

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi nikel terbesar di dunia dalam bentuk nikel laterit yang melimpah (Permana et al., 2020). Sekitar 12% cadangan nikel di dunia terdapat di Indonesia dalam bentuk bijih nikel laterit (Hidayat et al., 2021). Hal tersebut berdasarkan jumlah cadangan sebanyak 1.576 juta ton laterit dari total sumber daya 3900 juta ton yang terdapat di Indonesia bagian timur seperti pulau Sulawesi, pulau Maluku, dan pulau Papua (Asrori et al., 2021). Salah satu produk proses ekstraksi bijih nikel laterit adalah paduan feronikel (FeNi) (Mubarok et al., 2016). Feronikel telah diproduksi oleh PT. Huadi *Nickel-Alloy* Indonesia melalui pabrik peleburannya di Bantaeng, Sulawesi Selatan sejak 2019. Kebutuhan nikel di masa mendatang diprediksi akan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan pembangunan infrastruktur dan produksi barang yang memerlukan bahan baku nikel di berbagai negara (Hidayat et al., 2021). Pesatnya perkembangan industri menunjukkan suatu kemajuan yang sangat berarti bagi perkembangan perekonomian bangsa Indonesia, dampak negatif yang bisa timbul akibat aktivitas industri adalah masalah limbah (Mangolo et al., 2021).

Industri pertambangan merupakan salah satu sektor ekonomi yang berperan penting dalam menyediakan bahan baku untuk berbagai kebutuhan manusia. Namun, pertambangan juga seringkali dihubungkan dengan masalah lingkungan, terutama terkait pengelolaan limbah berbahaya dan beracun (B3). Limbah B3 adalah limbah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun. Limbah ini dapat dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia seperti industri, rumah tangga, pertanian, dan kesehatan. Limbah B3 dapat mengandung zat-zat kimia berbahaya seperti logam berat, pestisida, obat-obatan, bahan kimia beracun, dan lain sebagainya. Salah satu industri penghasil limbah B3 di Indonesia adalah industri pertambangan ditunjukkan dengan jumlah limbah B3 yang terus bertambah setiap tahunnya menjadi sekitar 200 juta ton pada tahun 2020. Salah satu limbah B3 yang dihasilkan oleh industri pertambangan khususnya pertambangan nikel adalah *slag* nikel (Ressa et al., 2024).

Slag nikel merupakan produk samping dari produksi nikel dalam proses industri (Sartifa et al., 2022). *Slag* nikel merupakan sisa hasil pengolahan bijih nikel dari proses peleburan dan pemurnian feronikel yang telah didinginkan dan memiliki bentuk seperti butiran-butiran kecil (Rambu et al., 2021). *Slag* nikel tersusun atas beberapa senyawa kimia sebagai penyusunnya (Laratika, 2018). *Slag* hasil pengolahan bijih nikel ini banyak mengandung MgO, Fe₂O₃, CaO, Al₂O₃, Cr, Ni dan SiO₂ (Rambu et al., 2021). *Slag* peleburan FeNi mempunyai komponen utama berupa silikon, magnesium, dan besi dalam bentuk oksida dan silikat (Mubarok et al., 2016). Menurut Talantan (2016), *slag* nikel mengandung komposisi kimia yang terdiri atas 0,08% Fe, 50,13% SiO₂, 1,38% CaO, 30,08% MgO, 0,92% Cr, 2,71% Al₂O₃, dan 0,62% BC (Basi City). Komposisi tersebut menunjukkan bahwa senyawa silika (SiO₂) dan Magnesia (MgO) menjadi senyawa dominan penyusun *slag* nikel (Sartifa et al., 2022).

Slag nikel berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun termasuk kategori limbah bahan berbahaya dan beracun dari sumber spesifik khusus dengan kategori bahaya (Majalis et al., 2020, Maryudi et al., 2023). Mengacu pada PP 18/1999 dan PP 85/1999, *slag* nikel memiliki kandungan unsur yang termasuk dalam salah satu daftar pada lampiran III yang memuat tentang daftar pencemar dalam limbah yang bersifat kronis. Unsur yang dimaksud adalah nikel (Ni) dan kromium VI (Cr⁶⁺) (Mangolo et al., 2021). Namun, peraturan terbaru menjelaskan bahwa *slag* nikel merupakan suatu limbah padat non-B3 dengan kode limbah N102 (Dewanto et al., 2024) dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Deded Permadi Sjamsudin sebagai Direktur Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Pekerjaan Rakyat (PUPR) mengatakan bahwa *slag* nikel memiliki senyawa kimia yang mirip dengan senyawa kimia pada agregat alam yang umum digunakan sebagai material konstruksi. Aladin Sianipar sebagai perwakilan Asosiasi Perusahaan Pengolahan dan Pemurnian Indonesia (AP3I) juga menyebutkan beberapa contoh produk yang berbahan dasar *slag* nikel di antaranya adalah batako, beton pracetak dan siap cetak, *road base* dan lapangan, pembenah tanah, media tumbuh dan pupuk, mortar dan semen *slag*, semen *portland* komposit, serta geopolimer semen. Banyaknya pemanfaatan *slag* nikel yang dianggap masih bisa diolah dan diteliti sehingga dapat memberi nilai tambah dan dapat membantu produktivitas sektor industri membuat *slag* nikel ini dikecualikan dari limbah B3.

Pada tahun 2023, PT. Huadi *Nickel-Alloy* Indonesia melakukan penimbunan lautan pelabuhan dengan menggunakan *slag* limbah hasil olahan pabrik nikel. Penimbunan tersebut menimbulkan kekhawatiran khususnya masyarakat Bantaeng karena limbah *slag* yang digunakan merupakan limbah padat sisa hasil peleburan nikel, meskipun telah dikategorikan limbah non-B3, tetapi masih dianggap dapat menimbulkan resiko tinggi karena masih berpotensi mengandung berbagai jenis zat kimia didalamnya. Timbunan *slag* padat yang berasal dari proses peleburan dan pemurnian FeNi dapat mengganggu maupun mencemari lingkungan perairan, ketika *slag* nikel masuk ke air permukaan maka limbah *slag* tersebut dapat terlindi oleh *liquid*. Air lindian *slag* tersebut mengandung logam berat dalam bentuk ionnya yang dapat menimbulkan gangguan terhadap biotanah, tumbuhan serta menurunkan kualitas air (Rambu et al., 2021). Di negara Papua Nugini juga melakukan pembuangan limbah ke laut area penambangan yang dianggap efektif karena pengaruh dari iklim tropis (Tanjung et al., 2022).

Logam berat yang terkandung dalam *slag* nikel dapat menimbulkan dampak pada perairan berupa perubahan fisik (bau, warna, dan rasa) air, ekosistem, dan biota air (Bubala et al., 2019). *Slag* nikel pada dasarnya masih memiliki kandungan yang berharga di dalamnya (Prasetyo et al., 2021). Oleh karena itu, *slag* nikel yang dihasilkan akan menimbulkan masalah tersendiri jika tidak ditangani atau dimanfaatkan dengan benar karena dari segi jumlah cukup banyak dan laju pertumbuhannya meningkat seiring dengan laju produksi nikel yang dapat berpotensi

menimbulkan efek negatif sehingga berdampak buruk pada lingkungan dan kesehatan masyarakat. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan karakterisasi dan ekstraksi mengenai kadar logam Mg yang terdapat dalam *slag* nikel yang berasal dari hasil pertambangan PT. Huadi *Nickel-Alloy* Indonesia serta pengaruhnya terhadap lingkungan perairan.

1.2 Teori

1.2.1 *Slag* Nikel

Slag (ampas) merupakan limbah industri yang dihasilkan pada saat peleburan logam (Ressa et al., 2024). Feronikel yang mengandung nikel dan besi ini merupakan hasil pengolahan bijih nikel dengan kadar nikel paling rendah 1,8% serta kadar besi paling tinggi 25% yang melalui proses pirometalurgi, yaitu cara mengolah logam dengan menggunakan suhu tinggi. Reaksi reduksi terjadi pada elektroda panas, memisahkan logam cair dan terak (*slag*). Akibat reduksi, logam berada pada bagian bawah permukaan lelehan dan terak berada pada bagian atas permukaan lelehan. Hal tersebut karena berat jenis logam cair lebih tinggi (6,7 hingga 7) dibandingkan dengan terak (2,8 hingga 3). Selanjutnya logam yang sudah bersifat cair dikirim pada tahap berikutnya lalu *slag* yang dihasilkan akan dibuang. Pada proses mengolah bijih nikel, terutama pada peleburan dalam tungku listrik, produk utamanya adalah fasa *crude* dan produk sampingnya adalah *slag* (Hidayat et al., 2021).

Produksi FeNi di pabrik-pabrik di Indonesia umumnya dilakukan dengan beberapa tahap yang terdiri dari tahap pengeringan bijih dalam *rotary dryer*, kalsinasi dalam *rotary kiln*, peleburan dalam tanur listrik dan pemurnian. Pada proses peleburan kalsin dan reduksi oksida-oksida dalam kalsin di tanur listrik, dihasilkan lelehan FeNi (*crude* FeNi) dan terak (*slag*) (Mubarak et al., 2016). *Slag* adalah limbah hasil industri dalam proses peleburan logam. *Slag* berupa residu atau limbah yang berwujud gumpalan menyerupai logam, memiliki kualitas rendah karena bercampur dengan bahan-bahan lain yang susah untuk dipisahkan (Laratika, 2018). *Slag* adalah sisa atau bahan limbah yang menggumpal, seperti logam, yang mutunya rendah dikarenakan tercampur dengan material lain yang sulit dipisahkan. *Slag* terbentuk dari penggumpalan mineral kalium, silika, serta soda pada tahapan peleburan logam, atau melalui pelarutan mineral-mineral dari bahan wadah peleburan akibat proses pengolahan dengan suhu yang tinggi (Ressa et al., 2024).

Slag nikel merupakan salah satu limbah industri pengolahan bijih nikel yang berbentuk cairan panas yang didinginkan sehingga terbentuk batuan-batuan alam dengan komposisi ampas berpori dan ampas padat (Ressa et al., 2024). *Slag* Ni dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis tergantung pada bentuknya, yaitu *slag* Ni kelas tinggi, sedang, dan rendah. *Slag* Ni kelas tinggi diperoleh dalam bentuk pasir halus berwarna coklat tua dengan cara peleburan di konverter. *Slag* Ni kelas sedang dan rendah diperoleh melalui tungku pembakaran (*furnace*). *Slag* nikel dihasilkan dari proses peleburan nikel dimana residu atau ampas dari kegiatan tersebut yang kemudian mengalami pendinginan lalu membentuk sebuah padatan itulah yang kemudian disebut sebagai *slag* nikel (Marshus et al., 2019).

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *slag* nikel yang diperoleh dari PT. Huadi *Nickel-Alloy* Indonesia, HNO_3 65% (Merck), HCl 37% (Merck), H_2O_2 30% (Merck), $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (Merck), akuabides, air laut, kertas label, *tissue roll*, filter membran $0,45\ \mu\text{m}$, dan kertas saring Whatman No.42.

2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu botol polietilen, ayakan 125 mesh, sendok *stainless steel*, plastik klip, cawan porselin, tanur (*Barnstead Thermolyne* 6000), gegep, neraca analitik (*Ohaus Analytical Plus*), *hotplate*, *magnetic stirrer* (*Advantec SRS710AA* dan *multistirrer* 15 VELP), *magnetic bar*, *Simultaneous Thermal Analyzer* 8000 (STA) (PerkinElmer), *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) (Buck Scientific 205), oven (Spnisofd Gen Lab), *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX) (TESCAN VEGA), *Surface Area Analyzer* (SAA) (AMI-Micro), *grinder*, perangkat filtrasi vakum, dan peralatan gelas yang umum digunakan di laboratorium.

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni – Oktober 2024. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik serta Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Penghalusan sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia PNUP. Analisis SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Forensik Polda Sulawesi Selatan. Analisis SAA dilakukan di Laboratorium Kimia Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel *slag* (SNI 8910:2021). Preparasi sampel *slag* dilakukan dengan menghaluskan sampel yang telah kering kemudian diayak menggunakan ayakan ± 125 mesh. Setelah itu, sampel disiapkan untuk karakterisasi dengan menggunakan alat STA, SEM-EDX, SAA, dan analisis awal dan akhir untuk penentuan kadar Mg menggunakan AAS. Sampel *slag* ditimbang dengan teliti sebanyak 5 g menggunakan cawan porselin yang telah diketahui bobot kosongnya. Sampel *slag* diabukan dalam tanur pada suhu 600°C selama 2 jam lalu didinginkan. Sampel *slag* dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 mL, kemudian ditambahkan HNO_3 1:1 sebanyak 25 mL, dihomogenkan, dan dipanaskan pada suhu 95°C selama 10-15 menit, kemudian didinginkan. Setelah dingin, sampel sedimen ditambahkan 25 mL HNO_3 p.a kemudian sampel dipanaskan kembali pada suhu 95°C selama 30 menit. Jika terdapat asap coklat dan larutan masih keruh maka ditambahkan kembali 25 mL HNO_3 p.a dan diulangi pemanasan hingga larutan jernih atau asap

coklat hilang. Sampel dibiarkan menguap hingga volume 5 mL atau dapat dipanaskan kembali pada suhu 95°C. Setelah itu sampel didinginkan, kemudian ditambahkan akuabides sebanyak 10 mL dan H₂O₂ 30% sebanyak 15 mL. Sampel kemudian dipanaskan kembali pada suhu 95°C hingga busanya berkurang atau contoh uji tidak terjadi perubahan, kemudian dilanjutkan pemanasan hingga volume sampel $\pm$ 5 mL. Sampel selanjutnya ditambahkan 50 mL HCl 37%, kemudian dipanaskan pada suhu 95°C hingga volume larutan mencapai 5 mL dan didinginkan. Setelah dingin, sampel disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman no.42 ke dalam labu ukur 100 mL. Larutan sampel ditambahkan akuabides hingga tanda batas kemudian dihomogenkan. Larutan sampel sedimen siap dianalisis menggunakan AAS.

Preparasi sampel air laut. Preparasi sampel dimulai dengan menyaring air laut dengan menggunakan seperangkat alat vakum dengan ukuran filter membran sebesar 0,45 μ m. Sampel air laut diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan HNO₃ 0,5 M. Larutan sampel air siap dianalisis menggunakan AAS.

2.4.2 Pembuatan Larutan Baku Mg

Pembuatan larutan baku induk Mg 100 mg/L. Padatan magnesium nitrat (MgNO₃)₂ ditimbang dengan teliti sebanyak 0,1058 g ke dalam gelas kimia 50 mL, kemudian dilarutkan dengan akuabides dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dan dihomogenkan menggunakan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan. Larutan induk ini setara dengan 100 mg/L.

Pembuatan Larutan Baku Intermediet Mg 10 mg/L. Larutan baku intermediet Mg 10 mg/L, dibuat dengan cara memipet 10 mL larutan baku Mg 100 mg/L ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan dan dihomogenkan hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

Pembuatan Larutan Baku Kerja. Larutan baku kerja Mg pada variasi konsentrasi 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; dan 1,6 mg/L dibuat dengan memipet masing-masing 0,5; 1; 2; 4 dan 8 mL, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan HNO₃ 0,5 M. Diencerkan dan dihomogenkan menggunakan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.3 Pembuatan Larutan Blanko

Larutan HNO₃ 0,5 M sebanyak 2 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian larutan dihomogenkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.4 Pembuatan Larutan HCl

Pembuatan larutan HCl dilakukan untuk variasi konsentrasi yaitu 3, 5, 7, dan 9 M. Larutan HCl 9 M dibuat dengan cara memipet 186,5 mL larutan HCl 37% ke dalam labu ukur 250 mL, kemudian diencerkan dan dihomogenkan hingga tanda batas lalu dihomogenkan. Larutan HCl 7, 5, dan 3 M dibuat dengan cara memipet masing-masing 77,7; 55,5; dan 33,3 mL larutan HCl 9 M ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan dan dihomogenkan hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

2.4.5 Ekstraksi Slag

Ekstraksi dengan Variasi Waktu. Sampel *slag* diekstraksi dengan variasi waktu pengadukan yaitu 3, 6, 12, 18, dan 24 jam. Sampel ditimbang sebanyak 5 g ke dalam masing-masing gelas kimia, kemudian ditambahkan 50 mL larutan HCl 9 M. Selanjutnya, dilakukan pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 375 rpm. Setelah proses berakhir, dilakukan penyaringan untuk memisahkan filtrat dan residu. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui kandungan logam Mg yang berhasil terekstraksi.

Ekstraksi dengan Variasi Konsentrasi Asam. Sampel diekstraksi dengan variasi konsentrasi HCl yaitu 3, 5, 7, dan 9 M. Sampel ditimbang sebanyak 5 g ke dalam masing-masing gelas kimia, kemudian ditambahkan 50 mL larutan HCl. Selanjutnya, dilakukan pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 375 rpm. Setelah proses berakhir, dilakukan penyaringan untuk memisahkan filtrat dan residu. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui kandungan logam Mg yang berhasil terekstraksi.

Ekstraksi dengan Air Laut. Sampel ditimbang sebanyak 5 g ke dalam masing-masing gelas kimia, kemudian ditambahkan 50 mL air laut. Selanjutnya, dilakukan pengadukan selama 1 hari dan 1 minggu dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 375 rpm. Setelah proses berakhir, dilakukan penyaringan untuk memisahkan filtrat dan residu. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui kandungan logam Mg yang berhasil terekstraksi.

2.4.6 Analisis Mg dengan Atomic Absorption Spectroscopy

Analisis logam pada sampel berdasarkan prosedur SNI 8910:2021 dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), dimana lampu katoda sebagai sumber radiasi. Analisis logam Mg menggunakan campuran udara dan asetilena sebagai bahan bakar, dengan panjang gelombang 285,2 nm.

Sampel, deret standar, dan air laut diukur serapannya dengan menggunakan AAS. Penentuan konsentrasi logam dalam sampel dapat ditentukan menggunakan teknik kurva kalibrasi yang berupa garis linier sehingga diperoleh hubungan antara konsentrasi logam dari absorbansi yang terukur. Konsentrasi yang sebenarnya dari logam dalam sampel dapat ditentukan melalui perhitungan;

$$C = \frac{c \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times V \text{ (L)}}{g \text{ (Kg)}} \times fp \quad (1)$$

Keterangan:

C = konsentrasi sebenarnya (mg/kg)

c = konsentrasi dari hasil analisis AAS (mg/L)

V = volume sampel (L)

g = massa sampel (kg)

fp = faktor pengenceran