

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran air akibat aktivitas industri merupakan permasalahan lingkungan yang terus meningkat dan menjadi perhatian serius dalam beberapa dekade terakhir. Perkembangan sektor industri, khususnya pertambangan dan metalurgi, berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan beban pencemaran di lingkungan perairan. Limbah cair industri umumnya mengandung berbagai polutan berbahaya, seperti logam berat, senyawa anorganik toksik, dan residu kimia yang bersifat persisten dan sulit terdegradasi secara alami (Chan et al., 2024 ; Khanzada et al., 2024). Keberadaan polutan tersebut tidak hanya menurunkan kualitas air, tetapi juga mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik serta meningkatkan risiko terhadap kesehatan manusia melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan.

Salah satu sumber pencemaran yang signifikan berasal dari limbah slag nikel, yaitu produk dari proses peleburan bijih nikel pada industri pertambangan dan metalurgi. Slag nikel dihasilkan dalam jumlah besar seiring dengan meningkatnya kebutuhan global terhadap nikel, terutama untuk industri baja tahan karat dan baterai. Limbah ini mengandung berbagai unsur logam berat dan senyawa anorganik, antara lain Nikel (Ni), besi (Fe), Magnesium (Mg), dan Silikon (Si), yang berpotensi terlepas ke lingkungan melalui proses pelindian, terutama pada kondisi lingkungan yang bersifat asam atau basa. Ion nikel (Ni^{2+}) bersifat toksik, tidak dapat terdegradasi secara biologis, serta memiliki kecenderungan tinggi untuk terakumulasi dalam jaringan organisme hidup. Paparan nikel dalam jangka panjang diketahui dapat menyebabkan gangguan sistem pernapasan, kerusakan ginjal dan hati, serta meningkatkan risiko karsinogenik, sehingga menjadikan limbah slag nikel sebagai ancaman serius terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Rizwan et al., 2024).

Metode yang dikembangkan untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam limbah cair industri, di antaranya presipitasi kimia, pertukaran ion, filtrasi membran, dan oksidasi lanjutan. Meskipun metode-metode tersebut mampu menurunkan kadar polutan, penerapannya sering kali menghadapi keterbatasan, seperti biaya operasional yang tinggi, kebutuhan energi yang besar, kompleksitas proses, dan potensi terbentuknya limbah sekunder yang memerlukan pengolahan lanjutan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga ekonomis dan ramah lingkungan. Dalam hal ini, adsorpsi menjadi salah satu metode yang paling menjanjikan karena memiliki efisiensi tinggi, kemudahan operasional, serta fleksibilitas dalam pemilihan material adsorben (Iyer et al., 2025).

Adsorpsi merupakan fenomena permukaan yang melibatkan penempelan ion atau molekul polutan pada permukaan adsorben melalui berbagai interaksi fisika dan kimia. Mekanisme adsorpsi dapat berlangsung melalui gaya elektrostatik, pertukaran ion, pembentukan ikatan kompleks, maupun ikatan hidrogen. Efektivitas

proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh karakteristik adsorben, seperti luas permukaan spesifik, distribusi dan ukuran pori, komposisi mineral, kapasitas pertukaran ion, serta keberadaan gugus fungsi aktif pada permukaan material (C. Li et al., 2021). Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan adsorben berbahan alami semakin mendapat perhatian karena ketersediaannya yang melimpah, biaya yang relatif rendah, serta dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan adsorben sintetis.

Tanah liat merupakan salah satu material alami yang banyak digunakan sebagai adsorben karena memiliki struktur berlapis dengan luas permukaan yang besar dan kapasitas pertukaran kation yang tinggi. Struktur kristalin tanah liat memungkinkan terjadinya pertukaran ion antara kation logam berat, seperti Ni^{2+} , dengan kation yang terikat pada lapisan mineral. Selain itu, muatan negatif pada permukaan tanah liat memperkuat interaksi elektrostatik dengan ion logam bermuatan positif, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan logam berat dari larutan (Yang et al., 2024a). Namun, penggunaan tanah liat sebagai adsorben tunggal sering kali menghadapi keterbatasan dalam hal stabilitas struktur dan kapasitas adsorpsi pada kondisi lingkungan tertentu.

Batu kapur yang didominasi oleh kalsium karbonat (CaCO_3) juga memiliki potensi sebagai adsorben alami dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat. Secara umum, limestone memiliki permukaan mineral yang mampu berinteraksi dengan ion logam melalui mekanisme adsorpsi permukaan dan pertukaran ion. Selain itu, keberadaan mineral kalsit pada limestone memberikan kontribusi terhadap kestabilan kimia sistem adsorpsi, sehingga membantu menurunkan mobilitas ion logam berat dalam larutan. Sifat alami limestone yang melimpah dan mudah diperoleh menjadikannya material yang sesuai untuk dikombinasikan dengan adsorben alami lainnya dalam sistem pengolahan limbah (Akbar et al., 2020).

Sabut kelapa merupakan biomaterial lignoselulosa yang kaya akan lignin dan selulosa serta memiliki struktur mikropori yang berkembang dengan baik. Keberadaan gugus fungsi aktif, seperti hidroksil ($-\text{OH}$), karboksil ($-\text{COOH}$), dan fenolik, memungkinkan terjadinya interaksi kimia dengan ion logam berat melalui mekanisme kompleksasi dan ikatan hidrogen. Selain itu, struktur mikropori sabut kelapa berkontribusi dalam meningkatkan luas permukaan spesifik adsorben, sehingga memperbesar kapasitas penyerapan terhadap polutan logam berat (Leng et al., 2021).

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Tanah liat (clay) sebagai adsorben alami dilaporkan memiliki efisiensi adsorpsi logam berat sebesar 60% pada kondisi tanpa aktivasi, yang dipengaruhi oleh kapasitas pertukaran kation dan muatan permukaan material (Yang et al., 2024b). Sabut kelapa sebagai biosorben alami menunjukkan efisiensi adsorpsi logam berat sebesar 57% yang berkaitan dengan keberadaan gugus fungsi $-\text{OH}$ dan $-\text{COOH}$ serta struktur pori material (Ogidi et al., 2024). Sementara itu, batu kapur (CaCO_3) memiliki efisiensi adsorpsi logam berat sebesar 77%, yang dipengaruhi oleh interaksi ionik dan kemampuan CaCO_3 dalam menstabilkan pH larutan (Fathy et al., 2025).

Penelitian ini mengembangkan material adsorben berbasis komposit yang terdiri dari tanah liat, CaCO_3 , dan sabut kelapa dalam tiga variasi massa melalui metode komposit mekanis campuran padat untuk mengurangi polutan slag nikel dari sistem perairan. Fokus penelitian diarahkan pada analisis dan optimasi kinerja adsorpsi dalam suatu sistem filtrasi yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi serta mendukung keberlanjutan lingkungan. Karakterisasi struktur kristal, gugus fungsional, dan morfologi permukaan dilakukan menggunakan XRD, FT-IR, dan SEM. Selain itu, analisis kroning (K-K) guna menentukan posisi getaran fonon optik longitudinal dan transversal (LO dan TO). Oleh karena itu, pendekatan baru ini diperlukan untuk memanfaatkan bahan alami secara lebih optimal dalam pengelolaan limbah industri serta memberi peluang untuk mengurangi dampak pencemaran sekaligus solusi yang efisien dan berkelanjutan bagi lingkungan.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis efektivitas penggunaa adsorben alami yang terdiri dari tanah liat, limestone (CaCO_3), dan sabut kelapa dalam menurunkan konsentrasi ion Ni^{2+} dari limbah slag nikel.
2. Mengetahui perbandingan kinerja adsorpsi berdasarkan variasi massa dan komposisi adsorben.
3. Mengidentifikasi karakteristik struktur kristal , gugus fungsi, dan morfologi permukaan adsorben komposit
4. Membandingkan kinerja penyisihan ion Ni^{2+} pada adsorben komposit dengan proporsi massa yang berbeda.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Manfaat ilmiah

Penelitian ini berkontribusi dalam memperluas pemahaman ilmiah mengenai mekanisme adsorpsi berbasis material alami serta karakteristik struktur dan sifat adsorben. Hasil karakterisasi dan pengujian performa adsorpsi memberikan pemahaman baru mengenai peran sinergis antara tanah liat, batu kapur, dan sabut kelapa dalam menurunkan konsentrasi ion logam berat, khususnya Ni^{2+} dari slag nikel.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini dapat diaplikasikan sebagai sebagai alternatif teknologi penanganan limbah yang sederhana namun efektif, khususnya untuk limbah industri yang mengandung nikel. Rancangan sistem filtrasi berbasis pipa dengan komposit adsorben alami dapat digunakan sebagai model awal dalam penerapan metode pengolahan limbah yang lebih ramah lingkungan.

3. Manfaat Ekonomi dan Lingkungan

Pemanfaatan material alami yang mudah dan tersedia melimpah menawarkan pendekatan pengolahan limbah yang lebih hemat biaya serta berorientasi pada keberlanjutan. Penerapan adsorben alami ini juga berpotensi mengurangi beban pencemaran logam berat, memperbaiki kualitas lingkungan serta mendukung upaya konservasi sumber daya air dan tanah berkelanjutan.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober hingga Desember 2024, di Laboratorium Fisika Material Dan Energi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.2 Bahan dan Alat

2.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Slag Nikel
2. Tanah Liat
3. Batu Kapur
4. Sabut Kelapa
5. *Aquadest*
6. Alkohol 96%
7. HCl 1 M

2.2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

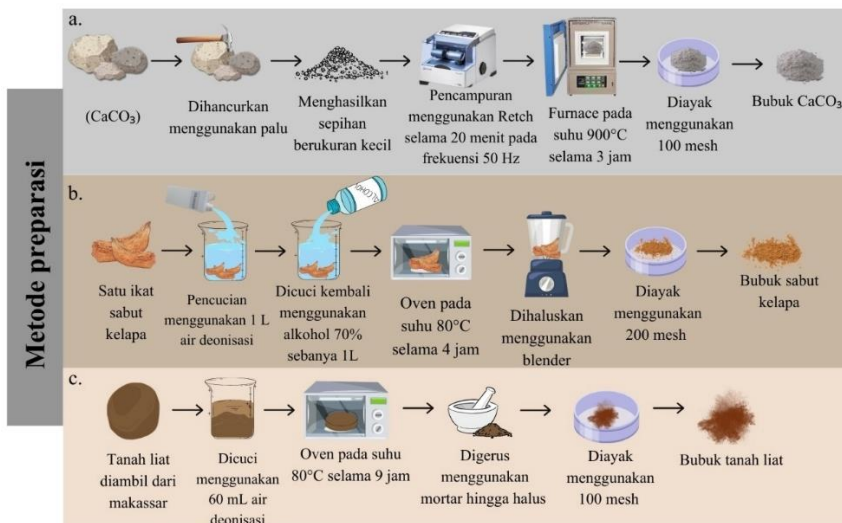
1. *Furnace*
2. Oven
3. Cawan petri
4. Lumpang porselen
5. Ayakan 100 *mesh*
6. Ayakan 200 *mesh*
7. Gelas kimia
8. Tabung ukur
9. Corong
10. Kertas saring *Whatman 42*
11. *Mixxing* (Retsch MM 400)
12. Cawan kursibel
13. *Magnetic Stirrer*
14. Spatula
15. Filter pipa
16. Kain
17. Amplas
18. Gunting
19. Palu
20. Timbangan digital
21. FT-IR (*Fourier Transfrom Infrared*)
22. XRD (*X-Ray Diffraction*)

23.Spectrometer Uv-Vis

24.SEM (Scanning Electron Microscope)

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Metode Preparasi



Gambar 1. (a) Pembuatan bubuk CaCO_3 menggunakan metode pencampuran, (b) Pembuatan bubuk serat kelapa menggunakan metode penghancuran, dan (c) Pembuatan bubuk tanah liat menggunakan mortar.

2.3.1.1 Pembuatan bubuk CaCO_3 menggunakan metode pencampuran

Pada gambar 1 (a) menunjukkan bahwa 4 g bahan adsorben CaCO_3 dihancurkan dengan palu untuk menghasilkan serpihan berukuran kecil. Selanjutnya, serpihan CaCO_3 diproses menggunakan alat pengaduk RETCH 400 untuk menghasilkan bubuk dengan tingkat kehalusan yang lebih homogen. Bubuk CaCO_3 kemudian dipanaskan dalam tungku pada suhu 900°C selama 3 jam untuk mengubah karakteristik bahan CaCO_3 . Setelah proses kalsinasi, bubuk CaCO_3 diayak menggunakan saringan berukuran 100 mesh untuk memperoleh adsorben CaCO_3 dengan distribusi ukuran partikel yang seragam.

2.3.1.2 Pembuatan bubuk sabut kelapa menggunakan metode penghancuran

Pada gambar 1 (b) Sabut kelapa di bersihkan dengan 1 L air deionisasi (DI) untuk menghilangkan kotoran. Selanjutnya, sabut kelapa di bilas kembali dengan 1 L alkohol 97% sebagai tahap pemurnian. Setelah proses pembilasan, sabut kelapa dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 4 jam guna menghilangkan kandungan air yang tersisa. Sabut kelapa yang sudah kering kemudian di hancurkan menggunakan blender hingga di peroleh serbuk halus. Serbuk sabut kelapa tersebut selanjutnya diayak menggunakan saringan berukuran 200 mesh

untuk memperoleh partikel dengan distribusi ukuran yang seragam. Proses ini dilakukan untuk menghasilkan 4 g sabut kelapa.

2.3.1.3 Pembuatan bubuk tanah liat menggunakan mortar

Tahapan preparasi adsorben berbasis tanah liat di tunjukkan pada gambar 1 (c) diawali dengan penimbangan sebanyak 4 g tanah liat mentah. Tanah liat tersebut kemudian dicuci menggunakan 60 mL air deionisasi (DI) untuk menghilangkan kotoran. Setelah proses pencucian, tanah liat dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 9 jam untuk menghilangkan kandungan air. Selanjutnya, tanah liat yang sudah kering dihancurkan menggunakan mortar hingga memperoleh bubuk halus, bubuk tanah liat kemudian diayak menggunakan saringan berukuran 100 mesh untuk menghasilkan partikel dengan distribusi ukuran yang seragam.

2.3.2 Persiapan sampel komposisi



Gambar 2. Persiapan sampel bahan adsorben komposit dari tanah liat, CaCO_3 , dan sabut kelapa menggunakan perangkat filter.

Gambar 2 menunjukkan proses persiapan tiga bahan penyerap komposit, masing-masing tersusun atas proporsi berbeda dari serbuk tanah liat, serbuk kalsium karbonat (CaCO_3), dan sabut kelapa. Komposit I disintesis menggunakan 2 g bubuk tanah liat, 1 g bubuk CaCO_3 dan 1 g bubuk sabut kelapa, dengan tanah liat sebagai komponen dominan. Komposit II terdiri dari 1 g bubuk tanah liat, 2 g bubuk CaCO_3 dan 1 g bubuk sabut kelapa, dengan CaCO_3 sebagai komponen utama, untuk mengevaluasi perannya dalam pengendapan polutan. Komposit III diformulasikan dengan 1 g bubuk tanah liat, 1 g bubuk CaCO_3 dan 2 g bubuk sabut kelapa, sabut kelapa sebagai bahan utama, untuk meningkatkan kapasitas penyerapan dengan meningkatkan kandungan serat. Setiap campuran kemudian dihomogenisasi menggunakan mixer Retsch 400 pada frekuensi 10 Hz selama 30 menit untuk memastikan pencampuran yang merata. Komposit akhir diberi label sesuai dengan formulasi masing-masing, seperti yang ditunjukkan pada Tabel. 1. Proses pembuatan komposit dapat dilihat dengan jelas dengan identitas sampel sesuai dengan kodenya:

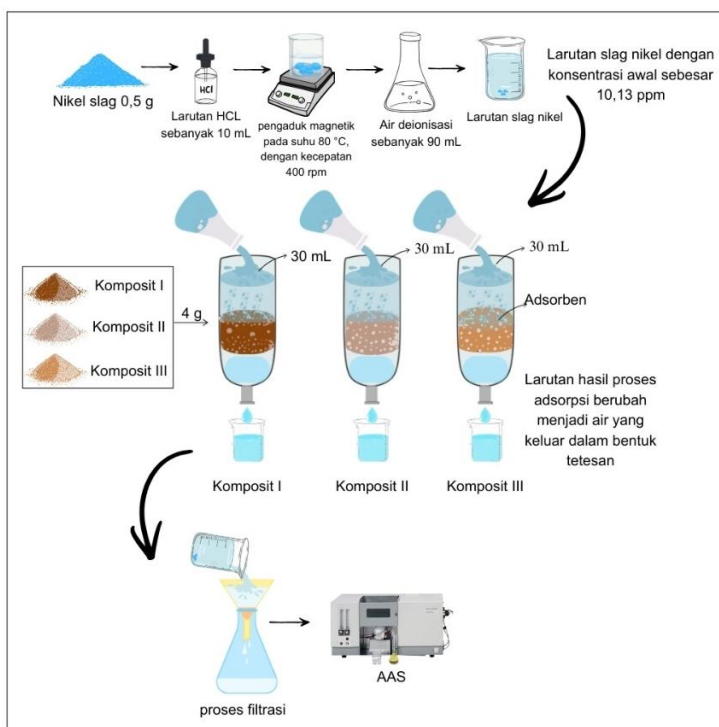
- 1) Tanah Liat: CaCO_3 : CF (2:1:1) → Komposit I
- 2) Tanah Liat: CaCO_3 : CF (1:2:1) → Komposit II

3) Tanah Liat: CaCO_3 : CF (1:1:2) → Komposit III

Tabel 1. Komposisi sampel untuk setiap variasi

Kode Sampel	Tanah liat (g)	CaCO_3 (g)	CF (g)
Komposit I	2	1	1
Komposit II	1	2	1
Komposit III	1	1	2

2.3.3 Uji Adsorpsi



Gambar 3. Persiapan limbah slag nikel sebagai uji polutan.

Dalam penelitian ini, larutan nikel pertama kali disiapkan dengan melarutkan 0,5 g slag nikel dalam 10 mL larutan HCl, diikuti dengan pengadukan magnetik pada suhu 80 °C dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Campuran tersebut kemudian dilarutkan dengan 90 mL air deionisasi untuk mendapatkan larutan Ni^{2+} dengan konsentrasi awal 10,13 ppm. Eksperimen adsorpsi dilakukan menggunakan

tiga jenis adsorben komposit yang berbeda (Komposit I, Komposit II, dan Komposit III). Setiap kolom adsorpsi diisi dengan 4 g adsorben, dan 30 mL larutan Ni^{2+} dialirkan melalui kolom secara tetes demi tetes. Selama proses ini, ion Ni^{2+} diserap oleh material komposit, dan larutan efluen dikumpulkan di bagian bawah kolom. Setelah proses adsorpsi, larutan yang dikumpulkan disaring untuk menghilangkan partikel tersuspensi yang tersisa. Konsentrasi Ni^{2+} dalam filtrat kemudian dianalisis menggunakan Spektroskopi Absorpsi Atom (AAS) untuk mengevaluasi kinerja adsorpsi masing-masing material komposit.

2.4 Pengamatan dan pengukuran

2.4.1 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM HITACHI TM4000Plus II) pada tegangan 15kV digunakan untuk karakteristik struktur morfologi dari sampel.

2.4.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) tipe IRPrestige-21, Shimadzu Corp, digunakan untuk menganalisis gugus fungsi yang ada dalam sampel, pada rentang gelombang 350 cm^{-1} sampai 4000 cm^{-1} .

2.4.3 X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis XRD (pola difraksi sinar-X) dari sampel lempung, CF, dan CaCO_3 dilakukan dengan menggunakan difraktometer (Shimadzu 7000) dengan radiasi $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$) pada rentang sudut difraksi 2θ : $10^\circ - 70^\circ$ untuk mengidentifikasi struktur kristal masing-masing sampel. Untuk menentukan ukuran kristalit yang terkait dengan bahan katalis, digunakan persamaan Debyer-Scherrer sebagai berikut (Heryanto et al., 2024a):

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

Pada panjang gelombang ini, D mewakili ukuran kristalit, λ adalah panjang gelombang sinar-X, θ adalah sudut difraksi sinar-X, β adalah lebar penuh pada setengah maksimum (FWHM), dan k adalah konstanta Scherrer yang nilainya 0,98. Pengujian UV-Vis *Spectroscopy* (UV-Vis Shimadzu 1800) bertujuan untuk mengetahui kemampuan sampel dalam mengadsorpsi polutan slag nikel.

2.4.4 UV-Vis Spectroscopy

Pengujian UV-Vis *Spectroscopy* (UV-Vis Shimadzu 1800) bertujuan untuk mengetahui kemampuan sampel dalam mengadsorpsi polutan slag nikel. Persamaan berikut ini digunakan untuk menentukan degradasi (Bassareh et al., 2023; Liu et al., 2021):

$$D (\%) = \frac{(A_0 - A_t)}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

D adalah efisiensi adsorpsi, A_0 dan A_t adalah absorpsi awal dan akhir g/mL, V adalah volume larutan (L), m adalah massa adsorben (g).

2.4.3 Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

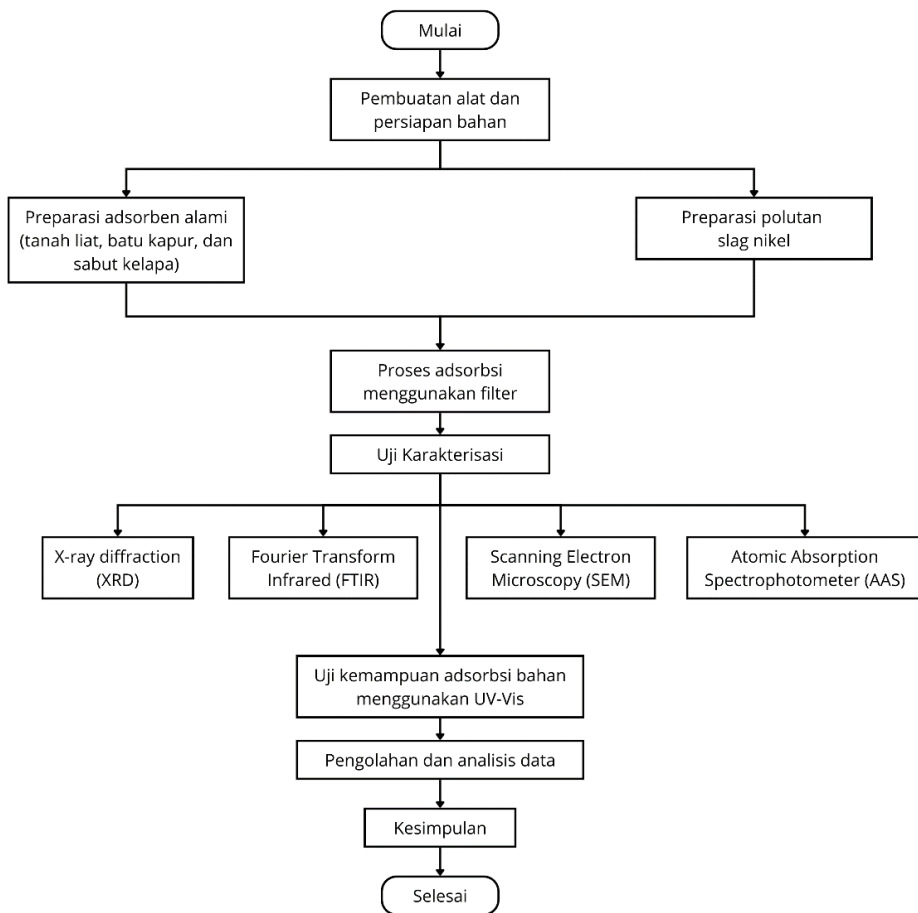
Pada penelitian penyerapan Ni^{2+} dilakukan dengan menggunakan alat Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) Buck Scientific 205 versi 3.94C. Persamaan berikut ini digunakan untuk menentukan efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi (Bassareh et al., 2023; Liu et al., 2021):

$$(\%) \text{ adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (4)$$

(%) adsorpsi adalah degradasi oleh kemampuan adsorpsi, C_0 dan C_e adalah konsentrasi awal dan akhir g/mL, V adalah volume larutan (L), m adalah massa adsorben (g), dan q_e adalah kapasitas adsorpsi (gr/L).

2.5 Pelaksanaan penelitian



Gambar 4. Pelaksanaan Penelitian