

**PENGARUH JUMLAH REDUKTOR, TEMPERATUR DAN WAKTU
TAHAN PADA PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH LATERIT KADAR
NIKEL RENDAH-ALUMINA TINGGI (0,5 Ni-44 Fe-16 Al₂O₃)**

(Skripsi)

Oleh
Wahyuningsih



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

ABSTRAK

PENGARUH JUMLAH REDUKTOR, TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN PADA PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH LATERIT KADAR NIKEL RENDAH-ALUMINA TINGGI (0,5 Ni-44 Fe-16 Al₂O₃)

Oleh

Wahyuningsih

Telah dilakukan penelitian tentang Pengaruh Jumlah Reduktor, Temperatur dan Waktu Tahan pada Proses Reduksi Selektif Bijih Laterit Kadar Nikel Rendah-Alumina Tinggi (0,5Ni-44Fe-16 Al₂O₃). Bijih nikel laterit direduksi dengan batubara antrasit sebanyak 5 sampai 15% berat reduktor batubara antrasit dan 10% berat natrium sulfat dengan temperature 950°C, 1050°C, dan 1150°C dengan waktu tahan 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Proses pemisahan magnetic untuk memisahkan konsentrat dan tailing. Analisis dilakukan dengan AAS, XRD dan SEM. Proses optimal menunjukkan pada reduksi nikel dengan 10% berat antrasi t pada temperatur 1050°C dengan waktu 120 menit menghasilkan 0,84% kadar nikel di konsentrat. Fasa troilite tidak dihasilkan pada proses reduksi nikel. Kadar besi (Fe) meningkat seiring dengan peningkatan temperature reduksi. Semakin lama waktu tahan pada proses reduksi selektif maka dapat meningkatkan kadar nikel tetapi menurunkan kadar besi.

Kata kunci: reduksi selektif, pemisah magnetik, bijih nikel, natrium sulfat, antrasit

ABSTRACT

THE EFFECT OF REDUCTANT DOSSAGE, TEMPERATURE AND HOLDING TIME ON SELECTIVE REDCUTION PROCESS OF LOW NICKEL-HIGH ALUMINA LATERITIC NICKEL ORE (0,5 Ni-44 Fe-16 Al₂O₃)

By

Wahyuningsih

In this present study, the effect of reductant dosage, temperature and holding time on selective reduction process of high alumina-lateritic nickel ore have been investigated clearly. The lateritic nickel ore was reduced with 5 until 15 wt. % anthracite and 10 wt.% sodium sulfate at reduction temperature of 950°C, 1050°C and 1150°C for 60, 90 and 120 minutes. Magnetic separation process was then conducted to separate the concentrate and tailing. The analysis of reduced nickel ore is performed by the Atomic Absorption Spectroscopy, X-Ray Diffraction, and Scanning Electron Microscopy. The optimal process resulted from the reduction of nickel ore with 10 wt. % anthracite at the temperature of 1050°C for 120 minutes which resulted in 0,84% nickel in concentrate. The troilite was not found in reduced ore. The iron grade increased along the increased of reduction temperature. The longer of holding time in selective reduction process increased the nickel grade but it decreased the iron grade.

Keywords: selective reduction, magnetic separation, nickel ore, sodium sulfate, anthracite

**PENGARUH JUMLAH REDUKTOR, TEMPERATUR DAN WAKTU
TAHAN PADA PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH LATERIT KADAR
NIKEL RENDAH-ALUMINA TINGGI (0,5 Ni-44 Fe-16 Al₂O₃)**

**Oleh
WAHYUNINGSIH**

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 Jumlah Reduktor,
Temperatur dan Waktu Tahan pada
Proses Reduksi Selektif Bijih Laterit
Kadar Nikel Rendah-Alumina Tinggi
(0,5 Ni-44 Fe-16 Al₂O₃)**

Nama Mahasiswa : **Wahyuningsih**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517041010

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I,

Pembimbing II,

Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
NIP. 19610723 198603 1 003

Fajar Nurjaman, S.T., M.T.
NIP. 19800502 200312 1 005

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**

Sekretaris

: **Fajar Nurjaman, S.T., M.T.**

Penguji

Bukan Pembimbing : **Drs. Ediman Ginting, M.Si.**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP. 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **24 September 2019**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Jumlah Reduktor, Temperatur dan Waktu Tahan pada Proses Reduksi Selektif Bijih Laterit Kadar Nikel Rendah-Alumina Tinggi (0,5 Ni-44 Fe-16 Al₂O₃)” 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, 24 September 2019



Wahyuningsih
Npm. 1517041010

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 28 Mei 1997. Anak dari pasangan Bapak Masno dan Ibu Sutri Kesumawati yang merupakan putri pertama dari 2 bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 4 Sumberejo Kemiling pada tahun 2009, SMPN 14 Bandar Lampung pada tahun 2012, dan SMA Persada Bandar Lampung pada tahun 2015.

Pada tahun 2015 penulis masuk dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika di Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi Asisten Metode Pengukuran dan Instrumentasi. Penulis mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai Anggota Sains dan Teknologi (SAINTEK) dari tahun 2015-2016.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dilaksanakan di Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM)-LIPI Lampung pada tahun 2018 dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Talang Beringin, Kecamatan Pulau Panggung, Kabupaten Tanggamus sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

”MOTTO”

“Berusaha, Berdoa dan Bersabar”

(Wahyuningsih)

“Dengan Menyebut Nama Allah Subhanahu Wataalla Yang Maha Pengasih Lagi
Maha Penyayang, Segala Puji Bagi Allah Subhanahu Wataalla”

Kupersembahkan hasil karya yang sederhana ini kepada:

“Ayah dan Ibu”

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

“Adikku”

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

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 Jumlah Reduktor, Temperatur dan Waktu Tahan pada Proses Reduksi Selektif Bijih Laterit Kadar Nikel Rendah-Alumina Tinggi (0,5 Ni-44 Fe-16 Al₂O₃)”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana 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, 24 September 2019
Penulis,

Wahyuningsih

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. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. sebagai pembimbing I dan selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Fajar Nurjaman, S.T., M.T. yang senantiasa memberikan bimbingan, dukungan dan masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Drs. Ediman Ginting, M.Si sebagai penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng. selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Balai Pengolahan Teknologi Mineral- LIPI Lampung yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian serta peneliti, staf, dan karyawan yang membantu dalam melakukan penelitian untuk menyelesaikan tugas akhir.

7. Para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Kedua orang tuaku, Bapak Masno dan Ibu Sutri tercinta serta adikku Julianti yang tak henti memberiku semangat, dukungan dan doa.
9. Teman–teman fisika 2015 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	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bijih Nikel	5
2.2 Nikel Sulfida.....	7
2.3 Nikel Laterit.....	7
2.4 Proses Pengolahan Nikel Laterit	8
2.4.1 Pirometalurgi	8
2.4.2 Hidrometalurgi.....	9
2.5 Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit.....	10
2.6 Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit.....	13
2.6.1 Temperatur dan Waktu Reduksi	13
2.6.2 Reduktor.....	15
2.6.3 Reduksi dengan Penambahan Aditif Na ₂ SO ₄	18
2.7 Termodinamika Reduksi	20

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Prosedur Penelitian	24
3.3.1 Preparasi Sampel.....	24
3.3.2 Proses Reduksi Selektif.....	25
3.3.3 Proses Separasi Magnetik	25
3.4 Prosedur Karakterisasi	26
3.4.1 Analisis XRD.....	26
3.4.2 Analisis AAS	27
3.4.3 AnalisisOM	28
3.4.4 AnalisisSEM	29
4.4 Diagram Alir Penelitian	30

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bijih Nikel Laterit	31
4.2 Perubahan Warna Sebelum dan Sesudah Reduksi pada Bijih Nikel Laterit	34
4.3 Hasil Kadar Fe dan Ni dalam Konsentrat	34
4.4 Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit dengan Aditif Na ₂ SO ₄ 10% Berat	35
4.4.1 Pengaruh Jumlah Reduktor Terhadap Kadar dalam Konsentrat Feronikel.....	35
4.4.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Kadar dalam Konsentrat Feronikel	41
4.4.3 Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Kadar dalam Konsentrat Feronikel.....	47
4.4.4 Pengaruh Pengotor Alumina dalamBijih Nikel Laterit pada Proses Reduksi Selektif	52

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Batuan Nikel.....	6
Gambar 2. Bijih Nikel Laterit.....	8
Gambar 3. (a). Reduksi dengan penambahan aditif Na_2SO_4	14
(b). Reduksi tanpa penambahan aditif Na_2SO_4	14
Gambar 4. Pengaruh waktu reduksi dengan penambahan reduktor 7% pada temperatur 1100°C terhadap persen: (a) Kadar Ni, (b) Kadar Fe	16
Gambar 5. Diagram alir penelitian	30
Gambar 6. Grafik hasil analisis XRD bijih nikel laterit	32
Gambar 7. Perubahan warna reduksi pada pellet	33
Gambar 8. Pengaruh variasi jumlah reduktor terhadap kadar Fe dan Ni dalam konsentrat feronikel dengan aditif Na_2SO_4 10% berat pada temperatur reduksi 1050°C dan waktu tahan reduksi 120 menit	35
Gambar 9. Yield variasi jumlah reduktor terhadap kadar Fe dan Ni dalam konsentrat feronikel dengan aditif Na_2SO_4 10% berat pada temperatur reduksi 1050°C dan waktu tahan reduksi 120 menit.....	36
Gambar 10. Hasil analisis XRD perubahan fasa pada bijih hasil reduksi dengan aditif Na_2SO_4 10% berat pada temperatur reduksi 1050°C dan waktu tahan reduksi 120 menit pada variasi jumlah reduktor, yaitu (a) 5%, (b) 10% dan (c) 15%	37
Gambar 11. Struktur mikro bijih hasil reduksi dengan aditif Na_2SO_4 10% berat pada waktu tahan reduksi 120 menit, temperatur reduksi 1050°C , dan variasi jumlah reduktor, yaitu (a) 5%, (b) 10% dan (c) 15%.....	39
Gambar 12. Hasil SEM bijih hasil reduksi dengan aditif Na_2SO_4 10% berat pada waktu tahan reduksi 120 menit, temperatur reduksi	

1050°C, dan variasi jumlah reduktor, yaitu: (a) 5%, (b) 10% dan (c) 15%.	40
Gambar 13. Nilai rata-rata ukuran butir feronikel (FeNi) pada variasi jumlah jumlah reduktor 5%, 10% dan 15% berat	41
Gambar 14. Pengaruh temperatur terhadap kadar Fe dan Ni dalam konsentrat feronikel dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat pada waktu tahan reduksi 60 menit dan reduktor 10% berat.....	42
Gambar 15. <i>Yield</i> variasi temperatur terhadap kadar Fe dan Ni dalam konsentrat feronikel dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat pada jumlah reduktor 10% berat dan waktu tahan reduksi 60 menit	43
Gambar 16. Hasil analisis XRD perubahan fasa pada bijih hasil reduksi dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat pada waktu tahan reduksi 60 menit dan reduktor 10% berat pada variasi temperatur, yaitu: (a) 950°C, (b) 1050°C dan (c) 1150°C	44
Gambar 17. Struktur mikro bijih hasil reduksi dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat pada waktu tahan reduksi 60 menit, reduktor 10% berat dan variasi temperatur reduksi, yaitu: (a) 950°C, (b) 1050°C dan (c) 1150°C	46
Gambar 18. Nilai rata-rata ukuran butir feronikel (FeNi) pada variasi temperatur reduksi yaitu 950°C, 1050°C dan 1150°C.....	47
Gambar 19. Pengaruh waktu tahan reduksi terhadap kadar Fe dan Ni dalam konsentrat feronikel dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat pada temperatur reduksi 1050°C dan reduktor 10% berat	48
Gambar 20. <i>Yield</i> variasi waktu tahan terhadap kadar Fe dan Ni dalam konsentrat feronikel dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat pada jumlah reduktor 10% berat dan temperatur reduksi 1050°C	49
Gambar 21. Hasil analisis XRD perubahan fasa pada bijih hasil reduksi dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat pada temperatur reduksi 1050°C dan reduktor 10% berat pada variasi waktu tahan, yaitu: (a) 60 menit, (b) 90 menit dan (c) 120 menit	50
Gambar 22. Struktur mikro bijih hasil reduksi dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat pada temperatur reduksi 1050°C, reduktor 10% berat dan variasi waktu tahan yaitu (a) 60 menit, (b) 90 menit dan (c) 120 menit	51
Gambar 23. Nilai rata-rata ukuran butir feronikel(FeNi) pada variasi	

waktu tahan reduksi yaitu 60, 90 dan 120 menit	53
Gambar 24. Pengaruh variasi jumlah reduktor pada bijih nikel 0,45 Ni-34,96 Fe-16,87 Al ₂ O ₃ -9,77 SiO ₂ dengan 1,4 Ni-50,5 Fe-4,86 Al ₂ O ₃ -16,5 SiO ₂ pada penambahan aditif 10% berat Na ₂ SO ₄ terhadap: (a) kadar Fe, (b) kadar Ni.....	54
Gambar 25. Pengaruh variasi jumlah reduktor terhadap perubahan massa pada konsentrat beda jenis dengan aditif 10% berat Na ₂ SO ₄ terhadap: (a) kadar 0,45 Ni-34,96 Fe-16,87 Al ₂ O ₃ -9,77 SiO ₂ , (b) kadar 1,4 Ni-50,5 Fe-4,86 Al ₂ O ₃ -16,5 SiO ₂	55
Gambar 26. Struktur mikro bijih hasil reduksi dengan aditif 10% berat Na ₂ SO ₄ pada variasi jumlah reduktor terhadap: (a) kadar 0,45 Ni-34,96 Fe-16,87 Al ₂ O ₃ -9,77 SiO ₂ , (b) kadar 1,4 Ni-50,5 Fe-4,86 Al ₂ O ₃ -16,5 SiO ₂	56

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Hasil analisis komposisi kimia pada bijih nikel laterit (%).....	31
Tabel 2. Perhitungan <i>rietveld refinement</i> bijih nikel laterit.....	33
Tabel 3. Hasil kadar Fe dan Ni dalam Konsentrat	34
Tabel 4. Hasil analisis proksimat batubara.....	35
Tabel 5. Hasil perhitungan <i>rietveld refinement</i> senyawa hasil reduksi dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat(variasi jumlah reduktor).....	39
Tabel 6. Hasil perhitungan <i>rietveld refinement</i> senyawa hasil reduksi dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat (variasi temperatur reduksi)	45
Tabel 7. Hasil perhitungan <i>rietveld refinement</i> senyawa hasil reduksi dengan aditif Na ₂ SO ₄ 10% berat (variasi waktu tahan reduksi).....	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Praktik dalam dunia industri saat ini, kita menyadari bahwa kehidupan di era sekarang bergantung dengan keberadaan logam terutama logam seperti nikel, aluminium, besi dan baja. Logam-logam tersebut digunakan dalam berbagai macam alat dan merupakan bahan baku utama bagi banyak industri. Nikel adalah unsur paduan utama dari besi tahan karat dan mengalami pertumbuhan yang sangat pesat seiring dengan peningkatan permintaan besi tahan karat tersebut. Saat ini lebih dari 65% nikel digunakan dalam industri besi tahan karat dan sekitar 12% digunakan dalam industri manufaktur paduan superatau paduan bukan besi (Moskalyk dan Alfantazi, 2002). Nikel banyak digunakan dalam bentuk logam murni atau sebagai paduan feronikel dengan kandungan besi yang bervariasi (Li dkk., 2012). Nikel juga memiliki sifat konduktivitas panas dan listrik yang rendah, kekuatan yang baik, ketangguhan pada temperatur tinggi, serta memiliki ketahanan korosi dan oksidasi yang baik (Rhamdani dkk., 2009).

Pada saat ini ada 2 jenis bijih nikel yang banyak digunakan sebagai bahan baku untuk membuat logam nikel yaitu bijih jenis sulfida dan laterit. Dengan berkembangnya waktu, cadangan bijih nikel sulfida terus berkurang sehingga beberapa produsen nikel mengalihkan perhatiannya ke bijih laterit untuk

digunakan sebagai bahan baku nikel (Subagja dan Firdiyono, 2015). 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 (Picklesdkk., 2014). Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dalam jumlah yang cukup besar. Endapan nikel laterit Indonesia tersebar di beberapa daerah seperti di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku, dan Papua. Indonesia merupakan penghasil nikel terbesar ke lima di dunia, sebesar 12% cadangan di dunia (Setiawan, 2016).

Laterit merupakan hasil proses pelapukan dan pengkayaan batuan mafik/ultramafik di daerah tropis. Oleh karena itu, komposisi kimia dan mineraloginya berbeda antara satu endapan dengan endapan lainnya (Dalvi dkk., 2004). Nikel dalam bijih nikel laterit berasosiasi dengan besi oksida dan mineral silikat sebagai hasil substitusi isomorphous unsur besi dan magnesium dalam struktur kristalnya sehingga secara kimia dan fisik, bijih nikel laterit dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu bijih jenis saprolit (silikat/hidro silikat) dan jenis limonit (oksida/hidroksida) (Rhamdanidkk., 2009). Di Indonesia, pada saat ini bijih nikel yang telah dimanfaatkan adalah bijih nikel yang mempunyai kadar nikel relatif tinggi (di atas 1,5%) yaitu untuk membuat feronikel oleh P.T Aneka Tambang dan nikel matte oleh P.T Vale (Subagja dan Firdiyono, 2015). Sedangkan bijih nikel laterit kadar rendah belum dimanfaatkan dengan baik untuk diolah dengan cara pirometalurgi sebagai bahan baku nikel. Oleh karena itu, untuk pemanfaatan bijih nikel laterit kadar rendah perlu dilakukan.

Pada penelitian ini telah dilakukan proses reduksi selektif nikel dari bijih laterit berkadar nikel rendah dan memiliki kadar pengotor alumina yang tinggi dengan penambahan aditif Na_2SO_4 sebanyak 10% berat dan penambahan reduktor berupa batubara antrasit sebanyak 5%, 10% dan 15% berat. Pengaruh temperatur dan waktu tahan reduksi bijih nikel laterit terhadap kadar dalam perolehan nikel serta struktur mikronikel juga telah dipelajari dalam penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah reduktor batubara antrasit terhadap kadar dalam konsentrat feronikel?
2. Bagaimana pengaruh temperatur reduksi terhadap kadar dalam konsentrat feronikel?
3. Bagaimana pengaruh waktu tahan reduksi terhadap kadar dalam konsentrat feronikel?
4. Bagaimana peran aditif Na_2SO_4 terhadap perubahan fasa yang terjadi pada temperatur dan waktu tahan reduksi yang berbeda?
5. Bagaimana pengaruh kandungan pengotor alumina dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh jumlah reduktor batubara antrasit terhadap kadar dalam konsentrat feronikel.

2. Mempelajari pengaruh temperatur reduksi terhadap kadar dalam konsentrat feronikel.
3. Mempelajari pengaruh waktu tahan reduksi terhadap kadar dalam konsentrat feronikel.
4. Mempelajari peran aditif Na_2SO_4 terhadap perubahan fasa yang terjadi pada temperatur dan waktu tahan reduksi yang berbeda.
5. Mempelajari pengaruh pengotor alumina dalam bijih nikel laterit terhadap proses reduksi selektif.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui salah satu pengolahan untuk meningkatkan kadar bijih nikel laterit melalui proses reduksi selektif dan separasi magnetik.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh jumlah reduktor, temperatur dan waktu tahan terhadap proses reduksi selektif bijih nikel laterit.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bijih nikel laterit yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih nikel kadar rendah yang berasal dari Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara dengan kadar 0,5% Ni, 44% Fe, 16% Al_2O_3 , 9,7% SiO_2 dan 0,28% MgO .
2. Reduktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara antrasit sebanyak 5%, 10%, dan 15% berat.
3. Bahan aditif yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Na_2SO_4 sebanyak 10% berat.

4. Reduksi selektif dilakukan dengan variasi temperatur 950°C, 1050°C, dan 1150°C dengan variasi waktu tahan selama 60, 90, dan 120 menit.
5. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui komposisi bijih nikel laterit dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry*(AAS), analisis proksimat untuk komposisi batubara antrasit, analisis mineral yang terkandung dalam bijih nikel laterit setelah melalui proses reduksi selektif dengan *X-ray Diffraction* (XRD), dan analisis struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

II. LANDASAN TEORI

2.1 Bijih Nikel

Nikel (Ni) merupakan jenis logam yang memiliki peran penting dalam kehidupandan memiliki banyak aplikasi dalam dunia industri. Nikel juga digunakan sebagai komponen paduan baja tahan karat dan baja khusus, terutama dalam bentuk logam nikel murni atau sebagai paduan feronikel karena dapat meningkatkan ketahanan korosi dan panas serta ketangguhan (Rhamdhani dkk., 2009).



Gambar 1. Batuan Nikel (Anonim, 2018)

Logam nikel banyak dimanfaatkan untuk pembuatan baja tahan karat (*stainless steel*). Nikel merupakan logam berwarna kelabu perak yang memiliki sifat fisik yaitu kekuatan dan kekerasan nikel menyerupai kekuatan dan kekerasan besi, mempunyai sifat daya tahan terhadap karat dan korosi dan pada udara terbuka, memiliki sifat yang lebih stabil daripada besi (Guilbert, 1986).

Nikel memiliki beberapakegunaan antara lain:

1. Bahan baku pembuatan *stainless steel*, sering disebut baja putih.

2. Pembuatan logam campuran (*alloy*) untuk mendapatkan sifat tertentu.
3. Untuk pelapisan logam lain (*nickel Plating*).
4. Bahan untuk industri kimia (sebagai katalis).
5. Bahan untuk industri rumah tangga, karena sifatnya yang fleksibel dan mempunyai karakteristik yang unik (Sari, 2013).

Bijih nikel, yang merupakan bahan baku logam nikel, diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu bijih nikel sulfida dan nikel laterit. Sekitar 70% cadangan bijih nikel dunia adalah laterit dan 30% adalah sulfida sedangkan produksi nikel dunia sebesar 60% berasal dari sulfida dan sisanya berasal dari laterit. Indonesia merupakan negara yang memiliki kandungan nikel laterit terbesar ke-3 di dunia yaitu sebesar 1576 juta ton (Dalvi dkk., 2004).

2.2 Nikel Sulfida

Nikel sulfida terbentuk dari proses vulkanik atau hidrotermal dan ditambang di kedalaman, sedangkan bijih nikel laterit terbentuk di daerah beriklim tropis akibat pelapukan sehingga terdapat di dekat permukaan dan memungkinkan untuk lebih mudah diakses dengan menggunakan penambangan yang terbuka.

Bijih nikel laterit menyumbang 72% sumber nikel global, namun hanya 42% untuk produksi logam nikel primer. Sebaliknya, bijih nikel sulfida menyumbang 58% produksi nikel. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa secara global, sebagian besar produksi nikel berasal dari bijih sulfida (Fosteret *al.*, 2016).

2.3 Nikel Laterit

Nikel Laterit merupakan hasil proses pelapukan dan pengkayaan batuan mafik/ultramafik di daerah tropis. Oleh karena itu, komposisi kimia dan mineraloginya berbeda antara satu endapan dengan endapan lainnya (Dalviet *al.*, 2004).



Gambar 2. Bijih Nikel Laterit (Anonim, 2018)

Sebagian besar bijih nikel laterit terutama bijih nikel kadar rendah atau disebut bijih nikel limonit yang mengandung sejumlah besar *goethite* ($(\text{Fe, Ni})_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$) dan biasanya memiliki 0,5-1,7% nikel, 40-60% besi, dan kandungan silika yang rendahmasih diekspor dalam bentuk mentah dan sisanya belum diolah. Bijih nikel lateritbiasanya terdapat di daerah tropis atau sub-tropis yang mengandung zat besi dan magnesium dalam tingkat tinggi.Walaupun cadangan bijih nikel laterit di dunia lebih banyak dari pada bijih nikel sulfida, akan tetapi untuk pemanfaatannya bijih nikel sulfida yang lebih banyak. Indonesiamemiliki cadangan bijih nikel laterit yang cukup besar terutama di Sulawesi, Halmahera, Papua dan Kalimantan (Henpristiandkk.,2014).

2.4 Proses Pengolahan Nikel Laterit

Sekitar 70% cadangan bijih nikel dunia adalah laterit dan 30% adalah sulfida, sedangkan produksi nikel dunia sebesar 60% berasal dari sulfida dan sisanya berasal dari laterit. Bijih nikel laterit yang mempunyai cadangan lebih banyak, perlu dimanfaatkan secara maksimal, karena cadangan bijih nikel sulfida yang digunakan sebagai bahan baku terus menurun secara signifikan (Norgate dkk., 2001). Penggunaan bijih nikel laterit dalam produksi nikel masih sedikit dilakukan karena bijih nikel laterit memiliki kandungan nikel yang relatif rendah, sehingga diperlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kadar nikel yang akan diekstraksi (Rao dkk., 2013). Sehingga beberapa proses metalurgi digunakan untuk memperoleh logam nikel. Pengolahan metalurgi dari nikel laterit dapat dibagi menjadi dua proses yaitu pirometalurgi (pemanasan) dan hidrometalurgi (pelarutan). Pemilihan proses yang akan digunakan ini dipengaruhi oleh kandungan pada bijih, peningkatan kandungan yang terbatas, teknologi pengolahan yang kompleks, kondisi geografis, dan kebutuhan infrastruktur, seperti pembangkit listrik, pelabuhan, infrastruktur jalan dan fasilitas pengolahan slag (Rodrigues, 2013).

2.4.1 Pirometalurgi

Proses pirometalurgi meliputi beberapa proses yaitu pengeringan, kalsinasi atau reduksi, peleburan pada tungku elektrik. Hasil dari proses pirometalurgi biasanya berupa feronikel (FeNi) (Dalvi dkk., 2004). Beberapa proses pirometalurgi yaitu sebagai berikut:

a. Pengeringan (*Drying*)

Pada tahap ini dilakukan pemanggangan terhadap batuan (bijih), yang dimaksudkan untuk menghilangkan kandungan air (*Drying*). Kandungan air yang terdapat dalam batuan laterit direduksi pada suhu sekitar 400 °C. Kandungan air pada nikel laterit bervariasi, sekitar 30%-45%. Dalam proses ini kandungan air pada nikel laterit dikontrol sekitar 15%-20% untuk mengurangi timbulnya debu yang berlebihan pada proses pengeringan dan proses-proses selanjutnya.

b. Kalsinasi dan Reduksi

Reduksi adalah reaksi pelepasan oksigen dari suatu senyawa. Kalsinasi adalah proses dekomposisi dari senyawa dengan menggunakan temperatur tinggi. Produk kalsinasi kemudian disebut dengan kalsin.

c. Peleburan (*Smelting*)

Proses peleburan dilakukan dalam *furnace* pada suhu 1513°C untuk mereduksi nikel. Reduksi dilakukan dalam *furnace* bersuhu tinggi dan terbentuk *Nickel Pig Iron* (NPI) yang merupakan *ferro-alloys*.

2.4.2 Proses Hidrometalurgi

Proses ini efektif digunakan untuk mengekstraksi nikel dan kobalt dari struktur kristal bijih limonit melalui pelindian. Prinsip proses hidrometalurgi adalah pelindian atau melarutkan logam-logam yang terdapat dalam bijih nikel seperti nikel dan kobalt menggunakan reagen-reagen kimia tanpa terjadinya pelarutan mineral pengganggunya.

Beberapa metode proses hidrometalurgi untuk mengolah bijih nikel meliputi tekanan tinggi pencucian asam (HPAL), pencucian asam (AL), peningkatan pencucian asam (EPAL), tumpukan pencucian asam (HL) dan atmosfer sulfat pencucian asam (SAL) (Norgate dkk., 2001). Proses ini menghasilkan perolehan logam cukup tinggi. Namun, proses ini memerlukan reagen dalam jumlah banyak yang berdampak pada biaya produksi yang tinggi dan adanya dampak lingkungan akibat penggunaan asam (Mudd, 2009).

2.5. Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Proses pirometalurgi diawali dengan mengeringkan bijih nikel laterit menggunakan alat/tungku pengering. Proses ini cocok untuk mengolah bijih saprolit dengan kadar Ni yang tinggi (>2%), Mg yang tinggi (10%-15%) dan Fe yang rendah (13-20%). Hasil dari alat pengering berupa bijih nikel laterit kering dengan ukuran yang diinginkan.

Selanjutnya dilakukan proses kalsinasi atau reduksi terhadap bijih nikel laterit tersebut dengan menggunakan alat/tungku pembakaran. Produk hasil reduksi kalsinasi akan dimasukkan ke dalam tungku peleburan elektrik untuk dilakukan proses peleburan. Dalam pembuatan feronikel, bijih dicampur dengan batubara kemudian dikeringkan dan dikalsinasi dalam tanur putar pada suhu 900°C-1000°C. Namun saat ini negara Brazil menggunakan tanur peleburan kecil untuk mencakup proses pengeringan, kalsinasi atau reduksi, dan peleburan. Suatu tanur tiup kecil (*blast furnace*) dapat digunakan untuk mengolah bijih nikel laterit menjadi *Nickel Pig Iron* (NPI) (Kyledkk., 2010).

Namun proses reduksi bijih nikel laterit dengan menggunakan tanur peleburan kecil untuk mengolah nikel laterit dengan kadar rendah masih belum optimal. Sehingga perlu dilakukan optimalisasi dari proses reduksi, yaitu salah satunya dengan cara memberikan perlakuan terhadap material yang akan masuk ke dalam alat ini, yaitu berupa proses aglomerasi dan penggunaan material reduktor yang tepat. Teknologi proses pirometalurgi bijih laterit secara komersial saat ini diantaranya adalah:

a. Tungku Listrik Rotary Kiln (RKEF)

Proses ini banyak digunakan untuk menghasilkan feronikel dan nikel-matte. Proses ini diawali dengan pengeringan melalui proses perlakuan dengan alat pengering pada temperatur 800-900°C. Hasil proses kalsinasi kemudian dilebur di dalam tanur listrik pada temperatur 1500-1600°C menghasilkan 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 dibandingkan proses caron.

b. Proses *Nippon Yakin Oheyama*

Proses *Nippon Yakin Oheyama* merupakan proses reduksi langsung briket yang menghasilkan feronikel dalam suatu alat pemanasan. Dalam alat pemanasan tersebut, briket akan mengalami proses pengeringan, dehidrasi, reduksi, dan dilebur membentuk feronikel yang disebut luppen. Hasil proses tersebut kemudian didinginkan cepat dalam air, dan luppen yang berukuran 2-3 mm dengan kandungan 22% Ni dan 0.45% Co dipisahkan dari teraknya melalui proses

penggilingan, penyaringan, penggerusan, dan separasi magnetik. Perolehan awal melalui proses ini hanya berkisar 80% diakibatkan tingginya kandungan pengotor dalam bijih yang sulit dipisahkan dengan alat pemisah. Konsumsi energi proses *Nippon Yakin Oheyama* relatif rendah dibandingkan dengan pembuatan feronikel menggunakan ELKEM proses karena tidak dibutuhkan energi yang tinggi pada proses pemisahan feronikel dari pengotornya. Beberapa hal yang kritis dari proses ini yaitu masalah kontrol kelembaban briki yang sangat ketat karena menentukan reduksibilitas dan penggunaan antrasit yang relatif mahal dan kemungkinan ketersediannya semakin menurun.

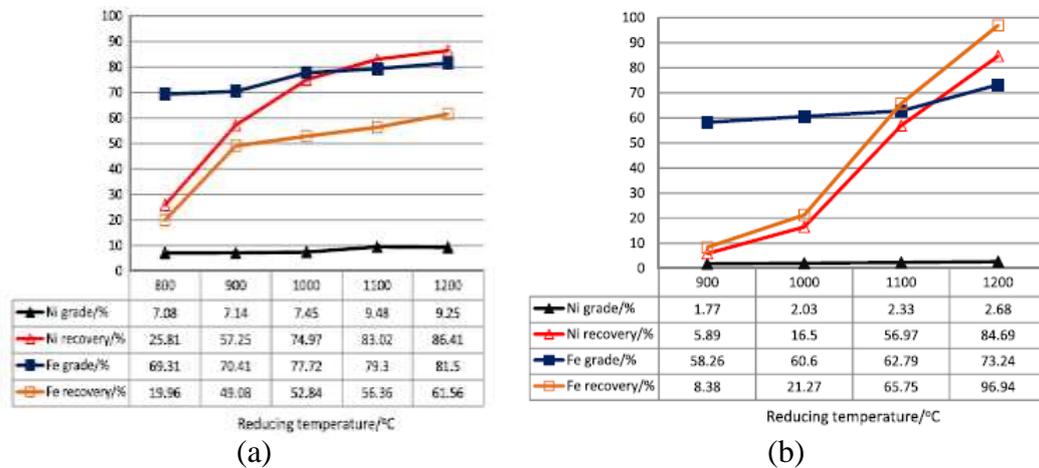
c. *Nickel Pig Iron* (NPI)

Nickel Pig Iron (NPI) merupakan feronikel yang memiliki kadar nikel yang rendah (1,5-8%). Pembuatan NPI dilakukan dengan tanur tiup kecil atau tanur busur listrik. Proses produksi NPI pada tungku pemanas kecil menggunakan kokas sebagai reduktor dan sumber energi. NPI ini disebut sebagai nikel kotor karena akan menghasilkan terak yang banyak, konsumsi energi yang tinggi, polusi lingkungan, dan menghasilkan produk dengan kualitas rendah. Akan tetapi bagaimanapun produksi NPI akan tetap menjadi sesuatu yang ekonomis selama harga nikel relatif tinggi. Kelebihan utama dalam proses ini yaitu dapat mengolah bijih kadar rendah yang sulit dilakukan dengan proses pirometalurgi lain (Setiawan, 2016).

2.6 Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit

2.6.1 Temperatur dan Waktu Reduksi

Temperatur reduksi yang digunakan dapat mempengaruhi perolehan kadar nikel hasil reduksi. Temperatur yang ideal menghasilkan reaksi reduksi yang optimal, hal ini mengakibatkan kadar nikel meningkat. Dalam penelitian yang dilakukan Jiang dkk., 2013 tentang reduksi yang dilakukan pada variasi temperatur yaitu sebesar 800°C-1100°C dengan waktu tahan yaitu 60 menit. Dari grafik menunjukkan bahwa dengan ditambahkan atau tidak ditambahkan aditif Na_2SO_4 , kadar dan perolehan FeNi dalam konsentrat meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur reduksi pellet laterit dengan proses pemisahan magnetik.



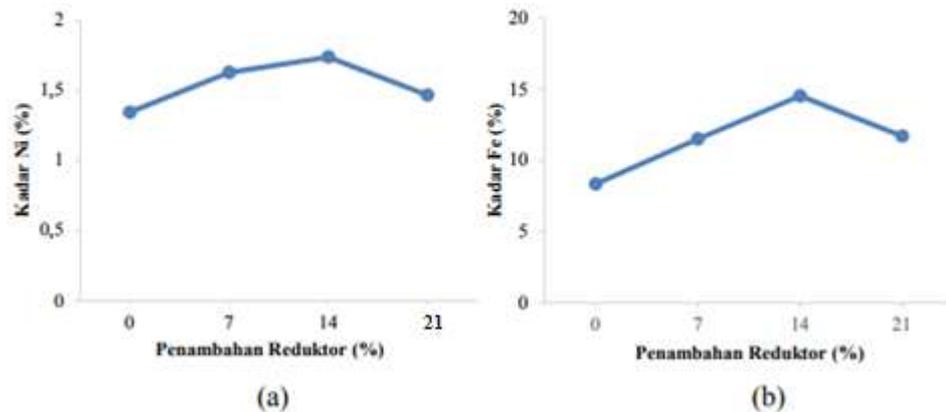
Gambar 3.(a) Reduksi dengan penambahan aditif Na_2SO_4 , (b) Reduksi tanpa Na_2SO_4 (Lidkk., 2012).

Gambar 3 di atas menunjukkan bahwa reduksi yang dilakukan dengan penambahan aditif Na_2SO_4 , masing-masing kadar nikel dan besi meningkat dari 7,08% dan 69,3% menjadi 9,48% dan 79,3%, dan perolehan nikel dan besi meningkat dari 25,81% dan 19,96% menjadi 83,01% dan 56,36%. Kemudian jika reduksi tanpa penambahan aditif yaitu Na_2SO_4 , kadar dan perolehan nikel dan besi

dalam konsentrat meningkat, namun maksimum kadar nikelnya hanya sebesar 2,68% dan besi 73,24%. Hal ini menunjukkan bahwa tidak efisien untuk melakukan benefisiasi nikel dan besi, walaupun dengan perolehan yang dapat diterima yaitu nikel sebesar 84,7% dan besi 96,8%.

Peningkatan kadar nikel disebabkan tereduksinya senyawa NiO membentuk Ni metal seiring bertambahnya temperatur reduksi. Dengan meningkatnya temperatur reduksi, energi yang diberikan untuk memecah ikatan logam nikel dengan oksidanya akan semakin besar. Selain itu sulfur bereaksi dengan metalik besi membentuk FeS. FeS bersifat non-magnetik, pembentukan FeS ini berkaitan dengan penurunan yang tajam dari perolehan besi dan peningkatan yang signifikan dari kadar nikel (Nursidiq, 2017).

Selanjutnya yaitu untuk mempelajari pengaruh waktu pemanggangan reduksi terhadap peningkatan kadar nikel dan besi dalam konsentrat nikel laterit. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hakimdkk.,2017 yaitu jumlah reduktor yang digunakan sebesar 0, 7, 14, dan 21% berat dengan variabel tetap 7% aditif sulfur, dengan waktu 180 menit dan temperatur 1100°C ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh waktu reduksi dengan penambahan reduktor 7% pada temperatur 1100 °C terhadap persen: (a) Kadar Ni, (b) Kadar Fe (Hakim dkk.,2017).

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa kadar nikel dan besi mengalami peningkatan hanya sampai penambahan reduktor sebesar 14%. Kemudian kadar nikel yang diperoleh dari variasi reduktor 0, 7, 14, dan 21% masing-masing adalah 1,34%; 1,63%, 1,74% dan 1,47%. Sedangkan untuk kadar besi masing-masing adalah 8,35%, 11,52%, 14,53% dan 11,70%. 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.

2.6.2 Reduktor

Reduktor adalah zat yang menarik oksigen pada reaksi reduksi. Reduktor melepaskan elektronnya ke senyawa lain, sehingga ia sendiri teroksidasi. Reduktor juga bisa disebut sebagai penderma elektron. Senyawa-senyawa yang berupa reduktor sangat bervariasi. Unsur-unsur logam seperti Li, Na, Mg, Fe, Zn

dan Al dapat digunakan sebagai reduktor. Material mengandung karbon, seperti: batubara, grafit, gas CO/CO₂, lignit, sub-bituminus dan batubara antrasit juga dapat dijadikan sebagai reduktor. Pada penelitian ini digunakan reduktor yaitu batubara antrasit. Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, yang utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti C₁₃₇H₉₇O₉NS untuk bituminus dan C₂₄₀H₉₀O₄NS untuk antrasit.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam lima kelas yaitu:

1. Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86%-98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. Bituminus mengandung 68-86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batubara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karena itu menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batubara coklat adalah batubara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.

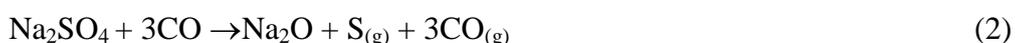
5. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

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 karbon tetap daripada jenis batubara lainnya dan jumlah bahan yang mudah menguap yang paling sedikit. Berdasarkan kandungan karbonnya, batubara antrasit dibagi menjadi tiga yaitu semi-antrasit, antrasit, dan meta-antrasit (Anggarda, 2017).

2.6.3 Reduksi dengan Penambahan Aditif Na₂SO₄

Penambahan aditif dalam kadar yang tepat dapat menghasilkan perolehan nikel dalam jumlah yang optimal pada temperatur yang tidak terlalu tinggi. Hal ini dapat menjadi salah satu langkah efisiensi dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit. Reduksi selektif bijih nikel laterit dengan penambahan aditif yaitu Na₂SO₄ (Natrium Sulfat) yang dilakukan dalam meningkatkan kandungan nikel dalam feronikel (Jiang dkk., 2013).

Sulfur dapat bereaksi dengan metalik besi untuk membentuk FeS. FeS bersifat non-magnetik, sehingga pembentukan FeS berkaitan dengan penurunan yang tajam dari perolehan besi dan peningkatan yang signifikan dari kadar nikel saat penambahan dosis sulfur. Terjadi dekomposisi termal dan reduksi natrium sulfat yaitu:



Peningkatan Fe membentuk FeS yaitu:



Na_2SO_4 dapat terdekomposisi menjadi Na_2O , Na_2S , dan S pada atmosfer reduksi. Produk dari dekomposisi termal dan reduksi Na_2SO_4 bereaksi dengan nikel laterit. Na_2O meningkatkan perolehan nikel, sedangkan S dan Na_2S bermanfaat untuk peningkatan nikel melalui pemisahan magnetik karena pembentukan FeS.

Natrium akan mengikat silikat, akan terjadi selektivitas reduksi dimana NiO akan tereduksi membentuk Ni metal dan Fe yang telah tereduksi dari FeO akan bereaksi dengan S membentuk FeS.

FeS merupakan senyawa non-magnetik sehingga tidak tertarik oleh magnet dan akan terbuang bersama *slag* saat dilakukan pemisahan magnetik. Hal ini berakibat pada menurunnya kadar Fe hasil reduksi (Li, dkk., 2012). Dengan penurunan kadar Fe, maka akan berimbas pada peningkatan unsur Ni hasil reduksi (Nursidiq, 2017).

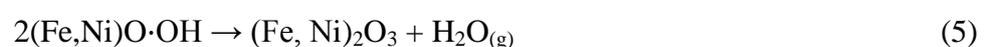
Sulfur juga berperan menurunkan tegangan permukaan dan membuat ukuran partikel logam membesar melalui proses aglomerasi. Hal ini mempermudah ketika pemisahan magnetik dan menurunkan kadar Fe metalik sehingga dihasilkan feronikel dengan kadar Ni tinggi. Selain itu, sulfur diketahui mampu membebaskan besi dan nikel dari mineral silikat. Na_2O dari proses dekomposisi termal Na_2SO_4 akan bereaksi dengan mineral-mineral silikat dengan titik lebur rendah, kemudian mempercepat migrasi dan meningkatkan pertumbuhan partikel metalik (Lu dkk., 2013).

Penambahan aditif memiliki pengaruh dan memegang peran penting terhadap peningkatan kadar dan perolehan nikel dan besi. Reduksi bijih nikel dilakukan selama 60 menit dengan menggunakan reduktor batubara jenis lignit dan penambahan 20% berat Na_2SO_4 kemudian diikuti dengan pemisahan magnetik. Temperatur reduksi yang digunakan dalam penelitian ini bervariasi yaitu 800, 900, 1000, dan 1100°C . Tujuan penambahan aditif natrium sulfat pada reduksi selektif bijih nikel laterit ini adalah untuk meningkatkan benefisi nikel dan juga besi. Hasil pemisahan magnetik meningkat dengan adanya natrium sulfat. Pada temperatur reduksi 1100°C kadar nikel yang diperoleh yaitu sebesar 2,33% tanpa penambahan natrium sulfat dan 9,48% dengan penambahan natrium sulfat. Selanjutnya untuk perolehan nikel tanpa penambahan natrium sulfat diperoleh sebesar 56,97% sedangkan penambahan natrium sulfat dapat mencapai 83,02% (Li dkk., 2012).

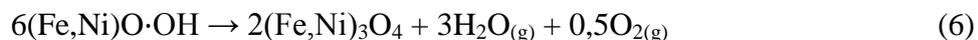
2.7 Termodinamika Reduksi

Reduksi bijih nikel laterit dilakukan dengan menggunakan reduktor berbasis karbon dimana pada penelitian ini menggunakan batubara antrasit. Dengan menggunakan reduktor berbasis karbon, proses reduksi dapat berlangsung dengan efektif. Selain itu karbon juga bisa membentuk CO dan CO_2 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 sebagai berikut: (Rhamdhanidkk., 2014)



Setelah dehidroksilasi, nikel terbentuk dalam struktur hematit baru. Nikel akan bergabung menjadi fasa spinel di bawah kondisi reduksi melalui reaksi:



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 (Elliot dkk., 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:

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*



III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dipelajari Pengaruh Jumlah Reduktor, Temperatur dan Waktu Tahan pada Proses Reduksi Selektif Bijih Laterit Kadar Nikel Rendah-Alumina Tinggi (0,5 Ni-44 Fe-16 Al₂O₃) dengan variasi temperatur 950 °C, 1050 °C dan 1150 °C dan variasi waktu tahan selama 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Reduktor yang akan digunakan yaitu batubara antrasit sebanyak 5%, 10% dan 15% berat dan penambahan aditif Na₂SO₄ sebanyak 10% berat. Bijih laterit yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis limonit. Sampel yang akan digunakan digerus dan diayak hingga *mesh*-100. Karakterisasi bijih nikel laterit dilakukan AAS dan XRD. Analisis AAS berfungsi untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terdapat pada sampel sedangkan analisa XRD berfungsi untuk mengetahui fasa dominan yang terdapat pada bijih nikel laterit. Pembuatan pelet dilakukan dengan mencampurkan bijih nikel laterit, aditif Na₂SO₄, dan reduktor batubara antrasit. Kemudian dilakukan proses reduksi bijih nikel laterit menggunakan *muffle furnace*. Hasil dari proses reduksi kemudian dilakukan proses pemisahan magnetik yang menghasilkan konsentrat feronikel dan tailing. Setelah melalui proses pemisahan magnetik, hasil konsentrat feronikel dan tailing dikarakterisasi menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), *X-ray Diffraction* (XRD), dan analisis struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada 12 November 2018 sampai dengan 28 Februari 2019 di Laboratorium Kimia Analisa Balai Penelitian Teknologi Mineral LIPI yang bertempat di Jl. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan digital merk *Gold series ohaus*, *ball mill*, spatula, *muffle furnace*, *shaker mill*, gelas ukur, labu erlenmeyer, kertas saring, pengaduk magnet, cawan, funnel atau corong, oven merk *mommert*, mortar, pastel, cawan, krusibel, mesin *mounting*, mesin AAS, mesin *XRD PAN Analytical* dan mesin SEM. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu bijih nikel laterit, batubara antrasit sebanyak 5%, 10% dan 15% berat sebagai reduktor, aditif natrium sulfat (Na_2SO_4), air sebagai media pendinginan cepat, alkohol sebagai pembersih sampel setelah proses *polishing* dan titanium oksida sebagai bahan pembuat larutan pada proses *polishing*.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur kerja pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Preparasi Sampel

Tahap preparasi sampel biji nikel laterit adalah:

1. Menimbang serbuk bijih nikel laterit dan reduktor batubara antrasit dengan timbangan digital.

2. Mencampur bijih nikel laterit, aditif Na_2SO_4 dan batubara antrasit dengan menggunakan air, agar bahan tercampur hingga homogen.
3. Melakukan proses *pelletizing* secara manual sehingga membentuk pellet.
4. Melakukan proses pengeringan pellet di dalam oven pada temperatur 120°C selama 4 jam.

3.3.2 Proses Reduksi Selektif

Tahap proses reduksi selektif adalah:

1. Menimbang sampel dalam bentuk pelet dengan menggunakan timbangan digital sebanyak 60 gram.
2. Memasukkan pellet ke dalam *crucible* grafit.
3. Memasukkan pellet ke dalam *muffle furnace* untuk proses reduksi dengan variasi waktu yaitu 60, 90 dan 120 menit serta variasi temperatur yaitu 950°C , 1050°C dan 1150°C .
4. Melakukan metode dengan pendinginan cepat menggunakan media air.

3.3.3 Proses Separasi Magnetik

Tahap proses separasi magnetik adalah:

1. Sampel digerus dengan mortar dan pastel, kemudian dihaluskan dengan *shaker mill* sampai mendapatkan ukuran 200 mesh.
2. Sampel hasil reduksi kemudian ditimbang dan dilakukan separasi magnetik yang menghasilkan konsentrat dan tailing.
3. Pemisahan magnetik dilakukan secara manual menggunakan magnet dengan berkekuatan 500 Gauss dengan metode basah.

4. Sampel hasil reduksi dimasukkan ke dalam gelas ukur yang berisi air, dilakukan pengadukan dan separasi magnetik. Empat buah gelas ukur diisi oleh air dan dilakukan separasi secara seri dan dihasilkan konsentrat pada gelas ke empat sedangkan yang lainnya merupakan tailing. Komponen magnetik (konsentrat) menempel pada alat separasi magnetik sedangkan partikel non-magnetik (tailing) tidak menempel pada magnet, sehingga didapatkan konsentrat dan tailing yang terpisah.

3.4. Prosedur Karakterisasi

3.4.1 Analisis XRD

Analisis XRD bertujuan untuk mengetahui senyawa atau fasa dominan penyusun dari bijih nikel laterit dan sampel hasil selektif reduksi. Analisis XRD untuk sampel awal bijih nikel laterit dan sampel hasil selektif reduksi dilakukan di Balai Penelitian Teknologi Mineral-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTM-LIPI) Lampung. Prinsip analisis XRD adalah dengan memancarkan elektron yang memiliki kecepatan tinggi dan kemudian menumbuk objek sehingga energi akan berubah menjadi energi panas dan pancaran sinar X. Panjang gelombang sinar X yang dipancarkan ini akan tertangkap oleh detektor dan diterjemahkan dalam bentuk grafik intensitas terhadap 2θ . Prinsip dari alat XRD (*X-ray diffraction*) adalah sinar X yang dihasilkan dari suatu logam tertentu memiliki panjang gelombang tertentu, sehingga dengan memvariasi besar sudut pantulan sehingga terjadi pantulan elastis yang dapat dideteksi. Maka menurut Hukum Bragg dengan persamaan yaitu:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (14)$$

Dimana:

d = Jarak antar bidang (hkl) yang sama

θ = Sudut Bragg

λ = Panjang gelombang sinar-X yang digunakan

jarak antar bidang atom dapat dihitung dengan data difraksi yang dihasilkan pada besar sudut-sudut tertentu. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg (Brady, 1999).

3.4.2 Analisis AAS

AAS merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Prinsip dasar dari AAS adalah penyerapan energi secara eksklusif oleh atom dalam keadaan dasar dan berada dalam bentuk gas. Hasil analisis AAS (dalam satuan ppm) digunakan untuk menghitung kadar nikel dan besi di dalam konsentrat magnetik. Untuk pengujian kadar nikel dan besi hasil reduksi selektif, konsentrat ataupun tailing hasil pemisahan magnetik maka serbuk kemudian ditimbang sekitar 0,5 gram menggunakan timbangan analitik. Berat penimbangan harus dicatat dengan presisi angka desimalnya karena sangat berpengaruh pada perhitungan kadar. Kemudian hasil penimbangan tersebut dicampurkan ke dalam 200 ml larutan *aquaregia* dengan perbandingan asam klorida terhadap asam nitrat sebesar 3 : 1 atau campuran antara 150 ml HCl dan 50 ml HNO₃. Larutan kemudian dipanaskan hingga uap yang semula berwarna kuning

berubah menjadi putih yang menandakan proses pelarutan telah selesai. Larutankemudian disaring menggunakan kertas saring dan diencerkan sebanyak 25 kali ke dalam labu ukur untuk pengujian unsur nikel (Ni), dan 625 kali untuk unsur besi (Fe). Hasil pengenceran tersebut dianalisis menggunakan *AtomicAbsorption Spectrophotometry*(AAS) untuk mengetahui kadar nikel dan besi pada produk konsentrat feronikel dan tailing hasil pemisahan magnetik.

Perhitungan yang dilakukan untuk analisis adalah sebagai berikut:

$$K_{(Fe,Ni)} (\%) = \frac{\text{hasil AAS (ppm)} \times \text{pengenceran} \times \text{volume awal (L)}}{1000(\text{mg/gr}) \times \text{massa awal (gr)}} \times 100\% \quad (15)$$

Keterangan:

K : kadar

3.4.3 Analisis *Optical Microscopy*

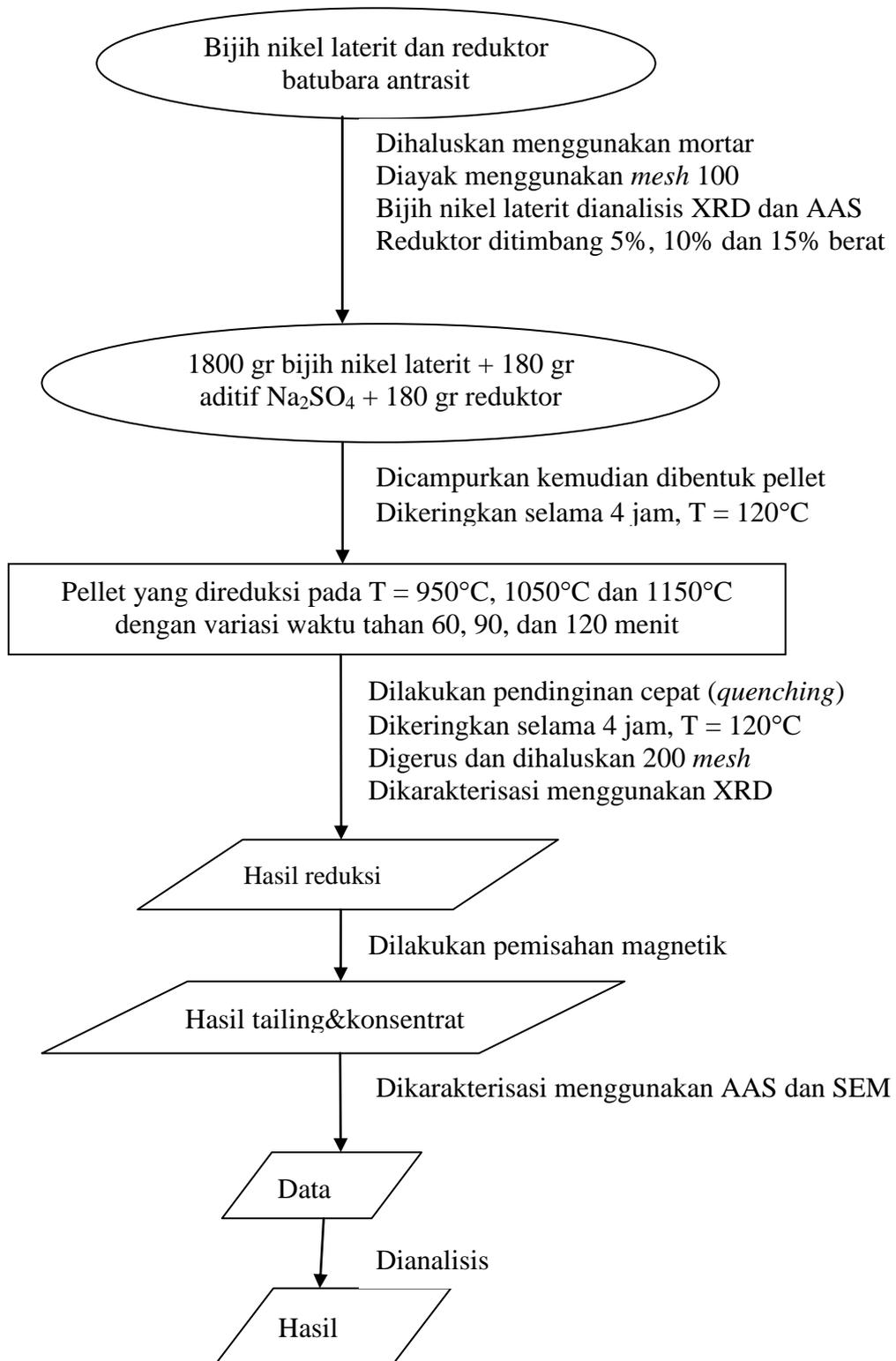
Analisis OMDilakukan di Balai Penelitian Teknologi Mineral-LIPI Lampung. Pengamatan dengan OM bertujuan untuk mengamati struktur mikro dengan resolusi yang baik, selain itu juga untuk mengamati keberadaan fasa dengan lebih detail. Untuk analisis OM ini, sampel terlebih dahulu di cetak dengan menggunakan resin dan larutan hardener. Dimana resin sebanyak 50 ml dicampurkan dengan 20 tetes larutan hardener. Kemudian dibiarkan mengeras. Selanjutnya dilakukan penghalusan dengan mesin polishing dengan amplas berukuran 120, 400, 600, 800, 1000 dan juga 1200. Setelah itu barulah dilakukan analisis OM dengan perbesaran yang berbeda-beda.

3.4.4 Analisis SEM

Analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*) diUPTLaboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi(LTSIT) Universitas Lampung. Pengamatan dengan SEM bertujuan untuk mengamati struktur mikro dengan resolusi yang lebih baik, selain itu juga untuk mengamati keberadaan fasa.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian secara keseluruhan disajikan dalam bentuk diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Pengaruh jumlah reduktor memberikan peningkatan terhadap Ni dalam konsentrat pada penambahan reduktor sebesar 10% dan mengalami penurunan pada penambahan reduktor lebih dari 10%. Proses reduksi bijih nikel laterit optimal diperoleh pada penambahan reduktor 10%, pada temperatur reduksi 1050°C selama 120 menit. Dimana kadar Ni yang diperoleh tertinggi yaitu pada jumlah reduktor 10% sebesar 0,84% dan kadar Fe yaitu sebesar 35,90%.
2. Pada pengaruh temperatur reduksi dengan aditif 10% Na₂SO₄, pada waktu tahan 60 menit menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur reduksi maka kadar Fe semakin meningkat dan kadar Ni yang diperoleh menurun. Dimana diperoleh kadar Ni tertinggi yaitu pada temperatur 1050°C sebesar 0,78% dan kadar Fe sebesar 39,07%.
3. Pada pengaruh waktu tahan dengan aditif 10% Na₂SO₄, dengan waktu reduksi 120 menit menunjukkan bahwa semakin lama waktu reduksi maka akan meningkatkan kadar nikel yang diperoleh. Hal ini karena intensitas dari fasa logam semakin meningkat sehingga berdampak pada meningkatnya kadar logam yang dihasilkan.

4. Hasil analisis XRD bijih nikel laterit yang direduksi dengan 10% berat Na_2SO_4 didominasi oleh senyawa-senyawa seperti *Trinepheline* (NaAlSiO_4), *Hercynite* (Al_2FeO_4), *Tetrataenite* (FeNi), *Magnesioferrite* (Fe_2MgO_4), *Wuestite* (FeO) dan *Quartz Low* (SiO_2).
5. Pada sampel dengan perbedaan kadar nikel, sampel hasil reduksi dengan kadar nikel 0,45 Ni-34,96 Fe-16,87 Al_2O_3 -9,77 SiO_2 menghasilkan kadar nikel yang lebih rendah dan perolehan besi yang lebih rendah daripada sampel hasil reduksi dengan kadar nikel 1,4 Ni-50,5 Fe-4,86 Al_2O_3 -16,5 SiO_2 . Hal ini dikarenakan tidak terjadi mekanisme pembentukan senyawa FeS .

5.2 Saran

Dalam upaya meningkatkan dan mengembangkan penelitian tentang bijih nikel laterit terdapat beberapa saran yaitu:

1. Penggunaan jenis reduktor lain seperti lignit, gas CO atau reduktor lainnya.
2. Penggunaan kuat medan magnet yang berbeda untuk mempelajari efisiensi proses pemisahan magnetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggarda, D.Y. 2017. Studi Pengaruh Variasi Jenis Fluks dalam Proses Aglomerasi Bijih Nikel Laterit terhadap Kadar Ni dan Fe serta Morfologi Aglomerat sebagai Bahan Umpan Mini Blast Furnace.
- Anonim, 2018. <https://www.google.com/search?q=gambar+nikel+laterit>. Diakses pada tanggal 09 November 2018. Pukul: 13.00 WIB.
- Anonim, 2018. <https://www.google.com/search?q=gambar+batuan+nikel>. Diakses pada tanggal 09 November 2018. Pukul: 13.10 WIB.
- Brady, J.E. 1999. *Kimia Universitas Asas dan Struktur*. Jakarta: Binarupa Aksara
- Dalvi, A., Bacon, W.G., Osborne, R.C. 2004. The Past and The Future of Nickel Laterites, in PDAC 2004 International Convention. *Trade Show & Investors Exchange*, North Carolina, USA., Pp. 1-27.
- Elliot, R., Pickles, C. A., and Forster, J. 2016. Thermodynamics of the Reduction Roasting of Nickeliferous Laterite Ores. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. Vol. 4. Pp. 320-346.
- Foster, J., Pickles, C.A., Elliot, R. 2016. Microwave Carbothermic Reduction Roasting of Low Grade Nickeliferous Silicate Laterite Ore. *Minerals Engineering*. Vol. 88, Pp. 18-27.
- Guilbert, J.M. 1986. *The Geology of Ore Deposits*. W.H Freeman and Company Newyork.
- Hakim, M.I., and Juniarsih, A. 2017. Peningkatan Kadar Nikel Bijih Limonit Melalui Proses Reduksi Selektif dengan Variasi Waktu dan Persen Reduktor. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- Henpristian, Y., Antoro, I.D., Oediyani, S. 2014. Pengaruh Waktu Reduksi dan Komposisi Pelet terhadap Persen Fe Metal dan Persen Fe Ni Spons dari Bijih Nikel. Vol. 29. ISSN.126-3188-1205-214.
- Jiang, M., Sun, T., Liu, N., Kao, J., Liu, N., and Zhang. 2013. Mecanism of Sodium Sulfate in Promoting Selective Reduction of Nickel Laterite Ore During Reduction Roasting Process. *International Journal of Mineral Processing*. Vol. 123. Pp.32-33.

- Kyle, J. 2010. *Nickel Laterite Processing Technologies-Where to Next*. Murdoch University Repository.
- Li, G., Shi, T., Rao, M., Jiang, T., and Zhang, Y. 2012. Beneficiation of Nickeliferous Laterite by Reduction Roasting in The Presence of Sodium Sulfate. *Minerals Engineering*. Vol. 32, Pp. 19-26.
- Lu, J., Liu, S., Shangguan, J., Du, W., Pan, F. ., and Yang, S. 2013. The Effect of Sodium Sulphate on The Hydrogen Reduction Process Nickel Laterite Ore. *Minerals Engineering*. Vol. 49, Pp. 154-164.
- Mudd, G. 2009. Nickel Sulfide Versus Laterite, The Hard Sustainability Challenge Remains. *48 Th Conference of Metallurgist*. Pp. 1-10.
- Moskalyk, R.R., Alfantazi, A.M. 2002. Nickel Laterite Processing and Electrowinning Practice. *Mineral Engineering*. Vol. 20. No. 15. Pp. 593-595.
- Norgate, T., Jahanshahi, S. 2001. Assessing The Energy and Green House Gas Footprint of Nickel Laterite Processing. *Mineral Engineering*. Vol. 24. No. 7. Pp. 698-707.
- Norgate, T., Jahanshahi, S. 2010. Low Grade Ores-Smelt Leach or Concentrate. *Minerals Engineering*. Vol. 23. Pp. 65-73.
- Nursidiq, A. 2017. Pengaruh Temperatur Reduksi Terhadap Kadar Ni dan Fe serta Morfologi Aglomerat Hasil Reduksi Bijih Nikel Laterit Limonitik Menggunakan Metode Bed Batubara. Skripsi Institut Sepuluh Nopember Surabaya.
- Pickles, C.A., Forster, J., Elliott, R. 2014. Thermodynamic Analysis of The Carbotemic Reduction Roasting of A Nickeliferous Limonitic Laterite Ore. *Minerals Engineering*. Vol. 65. Pp. 33-40.
- Pierre, J.C. 2004. Alloying Elements is A Stainless Steel and Orther Chromium-Containing Alloys. *Jurnal M&E*. Vol. 11, No. 1. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. Pp. 44-53.
- Rao, M., Li, G., Jiang, T., Luo, J., Zhang, Y., Fan, X. 2013. Charbotemic Reduction of Nickeliferous Laterite Ores for Nickel Pig Iron Production in China. A Review, *JOM*. Vol. 65. No. 11. Pp. 1573-1583.
- Rhamdhani, M.A., Chen, J., Hidayat, T., Jak, E., Hayes, P. 2009. Advances in Research on Nickel Production Through The Caron Process. *in EMC*. Pp. 899-13.
- Rhamdhani, M.A., Hayes, P.C., Jak, E. 2009. Nickel Laterite Part-1 Microstructure and Phase Characterizations During Reduction and Leaching. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. Vol. 118. Pp. 129-145.

- Rodrigues, 2013. Investigation into The Thermal Upgrading of Nickel Laterite Ore. *Material Science*. Pp. 1-10.
- Sari, Y. 2013. Penentuan Kadar Nikel dalam Mineral Laterit Melalui Pemekatandengan Metode Koperesipitas Menggunakan Cu-Pirolidin. *Skripsi*. Universitas Negri Semarang. Pp.126.
- Setiawan, I. 2016. Pengolahan Nikel Laterit Secara Pirometalurgi Kini. Vol.1, No. 1(D). Universitas Bengkulu. Bengkulu. Pp. 1109.37-1109.41.
- Subagja, R., Firdiyono, F. 2015. Kinetika Reaksi Pelarutan Nikel dari Hasil Reduksi Nikel Laterit. *Metalurgi*. Vol.30, No. 2. Pp.71-80.
- Valix and Cheung. 2002. Effect of Sulfur on The Mineral Phases of Laterite Ores at High Temperature Reduction. *Minerals Engineering*. Vol. 15. No. 7. Pp. 523-530.
- Wang, M. Chu, Z. Liu, H. Wang, W. Zhao and L. Gao. 2017. Preparing Ferronickel Alloy from Low-Grade Laterite Nickel Ore Based on Metallized Reduction-Magnetic Separation. *J. Metals* 7. Vol. 313.
- Zhu, D. Q. and Cui, Y. 2012. Upgrading Low Nickel Content Laterite Ores Using Selective Reduction Followed by Magnetic Separation. *Internasional Journal of Mineral Processing*. Vol. 106. No. 109. Pp. 1-7.