

SKRIPSI

**PENGARUH TEMPERATUR DAN UKURAN FRAKSI
TERHADAP PENINGKATAN KADAR Ni DARI BIJIH
LIMONIT DENGAN MENGGUNAKAN REDUKTOR
ARANG TONGKOL JAGUNG**

Disusun dan diajukan oleh:

**DEWI SHINTA
D111 19 1070**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PENGARUH TEMPERATUR DAN UKURAN FRAKSI TERHADAP
PENINGKATAN KADAR Ni DARI BIJIH LIMONIT DENGAN
MENGUNAKAN REDUKTOR ARANG TONGKOL JAGUNG**

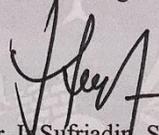
Disusun dan diajukan oleh

**DEWI SHINTA
D111 19 1070**

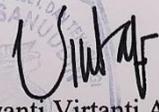
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 26 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

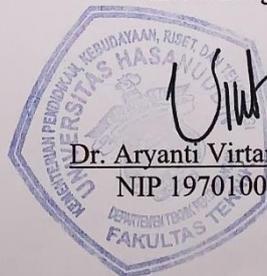
Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Dr. I. Sufriadin, ST., MT.
NIP 1966081720001201001

Ketua Program Studi,


Dr. Aryanti Virtanti Anas, ST., MT.
NIP 197010052008012026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Dewi Shinta
NIM : D111 19 1070
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pengaruh Temperatur dan Ukuran Fraksi Terhadap Peningkatan Kadar Ni dari Biji Limonit dengan Menggunakan Reduktor Arang Tongkol Jagung

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, 26 Januari 2024

Yang Menyatakan



Dewi Shinta

ABSTRAK

DEWI SHINTA *Pengaruh Temperatur dan Ukuran Fraksi Terhadap Peningkatan Kadar Ni Dari Bijih Limonit dengan Menggunakan Reduktor Arang Tongkol Jagung* (dibimbing oleh Sufriadin)

Ketersediaan bijih nikel berkadar tinggi yang semakin berkurang, sehingga bijih nikel laterit dengan kadar rendah yaitu limonit berpotensi menjadi sumber bahan baku utama untuk memperoleh logam nikel dimasa mendatang. Bijih limonit perlu dilakukan proses untuk meningkatkan kadar nikel agar dapat dimanfaatkan. Sampel penelitian ini diambil dari Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara dan dilakukan pengolahan untuk menganalisis komposisi kimia dan mineral bijih limonit. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis transformasi mineralogi dari bijih limonit setelah pemanggangan tereduksi dan menganalisis pengaruh variasi ukuran fraksi dan variabel suhu pemanggangan tereduksi terhadap peningkatan kadar bijih limonit menggunakan arang tongkol jagung sebagai reduktor. Kedua variabel ini digunakan untuk menganalisis kondisi maksimum peningkatan kadar nikel melalui proses reduksi selektif pada sampel bijih limonit. Proses pra-olahan dimulai dengan mereduksi ukuran sampel bijih limonit hingga lolos ayakan 100 *mesh*, 150 *mesh*, dan 200 *mesh*. Proses reduksi selektif dilakukan pada suhu 800°C, 900°C, 1000°C, dan 1100°C dengan waktu reduksi 1 jam dengan reduktor arang tongkol jagung sebesar 10%. Hasil pemanggangan tereduksi kemudian ditimbang dan dianalisis untuk mengetahui komposisi mineral dan kimia bijih menggunakan mikroskopis, metode XRD (*X-Ray Diffraction*), dan XRF (*X-Ray Fluorescence*). Hasil analisis XRD mengindikasikan sampel bijih limonit tersusun oleh *chlorite* [(Mg,Fe,Al)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)], *goethite* [FeO(OH)], *lizardite* [Mg₃Si₂O₅(OH)₄], *gibbsite* [Al(OH)₃], dan *quartz* [SiO₂]. Hasil analisis XRF menunjukkan sampel bijih limonit terdiri dari; 12,16% SiO₂, 2,63% MgO, 37,47% Fe, 1,52% Ni, 53,59% Fe₂O₃ dan 0,03% Co. Transformasi mineralogi sampel setelah pemanggangan tereduksi mengindikasikan sampel tersusun oleh *spinel* [Mg,Al,O₄] (23,5%), *ringwoodite* [Mg₂SiO₄] (15,4%), *quartz* [SiO₂] (4,3%), *wustite* [FeO] (17,2%), dan *fayalite* [Fe₂SiO₄] (39,6%). Peningkatan kadar Ni tertinggi terjadi pada ukuran fraksi 100 *mesh* pada suhu 1000°C dari 1,52% menjadi 1,74% dengan peningkatan sebesar 12,64%.

Kata Kunci: Bijih limonit, pra-olahan, reduksi, *mesh*, reduktor

ABSTRACT

DEWI SHINTA *Effect of Temperature and Fraction Size on the Increase of Ni Grade of Limonite Ore by Using Corn Cob Charcoal Reductor* (supervised by Sufriadin)

The availability of high-grade nickel ore is decreasing, so low-grade laterite nickel ore, namely limonite, has the potential to become the main source of raw materials for obtaining nickel metal in the future. Limonite ore needs to be processed to increase the nickel grade so that it can be utilized. This research sample was taken from Wolo, Kolaka Regency, Southeast Sulawesi Province and processed to analyze the chemical and mineral composition of limonite ore. This study aims to analyze the mineralogical transformation of limonite ore after reduction roasting and analyze the effect of fraction size variation and reduction roasting temperature variables on increasing the grade of limonite ore using corn cob charcoal as a reductant. These two variables are used to analyze the maximum conditions for increasing nickel grade through selective reduction process in limonite ore samples. The pre-treatment process begins by reducing the size of the limonite ore sample to pass the 100 mesh, 150 mesh, and 200 mesh sieves. The selective reduction process was carried out at temperatures of 800°C, 900°C, 1000°C, and 1100°C with a reduction time of 1 hour with a 10% corn cob charcoal reductor. The reduced roasting results were then weighed and analyzed to determine the mineral and chemical composition of the ore using microscopy, XRD (X-Ray Diffraction), and XRF (X-Ray Fluorescence) methods. The XRD analysis results indicate that the limonite ore sample is composed of chlorite [(Mg,Fe,Al)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)], goethite [FeO(OH)], lizardite [Mg₃Si₂O₅(OH)₄], gibbsite [Al(OH)₃], and quartz [SiO₂]. XRF analysis results show the limonite ore sample consists of; 12.16% SiO₂, 2.63% MgO, 37.47% Fe, 1.52% Ni, 53.59% Fe₂O₃ and 0.03% Co. The mineralogical transformation of the sample after reduced roasting indicates the sample is composed of spinel [Mg,Al,O₄] (23.5%), ringwoodite [Mg₂SiO₄] (15.4%), quartz [SiO₂] (4.3%), wustite [FeO] (17.2%), and fayalite [Fe₂SiO₄] (39.6%). The highest increase in Ni grade occurred at a fraction size of 100 mesh at 1000°C from 1.52% to 1.74% with an increase of 12.64%.

Keywords: Limonite ore, pre-treatment, reduction, mesh, reductant

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nikel.....	5
2.2 Pengolahan Bijih Nikel Laterit	10
2.3 Reduksi Selektif pada Pengolahan Bijih Nikel Laterit	19
2.4 Pemanggangan Tereduksi (<i>Reduction Roasting</i>)	21
2.5 Arang Tongkol Jagung.....	23
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	26
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	26
3.2 Benda Uji dan Alat.....	27
3.3 Variabel Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Karakterisasi Bahan	42
4.2 Transformasi Mineralogi Setelah Pemanggangan Tereduksi	47
4.3 Pengaruh Ukuran Fraksi Terhadap Peningkatan Kadar Ni Dari Bijih Limonit Menggunakan Reduktor Arang Tongkol Jagung	52
4.5 Pengaruh Suhu Pemanggangan Tereduksi dengan Variasi Ukuran Fraksi Terhadap <i>Recovery</i> Ni dan Fe	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Sumber daya nikel berbasis lahan dunia dan produksi nikel primer.....	6
Gambar 2 Sumber daya nikel laterit dunia.....	7
Gambar 3 Profil Nikel Laterit	9
Gambar 4 Profil endapan laterit terhadap opsi <i>processing</i> Nikel Laterit.....	11
Gambar 5 Diagram alir proses yang disederhanakan untuk metode produksi komersial saat ini untuk ekstraksi nikel dari bijih laterit	18
Gambar 6 Arang Tongkol Jagung.....	25
Gambar 7 Lokasi penelitian	27
Gambar 8 Penggerusan sampel menggunakan mortar besi.....	31
Gambar 9 Proses pengayakan sampel menggunakan ayakan (<i>siev</i>)	32
Gambar 10 Proses penimbangan sampel.....	32
Gambar 11 Proses pemanggangan tereduksi menggunakan <i>muffle furnace</i>	34
Gambar 12 Analisis menggunakan mikroskop Nikon Eclipse LV-100 POL	36
Gambar 13 XRD tipe shimadzu maxima-X XRD 7000.....	37
Gambar 14 XRF tipe S8 Tiger Bruker	38
Gambar 15 <i>Muffle furnace</i> YAMATO FO 310.....	39
Gambar 16 Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 17 Kenampakan mineral hasil mikroskopis sampel bijih limonit.....	42
Gambar 18 Hasil analisis XRD sampel bijih limonit.....	44
Gambar 19 Hasil analisis XRD sampel hasil reduksi yang mengalami.....	48
Gambar 20 Kenampakan mineral hasil mikroskopis sampel setelah pemanggangan tereduksi	51
Gambar 21 Grafik kadar Ni dan Fe pada suhu pemanggangan tereduksi 800°C..	53
Gambar 22 Grafik rasio S/M dan pada suhu pemanggangan tereduksi 800°C.....	53
Gambar 23 Grafik kadar Ni dan Fe pada suhu pemanggangan tereduksi 900°C..	55
Gambar 24 Grafik rasio S/M pada suhu pemanggangan tereduksi 900°C.....	55
Gambar 25 Grafik kadar Ni dan Fe pada suhu pemanggangan tereduksi 1000°C.....	57
Gambar 26 Grafik rasio S/M setelah pemanggangan tereduksi pada suhu 1000°C.....	57
Gambar 27 Grafik kadar Ni dan Fe pada suhu pemanggangan tereduksi 1100°C.....	58
Gambar 28 Grafik rasio S/M pada suhu pemanggangan tereduksi 1100°C.....	59
Gambar 29 Grafik kadar Ni dan Fe setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 100 <i>mesh</i>	61
Gambar 30 Grafik rasio S/M setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 100 <i>mesh</i>	61
Gambar 31 Grafik kadar Ni dan Fe setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 150 <i>mesh</i>	62
Gambar 32 Grafik rasio S/M setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 150 <i>mesh</i>	63
Gambar 33 Grafik kadar Ni dan Fe setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 200 <i>mesh</i>	64
Gambar 34 Grafik rasio S/M setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 200 <i>mesh</i>	65

Gambar 35 Grafik pengaruh suhu dan ukuran fraksi terhadap perolehan Ni	67
Gambar 36 Grafik pengaruh suhu dan ukuran fraksi terhadap perolehan Fe	68

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sumber daya nikel berbasis lahan dunia dan produksi nikel primer.....	7
Tabel 2 Sumber daya nikel laterit dunia	7
Tabel 3 Opsi pemrosesan saat ini untuk bijih laterit	17
Tabel 4 Fasa mineral bijih limonit	44
Tabel 5 Hasil analisis XRF sampel awal.....	46
Tabel 6 Hasil Analisis Kadar Arang Tongkol Jagung	47
Tabel 7 Fasa mineral yang terbentuk setelah pemanggangan tereduksi pada suhu 1000°C	48
Tabel 8 Komposisi kimia setelah pemanggangan tereduksi pada suhu 800°C	52
Tabel 9 Komposisi kimia setelah pemanggangan tereduksi pada suhu 900°C	54
Tabel 10 Komposisi kimia setelah pemanggangan tereduksi pada suhu 1000°C	56
Tabel 11 Komposisi kimia setelah pemanggangan tereduksi pada suhu 1100°C	58
Tabel 12 Komposisi kimia setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 100 <i>mesh</i>	60
Tabel 13 Komposisi kimia setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 150 <i>mesh</i>	62
Tabel 14 Komposisi kimia setelah pemanggangan tereduksi pada fraksi 200 <i>mesh</i>	63
Tabel 15 <i>Recovery</i> berat sampel awal dengan sampel setelah pemanggangan tereduksi	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	77
Lampiran 2 Hasil analisis <i>X-Ray Flourescence</i> (XRF).....	88
Lampiran 3 Perhitungan <i>Recovery</i>	90

KATA PENGANTAR

Puji syukur patut penulis panjatkan kehadiran Allah *subhanahu wa ta'ala*. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Temperatur dan Ukuran Fraksi Terhadap Peningkatan Kadar Ni Dari Bijih Limonit dengan Menggunakan Reduktor Arang Tongkol Jagung”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang strata 1, Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, dimana dalam pelaksanaannya penulis telah mendapatkan banyak ilmu dan pengalaman berharga. Dalam penulisan skripsi ini, penulis telah berusaha untuk menggambarkan dengan jelas dan sistematis seluruh kegiatan dan hasil yang telah penulis lakukan selama menjalankan penelitian ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan informasi yang bermanfaat bagi pembaca yang membutuhkan.

Dalam melakukan penelitian sampai penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian sampai penyusunan skripsi ini. Untuk itu penulis menyampaikan hormat, terima kasih dan kasih sayang kepada Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian dan selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan ilmu yang bermanfaat selama penulis melakukan penelitian sampai dengan penyusunan skripsi ini.

Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan FT-UH dan terima kasih kepada seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama berkuliah di Departemen Teknik Pertambangan FT-UH. Terima kasih juga kepada Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Pertambangan

Universitas Hasanuddin 2019 (IGNEOUZ) yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan, dan semangat kepada penulis.

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua penulis, orang hebat yang selalu menjadi penyemangat dan sebagai sandaran terkuat dari kerasnya dunia. Untuk Bapak yang selalu mendukung dan memotivasi penulis serta Mama yang tidak henti-hentinya mendoakan penulis, untuk kedua kakak penulis yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materil, motivasi, dan semangat kepada penulis, dan untuk ketiga adik penulis yang selalu penulis jadikan motivasi memberikan mereka contoh dan cerminan yang baik sebagai keluarga pertama yang meneruskan sekolah sampai ke jenjang sarjana, dan untuk pemilik nim H071191060 terima kasih telah membersamai penulis dalam semester akhir ini, memberikan dukungan dan membantu penulis dalam segala hal. Kalian sangat berarti, tanpa kalian penulis tidak akan mudah untuk sampai ke fase ini. Semoga Allah *subhanahu wa ta'ala*. Selalu menjaga kalian dalam kebaikan dan kemudahan *Aamiin*. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan guna menutupi kekurangan dan keterbatasan penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Makassar, Januari 2024

Dewi Shinta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan logam yang sangat signifikan karena memiliki beragam aplikasi. Penggunaannya sangat beragam, mencakup nikel primer yang berasal dari pengolahan bijih nikel, dan nikel sekunder yang diperoleh dari pengolahan nikel primer. Sekitar 48% nikel primer digunakan dalam pembuatan baja tahan karat (*stainless steel*) dan baja paduan, sementara 39% digunakan untuk produksi paduan *non-ferrous* (non-logam) dan *superalloy*, dan 10% digunakan untuk pelapisan logam secara elektroplating. Di sisi lain, nikel sekunder digunakan untuk berbagai keperluan, dengan 30% digunakan dalam transportasi, 14% dalam pembuatan produk logam atau produksi produk-produk metal, 12% dalam peralatan elektronik, 10% dalam industri minyak bumi (*petroleum*), dan 8% masing-masing digunakan dalam industri kimia, konstruksi, peralatan rumah tangga, dan mesin (Kuck, 2013). Nikel saat ini merupakan salah satu logam yang sedang banyak digunakan karena logam ini memiliki sifat dan karakteristik diantaranya seperti ketahanan korosi, konduktivitas thermal, dan ketahanan listrik yang bernilai tinggi.

Sumber daya nikel saat ini terdiri dari bijih nikel sulfida dan bijih nikel laterit yang masing-masing menyumbang sekitar 30% dan 70% dari cadangan nikel dunia. Namun, lebih dari 60% produksi nikel berasal dari bijih nikel sulfida (Lv *et al.*, 2010). Alasan dominasi produksi nikel dari bijih nikel sulfida adalah kandungan nikel yang lebih tinggi, sehingga pengolahannya lebih mudah dibandingkan dengan tipe deposit laterit. Dengan meningkatnya permintaan akan nikel, ketersediaan bijih nikel sulfida semakin menurun dan diprediksi bahwa kebutuhan nikel dunia akan beralih menggunakan bijih nikel laterit, yang ketersediaannya hampir 70% dari cadangan dunia (Dalvi *et al.*, 2004). Tidak seperti bijih sulfida, bijih laterit tidak mudah untuk ditingkatkan kadar nikelnya dengan teknologi yang ada pada saat ini sehingga berbagai upaya penelitian terus dilakukan untuk dapat meningkatkan kadar nikel dalam laterit (Pickles *et al.*, 2014).

Secara umum, jenis bijih nikel laterit terbagi menjadi dua tipe, yaitu limonit dan saprolit. Kadar nikel dalam bijih saprolit di atas $>1,5\%$ memungkinkan untuk diproses secara langsung melalui peleburan. Sebaliknya, bijih limonit dengan kadar nikel rata-rata di bawah $<1,5\%$, tidak dapat diproses langsung melalui peleburan karena biaya yang sangat tinggi dan hasil yang minimal. Selain itu, proses ini tidak dapat mencapai kadar nikel murni (Prasetyo, 2014). Bijih dengan kadar Ni $<1,50\%$ belum dilakukan pengolahan lebih lanjut hanya digunakan untuk tujuan reklamasi, meskipun berpotensi menjadi bahan baku produksi nikel dengan pemrosesan tambahan untuk meningkatkan kadar Ni tersebut. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk menentukan proses yang tepat dan optimal untuk mengolah bijih nikel limonit. Mengingat bijih limonit mengandung lebih banyak besi dan sedikit nikel, bijih tersebut tidak dapat langsung diproses seperti halnya bijih saprolit.

Teknologi pengolahan bijih nikel laterit terbagi menjadi dua proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Proses pirometalurgi meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi/reduksi, *electric furnace smelting*, dan pemurnian (*refining/convertng*). Salah satu teknologi pengolahan bijih laterit adalah pirometalurgi yaitu proses pengolahan bijih laterit yang menggunakan panas. Panas yang digunakan dalam hal ini adalah kalsinasi suhu tinggi di dalam tanur (Dalvi *et al.*, 2004).

Bijih limonit perlu dilakukan proses untuk meningkatkan kadar nikel, salah satunya yaitu dengan menggunakan metode reduksi selektif. Metode reduksi selektif merupakan suatu metode dimana bijih nikel laterit direduksi dengan penambahan sejumlah reduktor dan aditif untuk membatasi reduksi besi oksida menjadi logam besi, sehingga akan diperoleh konsentrat feronikel yang lebih kaya akan nikel. Permasalahan ini terdapat pada pengolahan bijih laterit dengan metode reduksi langsung adalah penentuan variabel optimum. Temperatur memiliki pengaruh terhadap peningkatan kadar nikel pada bijih nikel jenis limonit dan laterit. Namun, pengaruh tersebut dapat berbeda-beda tergantung pada jenis bijih nikel dan kondisi proses reduksinya. Menurut (Kazie, 1999) selain kenaikan temperatur reduksi, ukuran partikel reduksi dapat mempengaruhi pula proses reduksi. Hal yang perlu diperhatikan adalah ukuran partikel sangat mempengaruhi

kecepatan pemanasan partikel sehingga dapat berpengaruh kepada pasokan energi. Pasokan energi ini juga sangat mempengaruhi ongkos produksi. Mengingat pentingnya aspek-aspek tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan variasi temperatur dan variasi ukuran partikel bijih limonit menggunakan reduktor arang tongkol jagung. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan mengetahui bagaimana proses peningkatan kadar nikel menggunakan metode reduksi selektif dengan menggunakan reduktor arang tongkol jagung serta mengetahui bagaimana pengaruh variabel temperatur karena temperatur merupakan salah satu variabel kunci dalam proses reduksi bijih nikel dan mengetahui bagaimana pengaruh variabel ukuran fraksi terhadap peningkatan kadar nikel limonit tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi mineral dan kimia bijih nikel limonit.
2. Bagaimana transformasi mineralogi setelah pemanggangan tereduksi.
3. Bagaimana pengaruh variabel ukuran fraksi dan temperatur terhadap peningkatan kadar Ni dari bijih nikel limonit menggunakan reduktor arang tongkol jagung.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis komposisi mineral dan kimia bijih nikel limonit.
2. Menganalisis transformasi mineralogi setelah pemanggangan tereduksi.
3. Menganalisis pengaruh variabel ukuran fraksi dan temperatur terhadap peningkatan kadar Ni dari bijih nikel limonit menggunakan reduktor arang tongkol jagung.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang direncanakan bertujuan untuk meningkatkan pemahaman mengenai metode benefisi atau peningkatan kadar bijih nikel laterit dengan fokus pada bijih nikel kadar rendah. Penelitian ini akan mengkaji cara meningkatkan kadar nikel dalam bijih limonit melalui penerapan metode reduksi

selektif dengan mempertimbangkan pengaruh variabel temperatur dan ukuran fraksi terhadap peningkatan kadar nikel. Reduksi selektif merupakan suatu proses reduksi logam oksida menjadi logam menggunakan reduktor tertentu yang dilakukan pada temperatur dibawah titik lebur oksida. Dalam hal ini, peningkatan kadar bijih limonit menggunakan metode reduksi selektif dengan reduktor arang tongkol jagung.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini menunjukkan fokus pada kajian tentang bagaimana temperatur dan ukuran fraksi (partikel) bijih limonit serta penggunaan reduktor arang tongkol jagung berpengaruh terhadap peningkatan kadar nikel (Ni). Penelitian ini akan menggunakan pendekatan kuantitatif yang mengadopsi metode eksperimen untuk mengumpulkan data dan menganalisis hasil. Penelitian ini akan melibatkan teknik analisis mikroskopis, analisis XRD, analisis XRF, dan analisis proksimat. Mengukur dan menganalisis perubahan kadar nikel dalam bijih limonit setelah proses reduksi dengan arang tongkol jagung pada berbagai kondisi suhu dan ukuran fraksi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel adalah logam berwarna putih yang mirip dengan perak, memiliki kekerasan tinggi dan tahan terhadap karat. Sifat-sifat ini membuatnya berperan penting dalam proses pengolahan beberapa logam dalam bentuk larutan, yang menghasilkan energi panas. Selain itu, nikel juga memiliki peran penting dalam proses pengendapan logam keras dalam bentuk paduan logam (*alloy*), seperti *stainless steel* yang mengandung 18% nikel dan 8% kromium, serta Nikhrome yang terdiri dari 80% nikel dan 20% kromium, seperti yang disarankan oleh Roberts (Rusmini, 2010).

Nikel (Ni) merupakan unsur logam transisi yang terdapat dalam tabel periodik dengan simbol Ni dan nomor atom 28. Massa atom unsur ini adalah 58,71 dan termasuk dalam Golongan VIII, Periode 4. Konfigurasi elektronnya adalah [Ar] 3d⁸ 4s². Umumnya, Nikel memiliki tingkat oksidasi +2, namun tingkat oksidasi +3 sangat jarang terjadi. Ion Ni²⁺ yang mengandung air memiliki warna hijau, dan garam-garam Ni²⁺ umumnya menunjukkan warna hijau dan biru (Heslop *and* Robinson, 1960).

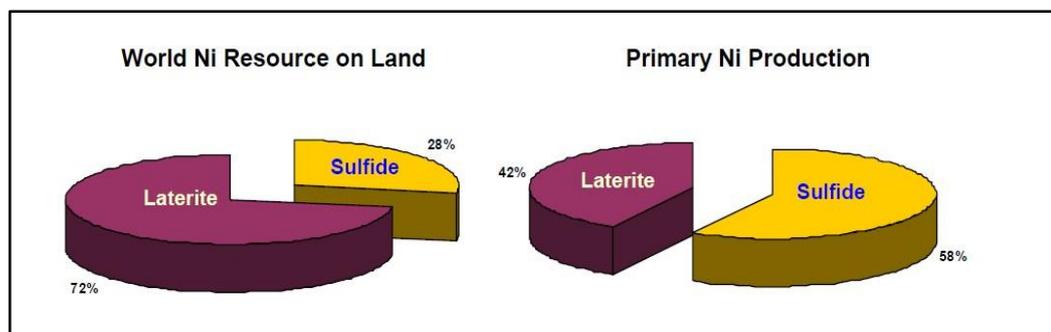
Nikel terbentuk melalui proses pelapukan batuan, yang terjadi pada batuan yang memiliki komposisi kimia dasar, umumnya disebut batuan peridotit. Batuan peridotit banyak ditemukan di zona tumbukan antara lempeng benua dan samudra, sejalan dengan prinsip tektonik lempeng. Sebagai akibat dari proses pelapukan ini, batuan ultrabasa mengalami dekomposisi, menyebabkan mineral-mineral (koloid) seperti magnesium, besi, nikel, kobalt, silikat, dan magnesium oksida terlarut. Selain itu, beberapa mineral (sisa) tetap tidak larut, termasuk besi, aluminium, mangan, sebagian nikel, sebagian kobalt, berbagai oksida, dan senyawa nikel-kobalt (Sudrajat, 1999).

Nikel merupakan logam berwarna putih keperakan yang memiliki sifat keras dan tahan terhadap korosi. Material ini termasuk dalam kelompok yang cukup reaktif terhadap asam namun bereaksi lambat terhadap udara pada suhu dan tekanan normal. Di bumi, deposit nikel dapat dikelompokkan menjadi dua jenis,

yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat) (Salinita dan Nugroho, 2014). Nikel memiliki peran penting dalam infrastruktur dan teknologi, digunakan utamanya dalam produksi baja tahan karat sebesar 58%, *nickel alloy* sebesar 14%, *casting* dan *alloy steel* sebesar 9%, serta proses *electroplating* dan baterai isi ulang masing-masing sebesar 9% dan 5%. Sumber daya ekonomi nikel ditemukan dalam dua jenis bijih utama, yaitu bijih sulfida dan bijih laterit. Produksi nikel sebagian besar berasal dari bijih sulfida, sementara mayoritas sumber daya nikel ditemukan dalam bijih laterit (Munasir, 2012).

Nikel dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu nikel sulfida dan nikel silikat (laterit). Kedua jenis ini telah lama digunakan sebagai bahan baku dalam produksi logam nikel. Namun, seiring berjalannya waktu, cadangan bijih nikel sulfida mulai menipis, sehingga industri nikel beralih untuk memproses bijih nikel laterit sebagai bahan baku utama. Pengolahan bijih nikel laterit untuk meningkatkan kadar nikelnya lebih menantang dibandingkan dengan bijih nikel sulfida, sehingga banyak penelitian telah dilakukan untuk mencari cara meningkatkan kandungan nikel pada bijih nikel laterit (Setiawan, 2016).

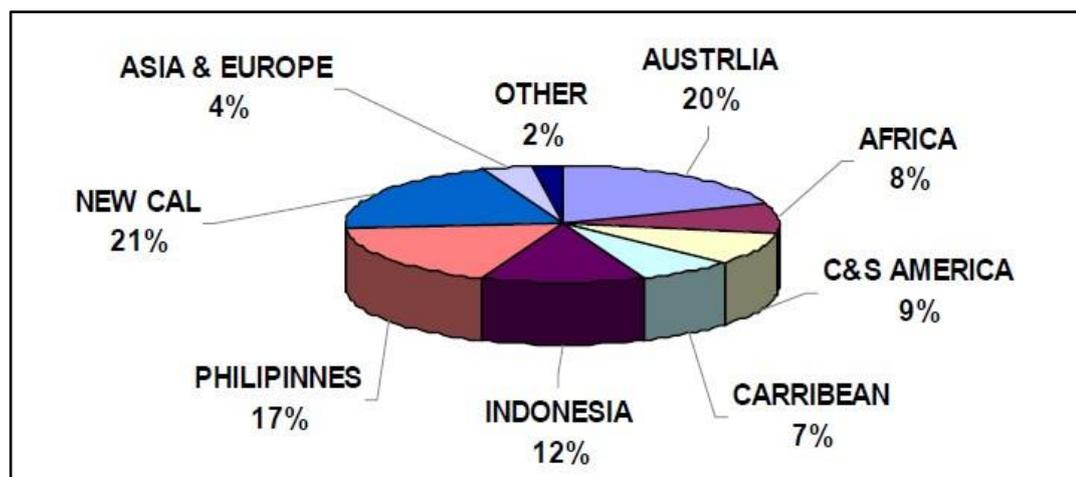
Menurut (Dalvi *et al.*, 2004; Mudd, 2010) 70% sumber daya nikel berbasis lahan terkandung dalam endapan laterit dengan 30% sisanya terdapat dalam endapan sulfida (dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1). Dua pertiga dari fraksi laterit terdiri dari formasi laterit nikel (limonit, nontronit/smecitit) sedangkan sepertiga sisanya terdiri dari laterit magnesium silikat (saproilit, garnierit). Perincian sumber daya laterit yang dilaporkan di seluruh dunia (dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 2). Pada tahun 2004 nikel dunia sumber daya laterit adalah 1,26 Mt dengan rata-rata kadar Ni 1,28% dan mengandung 161 Mt nikel (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004).



Gambar 1 Sumber daya nikel berbasis lahan dunia dan produksi nikel primer (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

Tabel 1 Sumber daya nikel berbasis lahan dunia dan produksi nikel primer (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

	MT Resource	% Ni	Mt Ni	% of Total
Sulphide	10500	0,58	62	27.8%
Laterite	12600	1.28	161	72.2%
Total	23100	0.97%	223	100



Gambar 2 Sumber daya nikel laterit dunia (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

Tabel 2 Sumber daya nikel laterit dunia (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

	Mt	% Ni	Mt Ni	% of Total
ASTRALIA	2452	0.86	21	13.1%
AFRICA	996	1.31	13	8.1%
C & S AMERICA	1131	1.51	17	10.6%
CARRIBEAN	944	1.17	11	6.9%
INDONESIA	1576	1.61	25	15.7%
PHILLIPPINES	2189	1.28	28	17.4%
NEW CALEDONIA	2559	1.44	37	22.9%
ASIA & EUROPE	506	1.04	5	3.3%
OTHER AUSTRALASIA	269	1.18	3	2.0%
TOTAL LATERITES	12621	1.28	161	100%

Bijih nikel sulfida terbentuk melalui proses vulkanik atau hidrotermal, banyak mengandung tembaga dan kobalt, sedikit logam mulia seperti emas, platinum, palladium dan rhodium, biasanya mengandung 0,4–2% Ni, 0,2-2 % Cu, 10–30% Fe dan 20% Si. Bijih nikel sulfida merupakan campuran dari mineral sulfida dengan berbagai mineral lainnya dalam batuan (Pournaderi, 2014).

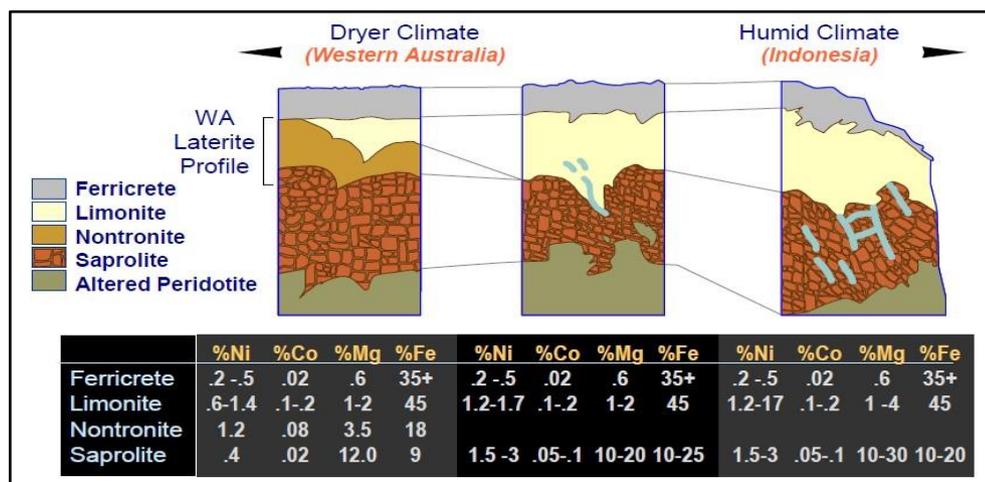
Nikel laterit adalah material yang berasal dari regolith, yaitu lapisan yang terbentuk akibat pelapukan batuan yang menutupi batuan dasar. Proses pelapukan ini berlangsung secara intensif di daerah dengan iklim tropis-subtropis, melalui kombinasi proses fisik dan kimia. Sumber utama nikel laterit berasal dari batuan beku ultrabasa yang mengandung unsur Ni dan Co. Pembentukan endapan nikel laterit dimulai dari pengendapan batuan induknya, yakni Peridotit, yang memiliki kandungan nikel berat sekitar 0,2% - 0,4% (Pranata, 2009).

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder. Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe. Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal dan tingkat pelapukan. Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi. Proses terbentuknya nikel laterit dimulai dari proses pelapukan yang intensif pada batuan peridotit selanjutnya infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan berat jenis tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengkayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang bersifat *mobile* akan terlarutkan ke bawah dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengkayaan (supergen) seperti Ni, Mn, dan Co (Jagad, 2021).

Nikel laterit merupakan salah satu sumber penting nikel dan feronikel, yang terbentuk melalui pelapukan intensif dari batuan ultrabasa yang mengandung Ni-silikat. Endapan ini biasanya banyak ditemukan di daerah khatulistiwa (Glesson, 2003). Laterit adalah istilah yang digunakan untuk menyebutkan tanah merah yang terbentuk akibat pelapukan batuan asal (induk) di daerah tropis atau sub tropis. Laterit mengandung banyak mineral seperti kaonilit, goethit, dan kuarsa, sehingga komposisinya sangat kompleks. Dari segi kimia, laterit ditandai oleh kandungan besi, nikel, dan silika yang merupakan sisa-sisa dari proses pelapukan batuan induk (Firdiyono, dkk., 1983).

Endapan laterit nikel terjadi di daerah tropis hingga sub-tropis di mana di masa lalu terjadi pelapukan batuan peridotit ultrabasa yang berkepanjangan yang

mengandung mineral ferro-magnesium silikat (olivin dan piroksen). Proses pelapukan atau laterisasi menghasilkan profil dengan variabilitas besar dalam ketebalan, kadar, kimia dan mineralogi bijih (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004). Kisaran formasi laterit berlapis bersama dengan uji logam rata-rata untuk setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah, menjelaskan proses laterisasi yang menghasilkan profil zonasi karakteristik dari endapan laterit. Batuan *peridotite* inang dilarutkan oleh air tanah yang diperkaya CO₂ dan asam organik dari penguraian vegetasi yang melarutkan magnesium, besi, nikel, dan silika yang terkandung. Saat masih berada di dekat permukaan, besi terlarut dengan cepat teroksidasi dan mengendap sebagai goetit dan hematit. Bahan terlarut yang tersisa terus meresap ke bawah profil sampai kondisi asam dinetralkan oleh batuan induk yang mengendapkan nikel, silika dan beberapa magnesium sebagai silikat terhidrasi yang membentuk lapisan saprolit.



Gambar 3 Profil Nikel Laterit (Kerfoot, 2005)

Berbagai kondisi pelapukan dapat mengakibatkan sejumlah besar nikel tersisa di daerah atas membentuk lapisan limonit, diperkaya dengan besi dan habis magnesium dan silika. Lapisan limonit juga mengandung nilai ekonomis kobalt dan kromium. Sebagai produk pelapukan, bijih laterit menyerupai bahan lempung lunak yang ditemukan 10-40m di bawah permukaan dan karenanya dapat ditambang dengan menggunakan teknik pemindahan tanah, seperti *power shovel* dan *draglines* (Betteridge, 1977; Moskalyk & Alfantazi, 2002).

Bijih laterit diklasifikasikan menjadi laterit limonit dan saprolitik berdasarkan kandungan besi dan magnesiumnya. Bijih limonit mengalami sedikit

pelapukan sehingga memiliki kandungan besi yang tinggi. Sebagai perbandingan, laterit saprolitik mengandung lebih sedikit besi dan kandungan MgO dan SiO₂ lebih tinggi pengotor karena fraksi besi yang signifikan dihilangkan oleh pelapukan (Nurjaman dkk., 2021). Bergantung pada keberadaan bijih, lokasi penambangan di dunia, atau tingkat pelapukan, laterit memiliki komposisi yang berbeda, termasuk kandungan nikel dan kobalt, dan cocok untuk teknik pemrosesan yang berbeda. Umumnya, kandungan nikel kurang dari 1,5% berat dan kandungan kobalt adalah 0,1-0,2% berat dalam laterit limonit sedangkan laterit saprolitik mengandung 1,8-3% berat nikel dan 0,02-0,1% berat kobalt (Brand *et al.*, 1998).

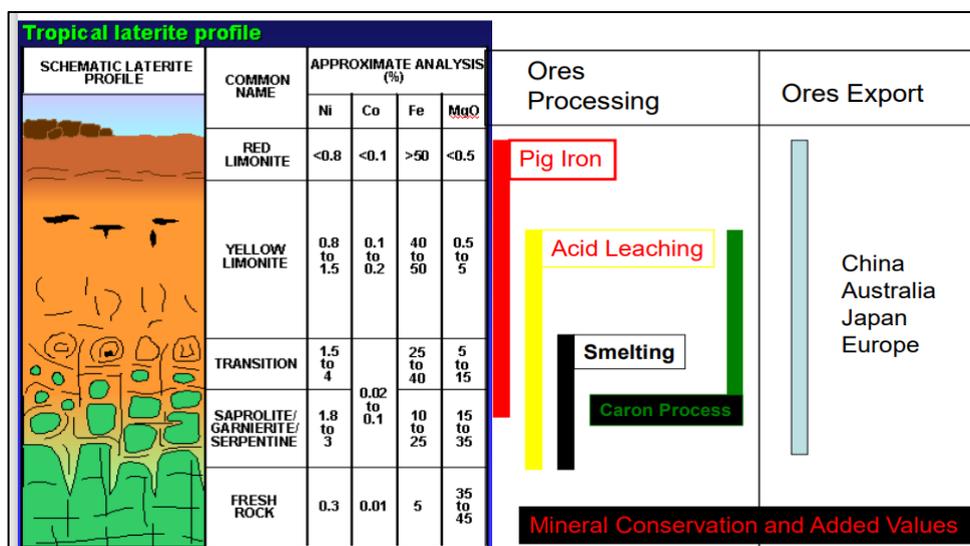
2.2 Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Pengolahan bijih nikel laterit adalah proses untuk mengubah bijih nikel laterit menjadi konsentrat nikel dengan kadar nikel yang tinggi. Penggunaan bijih nikel laterit dalam produksi nikel masih terbatas dilakukan, karena bijih nikel laterit memiliki kadar nikel yang relatif rendah. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kadar nikel yang dapat diekstraksi (Rao dkk., 2013). Sejumlah proses metalurgi digunakan untuk memperoleh logam nikel. Proses pengolahan metalurgi dari nikel dapat dibedakan menjadi dua, yaitu pirometalurgi (melibatkan pemanasan) dan hidrometalurgi (melibatkan pelarutan). Hasil dari pirometalurgi berupa feronikel (Fe-Ni) dan *Nickel Pig Iron* (NPI) sedangkan hidrometalurgi secara *majority* menghasilkan Ni dan Co (Rodrigues, 2013). Pemilihan metode yang akan digunakan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kandungan nikel dalam bijih, batasan dalam peningkatan kadar nikel, kerumitan teknologi pengolahan, kondisi geografis, serta kebutuhan infrastruktur seperti pembangkit listrik, pelabuhan, jalan jaringan, dan fasilitas pengolahan *slag* (Rodrigues, 2013).

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 (Pournaderi, 2014).

Jalur proses pengolahan yang dapat digunakan untuk mendapatkan logam nikel tersebut seperti yang ada pada Gambar 4. Pemilihan jalur proses yang akan digunakan untuk proses pengolahan dipengaruhi oleh karakteristik mineral ataupun komposisi kimia dari endapan nikel laterit tersebut. Proses hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona limonit dengan kadar Ni dibawah 1,5%, Co dibawah 0.2%, Fe diatas 40%, dan MgO dibawah 5%. Proses pirometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona transisi dengan kadar Ni 1,5%-2%, Co 0,02%- 0.1%, Fe 25%-40%, dan MgO dibawah 5%-15% dan zona saprolit dengan kadar Ni 1,8%-3%, Co 0,02% -0.1%, Fe 15%-35%, dan MgO 15%-35%. Gabungan proses antara hidrometalurgi dan hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona limonit dan saprolit (Brand *et al.*, 1998).



Gambar 4 Profil endapan laterit terhadap opsi *processing* Nikel Laterit (Butt, 2007).

Logam nikel diperoleh dari endapan nikel laterit yang telah mengalami proses ekstraksi. Dalam mengolah nikel laterit, terdapat dua metode yang dapat digunakan, yaitu melalui metode pirometalurgi dan hidrometalurgi (Astuti, dkk., 2016). Pemilihan metode pengolahan ini bergantung pada karakteristik dan komposisi endapan nikel laterit. Metode hidrometalurgi digunakan untuk mengolah bijih nikel laterit dari zona limonit dengan kandungan Ni kurang dari

1,5%, Co kurang dari 0,2%, Fe di atas 40%, dan MgO kurang dari 5%. Sementara itu, metode pirometalurgi cocok untuk mengolah bijih nikel laterit dari zona transisi dengan kandungan Ni antara 1,5%-2%, Co antara 0,02%-0,1%, Fe antara 25%-40%, dan MgO kurang dari 5%-15%, serta zona saprolit dengan kandungan Ni antara 1,8%-3%, Co antara 0,02%-0,1%, Fe antara 15%-35%, dan MgO antara 15%-35%.

Pada proses pengolahan bijih laterit, metode *pyrometalurgi-hydrometalurgi* biasanya digunakan. Proses ini meliputi *High Pressure Acid Leaching* (HPAL), *reduction roasting-ammonia leaching* (Caron process), *Atmospheric Leaching* (AL) dan *Rotary Kiln-Electric Furnace* (RKEF). Berikut adalah beberapa metode pengolahan bijih nikel laterit yang umum digunakan (Bahfie *et al*, 2021):

2.2.1 Metode Pirometalurgi

Metode ekstraksi pirometalurgi melibatkan beberapa proses seperti: *roasting*, pengurangan karbothermik, reduksi bijih sulfida, dan reduksi *metallothermic*. Pemilihan proses yang akan digunakan terutama tergantung pada komposisi bijih atau konsentrat dan termodinamika, kinetik, dan kendala lingkungan yang terkait dengan setiap proses. Produksi feronikel dari bijih laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar *slag* serta Fe-Ni smelter yang biasa beroperasi pada suhu sekitar 1350-1400°C (Setiawan, 2016).

Kelebihan dari metode ekstraksi pirometalurgi yaitu: prosesnya sederhana dan terbukti dengan baik, dapat menangani bijih magnesium tinggi (yang umumnya mengandung konsentrasi nikel tinggi), pemulihan nikel tinggi (90%), residu berbentuk granular dan mudah dibuang, serta reagen umumnya tidak mahal dan tersedia (Kyle, 2010). Kekurangan dari metode ekstraksi pirometalurgi yaitu: biaya modal tinggi, penggunaan energi tinggi dan ekonomi proyek sangat sensitif terhadap biaya listrik, hanya dapat menangani bijih magnesium tinggi - pencampuran yang diperlukan untuk menjaga rasio $\text{SiO}_2 / \text{MgO}$, serta kobal tidak ditemukan sebagai produk terpisah (Kyle, 2010). Beberapa proses pirometalurgi yang biasanya dilakukan :

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. Reduksi yang berlangsung di *rotary kiln* meliputi proses 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 (Setiawan, 2014).

2. *The Caron Process*

Bahan umpan yang digunakan adalah laterite jenis limonit. Ada 4 langkah utama dalam proses ini yaitu pengeringan bijih dan *grinding*, *reduction roasting*, *leaching* dengan menggunakan larutan ammonium carbonate, dan metal *recovery*. Pada proses ini *reduction roasting* merupakan proses yang sangat penting. Temperatur reduksi harus dikontrol dengan baik agar mendapatkan *recovery* nikel dan cobalt secara maksimal. Kalsinasi dilakukan pada *temperature* 850°C. Selanjutnya hasil kalsinasi akan melalui proses amonia *leaching* pada temperatur sekitar 150-200°C. *Caron Process* dapat me-*recover* 70–80% nikel dan hanya 40–50% kobalt. Proses ini lebih cocok digunakan untuk bijih laterit jenis limonit. Ketika proses ini untuk bijih serpentit atau bijih laterit yang mengandung besi dengan

kadar rendah serta magnesium dengan kadar yang tinggi, maka *recovery* nikel akan menurun secara signifikan. Hal ini dikarenakan magnesium lebih dominan untuk bereaksi dengan silica dan NiO, sehingga membuat sebagian besar NiO tidak tereduksi ketika proses reduksi roasting. Selain *Caron Process* masih terdapat beberapa proses *hidrometalurgi* yang digunakan dalam pengolahan nikel laterit yakni HPAL (*high pressure acid leaching*), AL (*Atmospheric leaching*), HL (*Heap Leaching*), *Bioleaching* dan beberapa kombinasinya.

2.2.2 Metode Hidrometalurgi

Hidrometalurgi merupakan proses pengolahan atau ekstraksi logam berharga dari bijih menggunakan media cair atau larutan pada kondisi atmosferik atau bertekanan. Proses hidrometalurgi dapat menjawab tantangan dalam pemanfaatan bijih nikel laterit berkadar rendah seperti limonit. Dalam proses hidrometalurgi, ada tiga metode yang biasanya digunakan yaitu *atmospheric leaching*, *heap leaching* dan *high pressure acid leaching* (HPAL) (Arif, 2018).

1. *Atmospheric Leaching* (AL)

Atmospheric leaching (AL) adalah proses mengekstraksi suatu bahan yang dapat larut dari suatu padatan dengan menggunakan pelarut pada tekanan atmosfer. Proses kimia dari AL dengan pencucian asam bersuhu rendah umumnya dibawah 100°C dan tekanan rendah diprediksi dapat dikembangkan dimasa depan. *Atmospheric leaching* pada suhu yang lebih rendah dan kondisinya pada tekanan atmosfer menghindari kebutuhan *autoclave* pada HPAL yang mahal. Namun, ada dua masalah utama pada penggunaan *atmospheric leaching* yaitu kinetika ekstraksi nikel yang lambat dan kemudahan dalam memisahkan logam pada proses selanjutnya misalnya, ekstraksi nikel dengan metode *atmospheric leaching* cenderung mengandung konsentrasi yang signifikan dari besi dan aluminium yang larut (McDonald and Whittington, 2008).

2. *Heap Leaching*

Heap leaching adalah proses yang biasanya digunakan untuk mengolah tembaga, emas, uranium dan digunakan dalam berbagai tingkatan oleh

perusahaan seperti Glencore (Minara), Vale, BHPB dan Xstrata untuk mengolah nikel laterit. Proses *heap leaching* berpotensi menjadi proses pengolahan nikel laterit dengan modal terendah dan paling ramah lingkungan (Oxley and Barcza, 2013). Pada proses *heap leaching*, bijih ditumpuk di atas lapisan yang tak tembus seperti plastik atau aspal dan disemprot dengan larutan asam dari atas. Asam akan masuk ke dalam tumpukan (*heap*) dan melindi logam-logam yang terkandung dalam bijih, sehingga terbentuk larutan yang kaya akan logam. Larutan yang kaya akan logam tersebut, dikumpulkan pada bagian bawah tumpukan bijih selanjutnya dipompa dan diproses lebih lanjut secara kimiawi (Arif, 2018). Proses pelindian menggunakan asam, bergantung pada permeabilitas tumpukan bijih. Jika permeabilitasnya sangat kecil, larutan asam tidak dapat meresap ke dalam yang mengakibatkan pelindian tidak dapat terjadi. Untuk menghindari hal tersebut, umumnya bijih terlebih dahulu diaglomerasi. Proses aglomerasi yaitu mengubah bijih menjadi berbentuk pellet kemudian ditambahkan asam dan air. Proses pelindian dilakukan pada suhu kamar dan berlangsung selama berbulan-bulan yaitu sekitar 3 – 12 bulan. Proses *heap leaching* tidak memerlukan proses pemisahan padatan seperti pada proses PAL dan AL. perolehan dari proses *heap leaching* ini tidak sebesar perolehan pada proses HPAL dan AL, sebab perolehan dan selektivitas proses ini terhadap besi sangat bergantung pada tipe bijih, khususnya komposisi mineral yang terkandung dalam bijih (Arif, 2018).

3. *High Pressure Acid Leaching* (HPAL)

Proses HPAL merupakan proses ekstraksi yang awalnya dikembangkan oleh Sheritt Gordon Canada untuk mengolah limonit murni yang jumlahnya berlimpah di Pinares de Mayari Cuba. HPAL merupakan proses metode ekstraksi hidrometalurgi yang sudah dapat digunakan secara komersial. Biaya pembangunan HPAL dan proses caron sama-sama mahal tapi memiliki tingkat perolehan yang berbeda dimana HPAL memiliki perolehan nikel ($Ni > 90\%$) dan kobal ($Co > 90\%$) sedangkan proses caron memiliki perolehan nikel ($Ni: 70\% - 80\%$) dan kobal ($Co \pm 50\%$) (Prasetyo

dan Ronald, 2011). Teknologi HPAL dapat mengolah bijih nikel laterit kadar rendah, selain itu teknologi HPAL dapat mengolah bijih dengan berbagai kandungan mineral yang terkandung dalam bijih laterit dengan berbagai macam mineral yang beragam. Namun, HPAL memerlukan energi tambahan untuk pemanasan material bijih jika pemanasan memanfaatkan uap dari *autoclave* tidak memadai. Disisi lain, penggunaan asam dapat menyebabkan korosi pada mesin dan pabrik.

Rute umum pengolahan bijih nikel laterit secara pirometalurgi terdiri dari 4 tahap proses yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya yaitu penambangan bijih, *drying*, *roasting*, peleburan, dan pemurnian.

1. Penambangan; Bijih nikel laterit terbentuk dekat dengan permukaan tanah, dengan begitu laterit dengan mudah diambil.
2. *Drying* dan *roasting*; Karena bijih nikel laterit kebanyakan ditemukan di daerah dengan iklim tropis yang berada disekitar garis ekuator, bijih nikel laterit mengandung kelembapan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, diperlukakn proses untuk menghilangkan kelembapan dengan cara *drying* atau *calcining*. Sebelum proses peleburan (*smelting*) bijih biasanya dilakukan *roasting* di dalam *rotary kiln*. Dua langkah ini dan langkah selanjutnya merupakan langkahlangkah yang memerlukan energi paling besar seperti gas alam, karbon, dan listrik.
3. *Smelting*; *Electric arc furnace* biasanya digunakan untuk proses peleburan (*smelting*). Nikel *matte* didapatkan akibat adanya penambahan sulfur sehingga oksida nikel dapat berubah menjadi nikel sulfida *matte*. Nikel *matte* bisa diberikan perlakuan yang sama meskipun berasal dari bijih nikel sulfida.
4. Pemurnian (*refining*); Ada beberapa cara pemurnian yang dapat dilakukan bergantung dari hasil akhir yang ingin dicapai.

Proses hidrometalurgi (*leaching*/pelindihan) merupakan proses ekstraksi logam dengan menggunakan teknik pemberian reagen pelarut yang 10 dilakukan dengan temperatur relatif rendah. Proses ini sangat cocok untuk pengolahan mineral yang memiliki kadar rendah. Tahapan-tahapan dalam proses hidrometalurgi yaitu: pengeringan, reduksi, pelindihan dan pemurnian serta

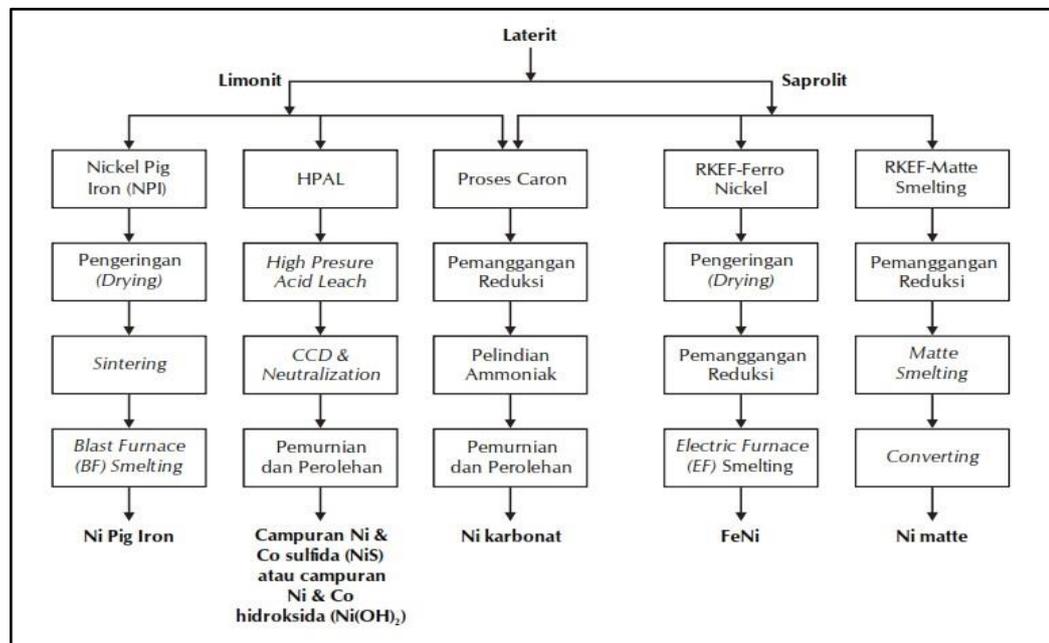
recovery (Taruminkeng *et al.*, 2016). Proses hidrometalurgi terdapat dua proses utama yang digunakan, yaitu proses Caron dan proses pelindian asam tekanan tinggi (HPAL). Namun, para peneliti juga sedang mengeksplorasi alternatif dengan modal rendah seperti pelindian tekanan atmosfer (*Atmospheric Leaching*) dan pelindian tumpukan (*Heap Leaching*), dengan tujuan menilai kesesuaian penggunaannya pada proyek-proyek mendatang (Kyle, 2010). Tabel 3 di bawah ini menunjukkan opsi pemrosesan saat ini untuk bijih laterit.

Tabel 3 Opsi pemrosesan saat ini untuk bijih laterit (Rodrigues, 2013)

<i>Process</i>	<i>Feed Ore</i>	<i>Recoveries</i>	<i>Description</i>
RKEF	<i>Saprolite</i>	Ni 90 – 95% Co 50%	<i>Drying/dihydroxylation at 250°C followed by reduction or sulphidation at 800 – 900°C in rotary kilns. Electric arc smelting (up to 1600°C) separates slag from either ferronickel or nickel matte phase</i>
Caron	<i>Limonite/Saprolite blends</i>	Ni 80 – 85% Co 40 – 45%	<i>Selective reduction of Ni/Co values to the metallic state at 750°C followed by ammoniacal leach to recover the Ni/Co. Further refining produces either a Ni/Co carbonate or Oxide sinter</i>
HPAL	<i>Limonite</i>	Ni > 90% Co > 90%	<i>Pressure acid leach (at 250°C and 40 MPa) in autoclaves with sulphuric acid followed by CCD and purification</i>

Tinjauan tentang metode pengolahan bijih laterit saat ini telah dilakukan oleh (Dalvi *et al.*, 2004; Habashi, 1997; Crundwell *et al.*, 2011; Canterford, 1975; dan Simons, 1988). Pengolahan metalurgi laterit dapat dibagi menjadi proses pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pengembangan proyek laterit yang menerapkan proses ini dipengaruhi oleh kadar rendah dengan kemampuan peningkatan yang terbatas, teknologi pemrosesan yang kompleks, jarak geografis yang jauh, dan kebutuhan infrastruktur yang besar seperti; pembangkit listrik, pelabuhan, jalan dan fasilitas penahanan *tailing/slag*. Akibatnya, proyek laterit harus menjadi

“proyek besar” untuk mencapai skala ekonomi (Neudorf & Huggins, 2004; Moskalyk & Alfantazi, 2002; King, 2005). Adapun diagram alir proses pengolahan laterit yang sudah komersial dengan jalur hidrometalurgi dan pirometalurgi, dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5 Diagram alir proses yang disederhanakan untuk metode produksi komersial saat ini untuk ekstraksi nikel dari bijih laterit (Rodrigues, 2013)

Proses pirometalurgi (*smelting/peleburan*) merupakan proses pemisahan logam dari bijihnya dengan menggunakan pemanasan pada temperatur yang sangat tinggi sampai titik lebur. Proses ini sangat cocok untuk pengolahan mineral yang memiliki kadar tinggi dan telah banyak digunakan oleh beberapa perusahaan dalam memproduksi logam, salah satunya adalah nikel. Tahapan-tahapan dalam proses pirometalurgi yaitu: pengeringan, kalsinasi, peleburan dan pemurnian. (Taruminkeng *et al.*, 2016).

Proses pirometalurgi yang dikenal sebagai peleburan (*smelting*), melibatkan penggunaan suhu tinggi, di mana panasnya berasal dari tungku berbahan bakar batubara menggunakan kokas sebagai bahan bakar. Selain berfungsi sebagai bahan bakar, batubara juga berperan sebagai agen pereduksi selama proses peleburan. Metode ini paling cocok untuk mengolah nikel laterit jenis saprolit dengan kandungan nikel tinggi (>2%). Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan *feronickel*, *nickel matte*, atau *nickel pig iron* (Kyle, 2010).

Proses hidrometalurgi ditandai dengan kompleksitas dan durasi yang panjang, namun memiliki kebutuhan energi yang rendah (Zheng, *et al.*, 2014). Di sisi lain, proses pirometalurgi yang dipaparkan oleh (Ma *et al.*, 2016) lebih sederhana tetapi memerlukan input energi yang lebih tinggi, serta memerlukan bijih nikel laterit mentah dengan kandungan nikel yang signifikan. Untuk mengatasi keterbatasan dari pendekatan pirometalurgi tersebut, para ahli telah mengusulkan solusi potensial dengan menggantikan tahap peleburan dengan pemisahan magnetik untuk memulihkan partikel feronikel yang dihasilkan selama tahap *roasting* (Bahfie, *et al.*, 2021).

2.3 Reduksi Selektif pada Pengolahan Bijih Nikel Laterit

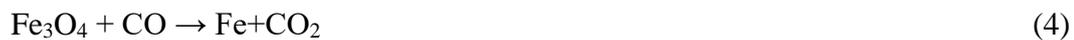
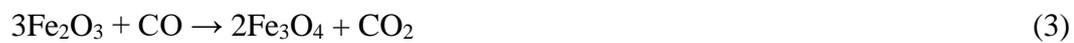
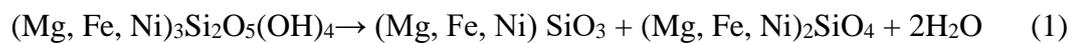
Proses reduksi selektif merupakan suatu metode yang saat ini sedang banyak dikembangkan, dimana bijih nikel laterit direduksi dengan penambahan sejumlah reduktor dan aditif untuk membatasi reduksi besi oksida menjadi logam besi, sehingga akan diperoleh konsentrat feronikel yang lebih kaya akan nikel. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Cao, 2010; Li, 2021; Zhu, 2012; dan Zhou, 2012) menggunakan reduktor batubara dengan zat aditif natrium karbonat, sodium sulfat, dan kalsium sulfat.

Reduksi selektif adalah salah proses pengolahan bijih nikel laterit yang sedang banyak dikembangkan saat ini. Proses tersebut merupakan teknologi pengolahan secara pirometalurgi namun menggunakan temperatur proses reduksi yang sedikit lebih rendah (1100-1200°C) (jika dibandingkan teknologi peleburan konvensional menggunakan *Blast Furnace* ataupun *Rotary Kiln Electric Furnace*), kemudian di kombinasikan dengan benefisiasi secara fisik menggunakan proses pemisahan magnetik (*magnetic separation*) untuk memisahkan konsentrat/ferronikel (magnetik) dan *tailing*/pengotor (nonmagnetik) (Farrokhpay *et al.*, 2019; Warner *et al.*, 2007).

Tujuan utama dari proses reduksi selektif ini adalah untuk mereduksi senyawa oksida nikel dalam bijih nikel laterit. Namun, mereduksi sebagian dari oksida besi juga penting untuk selanjutnya besi yang tereduksi tersebut dapat mengikat nikel agar terbentuk ferronikel. Proses reduksi selektif berawal dari lepasnya senyawa hidroksida yang terjadi pada temperatur 500-600°C, yaitu:

serpentine [(Mg,Fe,Ni)₃Si₂O₅(OH)₄] menjadi *forsterite* [(Mg,Fe,Ni)SiO₃] dan *enstatite* [(Mg,Fe,Ni)₂SiO₄], serta *goethite* [Fe(OOH)] menjadi *hematite* (Fe₂O₃). Kemudian proses tersebut dilanjutkan dengan perubahan pada pemanasan lanjut yaitu: *forsterite* dan *enstatite* yang berubah menjadi nikel oksida (NiO) dan logam nikel Ni, serta *hematite* yang berubah menjadi *magnetite* (Fe₃O₄), *wustite* (FeO) dan logam besi Fe (Nurjaman *et al.*, 2020).

Reaksi (1-8) yang terjadi saat menggunakan reduksi selektif untuk nikel laterit adalah sebagai berikut (Valix & Cheung, 2002; Harris, *et al.*, 2010; Nurjaman, *et al.*, 2020):



Metode reduksi selektif-magnetik yang digunakan dalam pengolahan bijih laterit kaya akan besi (Ni 1,49%, Fe 34,69%), dengan penambahan natrium sulfat, menghasilkan produk feronikel yang mengandung 9,87% nikel dan mencapai tingkat *recovery* nikel sebesar 90,9%. Hasil-hasil ini diperoleh melalui penerapan kondisi reduksi pada bijih laterit pada suhu 1200°C selama 50 menit, dengan penambahan Na₂SO₄ sebanyak 10% berdasarkan berat dan batubara sebanyak 2% berdasarkan berat (Jiang, *et al.*, 2013). Sementara itu, pendekatan reduksi khusus yang melibatkan dua tahap dan proses ekspansi termal digunakan untuk mengubah bijih limonitik dengan kandungan nikel sebesar 1,38% dan kandungan besi sebesar 45,7% menjadi produk feronikel. Prosedur ini dimulai dengan tahap reduksi awal di mana batubara sebanyak 6% dan belerang sebanyak 4% dimasukkan pada suhu 600°C selama satu jam, diikuti oleh ekspansi partikel selama satu jam lagi pada suhu 1000°C. Sebagai hasilnya, diperoleh konsentrat feronikel dengan kandungan nikel sebesar 4% dan tingkat pemulihan nikel sebesar

93,2%. Selain itu, penting untuk dicatat bahwa ukuran partikel meningkat dengan peningkatan suhu dan durasi proses yang lebih lama (Elliott, *et al.*, 2015).

Separasi magnetik merupakan metode pemisahan yang menggunakan perbedaan karakteristik kemagnetan dari mineral-mineral yang ada dalam bijih. Ketika medan magnet diterapkan, mineral-mineral dalam bijih akan memberikan tanggapan sesuai dengan sifat kemagnetannya masing-masing. Mineral-mineral yang memiliki kemagnetan yang signifikan akan menunjukkan respons terhadap medan magnet dan akan terpengaruh olehnya. Mineral-mineral yang bisa tertarik oleh medan magnet termasuk contohnya *magnetite*, *hematite*, *ilmenite*, *siderite*, *monaite* dan sebaliknya mineral non-magnetik tidak akan tertarik contohnya *quartz*, mika, *corundum*, *gypsum*, *iron*, *feldspar* tidak akan merespon medan magnet dan tidak akan tertarik olehnya. Metode ini terbukti efektif dalam aplikasinya, terutama dalam proses selektif reduksi bijih laterit nikel. Dalam konteks ini, mineral berharga seperti nikel dan besi dapat dipisahkan dari matriksnya karena perbedaan sifat kemagnetannya.

Realisasi reduksi selektif sangat tergantung pada dua aspek, yaitu mengendalikan atmosfer reduksi yang memiliki korespondensi yang dekat dengan jenis dan dosis reduktor, dan memilih aditif yang sesuai. Aditif yang dapat mengoptimalkan proses reduksi selektif, menghambat reduksi besi, meningkatkan ukuran partikel feronikel, dan meningkatkan efek pemisahan magnetik selanjutnya. Pertumbuhan partikel feronikel dalam tahap pemanggangan reduksi cukup penting untuk menentukan apakah pemisahan efektif partikel feronikel dari pengotor selama tahap pemisahan magnetik selanjutnya dapat dicapai, yang didominasi oleh temperature reduksi, waktu proses dan aditif yang sesuai (Bahfie, 2021).

2.4 Pemanggangan Tereduksi (*Reduction Roasting*)

Pemanggangan reduksi melibatkan konversi oksida besi seperti hematit dan goethite menjadi magnetit dengan adanya reduktor berkarbon. Magnetit adalah feromagnetik produk yang dapat dipisahkan dari fase gangue dengan pemisahan magnetik yang dioperasikan dengan intensitas rendah. Selanjutnya, panas yang diterima oleh bijih selama proses pemanggangan menciptakan rekahan yang juga

membantu dalam pembebasan fase magnetit selama penggilingan. Selain itu, pemanggangan meningkatkan kerapuhan pada bijih, sehingga mengurangi biaya hilir penggilingan (Huang, *et al.*, 2010; Qu, *et al.*, 2019). Proses reduksi sebagian besar berbasis gas karena karbon yang ada di dalam reduktor bereaksi dengan karbon dioksida membentuk karbon monoksida. Dalam proses ini, dispersi bahan bijih meningkat, ikatan antara partikel mineral melemah, dan akibatnya, partikel oksida besi direduksi ke keadaan yang lebih rendah di bawah atmosfer reduksi (Qu, *et al.*, 2019; Lu, *et al.*, 2019). Langkah-langkah yang terlibat dalam pemanggangan reduksi diberikan di bawah ini



Dalam urutan reaksi ini, pembentukan dan pengangkutan CO dari bulk gas fase bulk gas ke partikel besi dan adsorpsi pada antarmuka sangat penting. Selama proses reduksi, karbon monoksida dapat mereduksi besi trivalen menjadi divalen campuran dan keadaan trivalen besi. Untuk suhu yang lebih tinggi dari 570°C, hematit (Fe_2O_3) adalah terutama diubah menjadi magnetit (Fe_3O_4), kemudian menjadi wustit dan akhirnya menjadi logam besi.

Untuk mengatasi keterbatasan proses pirometalurgi, para ahli telah mengusulkan mengganti tahap peleburan dengan pemisahan magnetik untuk *recovery* partikel feronikel yang dihasilkan selama tahap *roasting*. *Roasting*-pemisahan magnetik adalah proses ekstraksi nikel baru dan menunjukkan potensi yang bagus karena memiliki keuntungan seperti kesederhanaan dan konsumsi energi yang rendah secara bersamaan dan dapat digunakan untuk menangani berbagai jenis bijih laterit (Jiang, *et al.*, 2013).

Pada tahap *roasting*, nikel dan besi direduksi menjadi keadaan logam pada temperatur 1000-1200°C. Partikel feronikel dipisahkan dari terak pada tahap pemisahan magnetik setelah hasil *roasting* dihaluskan. Tingkat *recovery* nikel umumnya lebih tinggi dari 90%. Proses pemisahan reduksi selektif-magnetik terutama dilakukan untuk meningkatkan kadar nikel produk feronikel. Nikel didapatkan sebanyak mungkin dan metalisasi besi harus ditahan untuk mencapai reduksi selektif yang optimal dan mendapatkan produk feronikel dengan kadar

nikel tinggi. Berkenaan dengan selektivitas reduksi, seleksi ini masih kurang sempurna, karena besi harus metalisasi sampai batas tertentu dan bertindak sebagai pembawa nikel (Pickles *et al.*, 2015). Selain itu, sangat penting untuk memaksimalkan ukuran partikel feronikel sehingga paduan feronikel dapat diperoleh kembali dengan penggilingan berikutnya dan pemisahan *magnetic*. (Zhu *et al.*, 2012) mempelajari ekstraksi bijih laterit limonitik dan saprolitik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan mineral silikat yang berguna untuk meningkatkan konsentrasi nikel dengan menekan pengurangan oksida besi.

Teknologi proses reduksi selektif (parsial) dikembangkan untuk mengolah bijih nikel laterit menjadi konsentrat logam ferronikel. Teknologi tersebut merupakan gabungan dari metode pirometalurgi dan benefisiasi secara fisik, dimana bijih nikel laterit terlebih dahulu direduksi pada temperatur tertentu yang kemudian dilanjutkan dengan proses pemisahan magnetik untuk memisahkan pengotor/*slag* (non-magnetik) dengan konsentrat ferronikel (magnetik). Proses reduksi dilakukan pada temperatur proses yang rendah (1100-1200°C) dengan penambahan material/gas reduktan dan sejumlah aditif (senyawa sulfat, karbonat atau klorida) pada bijih nikel laterit. Proses reduksi selektif ditujukan untuk mereduksi keseluruhan senyawa oksida nikel, namun hanya mereduksi sebagian senyawa oksida besi yang terkandung dalam bijih nikel laterit. Proses reduksi diawali dengan menghilangkan senyawa hidroksida, yaitu *serpentine*- $(\text{Mg,Fe,Ni})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ dan goetit-(FeOOH). Pada temperatur 500-600°C, serpentin akan berubah menjadi forsterit-(Mg,Fe,Ni)SiO₃ dan enstatit-(Mg,Fe,Ni)₂SiO₄, sedangkan goetit akan berubah menjadi hematit-(Fe₂O₃). Pemanasan lebih lanjut akan menyebabkan nikel dalam forsterit dan enstatit berubah menjadi nikel oksida (NiO) dan logam nikel-Ni, sedangkan hematit akan berubah menjadi magnetit-Fe₃O₄, wustit-FeO, dan logam besi-Fe.

2.5 Arang Tongkol Jagung

Jagung merupakan salah satu jenis tanaman pangan biji-bijian dari keluarga rumput-rumputan dan merupakan tanaman semusim (Rizky, 2015). Jagung juga merupakan salah satu jenis tanaman tropis yang memiliki daya adaptasi tinggi jika dibandingkan tanaman padi-padian lainnya. Hal ini membuat jagung dapat

menyebar luas terutama pada lingkungan tropis dengan berbagai jenis variasi sifat-sifat yang dimilikinya. Tanaman jagung banyak tersebar di Indonesia. Umumnya tanaman jagung banyak dijumpai di daerah dataran rendah maupun dataran tinggi, pada lahan sawah atau tegalan, dengan suhu optimal antara 21-34°C, dengan pH tanah antara 5,6-7,5 dan dapat tumbuh pada ketinggian antara 1000-1800 mdpl (Budidaya Tanaman Pangan, 2009).

Jagung dapat tumbuh pada daerah tropis yang memiliki Intensitas matahari yang cukup tinggi. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa pertumbuhan dan perkembangan jagung di Indonesia sangat baik, dimana Indonesia memiliki letak geografis yang memungkinkan Indonesia memiliki curah hujan yang cukup dan intensitas sinar matahari yang cukup tinggi. Limbah pertanian lain yang kurang optimal pemanfaatannya dari pertanian jagung adalah tongkol jagungnya. Limbah atau sampah adalah hasil dari suatu kegiatan yang kurang atau tidak dimanfaatkan. Sebagian besar sampah tongkol jagung hanya dimanfaatkan sebagai pakan semak. Karena itu perlu diupayakan pemanfaatan yang lebih besar dari sampah tongkol jagung. Pemanfaatan yang optimal dari tongkol jagung ini salah satunya yaitu dijadikan bahan dasar pembuatan karbon aktif.

Tongkol jagung dapat diproses menjadi karbon aktif karena mengandung karbon yang berasal dari unsur selulosa, hemiselulosa dan lignin. Tongkol jagung dapat dikonversi menjadi arang aktif. Arang aktif merupakan arang yang diproses secara fisika atau kimia sehingga mempunyai daya serap atau adsorpsi yang tinggi. Arang aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon (Aisiyah, 2016). Tongkol jagung berpotensi dijadikan arang aktif karena memiliki kandungan senyawa karbon yang cukup tinggi, yaitu 40% selulosa, 36% hemiselulosa dan 16% lignin yang mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan pembuat arang aktif (Choiriyah, 2010).

Arang aktif merupakan suatu padatan yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi maupun diaktifasi dengan bahan-bahan kimia (aktivator). Arang aktif merupakan senyawa karbon amorf yang sebagian besar terdiri sebuah karbon bebas serta memiliki permukaan dalam (intern permukaan) yang mempunyai luas permukaan antara 300-3500 m²/gram dan hal ini berhubungan dengan struktur

pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai daya serap (menyerap) yang baik (Anonim, 2005). Daya serap (absorpsi) arang aktif umumnya bergantung pada jumlah senyawa karbon bebas yang berkisar 85-95%. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu, daya serap arang aktif sangat besar yaitu 25-1000% terhadap berat arang aktif (Sembiring dan Sinaga, 2003). Tongkol jagung adalah salah satu bahan baku yang kualitasnya cukup baik dijadikan karbon aktif. Arang tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6 Arang Tongkol Jagung (Sumber: Penerbitan Kampus Identitas Unhas, 2022)