

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi dunia diperkirakan akan terus meningkat, populasi manusia akan meningkat dari 8,2 miliar jiwa pada tahun 2024 menjadi 10,3 miliar jiwa pada tahun 2080 (*World Population Prospects 2024*, n.d.). Peningkatan populasi dunia akan memberikan dampak yang signifikan bagi kehidupan di masa depan (Mason & Lee, 2022). Beberapa tantangan yang mungkin akan dihadapi adalah permintaan sumber daya seperti air, makanan, dan energi (Khan et al., 2021; Lu & Wang, 2023). Dengan meningkatnya konsumsi sumber daya, proses industri, pertambangan dan praktik pertanian seperti penggunaan pupuk kimia dan pestisida merupakan sumber polusi. Sekitar 44% limbah rumah tangga dan 80% limbah industri dan domestik yang tidak diolah dibuang ke air (du Plessis, 2022). Sedangkan 1,4 juta kematian pada tahun 2019 disebabkan oleh masalah pencemaran air. Pencemaran sumber daya air mengakibatkan 1,1 miliar orang di dunia tidak memiliki akses air bersih (K. Kumar et al., 2023). Masalah lingkungan seperti pencemaran logam berat menjadi semakin mendesak untuk diatasi (Piwowarska et al., 2024; Rizwan et al., 2024). Salah satu pencemar yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan ekosistem adalah logam berat nikel (Ni) (Noor et al., 2024). Kelimpahan unsur nikel dalam inti bumi adalah (5%), 300 juta ton (Ni) telah diidentifikasi (Dilshara et al., 2024). Paparan nikel menyebabkan berbagai penyakit kronis seperti penyakit kardiovaskular, penyakit jantung, kerusakan DNA, kematian sel dan urtikaria kronis (A. Kumar et al., 2021). Oleh karena itu, meningkatkan strategi kesehatan lingkungan sangat penting untuk dilakukan (Gu et al., 2024).

Untuk mempromosikan regulasi lingkungan yang optimal, strategi kesehatan lingkungan yang lebih baik harus menggunakan solusi remediasi yang berkelanjutan dan hemat biaya (Chen et al., 2024; Peng & Kong, 2024). Salah satu metode pengolahan limbah yang efektif adalah teknik adsorpsi, hal ini dikarenakan material adsorben memiliki luas permukaan dan biokompatibilitas yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Efisiensi penggunaan teknik adsorpsi juga dapat dilihat dari penurunan konsentrasi polutan di lingkungan (Costa et al., 2021; Nishat et al., 2023; Rashid et al., 2021). Namun, pemilihan material adsorben sangat penting, karena material adsorben sintesis cenderung menggunakan biaya yang mahal dan dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan (Andrew & Dhakal, 2022; Rai, 2022). Penggunaan material yang bersumber dari alam merupakan solusi yang tepat, hal ini dikarenakan biaya operasional yang lebih murah, ramah lingkungan dan berkelanjutan (Tolkou et al., 2024; W. Wang & Wang, 2022). Dalam upaya meningkatkan bahan adsorben yang hemat biaya dan berkelanjutan, maka pemanfaatan bahan alam yang murah, tersedia melimpah, ramah lingkungan dan bermanfaat dalam valorisasi limbah merupakan pilihan yang tepat (Dehghani et al., 2023; Sani et al., 2023). Salah satu limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan biosorben adalah kulit pisang (Ospina-Montoya et al., 2024). Produksi

pisang di dunia dalam kegiatan pertanian sekitar 115,7 juta ton, tanaman pisang menghasilkan 80% limbah dari total massa tanaman, dan hanya 12% dari total massa tanaman buah pisang yang dapat dimanfaatkan. Persentase pengolahan pisang di dunia masih tergolong rendah, sehingga sangat cocok untuk dimanfaatkan sebagai bahan bio-sorben (Castillo et al., 2023; Fiallos-Cárdenas et al., 2022). Selain itu, batu kapur merupakan bahan alam yang juga dapat digunakan sebagai bahan adsorben (Ayalew, 2023). Batu kapur merupakan batuan sedimen yang terdiri dari mineral kalsium karbonat (CaCO_3) yang melimpah di alam dan mudah diperoleh, sehingga pemilihan batu kapur sebagai bahan adsorben merupakan pilihan yang tepat (Dehghani et al., 2023; W. Zhang & Lv, 2020).

Kapasitas penyerapan polutan, proses adsorpsi yang cepat, dan selektivitas ion logam dalam metode adsorpsi bergantung pada bahan adsorben dan perlakuan yang diterapkan (Gao et al., 2020). Kulit pisang mengandung selulosa dan mineral. Gugus karboksil, hidroksil, dan amida pada bahan tersebut mempengaruhi proses biosorpsi. Terdapat 41,37% kandungan karbon senyawa organik pada kulit pisang, seperti selulosa (10-21%), pektin (7,6-9,6%), hemiselulosa (6,4-9,4%), lignin (6-12%), dan pigmen klorofil lainnya. Komponen pektin yang terdiri dari asam galakturonat, arabinosa, galaktosa, dan rhamnosa berperan dalam proses adsorpsi berbagai polutan seperti logam berat dan kontaminan organik (Ahsan et al., 2024; Jeong et al., 2021; Neolaka et al., 2024). Sifat fisik dan kimia batu kapur yang unik, yang sebagian besar terdiri dari kalsium karbonat (CaCO_3), berpotensi efektif dalam menyerap berbagai polutan. Kemampuan penyerapan batu kapur dapat ditingkatkan dengan memodifikasi gugus fungsi kalsium karbonat. Polutan logam berat dalam air dan tanah dapat diserap dengan adanya kalsium oksida (CaO) pada batu kapur dalam proses pertukaran kation (D. Liu et al., 2024; Sheng et al., 2023; T. Zhu et al., 2024). Ion-ion logam yang bermuatan positif (seperti Pb^{2+} , Cu^{2+} , atau Ni^{2+}) dapat berinteraksi dengan kalsium karbonat pada permukaan CaCO_3 , yaitu dengan gugus karbonat (CO_3^{2-}) yang disebut dengan interaksi ion. Gugus kalsium (Ca^{2+}) pada permukaan CaCO_3 membentuk kompleks yang tidak larut atau endapan di permukaan ketika berinteraksi dengan polutan anorganik atau ion logam tertentu. Interaksi gugus hidroksil juga dapat terjadi ketika CaCO_3 berada di permukaan. Interaksi gugus hidroksil juga dapat terjadi ketika CaCO_3 berada di dalam air, yaitu dengan terbentuknya gugus hidroksil (OH^-) pada permukaan yang dapat menetralkan atau mengikat polutan yang bermuatan positif (Cui et al., 2022; Jasim & Ajjam, 2024; Y. Liu et al., 2023). Berbagai penelitian tentang karbon aktif berhasil dilaporkan sebagai bahan adsorben yang dapat mengadsorpsi Ni^{2+} dengan efisiensi 61% hingga 99% (Choi et al., 2021; Maddodi et al., 2020). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang disintesis dilaporkan memiliki efisiensi 95% sebagai bahan adsorben pada polutan fosfat (Mitrogiannis et al., 2023). Seperti yang dilaporkan oleh ref. (Gong et al., 2024), kulit pisang digunakan sebagai bahan adsorben. Kulit pisang yang dikonversi menjadi AC berperan penting untuk sifat adsorpsi yang baik serta ramah lingkungan (Yanti et al., 2023), sedangkan berdasarkan ref. (Y. Li et al., 2024), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat meningkatkan luas permukaan material.

Hingga penelitian ini dilakukan, masih sedikit referensi yang melaporkan komposit AC/Ca(OH)₂ dengan menggunakan variasi sumber karbon dari kulit pisang matang dan kulit pisang mentah serta Ca(OH)₂ yang disintesis dari batu kapur sebagai bahan adsorben untuk menyerap polutan Ni²⁺. Oleh karena itu, pada penelitian ini, kami mensintesis material komposit AC₁/Ca(OH)₂ dan AC₂/Ca(OH)₂ untuk mengadsorpsi Ni²⁺. Morfologi biokomposit AC₁/Ca(OH)₂ dan AC₂/Ca(OH)₂ memiliki bentuk seperti marshmallow yang menutupi permukaan jamur tiram dan selada. Hasil XRD menunjukkan adanya pengurangan jarak antar bidang kristal yang meningkatkan selektivitas senyawa organik terhadap polutan, terdapat gugus -OH yang dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi polutan terak nikel dari larutan berair, selain itu, terdapat ikatan C=O yang dapat berinteraksi secara langsung dengan ion-ion polutan logam berat. Pada penelitian ini, *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk memonitoring proses adsorpsi. Kemudian, dengan dosis yang sama yaitu 0,5 g untuk AC₁/Ca(OH)₂ dan AC₂/Ca(OH)₂, efisiensi adsorpsi yang dihasilkan cukup baik yaitu mencapai 65,9% dan 63,4% dengan waktu kontak dalam larutan Ni²⁺ (10 g/L) selama 24 jam. Oleh karena itu, adsorben biokomposit AC₁/Ca(OH)₂ dan AC₂/Ca(OH)₂ menunjukkan adsorben yang unik dan memiliki potensi besar sebagai aplikasi untuk pemurnian air dari berbagai polutan.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis potensi material berbasis limbah kulit pisang dan batu kapur sebagai alternatif adsorben yang ramah lingkungan.
2. Mengidentifikasi karakteristik fisika dan kimia dari material adsorben alami.
3. Membandingkan pengaruh variasi karbon aktif dari kulit pisang matang dan kulit pisang muda terhadap sifat adsorpsi material.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Manfaat ilmiah

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan terkait mekanisme pembuatan material adsorben berbasis karbon aktif dari kulit pisang matang dan muda yang dikompositkan dengan Ca(OH)₂. Analisis kinerja adsorben dalam menyaring polutan memberikan wawasan baru mengenai efektivitas kombinasi bahan alami dalam pengolahan limbah slag nikel. Hasil karakterisasi dan evaluasi kinerja adsorben dapat menjadi referensi untuk penelitian lanjutan dalam bidang teknologi material, khususnya dalam aplikasi pengolahan limbah.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini menghadirkan solusi praktis untuk meningkatkan efisiensi pengolahan limbah cair industri dengan mengembangkan adsorben berbahan alami yang ramah lingkungan. Material yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghilangkan polutan, seperti logam berat dan zat pewarna dari limbah cair, sehingga berkontribusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan.

3. Manfaat Ekonomi dan Lingkungan

Pemanfaatan limbah kulit pisang dan batu kapur sebagai bahan baku utama menawarkan pendekatan yang ekonomis dan berkelanjutan. Metode ini tidak hanya

berkontribusi pada pengurangan limbah organik dan batuan yang terbuang, tetapi juga mendukung perkembangan industri kecil dan menengah dalam mengembangkan teknologi pengolahan limbah dengan biaya yang lebih efisien. Dengan langkah ini, kita juga berpotensi mendukung upaya konservasi lingkungan melalui pengurangan polusi dan peningkatan kualitas air.

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. Kulit pisang matang (*Musa paradisiaca formatypica*)
3. Kulit pisang muda (*Musa paradisiaca formatypica*)
4. Batu Kapur
5. *Aquadest*
6. Natrium Hidroksida (1 M)
7. Asam Asetat 5%
8. Asam klorida 5%

2.2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. *Furnace*
2. Oven
3. *Blender*
4. Cawan petri
5. Lumpang porselen
6. Ayakan 100 *mesh*
7. Ayakan 200 *mesh*
8. Gelas kimia
9. Gelas ukur
10. Corong
11. Kertas saring *whatman 42*
12. Cawan kursibel
13. Spatula
14. Timbangan digital
15. *Magnetic Stirrer*
16. Arduino Uno R3
17. NodeMCU ESP8266
18. Sensor kekeruhan
19. Sensor PH-4502C
20. Sensor DS18B20
21. FT-IR (*Fourier Transform Infrared*)

22.XRD (*X-Ray Diffraction*)

23.Spectrometer Uv-Vis

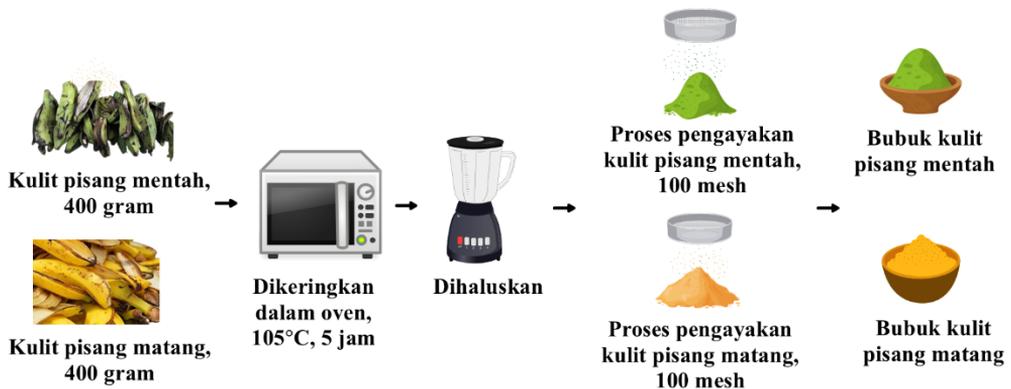
24.SEM (*Scanning Electron Microscope*)

25.AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*)

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Pembuatan bubuk kulit pisang

Kulit pisang matang dan kulit pisang mentah mengalami proses pembersihan untuk menghilangkan tanah atau residu organik menggunakan air suling. Setelah dibersihkan, kulit pisang matang dan kulit pisang mentah dikeringkan pada suhu 105°C menggunakan oven selama 5 jam untuk menghilangkan kelembaban yang tersisa. Selanjutnya, kulit pisang matang dan kulit pisang mentah yang telah kering digiling dan diayak dengan ukuran 100 *mesh*. Proses pembuatannya dapat dilihat pada **Gambar 1**.



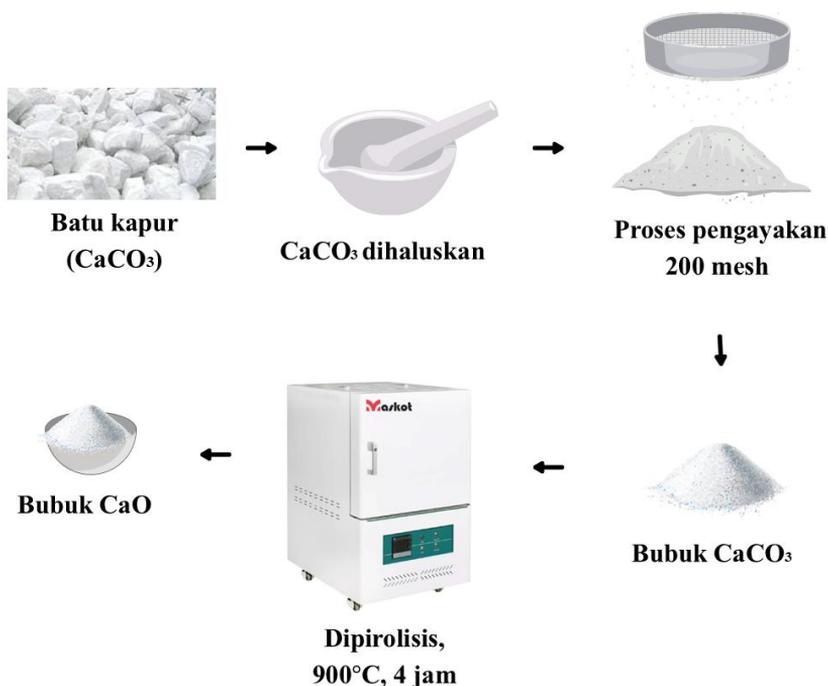
Gambar 1. Skema pembuatan bubuk kulit pisang.

2.3.2 Pembuatan CaO dari batu kapur

Batu kapur yang telah dikumpulkan, kemudian dihaluskan dengan menggunakan mortar dan diayak dengan ayakan 200 *mesh* untuk mendapatkan serbuk CaCO₃. Setelah itu, serbuk CaCO₃ tersebut di *furnace* pada suhu 900°C selama 4 jam untuk mendapatkan serbuk CaO. Proses tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**. Temperatur 800°C - 1000°C dapat memutus ikatan kimia CaCO₃ menjadi CaO (Silakhori et al., 2021).



CaCO₃ (kalsium karbonat) terurai menjadi CaO (kalsium oksida) dan CO₂ (karbon dioksida). CO₂ dilepaskan dalam bentuk gas, sedangkan CaO tetap sebagai padatan.



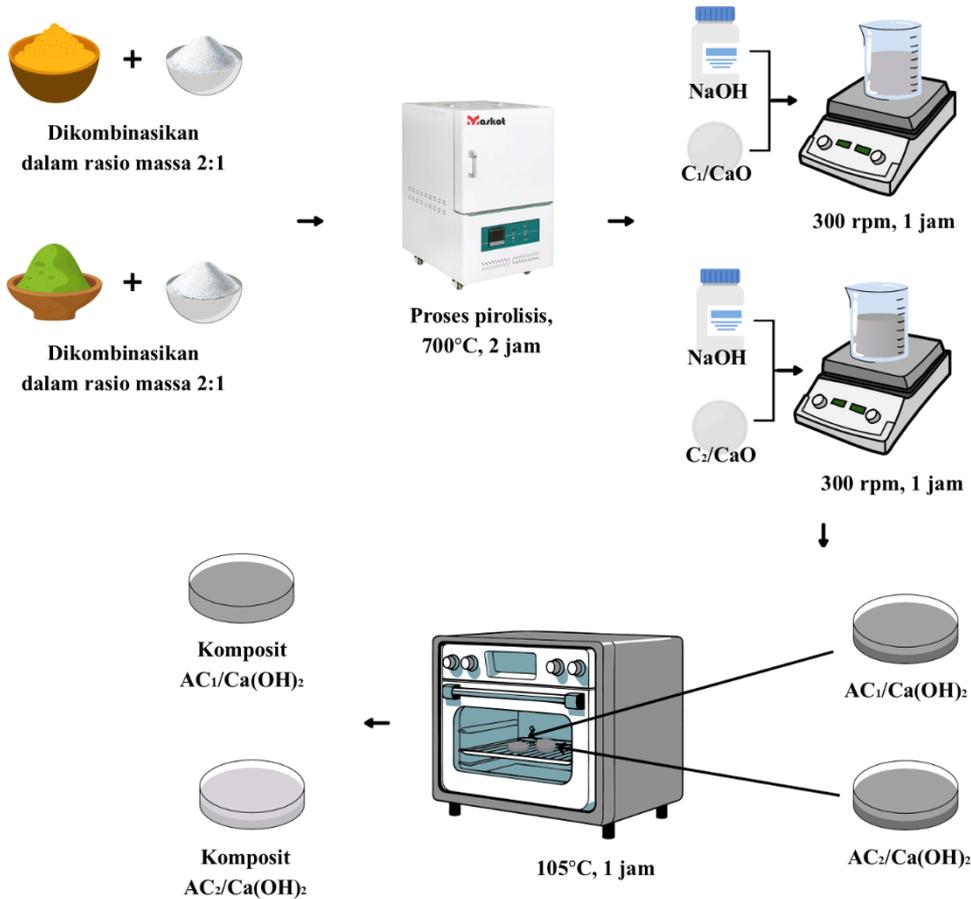
Gambar 2. Skema pembuatan bubuk CaO dari batu kapur.

2.3.3 Pembuatan biokomposit AC₁/Ca(OH)₂ dan AC₂/Ca(OH)₂

Kulit pisang matang dan CaO serta kulit pisang mentah dan CaO digabungkan dengan perbandingan massa 1:2. Campuran tersebut kemudian dipirolisis. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 700°C selama 2 jam. Pemilihan suhu pirolisis ini didasarkan pada penelitian sebelumnya (Devi & Rawat, 2021; Lobato-Peralta et al., 2024) yang menentukan bahwa 700°C merupakan suhu optimal untuk pembentukan Ca(OH). Setelah proses pirolisis, sampel yang dihasilkan diayak dengan ukuran 200 *mesh*. Komposit diaktivasi menggunakan NaOH, kemudian dinetralkan menggunakan larutan asam asetat 5% sehingga diperoleh bubuk komposit AC₁/Ca(OH)₂ dan AC₂/Ca(OH)₂. Proses pembuatan sampel dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dalam penelitian ini, kami telah mengidentifikasi material yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1. Sumber produksi sampel

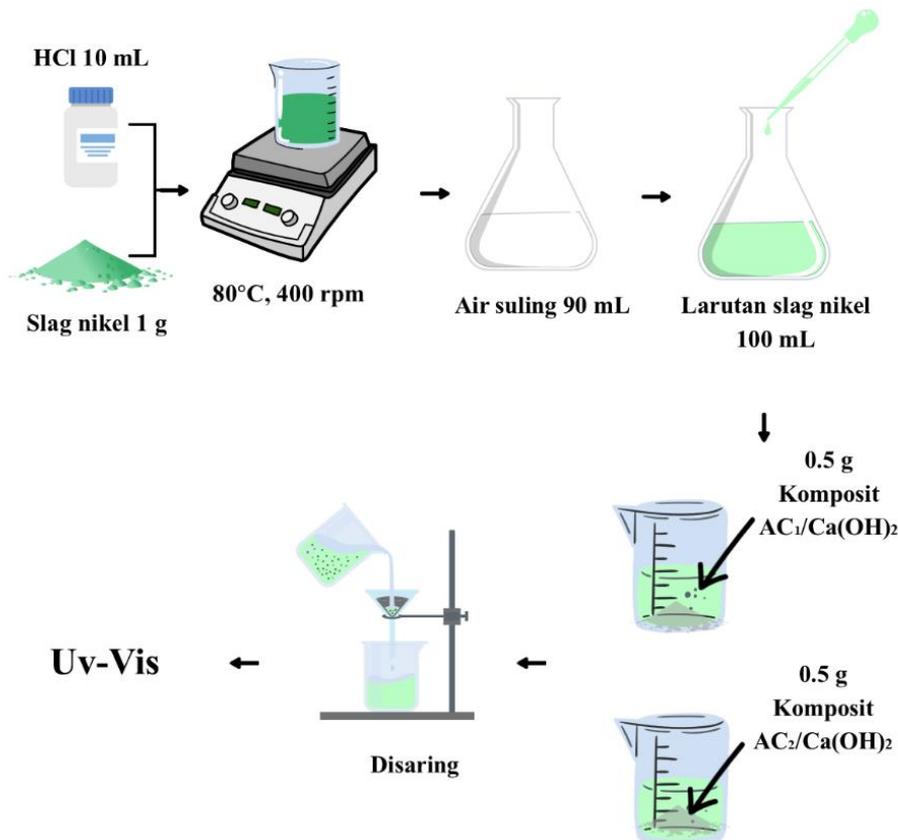
ID sampel	AC (gram)	Ca(OH) ₂ (gram)
AC ₁	2 (Kulit pisang matang)	0
AC ₂	2 (Kulit pisang mentah)	0
AC ₁ /Ca(OH) ₂	2	4
AC ₂ /Ca(OH) ₂	2	4



Gambar 3. Skema pembuatan biokomposit $AC_1/Ca(OH)_2$ dan $AC_2/Ca(OH)_2$.

2.3.4 Pembuatan polutan terak nikel

Padatan terak nikel diubah menjadi larutan dengan menggunakan HCl pekat, dengan menggunakan perbandingan 1:4 antara massa terak nikel dan volume HCl pekat. Proses ini melibatkan pengadukan menggunakan pengaduk magnetik dengan kecepatan 300 rpm selama 15 menit, untuk mempercepat reaksi pelarutan. Larutan tersebut kemudian dapat disaring untuk memisahkan padatan yang tidak terlarut, menghasilkan larutan HCl yang kaya akan komponen yang diekstraksi dari terak nikel. Percobaan ini menilai efisiensi penghilangan terak nikel dari biokomposit. Dalam percobaan ini, 500 mg biokomposit dicampur dengan 100 mL air limbah. Hal ini dilakukan untuk melihat kinerja adsorpsi biokomposit. Proses pembuatannya dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Skema pembuatan larutan terak nikel dan metode degradasinya.

2. 4 Pengamatan dan pengukuran

2.4.1 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM, Hitachi TM4000 Plus II) digunakan untuk karakterisasi struktur mikro 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 750 cm^{-1} sampai dengan 4000 cm^{-1} .

2.4.3 *X-Ray Diffraction (XRD)*

Struktur fasa material komposit ditentukan dengan menggunakan difraksi sinar-X (XRD, Shimadzu 7000). Rumus Scherrer digunakan untuk menemukan perkiraan ukuran rata-rata material (Syarifuddin et al., 2024).

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2)$$

Di mana D adalah ukuran kristalit, k adalah konstanta Scherrer (0,9), λ adalah panjang gelombang radiasi sinar-X (untuk Cu = 0,154 nm), θ adalah sudut difraksi, dan β adalah FWHM (*Full Width Half Maximum*). Jarak antar bidang kristal (*d-spacing*), mengikuti persamaan Bragg (Nasiri et al., 2023):

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3)$$

di mana n adalah orde difraksi, λ adalah panjang gelombang, d adalah jarak antar bidang, dan θ adalah sudut difraksi.

2.4.4 UV-Vis Spectroscopy

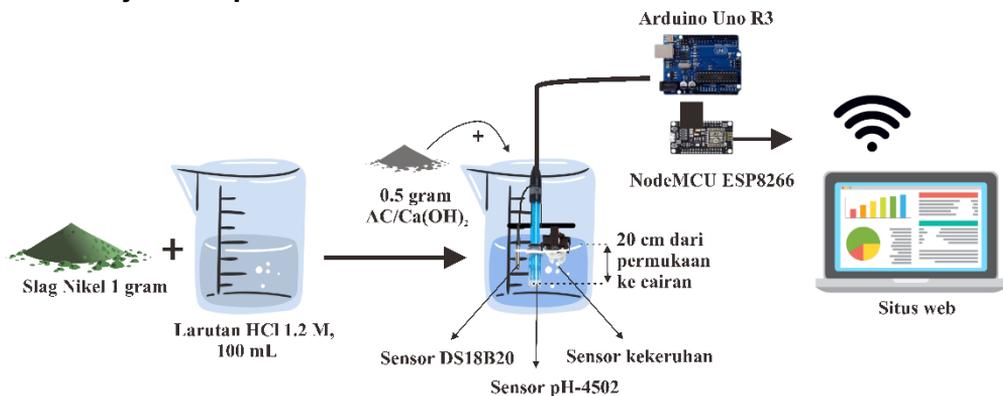
Pengujian UV-Vis Spectroscopy (UV-Vis Shimadzu 1800) bertujuan untuk mengetahui kemampuan sampel dalam mengadsorpsi polutan slag nikel. Persamaan berikut ini digunakan untuk menentukan efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi (Bassareh et al., 2023; Xing et al., 2024):

$$D (\%) = \frac{(C_1 - C_e)}{C_1} \times 100 \quad (4)$$

$$Q = \frac{(C_1 - C_e) \times V}{m} \quad (5)$$

D adalah efisiensi adsorpsi, C_1 dan C_e adalah konsentrasi awal dan akhir g/mL, V adalah volume larutan (L), m adalah massa adsorben (g), dan Q adalah kapasitas adsorpsi (mg/g).

2.4.5 Uji Adsorpsi



Gambar 5. Monitoring uji adsorpsi menggunakan IoT.

Sifat adsorpsi sampel diuji dengan mendegradasi terak nikel yang merupakan limbah dari proses peleburan nikel di Indonesia. Untuk uji adsorpsi, sekitar 0,5 g material komposit $AC_1/Ca(OH)_2$ dan $AC_2/Ca(OH)_2$ masing-masing dilarutkan dalam 100 mL larutan terak nikel (konsentrasi terak nikel 1 gram/100 mL) pada suhu kamar. Pengujian dilakukan selama 24 jam, kemudian dimonitor menggunakan (IoT). Sensor yang digunakan pada perangkat IoT, seperti DS18B20 adalah sensor untuk mengukur suhu, pH-4502C adalah sensor untuk mengukur pH cairan, yaitu tingkat keasaman atau kebasahan suatu larutan, sensor kekeruhan digunakan untuk

mengukur tingkat kekeruhan air, yang mencerminkan jumlah partikel tersuspensi dalam air, kemudian Arduino Uno R3 berfungsi untuk mengontrol dan membaca data dari sensor, NodeMCU merupakan mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul Wi-Fi berbasis ESP8266 yang digunakan untuk mengirimkan data sensor ke website untuk mengontrol perangkat dari jarak jauh melalui internet (Heryanto, 2025). Desain dan implementasi perangkat IoT untuk memantau proses adsorpsi secara *real-time* dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Pada penelitian penyerapan Ni^{2+} dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) Buck Scientific 205 Versi 3.94C. Sebanyak 500 mg AC_1 dan AC_2 yang telah ditambahkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dimasukkan ke dalam 100 mL larutan terak nikel 5000 ppm selama 24 jam tanpa pengaduk. Setelah itu, larutan disaring dengan kertas saring Whatman No. 42 dan diambil untuk diuji menggunakan AAS.

2.5 Pelaksanaan penelitian

