

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
REDUKSI DENGAN PENAMBAHAN KONSENTRASI
REDUKTOR TERHADAP PENINGKATAN KADAR DAN
RECOVERY FERONIKEL MELALUI PROSES REDUKSI
SELEKTIF BIJIH NIKEL KADAR RENDAH
MENGUNAKAN ANTRASIT DAN ADITIF $MgCl_2$**

(Skripsi)

Oleh

Eliyani



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN REDUKSI DENGAN PENAMBAHAN KONSENTRASI REDUKTOR TERHADAP PENINGKATAN KADAR DAN *RECOVERY* NIKEL MELALUI PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL KADAR RENDAH MENGGUNAKAN ANTRASIT DAN ADITIF $MgCl_2$

Oleh

Eliyani

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan reduksi dengan penambahan konsentrasi reduktor terhadap peningkatan kadar dan *recovery* nikel melalui proses reduksi selektif bijih nikel kadar rendah menggunakan antrasit dan aditif $MgCl_2$. Karakterisasi XRF dari konsentrat menunjukkan nilai optimum yaitu pada temperatur $1050^{\circ}C$ dengan reduktor 10% dan waktu tahan reduksi selama 120 menit dengan kadar dan *recovery* nikel sebesar 2,37% dan 56,94%. Pola Difaktogram XRD hasil reduksi selektif menunjukkan fasa yang dominan seperti *fayalite* (Fe_2SiO_4), *magnesioferrite* (Fe_2MgO_4), dan *Iron Nickel* ($FeNi$). Ukuran partikel feronikel yang terbentuk sebesar 2,85 μ m.

Kata Kunci: Feronikel, bijih nikel laterit, seleksi reduksi

ABSTRACT

THE EFFECT OF TEMPERATURE VARIATION AND REDUCTION RESISTANT TIME WITH THE ADDITION OF REDUCTORS CONCENTRATION ON THE INCREASE OF LEVELS AND NICKEL RECOVERY THROUGH THE SELECTIVE REDUCTION PROCESS OF NICKEL OIL CONTENT USING ANTRASITE AND ADITIVE MgCl₂

By

Eliyani

Increasing weight percent and *recovery* of nickel with the variation of temperature, reduction holding time, and percentage of reductor on the limonite ore with the antracite and additive MgCl₂ by using selective reduction process. According XRF results, the optimum result of the weight percent and *recovery* nickelis in the temperature 1050°C, 10% reductor, and reduction holding time for 120 minutes those are 2.37wt% and 56.94t%. The dominant phases are *fayalite* (Fe₂SiO₄), *magnesioferrite* (Fe₂MgO₄), dan *ironnickel* (Fe dan Ni) with the grain size of ferronickelis 2.85 ηm.

Keyword: Ferronickel, limonite, selective reduction, temperature, holding time, reductor, MgCl₂.

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN REDUKSI
DENGAN PENAMBAHAN KONSENTRASI REDUKTOR TERHADAP
PENINGKATAN KADAR DAN *RECOVERY* FERONIKELMELALUI
PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL KADAR RENDAH
MENGUNAKAN ANTRASIT DAN ADITIF $MgCl_2$**

Oleh

ELIYANI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN REDUKSI DENGAN PENAMBAHAN KONSENTRASI REDUKTOR TERHADAP PENINGKATAN KADAR DAN RECOVERY FERONIKEL MELALUI PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL KADAR RENDAH MENGGUNAKAN ANTRASIT DAN ADITIF MgCl₂**

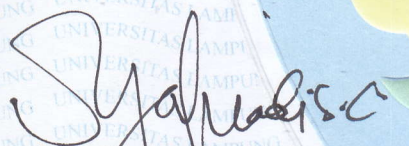
Nama Mahasiswa : **Eliyani**

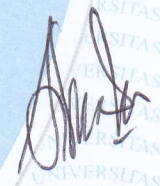
Nomor Pokok Mahasiswa : **1417041023**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP. 19610821 199203 1 002


Achmad Shofi, S.T., M.T.
NIP. 19811022 201012 1 001

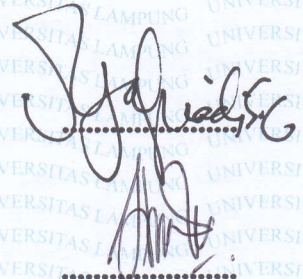
2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtono, M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

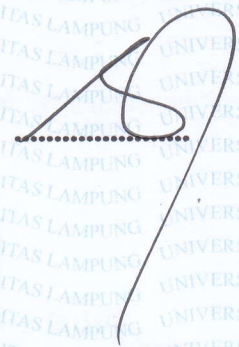
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Drs. Syafriadi, M.Si.



Sekretaris : Achmad Shofi, S.T., M.T.

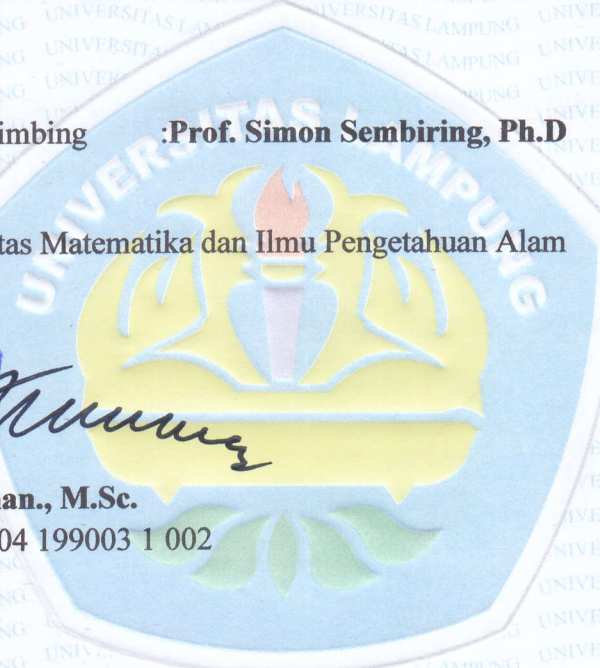


**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Simon Sembiring, Ph.D**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman., M.Sc.
NIP. 19640604 199003 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 13 September 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur Dan Waktu Tahan Reduksi Dengan Penambahan Konsentrasi Reduktor Terhadap Peningkatan Kadar Dan *Recovery* Feronikel Melalui Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Kadar Rendah Menggunakan Antrasit Dan Aditif $MgCl_2$ ” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang telah diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, September 2019



Eliyani
NPM. 1417041023

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bulu Wangi, pada tanggal 30 September 1996. Anak dari pasangan Bapak Sudirman dan Ibu Siti Khatijah yang merupakan putri ke 3 dari 5 bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 2 Bulurejo pada tahun 2008, SMPN 3 Gadingrejo pada tahun 2011, dan SMAN 2 Gadingrejo pada tahun 2014.

Pada tahun 2014 penulis masuk dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai Anggota Kaderisasi, ROIS dan Anggota Dana Usaha (DANUS) dari tahun 2014-2015.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dilaksanakan di PUSPITEK Tangerang Selatan pada tahun 2017 dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Margodadi, Kab. Pringsewu, Lampung sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

MOTTO

“Jika Tersenyum Itu Bisa Membuat Mu Bahagia
Maka Tersenyumlah Tetapi Jika Tidak Maka
Menangislah”

(Eliyani)

Dengan Menyebut Nama Allah SWT yang maha Pengasih lagi Maha Penyayang “
Alhamdulillahirabbil’alamin”
Kupersembahkan hasil karya yang sederhana ini kepada:

“Ayahandaku Sudirman dan Ibundaku Siti Khotijah”

Yang penuh kesabaran dalam membimbing, mendidik, menemani dan menyemangati dengan kelembutan doa dan kasih sayang.
Terima kasih atas restu yang tiada hentinya hingga sekarang dan sampai nanti.

“Sigit Sutrisno & Sabiq El-Fathin”

Terima Kasih atas dukungan semangat, doa, serta kasih sayang dan selalu menemani, mendampingi disaat mengerjakan skripsi.

“Kakak-Adikku dan Keluarga Besar”

Terima Kasih atas semangat, curahan kasih sayang dan bantuan yang telah kalian berikan.

“Sahabat-Sahabatku”

Terima Kasih telah memberi warna dan pelajaran padaku,
Dari yang mengajari arti hidup sampai membantu dalam proses penyusunan karya yang sederhana ini.

dan

Universitas Lampung
Almamater Tercinta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kesehatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Temperatur Dan Waktu Tahan Reduksi Dengan Penambahan Konsentrasi Reduktor Terhadap Peningkatan Kadar Dan *Recovery* Feronikel Melalui Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Kadar Rendah Menggunakan Antrasit Dan Aditif $MgCl_2$ ”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, September 2019

Penulis,

Eliyani

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas kuasa-Nya penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan skripsi ini, terutama kepada:

1. Kedua orang tuaku, Ayah dan Ibu tercinta yang tak henti memberiku semangat dan doa.
2. Sigit Sutrisno dan Sabiq El-Fathin yang selalu memberi semangat serta doa dengan penuh kasih sayang.
3. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. sebagai pembimbing I yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Achmad Shofi, S.T., M.T sebagai pembimbing II yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D sebagai penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
6. Balai Penelitian Teknologi Mineral LIPI yang telah membiayai dan mengizinkan untuk melakukan penelitian serta peneliti, staf, dan karyawan yang membantu dalam melakukan penelitian untuk menyelesaikan tugas akhir.

7. Ibu Dra. Dwi Asmi, P.hD sebagai pembimbing akademik, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
8. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng. selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku sekretaris Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
10. Bapak Drs. Suratman, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematik dan Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
11. Para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
12. Bapak Fajar Nurjaman, M.T selaku peneliti di Balai Penelitian Teknologi Mineral LIPI yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
13. Kakak-kakakku dan Adik-adikku tersayang Eka Wati, Eviyana, Sutimo dan Ermasari terimakasih atas bantuan dan semangat yang kalian berikan.
14. Teman-teman tercinta Mizna Amiroh, Riska Nadia, Fida Ivana, Dwi Nur, Apriliana, Santi Komala, Eka Himatus, Ario.
15. Ami dan Riska teman satu timku yang telah membantu serta menjadi teman diskusi yang baik.
16. Teman-teman fisika 2014 serta kakak dan adik tingkat yang membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan tugas akhir.

Akhir kata, atas segala bantuannya mendapat balasan dari Allah SWT dan dilimpahkan karunianya kepada kita semua.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	Iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biji Nikel.....	5
2.2 Jenis-Jenis Biji Nikel	6
2.3 Jenis-Jenis Nikel Laterit	7
2.4 Proses Pengolahan Biji Laterit Menjadi Nikel.....	8
2.5 Reduksi Temperatur Rendah diikuti Pemisahan Magnetik.....	10
2.6 Reduktor Batubara Antrasit.....	11
2.7 Termodinamika Reduksi.....	12
2.8 Pengaruh Temperatur Reduksi.....	15
2.9 Pengaruh Waktu Tahan Reduksi.....	15
2.10 Pengaruh Jumlah Reduktor.....	16
2.11 Proses Segregasi.....	16
2.12 XRF (<i>X-Ray Fluoresensi</i>).....	18
2.13 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	19
2.14 SEM <i>Scanning Electron Microscopy</i>	20

III. PROSEDUR PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Prosedur Penelitian	23
3.4 Prosedur Karakterisasi.....	25
3.5 Diagram Alir	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi biji laterit.....	28
4.2 Reduksi selektif biji nikel laterit dengan aditif $MgCl_2$	31
4.2.1 Pengaruh temperatur reduksi.....	31
4.2.2 Pengaruh waktu reduksi.....	38
4.2.3 Pengaruh jumlah reduktor.....	46

KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Data Cadangan Nikel dan Produksi Nikel di Dunia.....	6
Gambar 2. Mineral laterit.....	7
Gambar 3. Susunan bijih laterit.....	8
Gambar 4. Diagram <i>bauer glassner</i> dan <i>boudouard</i>	14
Gambar 5 . Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 6. Pola Difaktogram XRD bijih nikel laterit.....	29
Gambar 7. SEM <i>Image</i> dari bijih nikel laterit sebelum dilakukan reduksi; (b) Distribusi karbon dalam bijih (c) Distribusi oksigen; (d) Distribusi magnesium; (e) Distribusi aluminium; (f) Distribusi silikon; (g) Distribusi khrom, (h) Distribusi besi; (i) Distribusi nikel; dan (j) Distribusi tembaga.....	30
Gambar 8. Pola Difaktogram XRD pada pengaruh temperatur terhadap perubahan fasa bijih hasil reduksi dengan 10% MgCl ₂ pada waktu 90 menit dan reduktor 10% berat. (\triangle = <i>hortonolite</i> , Δ = <i>olivine</i> , \circ = <i>magnesioferrit</i> , \bullet = <i>cristobalite</i> , \square = <i>dimagnesium silicate</i> , $\square\square$ = <i>pigeonite</i> , \heartsuit =Si, $*$ = <i>ferronickel</i>).....	33
Gambar 9. Struktur mikro bijih hasil reduksi dengan aditif 10% MgCl ₂ pada waktu reduksi 90 menit, reduktor 10% berat, dan variasi temperatur, yaitu (a) 1050, dan (b) 1150°C.....	35
Gambar 10. Hasil SEM bijih setelah reduksi dengan aditif 10% MgCl ₂ pada waktu reduksi 90 menit, reduktor 10% berat, dan variasi temperatur, yaitu (a) 1050, dan (b) 1150°C.....	35
Gambar 11. Hasil SEM setelah reduksi dengan aditif MgCl ₂ pada 1150°C, 90 menit, reduktor 10% berat, (b) Spektrum EDS daerah 1 pada gambar (a), (c) Spektrum EDS daerah 2 pada gambar (a), dan (d) Spektrum EDS daerah 3 pada gambar (a).....	38

- Gambar 12. Pola Difaktogram XRD pada pengaruh waktu reduksi terhadap perubahan fasa bijih hasil reduksi dengan 10% MgCl₂ pada temperatur 1050°C dan reduktor 10% berat. (\triangle =*hortonolite*, Δ =*olivine*, \circ =*magnesioferrit*, \square =*magnesium oxide*, $*$ =*ferronickel*, \diamond =*halite*, \blacksquare =*fayalite magnesian*, $+$ =*iron*, $\square\square$ =*iron sulfide*)..... 41
- Gambar 13. Struktur mikro bijih hasil reduksi dengan aditif 10% MgCl₂ pada temperatur reduksi 1050°C, reduktor 10% berat, dan variasi waktu, yaitu (a) 60, dan (b) 90 dan (c)..... 43
- Gambar 14. Hasil SEM bijih setelah reduksi dengan aditif 10% MgCl₂ pada temperatur 1050°C, reduktor 10% berat, dan variasi waktu, yaitu (a) 60, (b) 90, dan (c) 120 menit..... 44
- Gambar 15. Hasil SEM bijih setelah reduksi dengan aditif 10% MgCl₂ pada temperatur 1050°C, waktu 120 menit, reduktor 10% berat, (b) Spektrum EDS dari daerah 1 pada gambar (a), (c) Spektrum EDS dari daerah 2 pada gambar (a), dan (d) Spektrum EDS dari daerah 3 pada gambar (a)..... 46
- Gambar 16. Pola Difaktogram XRD pada pengaruh jumlah reduktor terhadap perubahan fasa bijih hasil reduksi dengan 10% MgCl₂ pada temperatur 1050°C dan waktu 90 menit (\triangle =*hortonolite*, \circ =*magnesioferrit* $*$ =*ferronickel*, \square =*fayalite*, \bullet =*quartz*) 49
- Gambar 17. Struktur mikro bijih hasil reduksi dengan aditif 10% MgCl₂ pada temperatur 1050°C, waktu 90 menit, dan variasi jumlah reduktor, yaitu (a) 5, (b) 10, dan (c) 15% berat..... 50
- Gambar 18. Hasil SEM bijih setelah reduksi dengan aditif 10% MgCl₂ pada temperatur 1050°C, waktu reduksi 60 menit, dan variasi jumlah reduktor, yaitu (a) 5, (b) 10, dan (c) 15% berat..... 51
- Gambar 19. Hasil SEM setelah reduksi dengan aditif pada temperatur 1050°C, waktu 90 menit, reduktor 15% berat, (b) Spektrum EDS daerah 1 pada gambar (a), (c) Spektrum EDS daerah 2 pada gambar (a), dan (d) Spektrum EDS daerah 3 pada gambar (a)..... 53

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Komposisi kimia bijih nikel laterit kadar rendah.....	28
Tabel 4.2. Perhitungan <i>rietveld refinement</i> bijih nikel laterit	29
Tabel 4.3 Pengaruh temperatur reduksi pada konsentrat dengan penambahan aditif 10% MgCl ₂ pada waktu reduksi 90 menit dan reduktor 10% berat terhadap kadar Fe dan Ni serta <i>recovery</i> Fe dan Ni.....	31
Tabel 4.4 Perhitungan <i>rietveld refinement</i> dari senyawa yang terbentuk hasil reduksi dengan aditif 10% MgCl ₂ pada variasi temperatur.....	33
Tabel 4.5 Hasil SEM EDS.....	38
Tabel 4.6 Pengaruh waktu reduksi pada konsentrat dengan penambahan aditif 10% MgCl ₂ pada temperatur 1050°C dan reduktor 10% berat terhadap kadar Fe dan Ni serta <i>recovery</i> Fe dan Ni.....	39
Tabel 4.7 Perhitungan <i>rietveld refinement</i> dari senyawa yang terbentuk hasil reduksi dengan aditif 10% MgCl ₂ pada variasi waktu tahan.....	41
Tabel 4.8 Hasil SEM EDS.....	46
Tabel 4.9 Pengaruh jumlah reduktor pada konsentrat dengan penambahan aditif 10% MgCl ₂ pada temperatur 1050°C dan waktu tahan 90 menit terhadap kadar Fe dan Ni serta <i>recovery</i> Fe dan Ni.....	47
Tabel 4.10 Perhitungan <i>rietveld refinement</i> dari senyawa yang terbentuk hasil reduksi dengan aditif 10% MgCl ₂ pada variasi jumlah reduktor.....	49
Tabel 4.11 Hasil SEM EDS.....	54

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia mempunyai kekayaan alam yang cukup melimpah seperti mineral logam. Beberapa mineral logam yang dihasilkan dari industri pertambangan berupa timah, nikel, tembaga, emas, perak dan lain-lain. Berdasarkan data Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki sumberdaya nikel sebesar 2.633 juta ton nikel (Virman dkk, 2014). Berdasarkan Peraturan Kementerian ESDM No. 5 Tahun 2017 tentang peningkatan nilai tambah mineral melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian di dalam negeri. Dimana pemilik tambang diwajibkan melakukan pengolahan terhadap produk tambang yang akan diekspor dengan minimal nikel yang diekspor harus melebihi 70% wt untuk nikel *matte*, 8% wt untuk FeNi dan 4% wt untuk nikel *pig iron* (Kementerian ESDM, 2017).

Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam dunia industri. Bijih nikel diklasifikasikan menjadi dua yaitu bijih nikel laterit dan bijih nikel sulfide. Bijih nikel laterit dihasilkan dari pelapukan batuan ultramafik dengan kandungan zat besi dan magnesium yang cukup tinggi dan biasanya terdapat di daerah tropis maupun sub-tropis (Astuti dkk, 2012). Bijih nikel sulfida terbentuk melalui proses vulkanik atau hidrotermal dan banyak

mengandung tembaga dan kobalt, dan mengandung sedikit logam mulia seperti emas, platinum, palladium dan rhodium (Pournaderi. S, 2014). Beberapa bahan paduan yang dibuat berbasis nikel karena memiliki kekuatan struktur terhadap proses *creep*, *fatigue* dan kestabilan permukaan (oksidasi korosi) (Sujiono dkk, 2014). Sebanyak 62% nikel digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja anti karat (*stainless steel*). Selain itu, nikel juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan *alloy steels* dan *non-ferrous alloy* sebanyak 18% (Barkas, 2010).

Nikel (Ni) merupakan jenis logam yang memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari dan memiliki banyak aplikasi dalam dunia industri. Nikel biasa digunakan untuk logam paduan seperti *stainless steels* karena dapat meningkatkan ketahanan korosi dan panas serta ketangguhan (Henpristian dkk, 2014). Secara umum, jenis nikel laterit terbagi menjadi dua tipe, yaitu limonit dan saprolit. Keduanya terdapat dalam kedalaman yang berbeda. Bijih limonit terdapat dalam lapisan yang lebih dangkal, sedangkan saprolit terdapat dalam lapisan yang lebih dalam. Kadar nikel dalam bijih jenis saprolit lebih tinggi dibanding bijih nikel jenis limonit. Nikel dalam bijih saprolit biasanya di atas 1,6% (bisa sampai 2,5 %). Selama ini, sebanyak 60% kebutuhan akan nikel secara komersial dipasok dari batuan sulfida. Padahal, sekitar 70 % cadangan nikel dunia terperangkap dalam bentuk laterit. Batuan laterit memiliki kadar nikel yang rendah sehingga jarang digunakan sebagai sumber utama nikel dan dibutuhkan *treatment* khusus untuk meningkatkan kadar nikel dalam batuan tersebut (Kyle, 2010).

Laterit adalah produk hasil pelapukan batuan secara kimiawi yang berlangsung dalam waktu yang panjang pada kondisi iklim basah atau lembab. Laterit dapat

diproses untuk menghasilkan nikel. Pada dasarnya batuan laterit dapat dibagi menjadi dua lapisan, yaitu lapisan limonit dan saprolit. Dalam masing-masing lapisan tersebut terkandung jenis mineral yang bermacam-macam. Mineral utama penyusun lapisan limonit adalah goethit $[\text{FeO}(\text{OH})]$ dan hematit (Fe_2O_3), sedangkan pada lapisan saprolit disusun oleh mineral serpentine $[(\text{Ni},\text{Mg})\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ (Yildirim *et al.*, 2012). Salah satu pemanfaatan bijih nikel laterit yaitu sebagai bahan dasar pembuatan ferronikel (Prsetyo dan puguh, 2011).

Li mengungkapkan bahwa NaCl mampu meningkatkan tingkat pemanggangan reduksi-pemisahan magnet dari bijih laterit secara signifikan dan memperbaiki kadar dan perolehan kembali logam nikel dan besi dari hasil pemisahan magnet (Li, dkk 2012). Mencampur bijih nikel laterit dengan 2% kokas dan 4% $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam tungku pembakaran pada temperatur 950 °C kemudian didinginkan dan dipisah menggunakan pemisah magnet (Liu, dkk. 2010). Melakukan penelitian dengan mencampurkan bijih nikel laterit, magnesium klorida (MgCl_2) dan kokas dengan kondisi optimal didapat pada mencampurkan 6% MgCl_2 , 2% kokas pada temperatur 980°C selama 90 menit menghasilkan kadar dan perolehan kembali nikel masing-masing 5,25% dan 91,5%. Namun semua penelitian diatas dilakukan pada bijih nikel saprolit dan belum diujicobakan pada bijih nikel limonit (Liu, dkk. 2010).

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi temperatur reduksi, waktu tahan reduksi dan penambahan konsentrasi reduktor dengan penambahan aditif $MgCl_2$ terhadap kadar Fe dan Ni?

1.3 Tujuan

Mengetahui pengaruh variasi temperatur reduksi, waktu tahan dan konsentrasi reduktor dengan penambahan aditif $MgCl_2$ terhadap kadar Fe dan Ni.

1.4 Batasan Masalah

2. Nikel laterit yang digunakan adalah jenis limonit dengan kadar nikel 1,4%.
3. Variasi temperatur 950, 1050, 1150°C dengan waktu tahan 60 menit, 90 menit, dan 120 menit dan konsentrasi reduktor 5%, 10% dan 15%.
4. Reduktor yang digunakan yaitu batubara Antrasit dari Padang.
5. Zat aditif yang digunakan adalah $MgCl_2$.
6. Karakterisasi menggunakan *XRF*, *XRD* dan *SEM EDS*.

1.5 Manfaat

2. Memberi informasi tentang komposisi senyawa yang terdapat dalam bijih nikel.
3. Memberi informasi mengenai pengaruh penambahan aditif $MgCl_2$ dan persentase reduktor antrasit, waktu dan temperature reduksi terhadap proses reduksi.

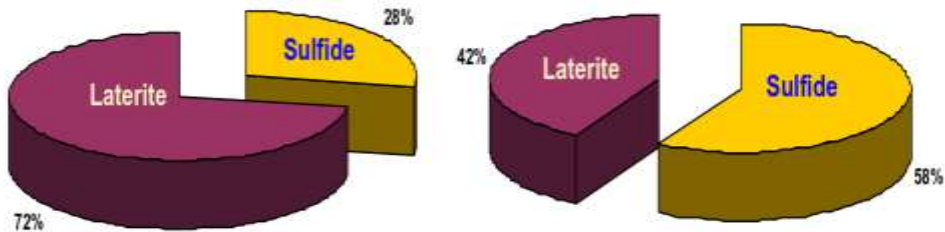
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bijih Nikel

Nikel merupakan logam yang penting dan mempunyai banyak kegunaan, penggunaan nikel sangat beragam, baik nikel primer (produk nikel yang berasal dari pemrosesan bijih nikel) maupun nikel sekunder (produk nikel yang berasal dari pemrosesan nikel primer). Sebanyak 48% nikel primer digunakan untuk produksi baja tahan karat (*stainless steel*) dan baja paduan, 39% digunakan untuk produksi paduan non logam (*nonferrous alloy*) dan *superalloy* dan 10% untuk elektroplating. Sedangkan untuk nikel sekunder, 30% digunakan untuk transportasi, 14% digunakan untuk produksi produk-produk metal, 12% untuk peralatan elektronik, 10% digunakan pada industri petroleum, dan sisanya 8% digunakan pada industri kimia, konstruksi, peralatan rumah tangga dan industri mesin (Kuck, 2016).

Nikel laterit merupakan salah satu sumber nikel yang tersimpan dalam bentuk batuan, memiliki kadar nikel lebih rendah dibandingkan dengan nikel sulfida. Nikel dalam bijih laterit tercampuri dengan besi oksida dan mineral silikat sebagai hasil substitusi *isomorphous* unsur besi dan magnesium dalam unsur kristalnya (Moskalyk dan Alfantazi, 2002) Jumlah simpanan nikel laterit di dunia sekitar 72% sedangkan sisanya merupakan simpanan nikel sulfida seperti pada Gambar 1. Meskipun nikel laterit memiliki porsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan

deposit nikel sulfida, namun dalam pemanfaatannya, nikel sulfida lebih banyak diolah dan dimanfaatkan karena kandungan nikelnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan nikel laterit (Dalvi, Bacon dan Osborne, 2004).



Gambar 1. Data Cadangan Nikel dan Produksi Nikel di Dunia(Dalvi, Bacon dan Osborne, 2004)

Secara kimiawi zona limonit umumnya terdiri atas unsur-unsur yang tidak mudah larut (residual) seperti Fe, Al, Cr, Ti, Mn dan Co, akan tetapi dalam hal ini unsure yang paling sering dipakai adalah Fe karena biasanya berasosiasi dengan mineral utama yang dijumpai pada zona limonit. Pada zona limonit unsur Mg dijumpai dalam jumlah kecil karena Mg biasanya berasosiasi dengan mineral *olivine*, piroksen dan serpentin yang tidak dijumpai di zona ini, sedangkan unsur Ni biasanya dijumpai dalam jumlah yang tidak terlalu tinggi.

2.2 Jenis-Jenis Bijih Nikel

2.2.1 Nikel Sulfida

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% S. Bijih nikel sulfida merupakan campuran dari mineral sulfida dengan berbagai mineral batuan (Pournaderi. S, 2014).

2.2.2 Nikel Laterit

Laterit dihasilkan dari pelapukan batuan secara kimiawi yang berlangsung dalam waktu yang panjang dibawah suhu yang cukup tinggi pada kondisi iklim basah atau lembab. Nikel laterit adalah hasil laterisasi batuan ultramafik yang memiliki kandungan besi dan magnesium yang tinggi, dapat ditemukan pada tanah yang relatif dangkal yaitu sekitar 6-15, tetapi bisa juga mencapai 60 meter. Pembentukan bijih nikel laterit dapat berlangsung lebih dari satu juta tahun (Kose, 2011).



Gambar 2. Mineral laterit (Sumber: Sari, 2013).

2.3 Jenis-Jenis Bijih Nikel Laterit

2.3.1 Bijih Laterit Limonit

Bijih laterit limonit diperkaya oleh zat besi, namun mengandung silika dan magnesium yang rendah (Fe 15-32 %, MgO < 10 %). Komponen utama dari bijih laterit limonit adalah oksida besi, kobalt dan kromium (Kose, 2011).

2.3.2 Bijih Laterit Saprolit

Bijih laterit saprolit mengandung zat besi yang lebih rendah dengan magnesium yang lebih tinggi ($\text{Fe} < 12\%$ dan $\text{MgO} > 25\%$). Bijih laterit saprolit disebut sebagai garnierite (Pournaderi, 2014).

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)				EXTRACTION PROCESS
		Ni	Co	Fe	MgO	
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5	
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5	
	TRANSITION	1.5 to 2		25 to 40	5 to 15	
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3	0.02 to 0.1	10 to 25	15 to 35	
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45	

Gambar 3. Susunan bijih laterit (Sumber: Pournaderi. S, 2014).

2.4 Proses Pengolahan Bijih Laterit Menjadi Nikel

Laterit dapat diproses untuk menghasilkan nikel dengan dua cara, yaitu dengan hidrometalurgi dan pirometalurgi. Hidrometalurgi merupakan proses pemurnian logam dengan menggunakan pelarut kimia untuk melarutkan bahan logam tertentu sehingga kemurnian logam yang diinginkan meningkat (*leaching*). Hidrometalurgi merupakan metode yang cukup menjanjikan karena mampu menghasilkan nikel dengan kemurnian tinggi. Selain itu, pelarut dapat di daur ulang dan digunakan kembali sehingga dapat mengurangi biaya produksi. Akan tetapi pada proses ini

masih meninggalkan residu dari pelarut kimia tersebut yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan.

2.4.1. *Smelting / pyrometallurgy*

Smelting merupakan teknologi yang sudah sangat banyak digunakan untuk memproduksi *ferro nickel* atau *nickel matte*. Proses ini cocok untuk mengolah bijih saprolit dengan kadar Ni yang tinggi (>2%), Mg yang tinggi (10%-15%) dan Fe yang rendah (13-20%). Dalam pembuatan *ferronickel*, bijih dicampur dengan batubara kemudian dikeringkan dan dikalsinasi dalam tanur putar pada suhu 900°C-1000°C. Hasil kalsinasi kemudian di-*smelting* dan ditambahkan kembali batubara ke dalam *electric furnace* pada suhu 1550°C. Hasilnya berupa Ni dan Fe yang sudah tereduksi sempurna 60%-70%. Fe, Mg, dan SiO₂ yang tersisa akan tertinggal dalam campuran *slag* (Kyle, 2010). Hanya sekitar 40 % industri-industri yang ada didunia memproduksi bijin nikel laterit dengan menggunakan proses *smelting* (Pournaderi, 2014).

2.4.2 *Drying*

Tujuan proses *drying* yaitu untuk menghilangkan *moisture* yang terdapat dalam bijih nikel. Kelembaban dari nikel laterit berkisar antara 30-45%. Proses ini biasanya berlangsung dalam *rotary dryer* pada temperatur 100-200°C kalsinasi dan reduksi (Diaz *et al.*, 1988).

2.4.3 Kalsinasi dan Reduksi

Proses kalsinasi pada pengolahan nikel laterit bertujuan untuk meningkatkan pembentukan nikel metalik pada bijih nikel laterit sebelum dilakukan reduksi, dan

untuk membuka struktur mineral pengotor, *goethite* dan gugus hidroksil sehingga dapat meningkatkan interaksi antara gas reduktor dengan nikel selama proses reduksi (Shaoubao, 1999).

2.4.4 Refining

Proses *refining* atau pemurnian bertujuan untuk menghilangkan impuritas yang terkandung, seperti karbon, silika, krom, dan lain-lain (Kyle, 2010).

2.5 Reduksi Temperatur Rendah diikuti Pemisahan Magnetik

Melihat beberapa proses pengolahan bijih nikel laterit yang dijelaskan di atas, masih perlu dilakukan pengembangan untuk meminimalkan masalah terkait dengan proses seperti yang terjadi pada pirometalurgi dimana membutuhkan energi yang tinggi sehingga kurang efisien, menghasilkan polusi udara dan pada hidrometalurgi yang manfaat ekonominya rendah serta limbah beracunnya dapat menyebabkan polusi serius. Penelitian mengenai reduksi selektif – pemisahan magnetik nikel laterit untuk menghasilkan feronikel terus berkembang dan fokus pada temperatur rendah. Proses ini dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk memproses bijih nikel kadar rendah. Pemisahan magnetik akan berjalan secara efektif jika terjadi pertumbuhan partikel feronikel dengan ukuran yang besar. Isu utama proses reduksi selektif pada temperatur rendah yaitu mengurangi reduksi besi oksida. Meskipun membantu nikel membentuk feronikel tetapi tetap saja metalisasi besi harus dibatasi (Rao, *et al*, 2013).

Pemisahan magnetik adalah teknik pemisahan mineral berdasarkan pada perbedaan sifat magnetiknya. Metode ini digunakan untuk memisahkan mineral berharga dari mineral pengganggu. Terdapat dua jenis pemisahan magnetik, yaitu

metode kering dan basah. Metode kering digunakan untuk bahan kasar dan kuat, sedangkan metode basah untuk bahan magnet kuat dalam campuran tanah halus dengan medium air (Ilschner dan Russell, 1991). Bijih laterit dikalsinasi kemudian dilanjutkan dengan pemisahan magnetik metode basah untuk memperoleh nikel (Kim, *et al*, 2010). Metode ini dipilih karena sederhana, hemat biaya, dan ramah lingkungan.

2.6 Reduktor Batubara Antrasit

Antrasit adalah salah satu jenis batubara yang paling banyak terdapat di alam. Sebagian besar ditemukan di timur Amerika Serikat. Antrasit dengan jumlah yang lebih sedikit ditemui di Afrika Selatan, Australia, Kanada Barat, China, dan negara-negara lain (Britannica, 2017). Batubara antrasit ditemukan di daerah dimana bumi memiliki pergerakan dalam jumlah besar dalam jangka waktu lama, seperti barisan pegunungan Appalachian, Pennsylvania, Amerika Serikat. Tahun 1897 Amerika Serikat memproduksi hampir 1/3 dari produksi batubara global, dengan Pennsylvania memproduksi lebih dari 107 Mt, dan *Pennsylvania Anthracite Fields* menyumbang sekitar 10% dari produksi batubara dunia. Produksi antrasit memuncak pada awal abad ke-20, dengan hasil tahunan mencapai hampir 100 Mt selama Perang Dunia I. Produksi saat ini sekitar 2 Mt (Hower dan Dai, 2016). Antrasit volatil rendah banyak digunakan dalam utilitas boiler berskala besar di Amerika Utara, Australia, Asia Timur, dan Eropa Barat dimana cadangannya relatif melimpah. Di Cina, antrasit menyumbang sebagian besar konsumsi energi, sekitar 30% listrik dihasilkan dari membakar batubara tersebut (Zhao, *et al*, 2017). Indonesia sendiri telah menjadi eksportir batubara termal terbesar di dunia dan merupakan pemasok utama pasar batubara

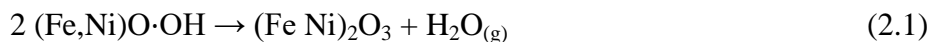
Asia. Potensi ekspor dan/atau sumber daya utamabatubara terdapat di Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua (Belkin, *et al*, 2009). Antrasit yang juga disebut sebagai *hard coal*, merupakan batubara dengan peringkat tertinggi berdasarkan ASTM D388–05 *Standard Classification of Coals by Rank*. Peringkat batubara mengukur kandungan karbon yang memiliki korelasi dengan nilai kalordan tingkat metamorfik. Antrasit memiliki nilai kalori mendekati 35 megajoule per kilogram yang mengakibatkan jumlah panas yang dihasilkannya tinggi. Antrasit, tidak seperti jenis batubara lainnya yang merupakan batuan sedimen, antrasit merupakan batuan metamorf yang terkubur begitu dalam (Sandatlas, 2017).

Antrasit adalah jenis batubara yang paling diminati karena mengandung lebih banyak energi daripada jenis lainnya dan juga merupakan yang paling ramah lingkungan karena kemurniannya. Antrasit mengandung lebih banyak *fixed carbon* daripada jenis batubara lainnya dan jumlah *volatile matter* yang paling sedikit (Gong dan Zhang, 2017).

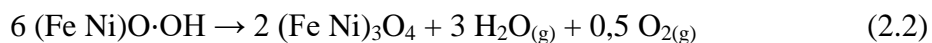
2.7 Termodinamika Reduksi

Reduksi bijih nikel laterit dilakukan dengan menggunakan reduktor berbasis karbon dimana pada penelitian ini menggunakan batubaraantrasit. Dengan menggunakan reduktor berbasis karbon, proses reduksi dapat berlangsung dengan efektif. Selain itu karbon juga bisa membentuk CO dan CO₂ yang memiliki kestabilan termodinamika yang baik.

Nikel pada bijih limonit tersubstitusi dalam struktur kristal *goethite* yang pada temperatur 300°C terjadi dehidroksilasi *goethite* melalui reaksi (Elliott, Pickles and Forster, 2015):



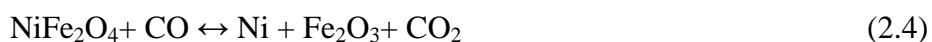
Setelah dehidroksilasi, nikel terbentuk dalam struktur hematit baru. Nikel akan bergabung menjadi fasa spinel di bawah kondisi reduksi melalui reaksi (Elliott, Pickles and Forster, 2016):



Untuk tahap selanjutnya yaitu ekstraksi nikel dengan cara mereduksinya menggunakan agen pereduksi sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya menggunakan batubara. Gas CO untuk mereduksi nikel diperoleh dari reaksi perubahan karbon padat menjadi gas karbon monoksida melalui reaksi:



Reduksi nikel yang terikat pada struktur spinel terjadi melalui reaksi (Elliott, Pickles and Forster, 2016):

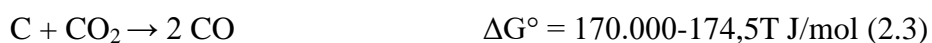


Pada umumnya proses reduksi bijih nikel laterit dengan menggunakan reduktor batubara dapat digambarkan menjadi tiga jenis reaksi yaitu reduksi nikel oksida, gasifikasi karbon, dan reduksi besi oksida (Elliott, Pickles and Forster, 2016):

Reduksi nikel oksida terjadi melalui reaksi:



Gasifikasi karbon terjadi melalui reaksi:

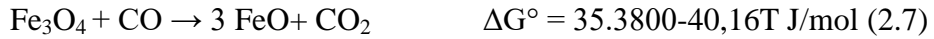


Reduksi besi oksida dibagi menjadi tiga tahap reaksi antara lain:

Tahap 1 : reduksi hematit menjadi magnetit



Tahap 2 : reduksi magnetit menjadi wustit

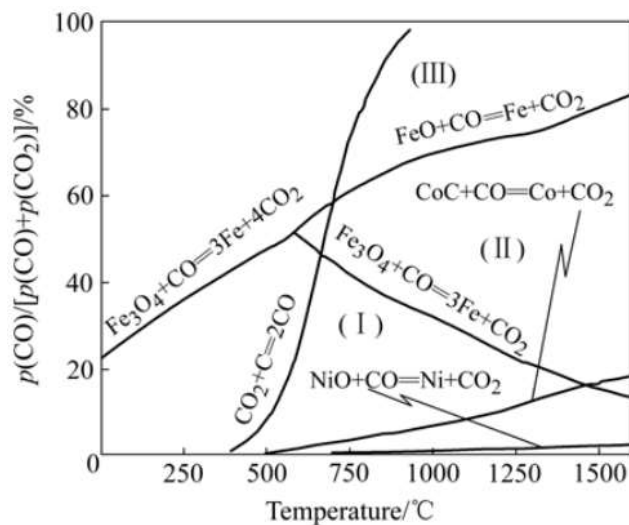


Tahap 3 : reduksi wustit menjadi *metallic iron*



Untuk kesetimbangan antara hematit, magnetit, wustit, besi, karbon padat, karbon monoksida, dan karbon dioksida sendiri biasa digambarkan dengan menggunakan diagram Bauer Glassner dan Boudouard. Diagram ini merupakan dasar dari reduksi langsung menggunakan karbon padat (Rao *et al*, 2016).

Dari garis kesetimbangan Boudouard, pada temperatur 1000°C terdapat 100% gas CO. Kesetimbangan tidak akan tercapai jika temperatur diturunkan, yang terjadi justru penguraian gas CO menjadi CO₂ dan C sehingga jumlah gas CO (pereduktor) akan berkurang. Gas CO lebih stabil dari pada gas CO₂ di daerah sebelah kanan garis kesetimbangan Boudouard, dan sebaliknya. Pada diagram Boudouard terdapat beberapa garis kesetimbangan besi oksida dengan campuran gas CO/CO₂ sehingga dari diagram di bawah ini dapat diketahui bahwa dalam reduksi nikel juga terjadi reduksi besi, dan dapat diperkirakan senyawa-senyawa yang terbentuk dari proses reduksi (Rao *et al*, 2016).



Gambar 4 Diagram Bauer Glassner dan Boudouard (Rao *et al*, 2016).

2.8 Pengaruh Temperatur Reduksi

Kenaikan temperatur juga akan mempengaruhi proses reduksi besi oksida menjadi bentuk logam besi (Zhu *et al.*, 2012). Kehadiran besi dalam bentuk logam akan mengurangi nilai *recovery* dan *grade* feronikel yang dihasilkan (Pickles, Forster and Elliott, 2014). Secara kinetika, kenaikan temperatur dapat meningkatkan derajat metalisasi baik pada nikel maupun besi (Setiawan *et al.*, 2014). Selama proses reduksi, besar partikel feronikel yang dibentuk berbanding lurus dengan tingginya temperature dan lamanya waktu reduksi (Tang *et al.*, 2014). Kenaikan temperatur akan meningkatkan besar partikel Fe-Ni yang terbentuk dan merubah bentuk morfologi partikel dari tidak beraturan menjadi *sphericall* (Rao *et al.*, 2016b)

2.9 Pengaruh Waktu Reduksi

Variabel waktu reduksi juga mempengaruhi hasil dari proses reduksi. Secara teoritis, semakin lama waktu proses reduksi, intensitas puncak fasa logam juga akan semakin meningkat dan intensitas pengotor akan turun (Li, *et al* 2013). Variasi waktu yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah 30-180 menit dengan variabel tetap 7% reduktor, 7% aditif sulfur, dan temperatur reduksi 1100 °C. Kadar nikel cenderung naik seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini karena gas CO yang dihasilkan akan semakin banyak dan waktu kontak semakin lama, sehingga semakin lama waktu reduksi akan semakin banyak nikel dan besi oksida yang tereduksi (Hakim, *et al.* 2017).

2.10 Pengaruh Jumlah Reduktor

Jumlah reduktor juga mempengaruhi kadar nikel yang diperoleh pada akhir proses. Semakin tinggi jumlah reduktor maka akan semakin tinggi juga konsentrat yang akan dihasilkan (Hakim *et al*, 2017). Semakin tingginya penambahan reduktor maka kadar nikel dan besi yang diperoleh juga mengalami peningkatan, akan tetapi penambahan reduktor (karbon) yang melebihi nilai optimal mengakibatkan penurunan kadar nikel dan besi. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya residu karbon dalam jumlah yang besar dimana fenomena ini akan menghalangi berlangsungnya proses reduksi (Zhou *et al*, 2016).

2.11 Proses Segregasi

Proses segregasi adalah teknik inovasi yang dapat dilakukan pada nikel laterit untuk meningkatkan kadar dan perolehan nikel dalam konsentrat feronikel, dimana akan terjadi proses peisahan secara selektif reduksi Ni, Co, Fe kedalam logam melalui gas klorida. Penggunaan natrium klorida (NaCl) sebagai bahan yang digunakan untuk meningkatkan perolehan kembali dari nikel, dimana kondisi optimum diperoleh dengan mencampurkan bijih laterit dengan 11% residu minyak sebagai pereduksi dan 4% NaCl (Iwasaki, 1972). Dalam penelitian lain NaCl mampu meningkatkan tingkat pemanggangan reduksi-pemisahan magnet dari bijih laterit secara signifikan dan memperbaiki kadar dan perolehan kembali logam nikel dan besi dari hasil pemisahan magnet (Li dkk, 2012b). Pencampuran bijih nikel laterit dengan 2% kokas dan 4% $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam tungku pembakaran pada temperatur 950°C kemudian didinginkan dan dipisah menggunakan pemisah magnet (Ericson dkk, 1987). Pada penelitian ini

mencampurkan bijih nikel laterit, magnesium klorida (MgCl_2) dan kokas pada kondisi optimal didapat dengan mencampurkan 6% MgCl_2 , 2% kokas pada temperatur 980°C selama 90 menit menghasilkan kadar dan perolehan kembali nikel masing-masing 5,25% dan 91,5%. Namun dari penelitian yang telah dilakukan, semua menggunakan bijih nikel saprolit dan belum diujicobakan pada bijih nikel kadar rendah. Liu dkk, 2010)

Proses segregasi melibatkan pencampuran bijih laterit dengan agen pengkloridasi (MgCl_2 atau NaCl .) dan zat pereduksi padat (kokas atau batubara) kemudian memanggang campuran antara suhu $900 - 1000^\circ\text{C}$. Mekanisme proses berlangsung melalui tiga langkah:

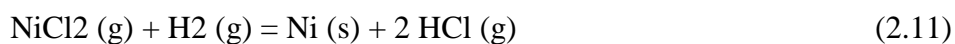
Tahap 1 : Gas hidrogen klorida dihasilkan oleh adanya proses hidrolisis dari garam



Tahap 2 : HCl akan bereaksi dengan nikel oksida untuk menghasilkan gas nikel klorida



Tahap 3 : Reduksi dari gas hidrogen terhadap nikel klorida menjadi logam nikel pada permukaan dari karbon pereduksi



Nikel dan besi akan mengalami reaksi yang sama selama proses segregasi meskipun selektivitas yang dicapai pada NiCl_2 lebih tereduksi daripada FeCl_2 .

2.12 XRF (*X-Ray Fluoresensi*)

X-Ray Fluoresensi (XRF) merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk menganalisis unsur-unsur yang terdapat dalam suatu bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Prinsip kerja metode analisis XRF berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel (bahan) oleh sinar-X (Jenkin, 1988). Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X. Sedang analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar. Dalam analisis kuantitatif, faktor-faktor yang mempengaruhi antara lain matriks bahan, kondisi kevakuman dan konsentrasi unsur dalam bahan (Jenkin *et al.*, 1995). Selain sodium karbonat dan senyawa sulfur, senyawa yang juga dapat digunakan sebagai aditif tambahan untuk meningkatkan hasil ekstraksi logam nikel adalah garam klorin (Matsuura, 2008). Karakteristik klorida yang memiliki titik lebur rendah dan mudah menguap menjadikan senyawa klorida banyak digunakan untuk mengekstraksi logam dari bijih dengan menggunakan metode klorinasi dan penguapan (Matsuura, 2008).

2.13 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisis bahan dalam bentuk serbuk halus merupakan cara penelitian dengan sinar-x yang paling banyak diterapkan. Berkas sinar-x yang sejajar diarahkan pada serbuk. Karena terdapat partikel serbuk dalam jumlah yang cukup banyak dengan orientasi yang berbeda, berkas yang terdifraksi akan membentuk kerucut difraksi dengan sudut 2θ . Kerucut difraksi mengenai pita film pada dua tempat, masing-masing membentuk sudut 2θ dengan garis berkas keluar-masuk. Diperoleh

kerucut terpisah (atau sepasang *garis difraksi*) untuk setiap nilai d_{hkl} tertentu. Jadi, letak garis difraksi dapat ditentukan dan jarak d dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $2d \sin \theta = n\lambda$. Difraksi sinar-x adalah sarana yang serbaguna dalam penentuan struktur intern bahan (Vlack, 1980) Bila sebuah kristal disiram oleh sinar X, setiap atom dari kristal dalam jalan sinar X akan mengabsorpsi sebagian dari energinya, kemudian akan dipantulkannya kembali ke segala arah. Setiap atom merupakan sumber pengeluaran gelombang kecil sekunder dan sinar X dikatakan akan disebarakan oleh atom-atom. Pengeluaran gelombang kedua dari berbagai sumber akan saling mempengaruhi, saling memperkuat atau menghilangkan. Dua orang ahli dari Inggris, William Bragg dan putranya Lawrence mencoba mengerjakan fraksi dari sinar X seperti suatu refleksi. Dalam percobaan Bragg, sinar X yang menembus kristal dianggap sedang direfleksi oleh lapisan partikel-partikel yang berulang-ulang dalam zatnya seperti pada gambar diatas. Bragg menunjukkan bahwa untuk melihat adanya intensitas pada sinar X yang keluar, suatu hubungan yang relatif sederhana harus dipenuhi. Hubungan ini yang dikenal sebagai persamaan Bragg adalah:

$$2d \sin \theta = n\lambda \tag{1}$$

Dimana d adalah ruang antara lapisan yang berulang yang memantulkan sinar X, θ sudut dimana sinar X masuk dan keluar dari lapisan-lapisan bersangkutan, λ adalah panjang gelombang dari sinar X dan n adalah bilangan bulat ($n = 1, 2, 3$ dan sebagainya). Persamaan Bragg ini berguna sebagai dasar untuk mempelajari struktur kristal dengan cara difraksi oleh sinar X

2.14 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM adalah alat deteksi yang menggunakan sinar elektron berenergi tinggi untuk melihat objek pada skala yang sangat kecil. SEM adalah mikroskop yang menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. SEM menghasilkan bayangan dengan resolusi yang tinggi, maksudnya, pada jarak yang sangat dekat tetap dapat menghasilkan perbesaran yang maksimal tanpa memecahkan gambar. SEM terdiri dari dua bagian utama, yaitu konsol elektronik dan kolom elektron. Pada konsol terdapat tombol-tombol yang berguna untuk mengatur fokus, perbesaran, dan intensitas gambar pada tampilan layar. Kolom merupakan tempat berkas elektron dihasilkan, difokuskan ke suatu titik kecil dan di *scan* melewati sampel untuk membuat sinyal yang dapat mengontrol intensitas gambar pada layar. Sistem SEM modern membutuhkan penembak elektron yang menghasilkan elektron stabil dengan arus tinggi, tempat ukuran kecil, penyesuaian energi dan dispersi energi kecil. Beberapa jenis penembak elektron digunakan dalam sistem SEM dan kualitas berkas elektron yang bervariasi. Penembak elektron SEM pertama umumnya menggunakan *tungsten hairpin* atau *Lantanum Hexaboride* (LaB_6) katoda. Penembak elektron tungsten banyak digunakan dalam banyak aplikasi terutama untuk pembesaran. Penembak elektron yang banyak digunakan terdiri dari tiga bagian, yaitu filamen berbentuk V penjepit *tungsten* (katoda), sebuah silinder *wehnelt*, dan anoda filamen *tungsten* berdiameter sekitar 100 μm . Filamen berbentuk V dipanaskan sampai suhu lebih dari 2800°K . Dengan menerapkan arus filamen tersebut, elektron dapat terlepas dari permukaan ujung filamen. Sebuah potensi negatif bervariasi dalam kisaran

0,1-30 kV diterapkan pada *tungsten* dan *wehnelt* silinder dengan tegangan tinggi.

(Zhou and Wang, 2006).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada November 2018 hingga Januari 2019 di Laboratorium Pengecoran Logam, Laboratorium *Heat Treatment* dan Laboratorium Uji Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang bertempat di Jl. Ir. Sutami km 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- a. *Muffle furnace*
- b. Ayakan 100#
- c. Neraca Teknis
- d. Mesin peletisasi
- e. Magnet 500 gauss
- f. Gelas Beker
- g. Labu ukur
- h. Oven
- i. Mesin *polishing*

- j. Mesin *Shaker mill*
- k. XRD
- l. Mikroskop
- m. XRF
- n. SEM EDX

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bijih nikel laterit, aditif $MgCl_2$, batubara (antrasit) dari padang resin dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

1. Bijih nikel laterit dilakukan analisa awal komposisi dengan menggunakan XRD dan XRF
2. Kemudian bijih di-*screening* dengan ukuran 100 mesh untuk mendapatkan ukuran -100 mesh
3. Bijih tersebut dicampur dengan 10% wt $MgCl_2$ hingga merata
4. Pembuatan *pellet* secara manual lalu sampel dikeringkan pada temperatur $120^\circ C$ selama 4 jam

3.3.2 Prosedur Reduksi

1. *Pellet* yang telah dikeringkan ditimbang sebanyak 60 gram dengan neraca teknis

2. Bijih laterit direduksi dengan reduktor antrasit di dalam *furnace* dengan temperatur 950, 1050, dan 1150°C serta waktu tahan reduksi 60, 90, dan 120 menit
3. Setelah selesai proses reduksi, lalu sampel didinginkan
4. Sampel hasil reduksi dianalisa dengan XRD dan XRF untuk mengetahui senyawa dan kadar setelah proses reduksi

3.3.3 Prosedur Penggerusan dengan *Shaker Mill*

1. Sampel hasil reduksi ditumbuk menggunakan mortar hingga berukuran kurang lebih 3 mm
2. Sampel dimasukkan ke dalam wadah *shaker* dan ditambahkan bola baja sebanyak 15 butir (5 ukuran besar + 10 ukuran kecil)
3. Wadah *shaker* dimasukkan pada *shaker mill* lalu dilakukan proses *shaker* selama 10 menit
4. Setelah proses selesai, sampel dikeluarkan dan ditimbang

3.3.4 Prosedur Pemisahan dengan *Magnetic Separator*

1. Sampel yang sudah 200 mesh dimasukkan ke dalam gelas beker yang telah diisi air sebanyak 350 ml
2. Kemudian dipisahkan dengan menggunakan magnet berkekuatan 500 gauss
3. Konsentrat dan *tailing* hasil benefisiasi dikeringkan dalam oven dengan temperatur 120° C selama 4 jam, kemudian ditimbang
4. Setelah sampel kering, dilakukan pengujian dengan XRF
5. *Recovery* proses ini dihitung agar didapat data yang representatif

3.4 Prosedur Karakterisasi

3.4.1 Pengujian *X-Ray Diffraction*(XRD)

1. Preparasi sampel bijih laterit sebelum dan sesudah direduksi. Sampel diharuskan dalam keadaan bersih dan kering
2. Sampel dicetak pada tempat sampel yang telah disediakan
3. Sampel yang telah dicetak kemudian disusun pada *holder*
4. Kondisi kerja XRD diatur sedemikian rupa sesuai dengan ketentuan pengujian
5. Dilakukan analisis pola difraksi sinar-X

3.4.2 Pengujian *X-ray Fluoresence* (XRF)

1. Sampel sebelum reduksi dan setelah magnetisasi diratakan permukaannya. Sampel harus dalam keadaan bersih dan kering
2. XRF *portable* dinyalakan dan dilakukan kalibrasi awal agar hasil yang didapatkan lebih akurat
3. Setelah dikalibrasi, sampel diletakkan di atas meja, kemudian dilakukan analisa dengan XRF *portable*

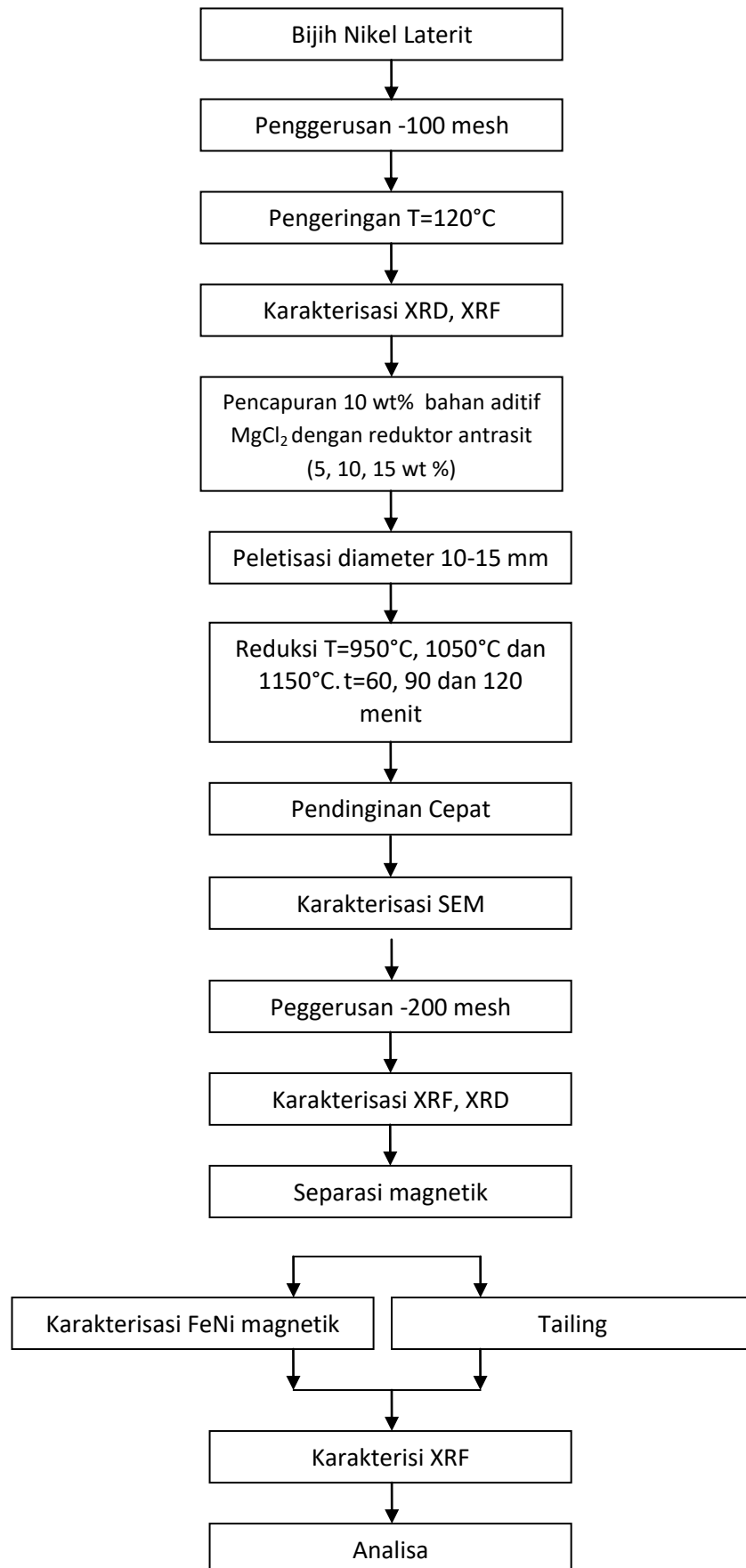
3.4.3 Pengujian Mikroskop

1. Sampel di-*mounting* dengan resin
2. Permukaan sampel diratakan dan dihaluskan dengan mesin *polishing*
3. Setelah rata dan halus, sampel diletakkan pada *holder* mikroskop
4. Tentukan perbesaran pada mikroskop, yaitu 100, 200 dan 500 kali
5. Tentukan daerah yang akan diamati, setelah mendapatkan daerah yang sesuai, gambar hasil pengamatan disimpan

3.3.4 Pengujian SEM

1. Sampel diletakkan di kertas yang sudah ditempel *double tip*
2. *Double tip* dengan serat karbon ditempelkan di permukaan *holder* dan *holder* tersebut ditempelkan ke kertas sampel
3. Proses *coating* pada *holder* yang sudah tertempel sampel dilakukan selama 20 detik
4. *Holder* tersebut diletakkan di dalam instrumentasi SEM
5. Dilakukan analisis SEM

3.5 Diagram Alir



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kadar Fe dalam konsentrat semakin meningkat dengan menaikkan temperatur. Kadar Ni tertinggi dalam konsentrat 2,25% pada temperatur 1050°C. Semakin lama waktu tahan reduksi maka akan mempengaruhi kadar Fe dan Ni dalam konsentrat yang diperoleh. Kadar Ni tertinggi dalam konsentrat 2.37% pada temperatur 1150°C dan Kadar Fe dan Ni mengalami penurunan ketika konsentrasi reduktor ditambahkan. Kadar Ni tertinggi dalam konsentrat 2,25% pada konsentrasi reduktor 10%.

5.2 Saran

Pemisahan magnetik sebaiknya dilakukan dengan mempelajari besarnya kuat medan magnet optimal agar didapatkan fraksi konsentrat yang tepat dan sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, W., Zulfiadi, Z., Shofi, A dan Fajar, N. 2012. Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia menggunakan Mini Blast Furnace. *Seminar Insinas 2012*.
- Barkas, J. 2010. *Drivers and Risk for Nickel Demand*. 7th China Nickel Conference. Shanghai
- Britannica, "Encyclopaedia Britannica: Anthracite" 2017. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/anthracite>. [Accessed 20 November 2017].
- B. Ilschner, N. Grant and K. Russell, *Materials Beneficiation*. Springer-Verlag Inc., New York, 1991.
- Dalvi, A. D., Bacon, W. G. dan Osborne, R. C. (2004) 'The Past and the Future of Nickel Laterites', *PDAC 2004 International Convention*, (Figure 2), pp. 1–27.
- Elliott, R., Pickles, C. A. dan Peacey, J. (2017) 'Ferronickel particle formation during the carbothermic reduction of a limonitic laterite ore', *Minerals Engineering*. Elsevier Ltd, 100, pp. 166–176. doi: 10.1016/j.mineng.2016.10.020.
- Ericson, A. S., Svensson, J., & Ishii, K. (1987). The MINPRO-PAMCO Nickel Segregation Process. *International Journal of Mineral Processing* , 223-236.
- Henpristian, Yopy., Iwan D.A dan Soesaptri O. 2014. Pengaruh Waktu Reduksi dan Komposisi Pelet terhadap Persen Fe Metal dan Persen Ni Feni Spons dari Bijih Nikel Limonit Menggunakan Simulator *Rotary Kiln*. *Majalah Metalurgi*. Vol 29.3.2014, ISSN 0126-3188/205-214.
- H. E. Belkin, S. J. Tewalt and J. C. Hower, "Geochemistry and petrology of selected coal samples from Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, and Papua, Indonesia," *International Journal of Coal Geology*, vol. 77, pp. 260-268, 2009.
- Iwasaki, I. (1972, April 18). *Patent No. 3,656,935*. United States.
- J. Kim, G. Dodbiba, H. Tanno, K. Okaya, S. Matsuo and T. Fujita, "Calcination of low-grade laterite for concentration of Ni by magnetic separation," *Minerals Engineering*, vol. 23, pp. 282–288, 2010.

- J. Li, K. Bunney, H. R. Robinson and D. J. Robinson, "Thermal pretreatment of refractory limonite ores to enhance the extraction of nickel and cobalt under heap leaching condition," *Minerals Engineering*, vol. 41, pp. 71-78, 2013.
- Kementrian ESDM (2017) Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2017.
- Kose, S. 2010. Hydrometallurgical Processing of Laterit Nickel Ores. (Thesis). Metallurgical and Materials Engineering. Pp 195.
- Kuck, P. H. (2016) *Mineral Commodity Summaries*. doi: 10.3133/70140094
- Kyle, J. 2010. *Nickel Laterit Processing Technologies-Where to Next*. Murdoch University Repository.
- Liu, W.-r., Li, X.-h., Hu, Q.-y., Wang, Z.-x., Gu, K.-z., Li, J.-h., & Zhang, L.-x. (2010). Pretreatment study on chloridizing segregation and magnetic separation of low-grade nickel laterites. *Trans. Nonferrous Metallurgical Society of China*, 82-86.
- Matsuura, H. (2008) 'Recovery of metals from steelmaking dust by selective chlorination–evaporation process', *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 117(2), pp. 123–128. doi: 10.1179/174328508X290920.
- Moskalyk, R. R. dan Alfantazi, A. M. (2002) 'Nickel laterite processing and electrowinning practice', *Minerals Engineering*, 15(8), pp. 593–605. doi: 10.1016/S0892-6875(02)00083-3.
- M. I. Hakim and A. Juniarsih, "Peningkatan kadar nikel bijih limonit melalui proses reduksi selektif dengan variasi waktu dan persen reduktor," Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, 2017.
- M. Rao, G. Li, T. Jiang, J. Luo, Y. Zhang and X. Fan, "Carbothermic reduction of nickeliferous laterite ores for nickel pig iron production in China: A review," *Journal of the Minerals, Metals & Materials Society*, pp. 1573-1583, 2013.
- Pournaderi, S. 2014. Optimization of Ferronikel Reduction from Nickel Laterite Ores. *Thesis*. School of Natural and Science. Pp 195.
- Prasetyo, A., Puguh. 2011. Peningkatan Kadar Nikel dan Besi dari Bijih Nikel Laterit Kadar Rendah Jenis Saprolit untuk Bahan Baku NPI. *Jurnal Metalurgi*. Vol. 26. No. 3. Pp: 123-130.
- Pickles, C. A., Forster, J. and Elliott, R. (2014) 'Thermodynamic analysis of the carbothermic reduction roasting of a nickeliferous limonitic laterite ore', *Minerals Engineering*. Elsevier Ltd, 65, pp. 33–40. doi: 10.1016/j.mineng.2014.05.006.

- Q. Zha, J. Zhao, C. Wang and D. Che, "Rapid pyrolysis and CO₂ gasification of anthracite at high temperature," *Journal of the Energy Institute*, vol. 30, pp. 1-10, 2017.
- Rao, M. *et al.* (2016a) *Reductive roasting of nickel laterite ore with sodium sulfate for Fe-Ni production. Part I: Reduction/sulfidation characteristics, Separation Science and Technology (Philadelphia)*. doi: 10.1080/01496395.2016.1162173.
- Rao, M. *et al.* (2016b) 'Reductive roasting of nickel laterite ore with sodium sulfate for Fe-Ni production. Part II: Phase transformation and grain growth Mingjun', *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 51(8), pp. 1408–1420. doi: 10.1080/01496395.2016.1162173.
- R. Elliott, C. A. Pickles and J. Forster, "Pyrometallurgical upgrading of nickeliferous laterites: a comparison of thermodynamic and reduction roasting studies," in *Conference: Processing of Nickel Ores and Concentrates*, Falmouth, 2015.
- R. Elliot, C. A. Pickles and J. Forster, "Thermodynamics of the reduction roasting of nickeliferous laterite ores," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 4, pp. 320-346, 2016.
- R. German, P. Suri dan S. Park, "Review: liquid phase sintering," *Journal of Materials Science*, vol. 44, no. 1, pp. 1-39, 2009.
- Sandatlas, "Anthracite," 2017. [Online]. Available: <http://www.sandatlas.org/anthracite/>. [Accessed 20 November 2017].
- S. Zhou, Y. Wei, B. Li, H. Wang, B. Ma and C. Wang, "Chloridization and reduction roasting of highmagnesium low-nickel oxide ore followed by magnetic separation to enrich ferronickel concentrate," *Metallurgical And Materials Transactions B*, vol. 47B pp. 145-153, 2016.
- Tang, X. hui *et al.* (2014) 'Ferronickel enrichment by fine particle reduction and magnetic separation from nickel laterite ore', *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 21(10), pp. 955–961. doi: 10.1007/s12613-014-0995-5.
- Valix, M. dan Cheung, W. H. (2002) 'Study of phase transformation of laterite ores at high temperature', *Minerals Engineering*, 15(8), pp. 607–612. doi: 10.1016/S0892-6875(02)00068-7.
- Virman., Endang, H., Risal. 2014. Penentuan Profil Nikel Laterit Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Daerah Entrop Kota Jayapura. Vol. 5. No. 1. ISSN: 2087-0922.

- Vlack, L.H.V. 1980. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Jakarta: Erlangga.
- X. Gong and S. Zhang, "Changes in char structure due to inorganic matters during anthracite pyrolysis," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 30, 2017.
- Zhou, S., Wei, Y., Li, B., Wang, H., Ma, B., Wang, C., 2015. Chloridization and Reduction Roasting of High-Magnesium Low-Nickel Oxide Ore Followed by Magnetic Separation to Enrich Ferronickel Concentrate. *Metallurgical and Materials Transactions B*, pp. 1-9.
- Zhou, W., and Wang, Z.L. 2006. *Scanning Microscopy for Nanotechnology Techniques and Applications*. USA: Springer.
- Zhu, D. Q. *et al.* (2012) 'Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation', *International Journal of Mineral Processing*. Elsevier B.V., 106–109, pp. 1–7. doi: 10.1016/j.minpro.2012.01.003.