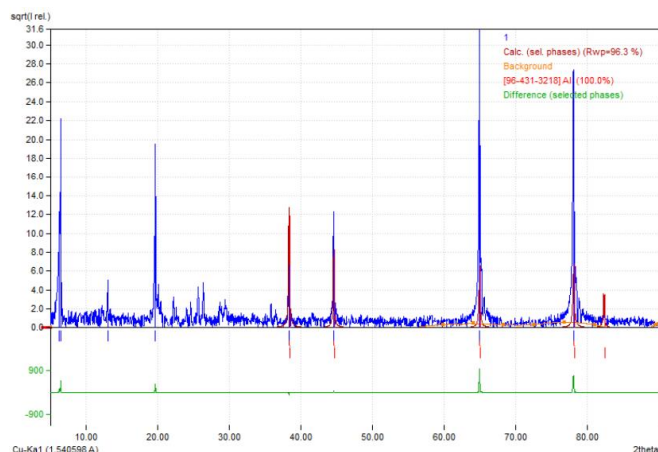
Berdasarkan gambar 4.11, puncak-puncak utama aluminium masih teramati pada sudut 2θ sekitar $38-39^\circ$, $44-45^\circ$, 65° , dan 78° baik pada sampel sebelum maupun sesudah perlakuan. Tidak terjadinya pergeseran posisi puncak yang signifikan menunjukkan bahwa struktur kristal dasar aluminium sebagai substrat masih dipertahankan setelah proses ekstraksi dan elektrodeposisi.

Pada sampel dengan waktu elektrodeposisi 90 menit, puncak-puncak aluminium masih tampak dominan dengan intensitas yang relatif tinggi, meskipun mulai muncul beberapa puncak dengan intensitas rendah, khususnya pada daerah sudut 2θ rendah. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan kondisi permukaan akibat proses elektrodeposisi, namun kontribusinya terhadap pola difraksi secara keseluruhan masih terbatas.

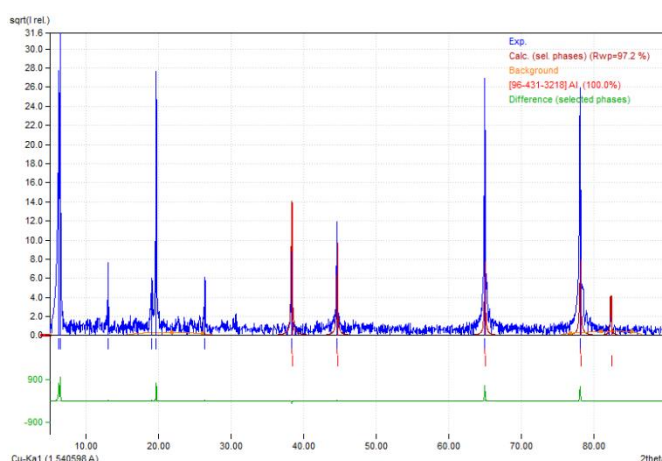
Sementara itu, pada variasi waktu elektrodeposisi 150 menit, puncak-puncak aluminium tetap berada pada posisi sudut 2θ yang sama, namun menunjukkan perubahan intensitas yang lebih jelas dibandingkan variasi 90 menit. Kondisi ini mengindikasikan bahwa perpanjangan waktu elektrodeposisi berpengaruh terhadap ketebalan atau karakteristik lapisan yang terbentuk di permukaan substrat aluminium.

Perubahan intensitas puncak difraksi tanpa disertai pergeseran posisi puncak menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan lebih mempengaruhi kondisi permukaan dan ketebalan lapisan hasil elektrodeposisi, bukan mengubah struktur kristal aluminium secara keseluruhan.

Pencocokan fase berdasarkan data XRD dilakukan pada sampel hasil elektrodeposisi dengan variasi waktu 90 menit dan 150 menit menggunakan perangkat lunak Match! 4 dengan basis data COD Inorg 2025.12.



Gambar 4. 12 Hasil pencocokan fase XRD variasi 90 menit



Gambar 4. 13 Hasil pencocokan fase XRD variasi 150 menit

Berdasarkan gambar 4.12 dan gambar 4.13, hasil pencocokan fase menunjukkan bahwa kedua variasi waktu elektrodeposisi, aluminium teridentifikasi sebagai fase kristalin dominan. Tidak teramati perbedaan signifikan pada posisi puncak difraksi, yang mengindikasikan bahwa perpanjangan waktu elektrodeposisi tidak mengubah struktur kristal utama aluminium.

Meskipun pada sudut 2θ sekitar 6° , 13° , 19° , dan 26° teramati puncak dengan intensitas relatif tinggi, puncak-puncak tersebut tidak dapat diindeks sebagai fase kristalin baru (Omar et al., 2020). Hal ini disebabkan karena puncak-puncak tersebut tidak memiliki pasangan puncak khas yang konsisten pada sudut lain serta tidak menunjukkan kecocokan multipuncak diduga berasal dari lapisan dengan kristalinitas rendah.

Daftar puncak-puncak difraksi sinar-X untuk setiap bidang kristal dan nilai FWHM hasil pengamatan yang didapatkan dari perangkat lunak Match! 4 seperti pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Daftar puncak-puncak difraksi sinar-X variasi 90 menit

No	2θ (°)	Intensitas (count/detik)	FWHM	Puncak Match
1	6.30	127.17	0.2191	-
2	6.48	459.90	0.0640	-
3	13.05	24.37	0.0868	-
4	19.68	380.17	0.0853	-
5	38.33	44.08	0.0945	Al
6	44.57	151.84	0.0898	Al
7	64.92	1000.00	0.1118	Al
8	78.03	744.68	0.1345	Al

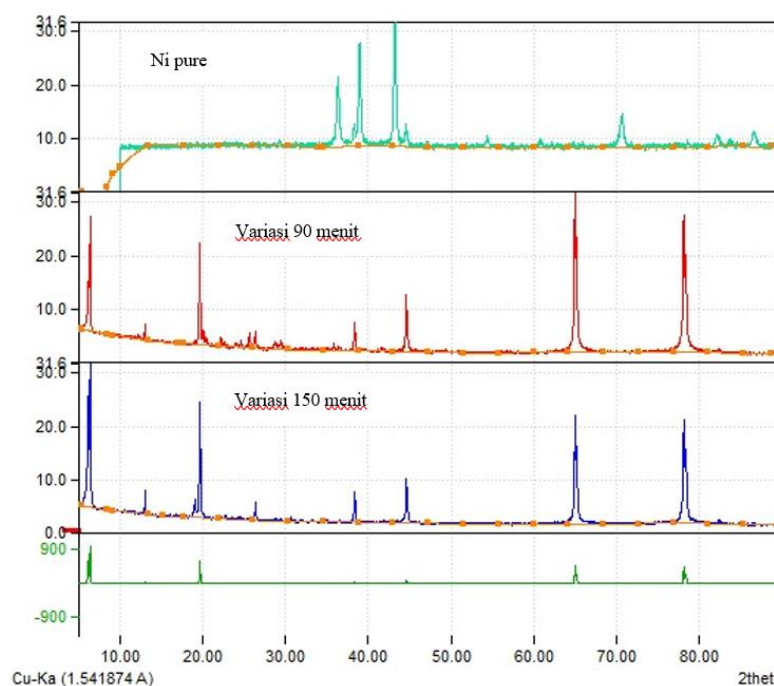
Tabel 4. 5 Daftar puncak-puncak difraksi sinar-X variasi 150 menit

No	2θ (°)	Intensitas (count/detik)	FWHM	Puncak Match
1	6.28	723.04	0.1395	-
2	6.51	1000.00	0.0626	-
3	13.08	58.44	0.0597	-
4	19.09	32.26	0.1833	-
5	19.70	765.71	0.0752	-
6	26.39	37.20	0.0901	-
7	38.35	76.43	0.1020	Al
8	44.60	143.15	0.0956	Al
9	64.94	725.35	0.1145	Al
10	78.05	672.75	0.1400	Al

Berdasarkan hasil pencarian puncak yang disajikan pada tabel 4.4 dan tabel 4.5, puncak-puncak utama yang teridentifikasi dan dapat dicocokkan sebagai

fase kristalin berasal dari aluminium. Puncak-puncak lain yang muncul pada sudut 2θ sekitar 6° , 13° , 19° , dan 26° tidak menunjukkan kecocokan multipuncak yang konsisten sehingga tidak diklasifikasikan sebagai fase kristalin baru.

Untuk mengevaluasi kemungkinan keberadaan nikel dalam bentuk kristalin, posisi puncak difraksi sampel dibandingkan dengan pola XRD nikel murni berdasarkan basis data.



Gambar 4. 14 Perbandingan puncak XRD dengan nikel murni

Pola XRD nikel murni pada gambar 4.15 menunjukkan puncak difraksi pada sudut 2θ sekitar $44,73^\circ$ yang berkaitan dengan struktur nikel kristal nikel. Pada sampel hasil elektrodeposisi, puncak khas nikel tersebut tidak teramati secara jelas. Puncak pada rentang $44-45^\circ$ lebih didominasi oleh fase aluminium sebagai substrat, sehingga keberadaan nikel sebagai fase kristalin terpisah tidak dapat dikonfirmasi melalui analisis XRD. Tidak terdeteksinya nikel sebagai fase kristalin diduga disebabkan oleh kandungan nikel yang relatif rendah, ketebalan lapisan endapan yang tipis, serta struktur endapan yang memiliki kristalinitas rendah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses pelindian menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dengan pH 2 selama 72 jam yang dilanjutkan dengan proses elektrodeposisi menghasilkan lapisan endapan pada permukaan plat logam aluminium, namun lapisan yang terbentuk masih tipis
2. Hasil karakterisasi menggunakan XRF menunjukkan bahwa komposisi unsur pada sampel setelah elektrodeposisi masih didominasi oleh aluminium yang berasal dari substrat plat logam.
3. Hasil analisis pencocokan pola difraksi menggunakan perangkat lunak Match!4 menunjukkan sampel tersusun dari beberapa fase kristalin
4. Unsur nikel tidak terdeteksi secara signifikan pada hasil analisis XRF, yang diduga disebabkan oleh proses pelarutan nikel yang belum berlangsung secara optimal serta ketebalan lapisan elektrodeposisi yang berada dibawah batas deteksi alat.
5. Nikel tidak teridentifikasi sebagai fase nikel murni (Ni), melainkan terdeteksi dalam bentuk senyawa dengan unsur lain, yang menunjukkan nikel berada dalam jumlah kecil dan belum membentuk fase kristalin murni.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan optimasi kondisi pelindian seperti variasi pH, suhu, waktu, dan konsentrasi larutan asam untuk meningkatkan efisiensi pelarutan nikel dari bijih mineral.
2. Perlu dilakukan optimasi pada parameter proses elektrodeposisi seperti kuat arus, tegangan dan waktu deposisi agar lapisan endapan yang terbentuk memiliki ketebalan yang lebih baik.

DAFTAR REFERENSI

- Adi, A. C. (2023, November 3). *Pemilik Cadangan Nikel dan Bauksit Terbesar di Dunia, Ini yang Dilakukan Indonesia*. Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/pemilik-cadangan-nikel-dan-bauksit-terbesar-di-dunia-ini-yang-dilakukan-indonesia>
- Aliofkhazraei, M., Walsh, F. C., Zangari, G., Köçkar, H., Alper, M., Rizal, C., Magagnin, L., Protsenko, V., Arunachalam, R., Rezvanian, A., Moein, A., Assareh, S., & Allahyarzadeh, M. H. (2021). Development of Electrodeposited Multilayer Coatings: A Review Of Fabrication, Microstructure, Properties and Applications. *Applied Surface Science Advances*, 6(100141), 1–51. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100141>
- Amanda, N. B., & Sinardi. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF PELLET PRESS AND FUSION BEAD METHODS USING ED-XRF AND WD-XRF INSTRUMENTS. *Journal of Sciencetech Research and Development*, 7(1), 702–711. <https://idm.or.id/JSCR/in>
- Bahfie, F., Manaf, A., Astuti, W., Nurjaman, F., & Herlina, U. (2021). TINJAUAN TEKNOLOGI PROSES EKSTRAKSI BIJIH NIKEL LATERIT. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 17(3), 135–152. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol17.No3.2021.1156>
- Budi Prasetyo, A., Setiawan, I., & Meyta, D. (2016). ANALISIS XRD DAN SEM TERHADAP HASIL KALSINASI PADA BIJIH NIKEL LATERIT JENIS SAPROLIT. *Jurnal UMJ*, 1–5.
- Cathelineau, M., Teitler, Y., Grimaud, J. L., Favier, S., Golfier, F., Ramanaidou, E., Grangeon, S., Kerrevue, Y., Jeanpert, J., Étienne, S., Muñoz, M., & Ulrich, M. (2024). Peridotite Weathering and Ni Redistribution in New Caledonian Laterite Profiles: Influence of Climate, Hydrology, and Structure. *Minerals*, 14(11), 1–25. <https://doi.org/10.3390/min14111082>
- Chowdhury, A. R., Maheshwari, N., Soni, J., Kapil, M., Mehta, T., & Mukharya, A. (2020). Quantitative X-ray Fluorescence Analysis: Trace Level Detection Of Toxic Elemental Impurities In Drug Product by ED-XRF Spectrometer. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 189(113292). <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113292>
- Delgado, Y., Fernández-Morales, F. J., & Llanos, J. (2021). An Old Technique with a Promising Future: Recent Advances In The Use Of Electrodeposition For Metal Recovery. *Molecules*, 26, 1–24. <https://doi.org/10.3390/molecules26185525>
- Fayyad, E. M., Abdullah, A. M., Hassan, M. K., Mohamed, A. M., Jarjoura, G., & Farhat, Z. (2018). Recent advances in Electroless-Plated Ni-P and its Composites for Erosion and Capplications: a Review. *Emergent Materials*, 1–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42247-018-0010-4>

- Febriliani, A., Rama Denny, Y., & Antarnusa, G. (2025). Analisis XRD Nanopartikel Fe₃O₄ Dengan Variasi Suhu Sintesis. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, 6(1), 14–18.
- Guan, T., & Zhang, N. (2024). Recent Advances in Electrodeposition of Nickel-Based Nanocomposites Enhanced with Lubricating Nanoparticles. *Nanomanufacturing and Metrology*, 7(25), 1–38. <https://doi.org/10.1007/s41871-024-00245-6>
- Hakam, M., Dharmawan, A., Arinawati, M., Purwanto, A., & Yudha, C. S. (2022). Sintesis dan Analisis Struktur Prekursor NMC811 dari Mix Hydroxide Precipitate (MHP) dengan Presipitan Asam Oksalat. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 5(2), 111–115. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v5i2.58478>
- He, X., Li, L., Yan, S., Fu, H., Zhong, F., Cao, J., Ding, M., Sun, Q., & Jia, C. (2024). Advanced Electrode Enabled by Lignin-Derived Carbon for High-Performance Vanadium Redox Flow Battery. *Journal of Colloid and Interface Science*, 653, 1455–1463. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2023.10.005>
- Hidayat, M. F., & Iryani, A. S. (2025). PENENTUAN KADAR NIKEL DALAM SAMPEL NIKEL ORE MENGGUNAKAN METODE PRESS MELALUI PEMBACAAN XRF. *Global Research and Innovation Edutech Journal (GREAT)*, 01(01), 329–335.
- HORIBA. (2025). *What is X-ray Fluorescence (XRF) and how does XRF work?* HORIBA Scientific and Analytical Instruments. <https://www.horiba.com/int/scientific/technologies/energy-dispersive-x-ray-fluorescence-ed-xrf/what-is-x-ray-fluorescence-xrf/>
- Huang, L., Cao, Y., Wang, S., Li, G., Dong, H., Wu, T., & Wang, N. (2023). Conductivity of Multicomponent Alloy under Solid Solution Short-Range Order Cluster Model. *ACS Omega*, 8, 11987–11998. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07644>
- Indah Ar. (2011, February 20). *X-Ray Fluorescence (XRF)*. WordPress. <https://indbongolz.wordpress.com/2011/02/20/x-ray-fluorescence/>
- Jamaludin, A., & Adiantoro, D. (2012). Analisis Kerusakan X-Ray Fluoresence (XRF). *BATAN*, 5(9–10), 19–28.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2020). Peluang Investasi Nikel Indonesia. In *Booklet Tambang Nikel 2020* (pp. 1–40). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Kwon, N., Kim, M., Oh, S., Shin, J. H., & Park, K. T. (2025). Electrochemical Performance and Behavior of Nickel Pig Iron Anodic Electrolysis for Enhanced Sulfuric Acid Leaching. *Electrochemistry Communications*, 177(107937), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2025.107937>
- Latahir, A. Z., Wai, C. K., Yaacob, S. F. F. S., & Rahim, R. A. (2025). Exploring the elemental detection on portable XRF vs SEM-EDX in household alloy

- materials analysis. *Microchemical Journal*, 213, 113667. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113667>
- Liu, D., Wang, X., Nie, L., Zhang, B., Zhou, J., Liu, H., & Wang, W. (2025). Nickel distribution in soils and its relationship with lithology, mineralization and geochemical landscape across mainland China. *Ore Geology Reviews*, 178(106476), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2025.106476>
- Liu, G., Li, J., Yang, L., & Zhang, Y. (2025). Reactive Molecular Dynamics Study on Interfacial Reaction Behavior of Fe-Cr-Ni alloy. *Electrochimica Acta*, 530. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2025.146380>
- Liu, Z., Zhang, Q., Zhang, X., Yu, Z., Zhang, X., Mao, Q., Nie, J., & Zhao, Y. (2024). Electrodeposition of Nanocrystalline Ni and NiCr Alloy Coatings: Effects of Cr Content on Microhardness and Wear Resistance Improvement. *Journal of Materials Research and Technology*, 30, 3584–3593. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.04.100>
- Mahmood, H. F., Ahmad, S. A., & Abu-Bakr, M. (2025). Comprehensive Overview of X-Ray Diffraction: Principles, Techniques, and Applications in Material Science. *Technobius Physics*, 3(3), 1–10. <https://doi.org/10.54355/tbusphys/3.3.2025.0035>
- Malik, Y. (2023). Akurasi dan Presisi Analisis Kadar Nikel (Ni) pada Sampel Nikel Laterit Menggunakan X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF). *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 12(2), 87–94. <http://sains.uho.ac.id/index.php/journal>
- Malvern Panalytical. (2025a). *Empyrean — X-Ray Powder & Material Diffraction System*. Spectris Company. <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/empyrean-range/empyrean>
- Malvern Panalytical. (2025b). *Epsilon1 — Epsilon X-Ray Fluorescence Spectrometer Range*. Spectris Company. <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/epsilon-range/epsilon1>
- Marathe, I., Mishra, J., Neelam, N. S., & Tripathi, M. K. (2025). Electrodeposition Of Multi Component Alloys For Hydrogen Evolution Reaction. *Next Materials*, 9(101023), 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.101023>
- Musfirah Cahya Fajrah. (2024). *Pendahuluan Fisika Zat Padat* (Issue FI 362, pp. 1–72).
- Mustamin, A. I., & Djam'an, N. (2024). *ANALISIS UNSUR LOGAM PADA SAMPEL ORE DENGAN METODE X-ray fluorescence (XRF) DI PT. HUAYUE NICKEL COBALT*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Muttaqin, R., Sakti, W., Prayitno, W., Nurbaiti, U., Semarang, K., 50229, K. :, Fisika, K. J., D7, G., Sekaran, K. U., & Gunungpati, K. (2023). Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material : X-ray Diffractometer (XRD)

- Panalytical Xpert3 Powder. *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*, 6(1), 9–16.
- Natua, M. R. A. R., Permana, A. P., & Zainuri, A. (2024). Karakteristik Nikel Laterit di Blok Lara, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 12(3), 419–425. <https://doi.org/10.23887/jjg.v12i3.77064>
- Nurfaidah, A. Y., Lestari, D. P., Azzahra, R. T., & Ratna Suminar, D. (2020). KAJIAN PUSTAKA PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI TERHADAP PROSES PEMISAHAN NIKEL DARI LOGAM PENGOTOR MENGGUNAKAN METODE LEACHING. *Jurnal Fluida Volume*, 13(2), 81–92. <https://doi.org/10.35313/fluida.v13i2.2388>
- Pereira, K. A., Clarke, S. M., Singh, S., Briggs, R., McGuire, C. P., Lee, H. J., Khaghani, D., Nagler, B., Galtier, E., Cunningham, E., McGonegle, D., Tracy, S. J., Vennari, C., Gorman, M. G., Coleman, A. L., Davis, C., Hutchinson, T., Eggert, J. H., Smith, R. F., & Walsh, J. P. S. (2025). Stability of the fcc phase in shocked nickel up to 332 GPa. *Nature Communications*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-59385-y>
- Permana, D., Kumalasari, R., Wahab, W., & Musnajat, M. (2020). PELINDIAN BIJIH NIKEL LATERIT KADAR RENDAH MENGGUNAKAN METODE ATMOSPHERIC ACID LEACHING DALAM MEDIA ASAM KLOORIDA (HCL). *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 30(2), 203–214. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1097>
- Pratiwi, P. I. (2019). *Elektrodeposisi Seng, Nikel, dan Kadmium pada Grafit*. Institut Teknologi Bandung.
- Pratiwi, S. Y., Luvita, M., & Iswardani, D. (2023). Komunikasi diplomasi pemerintah Indonesia dalam gugatan uni eropa mengenai pemberhentian ekspor bijih nikel. *Jurnal Komunikasi Universitas Garut*, 9(1), 1065–1078. <https://doi.org/https://doi.org/10.52434/jk.v9i1.2465>
- Radhica, D. D. (2025). Proteksionisme Nikel Indonesia dalam Perdagangan Dunia. *Jurnal Cendikia Niaga*, 7(1), 74–84.
- Raharjo, S., Lestari, L., Hidayatullah, N., & Yaqub Rijal, M. (2025). PENERAPAN METODE SIMPLE MOVING AVERAGE DALAM MEMPERHALUS DIFRAKTOGRAM XRD SAMPEL NIKEL. *Jurnal Aplikasi Fisika*, 21(01), 5–13. <https://doi.org/10.62749/jaf.v21i01.p05-13>
- Rahman, K. S. (2022). Cadmium telluride (CdTe) thin film solar cells. In *Comprehensive Guide on Organic and Inorganic Solar Cells* (pp. 65–83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85529-7.00009-8>
- Rani, P. M., Rajan, G. G., Wasimakram, J., & Sakthivel, T. (2022). Review on material composition affecting the properties of nickel alloys. *International Journal of Intellectual Advancements and Research in Engineering Computations*, 10(1), 1–6. www.ijiarec.com

- Rath, M., Friessnegger, B., Angerer, P., Raninger, P., Stanojevic, A., & Kozeschnik, E. (2023). In-situ characterization method for the delta phase precipitation kinetics in the nickel-base alloy 718 using high-temperature X-ray diffraction (HT-XRD) techniques. *Materials Characterization*, 206(A), 113382. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2023.113382>
- Royal Society of Chemistry. (2025, October). *Nickel - Element information*. Royal Society of Chemistry. <https://periodic-table.rsc.org/element/28/nickel>
- Sahputra, W. P., Ahad Badia, B., Putra, M. I., Putra, F. C., & Aji, A. A. (2025). REKAYASA PROSES EKSTRAKSI DAN PENGOLAHAN BIJIH NIKEL: TEKNOLOGI, TANTANGAN, DAN PROSPEK MASA DEPAN. *Jurnal Multidisipliner*, 4(02), 243–255. <https://doi.org/10.62668/kapalamada.v4i02.1546>
- Saputra, R., & Sufriadin, D. (2024). Efek Pemanasan Terhadap Tingkat Pelindian Nikel Dan Kobalt Dari Bijih Limonit Pulau Kabaena Menggunakan Asam Sulfat. *Mining Science and Technology Journal*, 3(3), 158–167. <https://doi.org/https://doi.org/10.54297/minetech-journal.v3i3.672>
- Shimadzu Corporation. (2025). *X-Ray Diffraction (XRD) — Metals & Automotive Industry*. Shimadzu Corporation. <https://www.shimadzu.com.tw/industries/automotive/metals/xrd/index.html>
- Sudaryanto, S., Sukamto, U., & Nugroho, I. C. (2024). Proses Produksi Feronikel dari Bijih Nikel Laterit dengan Metode Rotary Kiln – Electric Furnace (RKEF). *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 2(4), 187–197. <https://doi.org/10.55606/juprit.v2i4.3456>
- Syafitri, A., Yanuar, E., & Bahtiar, S. (2024). ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN RASIO TERHADAP PERSEN EKSTRAKSI PADA PROSES PELINDIAN NIKEL KADAR RENDAH POMALAA SULAWESI TENGGARA. *HEXAGON*, 5(1), 51–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.36761/hexagon.v5i1.3213>
- Syahputra, M. A., & Marzuki, I. (2025). THE EFFECT OF SAMPLE PREPARATION ON THE RESULTS OF NICKEL CONTENT ANALYSIS USING ED-XRF EPSILON 4. *Journal of Scientech Research and Development*, 7(1), 804. <https://idm.or.id/JSCR/in>
- Wahab, N., Ramli, I., & Azis, H. (2024). Analysis Of Laterite Nickel Ore Quality Control Using X-Ray Fluorescence Method. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 4(2), 39–49. <https://journal.utsmakassar.ac.id/index.php/JSThttps://journal.utsmakassar.ac.id/index.php/JST>
- Wahyudi, S., Soepriyanto, S., Satrio, D., & Anggolo, P. (2022). STUDI PENGARUH RASIO KONSENTRASI NIKEL SULFAT/NIKEL KLOORIDA DAN RAPAT ARUS TERHADAP EFISIENSI ARUS PADA SINTESIS SERBUK NIKEL DENGAN METODE ELEKTROLISIS. *JURNAL VOKASI Teknologi Industri*, 4(2), 9–14.

- Wang, C., Hu, X., Chen, B., Ren, H., Wang, X., Zhang, Y., Chen, X., Liu, Y., Guan, Q., & Li, W. (2024). Performance enhancement and active sites identification of Cu-Cd bimetallic oxide derived catalysts for electrochemical CO₂ reduction. *Journal of Energy Chemistry*, *91*, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2023.11.028>
- Warstek Media. (2024, April 1). *Memahami X-Ray Diffraction: Pengertian, Prinsip Kerja, Komponen, dan Aplikasinya*. Warung Sains Teknologi. <https://warstek.com/xrd/>
- yayimage. (2025). *Bijih Nikel*. Pngtree. <https://share.google/fPtFVqQCIVzXwj2uQ>
- Yetri, Y., Azaria Mahaputri, S., & Dahlan, D. (2019). SINTESA LAPISAN NIKEL (Ni) PADA PERMUKAAN BAJA DENGAN METODE ELEKTRODEPOSISI DENGAN PENAMBAHAN INHIBITOR EKSTRAK KULIT BUAH KAKAO (THEOBROMA CACAO). *Jurnal Integrasi* |, *11*(2), 86–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.30871/ji.v5i2.1653>

Lampiran 1. Rencana jadwal penelitian

NO	Kegiatan	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Jan
1	Studi literatur						
2	Penyusunan proposal penelitian						
3	Penyerahan proposal penelitian						
4	Pengajuan surat izin penelitian						
5	Pengiriman sampel bijih						
6	Pengujian sampel bijih						
7	Analisis data						
8	Penyusunan Skripsi						
9	Pengumpulan Skripsi						
10	Sidang Skripsi						

Lampiran 2. Rencana biaya penelitian

NO	Keterangan	Qty	Biaya	Jumlah
Kegiatan				
1	Survei awal	1	Rp 25.000	Rp 25.000
2	Pengujian XRF	3	Rp 200.000	Rp 600.000
3	Pengujian XRD	3	Rp 650.000	Rp 1.950.000
4	Transportasi	7	Rp 20.000	Rp 140.000
5	Cetak dan jilid	1	Rp 300.000	Rp 300.000
Alat dan Bahan				
6	Grafit	20	Rp 10.000	Rp 200.000
7	Kertas Saring	1	Rp 35.000	Rp 35.000
8	Aquades	1	Rp 25.000	Rp 25.000
9	Asam Sulfat 98%	1	Rp 40.000	Rp 40.000
Total				Rp 3.315.000