

SKRIPSI

**STUDI EKSTRAKSI MAGNESIUM DAN BESI DARI *NICKEL*
MATTE SLAG DENGAN MENGGUNAKAN
PELARUT ASAM SULFAT**

Disusun dan diajukan oleh:

**DIVA VARELIYA SUHARMAN
D111 19 1056**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI EKSTRAKSI MAGNESIUM DAN BESI DARI *NICKEL*
MATTE SLAG DENGAN MENGGUNAKAN
PELARUT ASAM SULFAT**

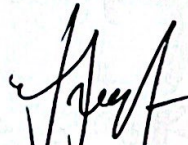
Disusun dan diajukan oleh

**DIVA VARELIYA SUHARMAN
D111 19 1056**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 19 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan


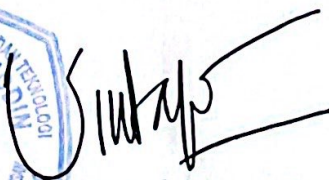
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.
NIP 196608172000121001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;
Nama : Diva Vareliya Suharman
NIM : D11191056
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi Ekstraksi Magnesium dan Besi Dari *Nickel Matte Slag* dengan
Menggunakan Pelarut Asam Sulfat.

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Divia Vareliya Suharman

ABSTRAK

DIVA VARELIYA SUHARMAN. *Studi Ekstraksi Magnesium dan Besi dari Nickel Matte Slag Dengan Menggunakan Pelarut Asam Sulfat (dibimbing oleh Sufriadin)*

Nickel matte slag merupakan limbah hasil dari proses peleburan bijih nikel laterit yang masih banyak mengandung unsur-unsur logam yang tinggi seperti magnesium, besi, dan silikon. Oleh karena itu, dilakukan penelitian pelindian magnesium dan besi dari *nickel matte slag* dengan metode atmospheric leaching menggunakan asam sulfat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia *nickel matte slag*, menganalisis perilaku mineral selama proses pelindian serta menganalisis tingkat pelindian magnesium dan besi. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode mikroskopis dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk analisis mineralogi serta metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk analisis kadar *nickel matte slag*. Percobaan pelindian menggunakan suhu, waktu, dan konsentrasi sebagai variabel penelitian. Hasil analisis mineralogi *nickel matte slag* menunjukkan komposisi mineral terdiri dari *forsterite*, *enstatite*, *magnesioferrite* dan *quartz*. Hasil analisis XRD residu menunjukkan bahwa mineral *enstatite* dan *magnesioferrite* tidak terdisolusi, sementara *forsterite* terdisolusi menjadi *magnesium sulfate* dan *silika amorf*. Hasil analisis AAS sampel awal menunjukkan kadar *nickel matte slag* mengandung Mg sebesar 20,09% dan Fe sebesar 24,93%. Tingkat pelindian maksimum Mg sebesar 41,37% dan Fe sebesar 9,33 % yang diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 6 M, suhu pelindian 90°C, dan waktu pelindian 120 menit.

Kata Kunci: *Nickel matte slag*, *Atmospheric Leaching*, Asam Sulfat, Laju Pelindian

ABSTRACT

DIVA VARELIYA SUHARMAN. *Study of Magnesium and Iron Extraction from Nickel Matte Slag Using Sulfuric Acid Solvent* (supervised by Sufriadin)

Nickel matte slag is a waste product from the smelting process of laterite nickel ore which still contains high levels of metal elements such as magnesium, iron and silicon. Therefore, research was carried out on leaching magnesium and iron from nickel matte slag using the atmospheric leaching method using sulfuric acid. This research aims to determine the mineralogical and chemical characteristics of nickel matte slag, analyze the behavior of minerals during the leaching process and analyze the level of leaching of magnesium and iron. The analytical methods used in this research are the microscopic method and X-Ray Diffraction (XRD) for mineralogical analysis and the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method for analyzing nickel matte slag content. The leaching experiment used temperature, time, and concentration as research variables. The results of mineralogical analysis of nickel matte slag show that the mineral composition consists of forsterite, enstatite, magnesioferrite and quartz. The results of the residual XRD analysis showed that the minerals enstatite and magnesioferrite were not dissolved, while olivine was dissolved into magnesium sulfate and amorphous silica. The results of the AAS analysis of the initial sample showed that the nickel matte slag contained 20.09% Mg and 24.93% Fe. The maximum leaching rate of Mg was 41.37% and Fe was 9.33% which was obtained at a H₂SO₄ concentration of 6 M, a leaching temperature of 90°C, and a leaching time of 120 minutes.

Keywords: Nickel matte slag, Atmospheric Leaching, Sulfuric Acid, Leaching Rate

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI..... | Error! Bookmark not defined. |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | Error! Bookmark not defined. |
| ABSTRAK | ii |
| ABSTRACT | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR TABEL..... | vii |
| DAFTAR LAMPIRAN | viii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 5 |
| 1.5 Ruang Lingkup..... | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| 2.1 Nikel..... | 6 |
| 2.2 Nikel Laterit | 7 |
| 2.3 Pengolahan Bijih Nikel Laterit | 8 |
| 2.4 Matte Slag | 15 |
| 2.5 Jenis-jenis Matte Slag | 18 |
| 2.6 Pelindian Matte Slag Menggunakan Asam Sulfat | 21 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 25 |
| 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel..... | 25 |
| 3.2 Variabel Penelitian..... | 25 |
| 3.3 Alat dan Bahan Penelitian..... | 26 |
| 3.3.1 Alat Penelitian | 27 |
| 3.3.2 Bahan Penelitian | 27 |
| 3.4 Teknik Pengumpulan Data Penelitian..... | 27 |
| BAB IV Hasil DAN PEMBAHASAN..... | 40 |
| 4.1 Karakterisasi Sampel <i>Nickel Matte Slag</i> | 40 |
| 4.1.1 Analisis Mikroskopis | 40 |
| 4.1.2 X-Ray Diffraction (XRD) | 41 |
| 4.1.3 X-Ray Fluorescence (XRF)..... | 42 |
| 4.1.4 <i>Atomic Absorption Spectrometer</i> (AAS)..... | 42 |
| 4.2 Hasil Pelindian <i>Nickel Matte Slag</i> | 42 |
| 4.2.1 Analisis Larutan Kaya (<i>Pregnant Solution</i>) | 43 |
| 4.2.2 Analisis Residu Pelindian | 44 |
| 4.2.3 Analisis Laju Pelindian..... | 46 |
| 5.1 Kesimpulan | 51 |
| 5.2 Saran..... | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA | 52 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1 Lapisan ideal laterit daerah tropis di alam dan pengolahannya (Prasetyo, 2016). | 9 |
| Gambar 2 Lokasi pengambilan sampel nickel matte slag di lokasi penambangan PT Vale Indonesia Tbk..... | 25 |
| Gambar 3 Proses reduksi ukuran sampel menggunakan <i>agate mortar</i> | 29 |
| Gambar 4 Proses pengayakan menggunakan ayakan 100 & 200 mesh..... | 29 |
| Gambar 5 Proses pengerigan sampel menggunakan oven | 30 |
| Gambar 6 Proses penimbangan sampel..... | 30 |
| Gambar 7 Proses pengenceran asam | 32 |
| Gambar 8 Proses persiapan percobaan pelindian..... | 33 |
| Gambar 9 Proses pelindian sampel <i>nickel matte slag</i> | 35 |
| Gambar 10 Proses penyaringan hasil pelindian | 35 |
| Gambar 11 <i>Pregnant solution</i> hasil pelindian..... | 36 |
| Gambar 12 Analisis menggunakan mikroskop Nikon Eclipse LV-100 POL | 37 |
| Gambar 13 XRD tipe shimadzu maxima-X XRD 7000..... | 37 |
| Gambar 14 AAS Buck Scientific 205 Version 3.94C..... | 38 |
| Gambar 15 Diagram alir penelitian..... | 39 |
| Gambar 16 Fotomikrografi sampel <i>nickel matte slag</i> yang menunjukkan mineral olivin (Olv) dan mineral kuarsa (Qz)..... | 40 |
| Gambar 17 Hasil analisis XRD sampel awal | 41 |
| Gambar 18 Hasil analisis AAS kadar magnesium dan besi hasil pelindian menggunakan H ₂ SO ₄ | 44 |
| Gambar 19 Perbandingan difraktogram sampel awal dan residu pelindian dari <i>nickel matte slag</i> dengan menggunakan pelarut H ₂ SO ₄ | 45 |
| Gambar 20 Grafik perbandingan tingkat pelindian Mg dan Fe berdasarkan konsentrasi asam (M) menggunakan pelarut H ₂ SO ₄ pada kondisi suhu 60°C dan waktu 30 menit | 48 |
| Gambar 21 Grafik perbandingan tingkat pelindian Mg dan Fe berdasarkan suhu (°C) menggunakan pelarut asam sulfat (H ₂ SO ₄)..... | 49 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1 Mineral-mineral pembawa nikel (Astuti, <i>et al.</i> , 2016)..... | 7 |
| Tabel 2 hasil pengenceran asam sulfat (H ₂ SO ₄) | 31 |
| Tabel 3 Nilai d mineral yang terdapat pada sampel awal | 41 |
| Tabel 4 Hasil analisis XRF sampel awal..... | 42 |
| Tabel 5 Hasil analisis AAS sampel awal | 42 |
| Tabel 6 Hasil analisis AAS kadar magnesium dan besi hasil pelindian menggunakan H ₂ SO ₄ | 43 |
| Tabel 7 Nilai d mineral yang terdapat pada sampel residu | 46 |
| Tabel 8 Perolehan magnesium dan laju pelindiannya pada proses pelindian menggunakan sulfat (H ₂ SO ₄) | 46 |
| Tabel 9 Perolehan besi dan laju pelindiannya pada proses pelindian menggunakan asam sulfat (H ₂ SO ₄) | 47 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 PENGECERAN ASAM SULFAT (H ₂ SO ₄)..... | 56 |
| Lampiran 2 Hasil <i>Analisis Atomic Absorption Spectrometer</i> (AAS)..... | 57 |
| Lampiran 3 Perhitungan Laju Pelindian | 61 |
| Lampiran 4 Hasil Analisis X-Ray Diffraction (XRD) | 66 |
| Lampiran 5 Hasil Analisis X-Ray Fluorescence (XRF) | 76 |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Ekstraksi Magnesium dan Besi Dari *Nickel Matte Slag* Menggunakan Pelarut Asam Sulfat” yang disusun sebagai salah satu syarat lulus Mata Kuliah Skripsi Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan saran, masukan, serta dukungan baik secara moril dan materil kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih banyak kepada PT Vale Indonesia yang telah menyuplai sampel yang digunakan dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih banyak kepada Bapak Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian sekaligus sebagai pembimbing utama. Terima kasih banyak kepada Ibu Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., M.T., M.BA, Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T., dan Bapak Akmal Saputno, S.T., M.T., selaku dosen penguji. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan beserta segenap dosen dan staf administrasi Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman IGNEOUS 2019, teman-teman Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian. Serta ucapan terima kasih banyak yang sedalam-dalamnya kepada Bapak Suharman Mahjuddin dan Ibu Nur Nilam selaku orang tua yang tiada henti-hentinya memberikan do'a dan dukungan dalam bentuk apapun sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan pengetahuan dan pengembangan wawasan khususnya mengenai analisis laju pelindian logam dari *nickel matte slag* dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan pelarut asam sulfat pada industri pengolahan dan pemurnian bahan galian.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penambangan mineral menjadi salah satu sektor penting bagi perkembangan ekonomi sebuah negara. Dalam proses pengolahan mineral, terdapat banyak limbah hasil dari proses pengolahan tersebut. Matte slag merupakan bahan limbah yang tidak dapat terurai oleh alam sehingga perlu dilakukan proses pengolahan agar limbah tersebut tidak merusak lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pengolahan untuk memisahkan unsur-unsur yang terkandung dalam matte slag agar dapat dimanfaatkan kembali.

Matte slag adalah sisa dari pengolahan bijih sulfida dengan cara peleburan. Matte slag masih mengandung berbagai macam unsur terutama, besi dan magnesium dalam bentuk silikat. Salah satu logam yang terdapat dalam matte slag adalah magnesium, yang merupakan salah satu logam yang paling penting dalam industri. Besi juga merupakan logam yang penting karena digunakan dalam produksi baja dan bahan bangunan. Oleh karena itu, ekstraksi magnesium dan besi dari matte slag menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi limbah.

Kegunaan magnesium sangat relevan dengan potensi ekstraksi magnesium dari nikel matte slag. Magnesium memiliki sifat-sifat yang membuatnya berharga dalam berbagai industri. Salah satu kegunaan utama magnesium adalah sebagai material struktural yang ringan namun kuat. Dalam industri otomotif, penggunaan magnesium dalam komponen mobil dapat mengurangi bobot kendaraan, meningkatkan efisiensi bahan bakar, dan mengurangi emisi karbon. Selain itu, magnesium juga digunakan dalam industri penerbangan untuk komponen struktural pesawat terbang yang ringan namun tahan terhadap kekuatan dan tekanan yang ekstrem. Dalam industri konstruksi, magnesium juga dapat digunakan untuk struktur bangunan yang memerlukan kekuatan tinggi dan ringan, seperti jembatan dan struktur atap (Buxton & Shaw, 1996).

Sementara itu, besi juga memiliki berbagai macam aplikasi penting. Logam ini paling banyak digunakan di dalam dunia industri. Ekstraksi besi dari nikel matte

slag menjadi alternatif dalam memenuhi permintaan yang terus meningkat. Besi memiliki kekuatan yang tinggi, daya tahan korosi yang baik, dan kemampuan untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran. Dalam industri konstruksi, besi digunakan sebagai bahan struktur bangunan, jembatan, dan infrastruktur lainnya. Dalam industri otomotif, besi digunakan dalam pembuatan mesin, rangka kendaraan, dan komponen lainnya. Selain itu, besi juga digunakan dalam produksi baja, yang merupakan bahan dasar penting dalam banyak industri dan aplikasi, termasuk otomotif, konstruksi, dan manufaktur (Jain & Agrawal, 2019).

Metode ekstraksi logam dari matte slag telah dikembangkan selama beberapa dekade, dengan menggunakan pelarut yang berbeda. Salah satu pelarut yang paling umum digunakan adalah ekstraksi dengan menggunakan pelarut asam sulfat. Pelarut asam sulfat dapat mengubah oksida atau sulfida logam dalam matte slag menjadi bentuk yang lebih mudah larut. Selain itu, pelarut asam sulfat juga dapat menghasilkan residu yang kurang beracun jika dibandingkan dengan pelarut lainnya. Metode ekstraksi logam dari matte slag dengan pelarut asam sulfat biasanya melibatkan beberapa tahapan, termasuk perlakuan, pelindian, dan presipitasi. Tahapan pra perlakuan biasanya melibatkan penggilingan, pengeringan, dan pengayakan untuk memperkecil ukuran partikel dan meningkatkan area permukaan. Proses ini memungkinkan pelarut asam sulfat dapat meresap ke dalam struktur kristal dan meningkatkan efisiensi ekstraksi. Tahap ekstraksi adalah tahap utama dalam proses ekstraksi logam dari matte slag (Ma et al., 2018).

Pada tahap pemurnian, logam yang larut dalam pelarut asam sulfat dipisahkan dari residu dan pengotor lainnya. Salah satu cara yang umum digunakan untuk pemurnian adalah proses presipitasi dengan menggunakan alkali atau sulfat. Proses ini melibatkan pengendapan logam yang dilarutkan dalam pelarut dengan menambahkan larutan alkali atau sulfat. Logam yang diendapkan kemudian dipisahkan dari larutan dan dikeringkan untuk mendapatkan logam dalam bentuk padat. Beberapa parameter proses dapat mempengaruhi efisiensi ekstraksi, seperti konsentrasi asam sulfat, suhu, waktu reaksi, dan rasio pelarut terhadap bahan. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa konsentrasi asam sulfat 2 M untuk mengekstraksi magnesium dari *nickel slag* menghasilkan efisiensi sebesar 89,2% pada suhu 40°C selama 60 menit dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi

magnesium (Lu et al., 2020). Namun, penelitian lain menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu terhadap bahan dapat mengurangi efisiensi ekstraksi dimana hasilnya menunjukkan bahwa ekstraksi magnesium mencapai efisiensi 85,3% pada suhu 80°C selama 3 jam (Zhang et al., 2018). Dalam penelitian ini, pelarut asam sulfat digunakan untuk mengekstraksi magnesium dan besi dari matte slag secara bersamaan. Selain itu, parameter proses seperti konsentrasi asam sulfat, suhu, waktu reaksi, dan rasio pelarut terhadap bahan juga akan dipelajari untuk menentukan kondisi yang optimal untuk ekstraksi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu meningkatkan efisiensi dan mengurangi limbah dalam produksi logam dari *nickel matte slag*.

Ekstraksi magnesium dan besi dari *nickel matte slag* akan memberikan manfaat yang signifikan, baik dari segi ekonomi maupun lingkungan. Dengan mendaur ulang magnesium dan besi yang terkandung dalam limbah industri ini, kita dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam yang terbatas dan mengurangi dampak lingkungan dari ekstraksi logam baru. Selain itu, magnesium dan besi yang diekstraksi dapat dimanfaatkan kembali dalam berbagai industri. Penggunaan kembali magnesium dan besi ini dapat mengurangi kebutuhan akan sumber daya baru dan membantu menciptakan ekonomi sirkular yang lebih berkelanjutan.

Disolusi merupakan proses di mana logam-logam tertentu larut dalam pelarut kimia tertentu. Proses ini merupakan langkah awal yang penting dalam banyak metode ekstraksi logam, baik itu ekstraksi hidrometalurgi maupun pirometalurgi. Meskipun disolusi merupakan langkah penting dalam ekstraksi logam, ada beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah kemampuan pelarut dalam melarutkan logam dari bijih. Beberapa bijih mungkin memiliki kadar logam yang sangat rendah, sehingga disolusi mungkin memerlukan waktu yang lama atau tidak ekonomis. Selain itu, ada juga masalah terkait dengan limbah dan dampak lingkungan dari penggunaan pelarut kimia dalam proses disolusi. Oleh karena itu, pengembangan metode ekstraksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan terus menjadi fokus penelitian dalam industri ekstraksi logam. Dengan demikian, penggunaan pelarut kimia adalah salah satu aspek utama dalam proses disolusi dalam ekstraksi logam. Pemilihan pelarut yang tepat sangat penting

karena akan mempengaruhi efisiensi proses dan hasil akhirnya. Beberapa pelarut yang umum digunakan dalam ekstraksi logam meliputi asam sulfat, asam klorida, asam nitrat, dan pelarut organik tertentu. Penggunaan pelarut yang tepat akan memungkinkan logam-logam tertentu larut dalam jumlah yang signifikan, sementara mineral-mineral pengotor tetap stabil atau sedikit larut dalam pelarut tersebut (Gupta & Mukherjee, 2011).

Dengan demikian, penelitian tentang ekstraksi magnesium dan besi dari nikel matte slag menggunakan pelarut asam sulfat memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan industri dan lingkungan. Dengan memahami dan mengoptimalkan proses ekstraksi, sehingga dapat memanfaatkan potensi magnesium dan besi yang terkandung dalam limbah *nickel matte slag* secara efisien dan berkelanjutan. Hal ini akan membantu meningkatkan keberlanjutan industri peleburan logam, mengurangi dampak lingkungan, dan memperluas penggunaan magnesium dan besi dalam berbagai aplikasi industri.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana karakteristik mineralogi dan kimia sampel *nickel matte slag*.
2. Bagaimana disolusi mineral selama proses pelindian *nickel matte slag* menggunakan pelarut asam sulfat (H_2SO_4).
3. Bagaimana pengaruh variabel konsentrasi asam sulfat, waktu, dan suhu terhadap tingkat perolehan (*recovery*) magnesium dan besi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia sampel *nickel matte slag*.
2. Menganalisis disolusi mineral dari residu hasil pelindian *nickel matte slag* menggunakan pelarut asam sulfat (H_2SO_4)
3. Menganalisis pengaruh variabel konsentrasi asam sulfat, waktu, dan suhu terhadap tingkat perolehan (*recovery*) magnesium dan besi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk memberikan informasi mengenai alternatif lain dalam pengolahan dan ekstraksi magnesium dan besi kadar rendah yang berasal dari *nickel matte slag* sehingga dapat diolah dan diekstraksi secara efektif.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan di *Laboatoratory Based Education (LBE)* Analisis dan Pengolahan Bahan Galian Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Penelitian ini dilakukan untuk mengestraksi magnesium dan besindari *nickel matte slag* yang berasal dari PT Vale Indonesia Tbk menggunakan metode *atmospheric leaching*. Penelitian yang dilakukan ini dibatasi dengan analisis laju ekstraksi hanya mencakup pada logam magnesiumm dan besi sehingga keberadaan unsur-unsur lain tidak diperhitungkan atau diabaikan, kondisi suhu yang digunakan dalam proses pelindian adalah 60°C, 70°C, 80°C dan 90°C, variasi waktu yang digunakan dalam proses pelindian adalah 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit, serta pelindian dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat dengan variasi konsentrasi, yaitu: 1 M, 2 M, 4 M, dan 6 M.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel merupakan unsur kimia logam dengan nomor atom 28 dan berat atom 58,6934. Nikel merupakan logam fasa padat dengan massa jenis sekitar $8,902 \text{ g/cm}^3$ pada suhu $19,85^\circ\text{C}$ serta konduktivitas elektrik sebesar 22%. Titik lebur nikel berada pada suhu 1453°C dan setelah melebur akan berubah menjadi fasa cair dengan titik didih sebesar 2732°C . Struktur kristal dari mineral nikel adalah kubus berpusat muka dengan kekerasan 3,8 Mohs (Arif, 2018).

Nikel sangat baik dalam menyerap hidrogen dan penyerapan hidrogen meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Bahkan pada suhu kamar oklusi yang cukup besar pada hidrogen dapat diamati ketika ion hidrogen dibuang pada elektroda nikel berpori. Ikatan nikel dapat diputus dengan tekanan dan suhu dengan pembentukan oksida dan hidrogen. Nikel bersifat elektropositif sama halnya dengan kobal. Nikel dapat larut pada asam yang memiliki konsentrasi rendah dan relatif lebih lambat dibandingkan dengan besi. Sifat nikel yang terkenal adalah daya tahannya terhadap alkali pekat (Astuti, *et. al.*, 2016).

Nikel merupakan logam yang penting dalam infrastruktur dan teknologi dengan penggunaan utama untuk pembuatan stainless steel sebanyak 58%. Stainless steel merupakan bahan berbasis besi yang mengandung kromium sekitar 10,5% dan dilapisi dengan nikel. Penggunaan stainless steel digunakan untuk berbagai macam kebutuhan seperti peralatan proses industri, peralatan pembangkit listrik, peralatan transportasi, peralatan dapur dan masih banyak lagi pemanfaatannya pada peralatan yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan korosi (Anyadike, 2002). Nikel juga dimanfaatkan untuk nikel *alloy* sebesar 14%, *casting* dan *alloy steel* sebesar 9%, *electroplating* sebesar 9% dan baterai yang dapat diisi ulang sebesar 5% (Al-khirsch, 2015).

Ada banyak mineral yang berikatan dengan nikel, meskipun beberapa di antaranya sangat langka. Nikel dapat menggantikan elemen lain, terutama besi dan kobal dalam banyak mineral. Mineral yang berikatan dengan nikel dan memiliki nilai ekonomis terdiri dari dua jenis endapan yaitu endapan sulfida dan laterit.

Penlandit adalah mineral sulfida pembawa nikel yang paling umum di endapan sulfida. Mineral utama yang mengandung nikel di laterit adalah garnierit (Astuti, *et. al.*, 2016). Pada Tabel 1 dapat dilihat mineral-mineral pembawa nikel.

Tabel 1 Mineral-mineral pembawa nikel (Astuti, *et. al.*, 2016).

| No | Nama Mineral | Kelompok Mineral | Rumus Kimia | Keterdapatan |
|----|--------------|---------------------------|--|--|
| 1 | Penlandit | Sulfida | $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$ | Dalam intrusi mafik atau fase remobilisasi setelah metamorfisme |
| 2 | Garnierit | Hidro-silikat (serpentin) | $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ | Terdapat di laterit dari pelapukan batuan ultrabasa. |
| 3 | Millerit | Sulfida | NiS | Intrusi mafik di mana metasomatisme telah meremobilisasi Ni dan S dari penlandit; juga dari metamorphosis pada olivin. |
| 4 | Goetit | Oksida terhidrasi | $(\text{Fe,Ni})\text{O}(\text{OH})$ | Terdapat di laterit dari pelapukan batuan ultrabasa. |
| 5 | Siegenit | Sulfida | $(\text{Ni,Co})_3\text{S}_4$ | Vein pada hidrotermal |

2.2 Nikel Laterit

Laterit merupakan produk sisa pelapukan kimia dari batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer tidak stabil dengan adanya air, sehingga mineral tersebut larut atau rusak dan mineral baru yang lebih stabil terhadap lingkungan terbentuk. Contoh terkenal dari endapan bijih laterit yang penting adalah alumunium bauksit dan endapan bijih besi yang diperkaya, tetapi contoh yang kurang dikenal termasuk endapan emas laterit (misalnya Boddington di Australia Barat) (Elias, 2002).

Nikel laterit adalah produk laterisasi batuan kaya Mg dan ultramafik yang memiliki kandungan Ni primer 0,2-0,4%. Batuan seperti ini umumnya dunit, *harzburgite* dan peridotit yang berada di kompleks ofiolit, dan lapisan batuan intrusi mafik-ultramafik dalam pengaturan platform kratonik. Proses lateritisasi menghasilkan konsentrasi dengan faktor 3 sampai 30 kali nikel dan kandungan

kobalt batuan induk. Proses dan karakter laterit yang dihasilkan dikendalikan pada skala regional dan lokal oleh interaksi dinamis faktor-faktor seperti iklim, topografi, tektonik, jenis dan struktur batuan primer. Sebagian besar sumber daya nikel laterit terbentuk sekitar 22 derajat garis lintang di kedua sisi khatulistiwa dan dalam beberapa kasus kadar tertinggi, terkonsentrasi di zona tumbukan lempeng yang aktif secara tektonik (misalnya Indonesia, Filipina, dan Kaledonia Baru) di mana lembaran ofiolit obduksi yang luas terpapar pelapukan kimia agresif di daerah tropis kondisi curah hujan tinggi dan suhu hangat, dan ada peluang terbesar untuk pengayaan supergen (Elias, 2002).

Berdasarkan zonasinya, endapan nikel laterit terbagi menjadi tiga, yaitu (Elias, 2002):

1. *Zona Bedrock*

Lapisan ini merupakan lapisan terendah mencerminkan tahap awal pelapukan batuan dasar (*Bedrock*). Lapisan ini mengandung 5% Fe, 34-45% MgO, 0,3% Ni, dan 0,01% Co.

2. *Lapisan Saprolite*

Pada lapisan ini, pelapukan terjadi pada kontak antara mineral dan pada batas rekahan dan terdapat banyak batuan segar dan sedikit produk alterasi. Lebih jauh ke atas profil, proporsi mineral primer yang bertahan berkurang, dan zona rekahan yang lebih kuat sepenuhnya diubah akhirnya meninggalkan batu-batu terpisah dari batuan dasar utuh mengambang dalam campuran mineral primer dan alterasi di mana struktur batuan primer dipertahankan. Lapisan ini mengandung 10-25% Fe, 15-35% MgO, 1,5-3% Ni, dan 0,02-0,1% Co.

3. *Lapisan Limonite*

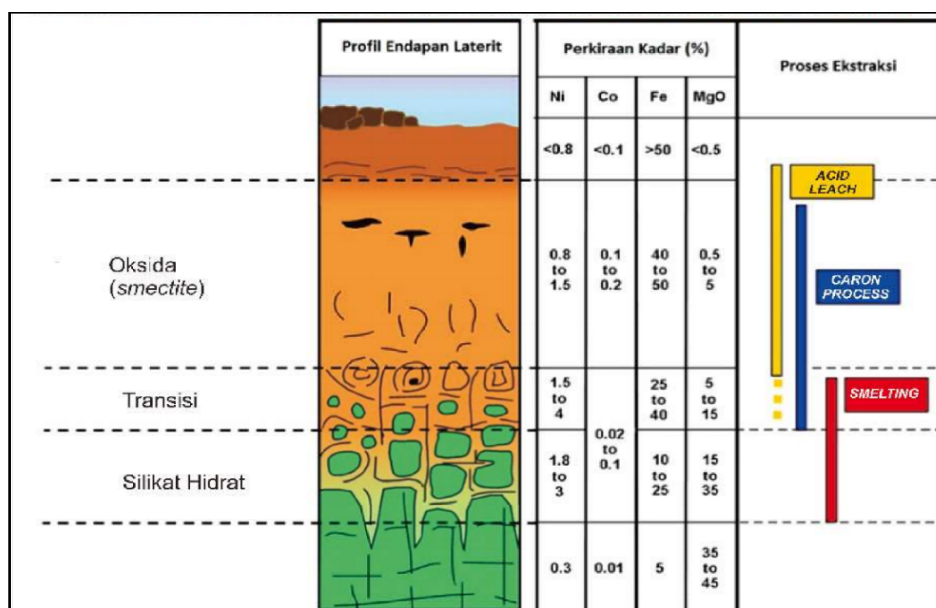
Lapisan ini juga disebut pedolit tetapi istilah ini jarang digunakan dalam praktik. Lapisan ini didominasi oleh goetit dan hematit dalam bentuk oksida laterit.

2.3 Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Pengolahan bijih nikel laterit untuk mendapatkan logam nikel dapat dilakukan melalui dua proses ekstraksi yaitu proses hidrometalurgi dan pirometalurgi. Proses

hidrometalurgi cocok digunakan untuk mengolah bijih limonit sedangkan proses pirometalurgi cocok untuk mengolah bijih saprolit dikarenakan komposisi mineral dan kimia zona saprolit lebih heterogen dibandingkan dengan zona limonit sehingga memerlukan pengolahan yang fleksibel. Selain itu kandungan Mg yang tinggi pada zona saprolit mengakibatkan konsumsi asam yang tinggi jika menggunakan proses hidrometalurgi (Elias, 2002).

Metode pengolahan bijih nikel laterit yang saat ini digunakan dalam skala komersial untuk mengekstraksi nikel dari laterit terdiri dari tiga, yaitu peleburan (*smelting*), *caron process*, dan *acid leaching* (*High pressure acid leaching* /HPAL). Karena perbedaan dalam komposisi kimia dan komposisi mineralogi pada setiap zona laterit maka pengolahan bijih nikel laterit pada masing-masing profil akan berbeda (Prasetyo, 2016). Secara ideal endapan laterit di alam dari daerah tropis dan proses pengolahannya, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lapisan ideal laterit daerah tropis di alam dan pengolahannya (Prasetyo, 2016).

Ada dua jalur proses pengolahan laterit untuk memasok kebutuhan nikel dunia, yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Adapun diagram alir proses pengolahan laterit yang sudah komersial dengan jalur pirometalurgi dan hidrometalurgi.

Pirometalurgi digunakan untuk mengolah saprolit berkadar nikel tinggi ($Ni \geq 1,8\%$ di Indonesia) untuk memproduksi FeNi seperti produksi PT Aneka

Tambang di Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Atau untuk memproduksi Ni-matte seperti produksi PT Vale Indonesia di Sorowako, Sulawesi Tenggara. Secara global sebagian besar proses pirometalurgi digunakan untuk memproduksi FeNi. Selanjutnya FeNi digunakan untuk membuat baja tahan karat atau *stainless steel* (SS). Hidrometalurgi digunakan untuk mengolah laterit kadar rendah yang terdiri dari limonit dan saprolit kadar rendah dengan kandungan Ni < 1,8 % (di Indonesia). Pada umumnya proses *Caron* digunakan untuk mengolah serpentin (saprolit kadar rendah) guna memproduksi NiO (*nickel oxide*). Sedangkan proses HPAL/PAL (*High Pressure Acid Leaching/Pressure Acid Leaching*) untuk mengolah limonit guna memproduksi NiS (*nickel sulfide*) (Prasetyo, 2016).

2.3.1 Proses Pirometalurgi

Pirometalurgi menggunakan suhu tinggi untuk melakukan peleburan dan pemurnian untuk mengekstrak logam dari mineral. Metode pirometalurgi umumnya digunakan untuk memproses bijih kadar tinggi. Ekstraksi pirometalurgi melibatkan beberapa proses seperti pemanggangan, reduksi karbotermik, reduksi bijih sulfida, dan reduksi metalotermi (Kyle, 2010). Proses pirometalurgi bijih laterit secara komersial saat ini secara garis besar terdiri atas :

1. *Rotary kiln electric furnace* (RKEF)

Proses RKEF banyak digunakan untuk menghasilkan feronikel dan *nikel-matte*. Proses ini diawali dengan pengeringan kandungan *moisture* hingga 45% melalui proses *pretreatment*. Pada proses tersebut, bijih laterit dikeringkan dengan *rotary dryer* pada temperatur 250°C hingga kandungan *moisture*-nya mencapai 15-20%. Produk dari *rotary dryer* selanjutnya masuk ke tahap kalsinasi (prereduksi) menggunakan *rotary kiln* pada suhu 800-900°C. Adapun reaksi yang berlangsung di *rotary kiln*, yaitu evaporasi dari air, disosiasi dari mineral-mineral pada temperatur 700°C menjadi oksida-oksida dan uap air, reduksi dari nikel oksida dan besi oksida gas reduktor pada temperatur sekitar 800°C. Hasil proses kalsinasi kemudian dilebur di dalam *electric furnace* pada temperatur 1500-1600°C menghasilkan feronikel. Pada *electric furnace* terjadi pemisahan feronikel dari terak silika-magnesia, terjadi Reduksi nikel oksida dan besi oksida kalsin menjadi nikel logam, dan pelelehan dan pelarutan nikel dalam

feronikel. Proses ini yang paling umum digunakan dalam industri pirometalurgi nikel saat ini karena tahapan proses dianggap lebih sederhana dan dapat diaplikasikan terhadap bijih dari berbagai lokasi. Walaupun pada kenyataannya konsumsi energi sangat tinggi dan hanya lebih rendah dari proses Caron.

2. *Nippon Yakin Oheyama Process*

Nippon Yakin Oheyama Process merupakan proses reduksi langsung *garnierite ore* yang menghasilkan feronikel dalam suatu *rotary kiln*. *Silicate ore* (2,3-2,6% Ni, 12-15% Fe) bersama antrasit, *coke breeze*, dan batu kapur dicampur dan dibuat menjadi briket. Briket tersebut kemudian diumpankan ke dalam *rotary kiln* yang menggunakan pembakaran batu-bara dengan gradien temperatur 700- 1300°C. Dalam *rotary kiln* tersebut, briket akan mengalami proses pengeringan, dehidratasi, reduksi, dan dilebur membentuk feronikel yang disebut luppen. Hasil proses tersebut kemudian didinginkan cepat dalam air (*quenching*), dan luppen yang berukuran 2-3 mm dengan *grade* 22% Ni dan 0.45% Co dipisahkan dari teraknya melalui proses *grinding*, *screening*, *jigging*, dan *magnetic separation*. *Recovery* awal melalui proses ini hanya berkisar 80% diakibatkan tingginya kandungan pengotor dalam bijih yang sulit dipisahkan dengan *rotary kiln*. Proses ini mempunyai energi yang relatif rendah dibandingkan dengan pembuatan feronikel menggunakan ELKEM proses karena tidak dibutuhkan energi yang tinggi pada proses pemisahan feronikel dari pengotornya. Beberapa hal yang kritis dari proses ini yaitu masalah kontrol *moisture* briket yang sangat ketat karena menentukan reduksibilitas dan penggunaan antrasit yang relatif mahal dan kemungkinan ketersediannya semakin menurun.

3. *Nickel Pig Iron (NPI)*

Nickel Pig Iron diproduksi di china mulai tahun 2006 untuk menjawab tingginya harga dan permintaan nikel. *Nickel Pig Iron (NPI)* merupakan *ferronickel* yang memiliki kadar nikel yang rendah (1,5-8%). Pembuatan NPI dilakukan dengan *mini blast furnace* dan *electric arc furnace (EF)*. Proses produksi NPI pada *mini blast furnace* menggunakan kokas sebagai

reduktor dan sumber energi. Karbon akan mereduksi besi sehingga kandungan FeO di dalam terak akan sangat kecil. Pada proses ini juga ditambahkan bahan imbuh berupa *limestone* untuk mengatasi temperatur leleh terak tinggi akibat rendahnya kandungan FeO dan tingginya kadar silika dan magnesia di dalam terak. NPI ini disebut sebagai *dirty nickel* karena akan menghasilkan *slag* yang banyak, konsumsi energi yang tinggi, polusi lingkungan dan menghasilkan produk dengan kualitas rendah. Tetapi bagaimanapun produksi NPI akan tetap menjadi sesuatu yang ekonomis selama harga nikel relatif tinggi. Proses produksi NPI yang lain yaitu menggunakan *electric furnace*. Dengan peningkatan kualitas EF maka proses ini diyakini mempunyai efisiensi energi yang lebih tinggi dari proses *blast furnace*. Sehingga pada prakteknya dalam 10 tahun terakhir pembuatan NPI meningkat signifikan terutama di China dan Indonesia. Kelebihan utama dalam proses ini yaitu dapat mengolah bijih kadar rendah yang sulit dilakukan dengan proses pirometalurgi lain.

Dari proses-proses tersebut diatas dapat dibuat suatu ringkasan tahapan proses utama ekstraksi nikel secara pirometalurgi yaitu sebagai berikut:

1. Pengeringan (*drying*) yaitu eliminasi sebagian besar air bebas yang terdapat dalam bijih.
2. Kalsinasi-reduksi yaitu eliminasi air bebas yang tersisa dan eliminasi air kristal, pemanasan awal bijih dan reduksi sebagian besar unsur nikel dan pengontrolan terhadap reduksi besi.
3. *Electric furnace smelting* yaitu reduksi nikel yang tersisa dan pemisahan feronikel dari hasil sampingnya yaitu *slag* besi magnesium silikat.
4. *Refining* yaitu eliminasi unsur minor yang tidak dikehendaki dari produk *feronickel* untuk dapat memenuhi kebutuhan pasar.

Beberapa variasi proses dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pasar. Variasi pertama yaitu penambahan sulfur pada kalsin diikuti *converting* menjadi produk yang mempunyai kadar besi rendah yaitu produk *nickel matte* (proses yang dilakukan PT. Inco/Vale Indonesia dan SLN-Eramet). Variasi kedua yaitu pengembangan dari proses produksi besi, pada tahap kalsinasi-reduksi diberikan temperatur yang cukup untuk melelehkan sebagian dari kalsin dan meningkatkan

ukurannya menjadi suatu butiran feronikel. Pasta kalsin yang terbentuk selanjutnya didinginkan secara langsung dengan air (*water quencing*) dan dipisahkan secara magnetik. Produk akhir yang terbentuk yaitu butiran *ferronickel* yang disebut *luppen* (proses yang dilakukan *Nippon Yakin* Jepang).

VI.3.2 Proses Hidrometalurgi

Hidrometalurgi menggunakan larutan berair untuk memisahkan logam yang diinginkan (Anderson, 2016). Hidrometalurgi digunakan untuk mengolah laterit kadar rendah yang terdiri dari limonit dan saprolit kadar rendah dengan kandungan Ni < 1,8 % (Prasetyo, 2016). Sedangkan untuk proses Hidrometalurgi bijih laterit terbagi terdiri atas (Dalvi, *et al.*, 2004):

1. Proses Caron

Proses Caron dapat digunakan untuk bijih limonit atau campuran limonit dan saprolit. Bijih dikeringkan dan nikel direduksi secara selektif (bersama dengan kobalt dan sebagian besi) menjadi logam nikel pada $\sim 700^{\circ}\text{C}$. Logam diekstraksi dengan pelindian dalam larutan amoniak. Perolehan nikel dan kobalt menurun dengan meningkatnya jumlah saprolit karena nikel dan kobalt terkunci dalam silikat matriks dan sulit untuk dikurangi pada suhu ini. Namun, proses tersebut dapat mentolerir jumlah Mg yang lebih tinggi daripada proses PAL Contoh: Nicaro, Punta-Gorda, Yabulu, Nonoc (sekarang ditutup). Proses Caron memiliki beberapa kelemahan diantaranya *Front-end* dari proses Caron adalah pirometalurgi yang melibatkan pengeringan, kalsinasi dan reduksi. Langkah-langkah ini memerlukan energi yang intensif. Sedangkan *back-end* adalah hidrometalurgi yang membutuhkan berbagai reagen. Perolehan nikel dan kobalt lebih rendah dibandingkan dengan proses peleburan atau proses HPAL.

Secara teknologi proses Caron sudah mapan (*proven*) namun proses ini mulai ditinggalkan sebagai akibat kenaikan harga minyak dunia yang dramatis setelah 1973. Sehingga bagi perusahaan perusahaan yang tidak mampu menyiasati harga BBM (Bahan Bakar Minyak) yang mahal agar tetap beroperasi, terpaksa tutup. Akibat harga BBM yang mahal maka pemain nikel dunia melakukan litbang (pene-litian dan pengembangan)

proses pengolahan laterit dengan proses HPAL/PAL (Prasetiyo, *et al.*, 2011).

2. Proses *High Pressure Acid Leaching* (HPAL)

Proses HPAL membutuhkan bijih yang sebagian besar limonit; dalam kasus laterit kering yang mengandung nontronit dan/atau smektit. Secara umum bijih:

- a. Mengandung beberapa *saprolite*
- b. Memiliki mg lebih rendah- biasanya terbatas pada <4 % (konsumsi asam Mg lebih tinggi)
- c. Membutuhkan kandungan Al yang lebih rendah (*clay* adalah konsumen asam tinggi; oleh karena itu kandungan Al seharusnya tidak terlalu tinggi)

Pelindian bertekanan dilakukan baik dalam tangki pachuka (Teluk Moa) atau otoklaf berlapis titanium (semua tanaman modern). Suhu pelindian bervariasi dalam kisaran 245 hingga 270°C. Pemisahan padat-cair adalah dilakukan oleh *Counter-Current Decantation* (CCD). Ada berbagai cara memurnikan larutan yang mengandung nikel dan memisahkan nikel dan kobalt. Di pabrik modern, pemisahan seperti itu dilakukan dengan ekstraksi pelarut (SX). Produk akhir yang dihasilkan adalah elektro-nikel, nikel oksida atau nikel briket. Beberapa tanaman menghasilkan bahan perantara (campuran sulfida atau campuran hidroksida) disempurnakan di tempat lain.

3. *Atmospheric Leaching* (AL)

Atmospheric pressure acid leaching (pelindian asam pada tekanan atmosfer) adalah salah satu dari tiga hidrometalurgi yang umum proses yang digunakan untuk mengekstraksi nikel dan kobalt dari bijih nikel laterit pada skala industri. *High pressure acid leaching* (HPAL) dan *heap leaching* (HL) menawarkan beberapa keuntungan dalam hal proses pelindian, tetapi juga memiliki beberapa kelemahan, seperti biaya modal yang besar untuk pembangunan peralatan pelindian, diperlukan asam sulfat bebas yang lebih, pemeliharaan permeabilitas *bed* di bawah kondisi pelindian asam, kontrol konsumsi asam, persediaan dan manajemen waktu siklus, dan pengelolaan air (Kursunoglu and Kaya, 2016). *Atmospheric Leaching* adalah cara yang

lebih sederhana, lebih murah, dan lebih andal untuk pelindian *matte* dibandingkan dengan *pressure leaching* (Gupta, 2005). Proses AL yang dapat mengolah bijih limonit dan bijih saprolit, sering dibahas dalam hal investasi modal yang lebih rendah dan persyaratan proses yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan proses HPAL. Terlepas dari kekurangan konsumsi asam yang tinggi dan periode pelindian yang berkepanjangan, AL, jika diterapkan dengan benar, dapat menjadi metode yang paling hemat biaya ekstraksi nikel dari laterit. Namun, efisiensi pelindian nikel dengan proses AL relatif rendah. Beberapa penelitian dan beberapa paten telah menjelaskan peningkatan ekstraksi nikel yang signifikan oleh AL, hanya setelah memanaskan bijih limonit pada berbagai temperatur. Namun dan pemanasan bijih saprolit diikuti dengan ekstraksi nikel dalam kondisi AL jarang diteliti (Dong, *et al.*, 2023).

4. Proses Hidrometalurgi Lainnya

Ada beberapa proses baru yang saat ini sedang diujicobakan dan dievaluasi. Ini termasuk Proses EPAL (*enhanced pressure acid leaching*) yaitu pelindian tambahan untuk saprolit menggunakan sisa asam dari Langkah HPAL (+ penambahan asam). Saprolit dilindih pada tekanan atmosfer dan merupakan konsumen asam tinggi (diyakini hingga 1 t asam/t bijih). Proses ini dapat mengkonsumsi lebih banyak saprolit dibandingkan konvensional proses HPAL. Saat ini sedang diujicobakan oleh BHP-B untuk Ravensthorpe. Proses berikut berada di berbagai tahap uji coba tetapi tidak ada yang dikomersialkan.

a. *Acid Heap Leaching* (untuk bijih saprolitik)

b. *Chloride Leaching* (untuk bijih campuran limonit dan saprolitik)

2.4 Matte Slag

Matte slag merupakan limbah hasil dari proses peleburan dan pemurnian logam tembaga, nikel, dan besi. Limbah ini mengandung sejumlah besar logam berat seperti besi, tembaga, nikel, seng, dan selenium, serta senyawa sulfur dan oksida. Pada umumnya, matte slag dihasilkan dari proses pirometalurgi, yang melibatkan peleburan bijih mineral logam pada suhu tinggi menggunakan peralatan seperti

tungku peleburan, konverter, dan gasifikasi. Kandungan logam dalam matte slag tergantung pada jenis bijih mineral yang diproses dan proses peleburan yang digunakan. Misalnya, matte slag dari proses peleburan bijih tembaga mengandung tembaga, besi, dan sulfur, sedangkan matte slag dari proses peleburan bijih nikel mengandung nikel, besi, dan sulfur. Karena kandungan logam dalam matte slag, limbah ini mempunyai nilai ekonomi dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku logam. Namun, sebelum dapat dimanfaatkan, logam dalam matte slag harus diekstraksi menggunakan metode pelarutan yang efektif dan efisien. Salah satu metode pelarutan yang umum digunakan untuk mengeluarkan logam dari matte slag adalah dengan menggunakan pelarut asam sulfat. Proses ini melibatkan reaksi antara asam sulfat dan senyawa logam dalam matte slag, yang menghasilkan senyawa kompleks yang larut dalam pelarut.

Studi terbaru tentang matte slag menunjukkan bahwa potensi limbah ini untuk dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku logam masih besar. Misalnya, penelitian oleh Lu et al. (2018) menunjukkan bahwa matte slag dari proses peleburan bijih nikel mengandung nikel dan kobalt yang dapat diekstraksi menggunakan pelarut asam sulfat. Penelitian ini menunjukkan bahwa rasio massa pelarut terhadap massa sampel, suhu, dan waktu reaksi adalah faktor penting dalam pelarutan logam dari matte slag. Penelitian oleh Zhang et al. (2018) menunjukkan bahwa penggunaan pelarut organik seperti ekstrak dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi logam dari matte slag. Ekstrak adalah senyawa organik yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan logam dalam matte slag dan dapat larut dalam pelarut organik. Selain itu, studi lain oleh Meng et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan pengendap organik dapat meningkatkan pemisahan logam dari pelarut. Pengendap organik adalah senyawa organik yang dapat memisahkan senyawa kompleks logam dari pelarut dan memungkinkan logam untuk diendapkan.

Pengolahan matte slag juga memerlukan penanganan yang hati-hati untuk mencegah dampak lingkungan dan kesehatan. Limbah ini mengandung senyawa sulfur yang dapat menyebabkan pencemaran udara dan air jika tidak ditangani dengan benar.

Oleh karena itu, penelitian terus dilakukan untuk mengembangkan metode pelarutan dan pemrosesan yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk memanfaatkan matte slag sebagai sumber bahan baku logam. Sebuah penelitian oleh Tuncan et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan pelarut asam klorida dan hidrogen peroksida dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi dalam matte slag harus diekstraksi menggunakan metode pelarutan yang efektif dan efisien

Matte slag atau biasa disebut juga dengan ferroalloy slag merupakan limbah dari industri ferroalloy, yang umumnya digunakan untuk membuat baja dan logam lainnya. Limbah ini terdiri dari campuran antara oksida besi, silikon, kalsium, magnesium, dan aluminium. Matte slag mengandung banyak logam dan mineral berharga, yang jika tidak ditangani dengan benar, dapat menyebabkan dampak lingkungan yang signifikan. Oleh karena itu, pengelolaan limbah ini menjadi penting untuk menjaga keberlanjutan industri dan lingkungan. Dalam tulisan ini, akan dibahas tentang tinjauan pustaka mengenai matte slag, termasuk sifat fisik, komposisi kimia, metode pengolahan, dan penggunaannya sebagai bahan baku industri lainnya. Matte slag umumnya berwarna hitam dan memiliki sifat fisik yang berbeda-beda tergantung dari komposisi kimianya. Beberapa sifat fisik yang umum dari matte slag adalah kekerasan, densitas, dan porositas. Kekerasan matte slag biasanya berkisar antara 5 hingga 7 Mohs, dengan nilai rata-rata sekitar 6,2 Mohs. Sedangkan densitas matte slag bervariasi antara 2,5 hingga 3,6 g/cm³ tergantung dari komposisi kimianya. Selain itu, porositas matte slag umumnya rendah, berkisar antara 0,5 hingga 5% (Duan, et al., 2018).

Ada beberapa metode pengolahan matte slag yang umumnya digunakan untuk menghasilkan produk bernilai tambah dan mengurangi dampak lingkungan. Salah satu metode pengolahan adalah pengolahan magnetik, di mana bijih besi dapat dipisahkan dari matte slag menggunakan magnet. Metode ini menghasilkan besi kasar yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan baja. Selain itu, pengolahan hidrometalurgi juga dapat dilakukan untuk mengambil logam-logam berharga dari matte slag menggunakan reagen kimia. Proses ini umumnya digunakan untuk mengambil logam seperti mangan, nikel, dan kromium dari matte slag (Ayanda, et al., 2017).

Matte slag memiliki potensi sebagai bahan baku untuk berbagai industri, termasuk pembuatan semen, bata, dan aspal. Selain itu, matte slag juga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi ferrosilikon, yang digunakan dalam produksi baja dan logam lainnya. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa matte slag dapat digunakan sebagai bahan baku dalam produksi semen portland dan semen geopolimer. Dalam produksi semen portland, matte slag dapat digunakan sebagai pengganti sebagian klinker, yang merupakan bahan utama dalam produksi semen portland. Sedangkan dalam produksi semen geopolimer, matte slag dapat digunakan sebagai pengganti sebagian fly ash atau slag semen yang umumnya digunakan sebagai bahan baku dalam produksi semen geopolimer.

Selain itu, matte slag juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam produksi aspal. Sebuah studi menunjukkan bahwa penggunaan matte slag sebagai pengisi dalam campuran aspal dapat meningkatkan kinerja campuran aspal dan mengurangi penggunaan aspal baru. Matte slag juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam produksi bata, yang dapat meningkatkan kualitas bata dan mengurangi biaya produksi. Pada akhirnya, penggunaan matte slag sebagai bahan baku dalam industri dapat mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari limbah industri ferroalloy dan memperluas penggunaan sumber daya alam yang terbatas. Namun, perlu diketahui bahwa sebelum menggunakan matte slag sebagai bahan baku, harus dilakukan proses pengolahan dan penanganan yang tepat untuk memastikan keamanan dan efektivitas penggunaannya (Chen, *et al.*, 2018).

2.5 Jenis-jenis Matte Slag

Matte slag merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pemurnian logam, terutama logam tembaga dan nikel. Limbah ini mengandung mineral-mineral yang tidak berguna untuk proses pemurnian logam serta logam berat seperti arsenik, timbal, dan kadmium. Matte slag merupakan limbah yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang tepat dalam mengelola limbah matte slag agar tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia (Pei, *et al.*, 2019).

Jenis-jenis matte slag dapat dibedakan berdasarkan bahan baku yang digunakan dalam proses pemurnian logam serta proses yang digunakan dalam pengelolaannya. Berikut ini adalah beberapa jenis matte slag dan sumbernya:

1. *Copper matte slag*

Copper matte slag merupakan jenis matte slag yang dihasilkan dari proses pemurnian logam tembaga. Proses ini melibatkan penggunaan bijih tembaga sebagai bahan baku yang dipanaskan bersama dengan kokas dan silika. Hasil dari proses ini adalah matte tembaga yang mengandung logam tembaga, besi, sulfur, dan oksigen. Matte tembaga ini kemudian diproses lebih lanjut untuk menghasilkan tembaga murni. Sementara itu, copper matte slag merupakan limbah yang dihasilkan dari proses ini. Copper matte slag mengandung mineral-mineral seperti feldspar, piroksen, dan klorit serta logam berat seperti arsenik dan timbal.

2. *Nickel matte slag*

Nickel matte slag merupakan jenis matte slag yang dihasilkan dari proses pemurnian logam nikel. Proses ini melibatkan penggunaan bijih nikel sebagai bahan baku yang dipanaskan bersama dengan kokas dan silika. Hasil dari proses ini adalah matte nikel yang mengandung logam nikel, besi, sulfur, dan oksigen. Matte nikel ini kemudian diproses lebih lanjut untuk menghasilkan nikel murni. Sementara itu, nickel matte slag merupakan limbah yang dihasilkan dari proses ini. Nickel matte slag mengandung mineral-mineral seperti kalsit, forsterit, dan enstatit serta logam berat seperti kadmium dan timbal.

3. *Lead matte slag*

Lead matte slag merupakan jenis matte slag yang dihasilkan dari proses pemurnian logam timbal. Proses ini melibatkan penggunaan bijih timbal sebagai bahan baku yang dipanaskan bersama dengan kokas dan silika. Hasil dari proses ini adalah matte timbal yang mengandung logam timbal, besi, sulfur, dan oksigen. Matte timbal ini kemudian diproses lebih lanjut untuk menghasilkan timbal murni. Sementara itu, lead matte slag merupakan limbah yang dihasilkan dari proses ini. Lead matte slag mengandung mineral-mineral seperti kalsit, piroksen, dan wollastonit serta logam berat seperti timbal, arsenik, dan kadmium.

4. *Zinc matte slag*

Zinc matte slag merupakan jenis matte slag yang dihasilkan dari proses pemurnian logam seng. Proses ini melibatkan penggunaan bijih seng sebagai bahan baku yang dipanaskan bersama dengan kokas dan silika. Hasil dari proses ini adalah matte seng yang mengandung logam seng, besi, sulfur, dan oksigen. Matte seng ini kemudian diproses lebih lanjut untuk menghasilkan seng murni. Sementara itu, zinc matte slag merupakan limbah yang dihasilkan dari proses ini. Zinc matte slag mengandung mineral-mineral seperti kalsit, piroksen, dan forsterit serta logam berat seperti arsenik dan kadmium.

5. *Iron matte slag*

Iron matte slag merupakan jenis matte slag yang dihasilkan dari proses pemurnian logam besi. Proses ini melibatkan penggunaan bijih besi sebagai bahan baku yang dipanaskan bersama dengan kokas dan silika. Hasil dari proses ini adalah matte besi yang mengandung logam besi, sulfur, dan oksigen. Matte besi ini kemudian diproses lebih lanjut untuk menghasilkan besi murni. Sementara itu, iron matte slag merupakan limbah yang dihasilkan dari proses ini. Iron matte slag mengandung mineral-mineral seperti olivin, pyroxen, dan kalsit serta logam berat seperti arsenik dan kadmium.

Dalam pengelolaan matte slag, limbah ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam berbagai industri seperti semen, aspal, dan pupuk. Matte slag juga dapat digunakan sebagai bahan pengikat dalam pembuatan bata atau konstruksi bangunan. Selain itu, matte slag juga dapat dijadikan sebagai bahan dasar dalam produksi baja dan tembaga. Namun, penggunaan matte slag sebagai bahan baku dalam industri harus dilakukan dengan hati-hati karena mengandung logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

Dalam penanganan limbah matte slag, diperlukan proses pengolahan yang tepat agar limbah ini tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Beberapa teknologi pengolahan limbah matte slag yang umum digunakan antara lain:

1. *Pelletization*: Proses pengolahan ini melibatkan pengeringan dan pembentukan matte slag menjadi pellet. Pellet ini kemudian dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan semen atau aspal.

2. Flotation: Proses pengolahan ini melibatkan pemisahan mineral-mineral yang terkandung dalam matte slag dengan menggunakan bahan kimia tertentu. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan mineral-mineral yang dapat dimanfaatkan dalam industri.
3. Thermal treatment: Proses pengolahan ini melibatkan pengolahan matte slag dengan menggunakan suhu tinggi untuk menghilangkan kandungan logam berat yang terkandung di dalamnya.
4. Acid leaching: Proses pengolahan ini melibatkan penggunaan asam untuk melarutkan logam berat yang terkandung dalam matte slag. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

Dalam pengelolaan limbah matte slag, perlu dilakukan pula pengawasan yang ketat terhadap penggunaan bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses pengolahan limbah. Hal ini bertujuan untuk mencegah timbulnya dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia akibat penggunaan bahan-bahan kimia yang berbahaya. Selain teknologi pengolahan limbah yang tepat, perlu juga dilakukan penelitian dan pengembangan terkait dengan penggunaan limbah matte slag sebagai bahan baku dalam industri. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Chou et al. (2012) adalah penggunaan zinc matte slag sebagai bahan baku dalam pembuatan bata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan zinc matte slag sebagai bahan pengikat dalam pembuatan bata dapat meningkatkan sifat mekanik dan termal bata serta mengurangi kandungan logam berat dalam bata.

2.6 Pelindian Matte Slag Menggunakan Asam Sulfat

Pelindian adalah proses ekstraksi mineral atau zat terlarut dari padatan dengan melarutkan mereka dalam cairan atau pelarut, baik di alam atau melalui proses industri. Pembubaran, desorpsi atau kompleksasi merupakan faktor untuk memisahkan zat terlarut (Kulkarni, 2015). Saat ini, pelindian adalah salah satu operasi *front-end* yang paling penting dalam hidrometalurgi, tetapi dalam proses hidrometalurgi masa depan untuk perolehan logam sekunder, perlakuan bijih kelas rendah dan kompleks, serta penelitian dan pengembangan menggunakan proses suhu tinggi dan tekanan tinggi akan menjadi semakin penting.

Pelindian adalah operasi yang sangat penting dalam industri pertambangan. Ekstraksi logam dari bijih dilakukan dengan menggunakan berbagai pelarut. Waktu kontak, konsentrasi, suhu dan ukuran partikel merupakan parameter penting dalam pelindian. Pelindian digunakan dalam industri biologi dan makanan untuk pemisahan berbagai produk. Litium dan kobalt dari baterai bekas bisa diperoleh dengan menggunakan asam organik. Hal itu bisa menyimpulkan bahwa pelindian sangat efisien dan sederhana untuk memperoleh komponen berharga dari limbah padat. Oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan pelarut yang tepat dan mempertahankan kondisi operasi optimal untuk perolehan yang efisien dan hemat biaya (Kulkarni, 2015).

Pelarutan atau pelindian menggunakan asam sulfat adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam pengolahan logam, baik pada skala industri maupun laboratorium. Asam sulfat memiliki kemampuan untuk melarutkan sebagian besar logam dan senyawa logam, termasuk oksida dan sulfida, dengan pembentukan senyawa sulfat. Menurut Dey *et al.* (2017), asam sulfat adalah pelarut yang paling umum digunakan untuk ekstraksi logam seperti tembaga, nikel, dan kobalt dari bijih mineral, limbah elektronik, dan limbah industri. Selain itu, asam sulfat juga digunakan dalam ekstraksi logam dari bijih laterit, yang merupakan sumber yang kurang berharga namun potensial untuk beberapa logam seperti nikel, kobalt, dan besi.

Konsentrasi asam sulfat adalah faktor yang sangat penting dalam proses pelarutan. Konsentrasi asam sulfat yang tepat akan mempengaruhi laju pelarutan dan kemurnian hasil ekstraksi. Menurut Li *et al.* (2019), konsentrasi asam sulfat yang optimal untuk ekstraksi logam dari sampel tertentu dapat bervariasi tergantung pada jenis logam dan sifat-sifat fisik dan kimia dari sampel tersebut. Suhu juga merupakan faktor penting dalam pelarutan menggunakan asam sulfat. Suhu yang tinggi akan mempercepat reaksi pelarutan, namun juga dapat meningkatkan kerusakan peralatan dan memerlukan sistem pendingin yang memadai. Waktu reaksi juga mempengaruhi efektivitas pelarutan menggunakan asam sulfat. Waktu reaksi yang terlalu lama dapat meningkatkan korosi pada peralatan dan mengurangi efisiensi ekstraksi. Sedangkan waktu reaksi yang terlalu singkat dapat mengurangi hasil ekstraksi dan kualitas produk yang dihasilkan.

Rasio massa pelarut terhadap massa sampel adalah faktor penting lainnya yang mempengaruhi efektivitas ekstraksi logam menggunakan asam sulfat. Rasio ini harus diatur sedemikian rupa sehingga asam sulfat cukup untuk melarutkan logam yang diinginkan tanpa menghasilkan terlalu banyak sisa sampah yang sulit untuk dipisahkan. Salah satu penelitian terbaru tentang ekstraksi magnesium dan besi dari matte slag menggunakan pelarut asam sulfat dilakukan oleh Sadayappan et al. (2017). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh faktor-faktor kunci seperti konsentrasi asam sulfat, suhu, waktu reaksi, dan rasio massa pelarut terhadap massa sampel pada proses pelarutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi asam sulfat yang optimal untuk pelarutan magnesium dan besi dari matte slag adalah sekitar 6 M. Suhu yang optimal adalah sekitar 70°C, sedangkan waktu reaksi yang optimal adalah sekitar 4 jam. Rasio massa pelarut terhadap massa sampel yang optimal adalah sekitar 3:1.

Pelindian matte slag menggunakan asam sulfat merupakan salah satu metode untuk memisahkan logam berharga dari komponen-komponen non-logam pada matte slag. Pelindian dilakukan dengan cara mengalirkan asam sulfat ke atas matte slag dan kemudian mengambil cairan hasil reaksi yang terbentuk. Dalam artikel ini, kita akan membahas proses pelindian matte slag menggunakan asam sulfat, serta keuntungan dan kerugian dari metode ini. Proses pelindian matte slag menggunakan asam sulfat dimulai dengan menyiapkan campuran matte slag dan asam sulfat dengan perbandingan tertentu. Kemudian campuran tersebut dipanaskan selama beberapa jam untuk mempercepat reaksi antara matte slag dan asam sulfat. Selama reaksi, asam sulfat akan membentuk ion hydrogen yang akan bereaksi dengan mineral sulfida pada matte slag, menghasilkan ion sulfat dan logam sulfat terlarut, seperti tembaga dan seng. Hasil pelindian kemudian dipisahkan dari residu matte slag menggunakan proses pemisahan fisik atau kimia.

Keuntungan utama dari pelindian matte slag menggunakan asam sulfat adalah bahwa metode ini dapat menghasilkan kadar logam yang lebih tinggi dari hasil pelindian dengan menggunakan air. Selain itu, pelindian matte slag menggunakan asam sulfat juga dapat dilakukan dalam skala Kecil dan mudah dan murah untuk diimplementasikan. Namun, ada beberapa kerugian dari metode ini. Pertama, penggunaan asam sulfat dapat menyebabkan pencemaran lingkungan

jika limbah asam sulfat tidak diproses dengan benar. Selain itu, penggunaan asam sulfat juga memerlukan pengolahan dan pemurnian asam sulfat bekas sebelum dapat digunakan Kembali.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan proses pelindian matte slag menggunakan asam sulfat. Sebagai contoh, penelitian oleh Wang et al. (2018) menunjukkan bahwa penambahan ion klorida ke dalam campuran matte slag dan asam sulfat dapat meningkatkan efisiensi pelindian logam dari matte slag. Selain itu, penelitian oleh Khanti *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penambahan ion besi dapat meningkatkan efisiensi pelindian logam dari matte slag dan dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk pelindian.

Secara keseluruhan, pelindian matte slag menggunakan asam sulfat adalah salah satu metode yang efektif dan relatif murah untuk memisahkan logam berharga dari komponen-komponen non-logam pada matte slag. Metode ini dapat menghasilkan kadar logam yang lebih tinggi daripada metode pelindian menggunakan air, tetapi memerlukan pengolahan limbah asam sulfat yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan teknologi pengolahan limbah asam sulfat yang efisien dan ramah lingkungan (Lu, *et al.*, 2018).