

**PENGARUH JENIS REDUKTAN PADA PROSES REDUKSI SELEKTIF
BIJIH NIKEL LATERIT**

(Skripsi)

Oleh

**DENI RADIANSYAH
NPM 1717041004**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGARUH JENIS REDUKTAN PADA PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT

Oleh

Deni Radiansyah

Indonesia merupakan penghasil nikel terbesar ke lima di dunia. Terdapat 2 jenis bijih nikel yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan logam nikel yaitu bijih jenis sulfida dan laterit. Pada penelitian ini, percobaan untuk meningkatkan kadar nikel dalam bijih nikel laterit telah dilakukan dengan cara membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit jenis limonit, reduktan jenis fosil dan reduktan jenis biomassa, serta aditif Na_2SO_4 , dilanjutkan dengan reduksi sampel dengan pemanggangan dalam *muffle furnace* pada temperatur $1150\text{ }^\circ\text{C}$ dan waktu pemanggangan selama 1 jam. Hasil reduksi kemudian digiling menggunakan *shaker mill* untuk selanjutnya dicampur dengan air dan dipisahkan dengan alat pemisah magnet untuk memisahkan konsentrat dan *tailing*. Karakterisasi seperti XRF, XRD, dan FE-SEM digunakan untuk memastikan kandungan nikel dan besi, perubahan fasa, dan struktur mikro feronikel. Hasil optimal pada penambahan reduktan jenis fosil diperoleh pada penambahan batu bara-0,71 S dengan kadar nikel sebesar 6,14% dengan *recovery* nikel sebesar 89,94%. Sedangkan hasil optimal pada penambahan reduktan jenis biomassa diperoleh pada penambahan arang cangkang sawit dengan kadar nikel sebesar 4,70% dengan *recovery* nikel sebesar 43,89%.

Kata Kunci: Nikel laterit, limonit, reduktan jenis fosil, reduktan jenis biomassa

ABSTRACT

THE EFFECT OF REDUCTANT TYPE ON THE SELECTIVE REDUCTION PROCESS OF LATERITE NICKEL ORE

By

Deni Radiansyah

Indonesia is the fifth largest nickel producer in the world. There are 2 types of nickel ore which are widely used as raw materials for making nickel metal, there are sulfide and laterite ores. In this research, an experiment to increase the nickel grades in the laterite nickel ore was carried out by making pellets from a mixture of limonitic type of laterite nickel ore, fossil type reductants and biomass type reductants, as well as Na_2SO_4 additive, followed by reducing the sample by roasting in a muffle furnace at 1150°C temperature and one-hour roasting time. The reduced ore from reduction process was grounded in shaker mill, then mixed with water and passed to magnetic separator to separate concentrate and tailing. Techniques such as XRF, XRD, and SEM-EDS are employed to ascertain the content of nickel and iron, phase changes, and the microstructure of the ferronickel. Optimal results for the addition of fossil type reductants were obtained from the addition of coal-0.71 S with a nickel grade of 6.14% and nickel recovery of 89.94%. Meanwhile, optimal results from the addition of biomass type reductants were obtained from the addition of palm shell charcoal with a nickel grade of 4.70% and nickel recovery of 43.89%.

Keywords: *Laterite nickel ore, limonite, fossil type reductants, biomass type reductants*

**PENGARUH JENIS REDUKTAN PADA PROSES REDUKSI SELEKTIF
BIJIH NIKEL LATERIT**

Oleh

DENI RADIANSYAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

: **PENGARUH JENIS REDUKTAN PADA
PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH
NIKEL LATERIT**

Nama Mahasiswa

: **Deni Radiansyah**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1717041004**

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Pembimbing I

Pembimbing II

Suprihatin, S.Si., M.Si.

NIP. 19730414 199702 2 001

Dr. Fajar Nurjaman, S.T., M.T.

NIP. 19800502 200312 1 005

2. Ketua Jurusan Fisika

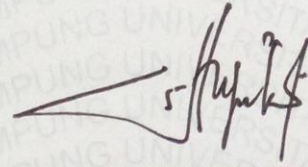
Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.

NIP. 19801010 200501 1 002

MENGESAHKAN

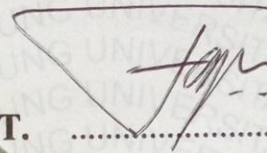
1. Tim Penguji

Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



.....

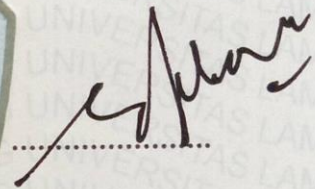
Sekretaris : **Dr. Fajar Nurjaman, S.T., M.T.**



.....

Penguji

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

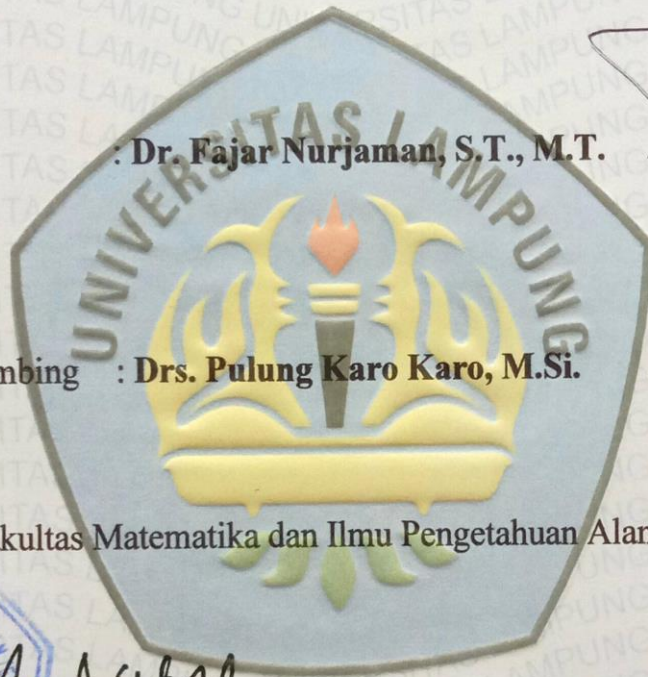
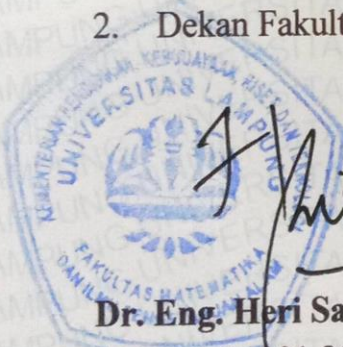
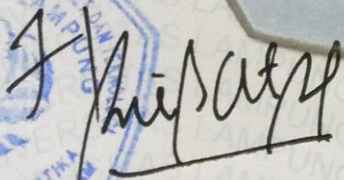


.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 19711001 200501 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **13 Juni 2024**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa, di dalam skripsi ini tidak terdapat karya orang lain dan tidak terdapat pendapat atau karya yang ditulis oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 13 Juni 2024
Penulis,



Deni Radiansyah
NPM. 1717041004

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Deni Radiansyah, dilahirkan di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung pada tanggal 06 Juni 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Siswadi dan Ibu Rosita. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Dharma Wanita pada tahun 2005, SDN 6 Gisting Atas pada tahun 2011, SMPN 1 Gisting pada tahun 2014, dan SMAN 1 Sumberejo pada tahun 2017. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur penerimaan SNMPTN dan menerima beasiswa bidikmisi angkatan ke-delapan. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi asisten Fisika Dasar pada tahun 2021. Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Bandung, dengan judul “Pengujian Tabung Baja LPG dengan SNI 1452:2011”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2020 di Desa Gisting Atas, Kecamatan Gisting, Kabupaten Tanggamus, Lampung. Dalam bidang organisasi penulis pernah menjabat sebagai Kepala Bidang *Human Resource Development* (HRD) UKM *English Society* Universitas Lampung pada tahun 2020.

MOTTO

”Karena sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”
(Q.S. Al-Insyirah : 5-6)

Tidak ada yang mudah di dunia ini, tapi tidak ada yang tidak mungkin bagi Allah
(Ustadz Muhammad Nuzul Dzikri)

The future depends on what you do today
(Mahatma Gandhi)

Berbuat baiklah kepada siapapun, karena suatu saat nanti kita mungkin akan membutuhkan mereka
(Deni Radiansyah)

PERSEMBAHAN

**Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu wa ta'ala,
karya ini dipersembahkan kepada:**

Kedua Orang tuaku
Bapak Siswadi dan Ibu Rosita

Terimakasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi
kesuksesanputranya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat
Universitas sebagai Sarjana

Keluarga Besar & Teman-teman

Terimakasih atas segala dukungan yang telah diberikan sehingga dapat
tetap bertahan dalam keadaan suka maupun duka

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Jenis Reduktan pada Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit”** yang merupakan syarat untuk meraih gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Skripsi ini membahas tentang upaya meningkatkan kadar nikel pada reduksi selektif bijih nikel laterit. Pada skripsi ini dilakukan analisis menggunakan XRF, XRD, dan FE-SEM.

Pada penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan baik dalam isi maupun cara penyajian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran guna perbaikan di masa mendatang. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca umumnya. Aamiin.

Bandar Lampung, 13 Juni 2024

Deni Radiansyah

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberi hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Jenis Reduktan pada Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit”**. Pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang turut membantu. Penulisan skripsi ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa tenaga maupun pemikiran. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis haturkan terima kasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., sebagai Pembimbing Utama yang tulus mengajari dan membantu penulis, membimbing, dan memberi pemahaman.
2. Bapak Dr. Fajar Nurjaman, S.T., M.T., sebagai Pembimbing Kedua yang senantiasa membantu penulis, membimbing, dan memberi pemahaman.
3. Bapak Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si., sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan koreksi dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan nasihat.
5. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah banyak membekali ilmu bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi.
8. Kedua orangtuaku, Bapak Siswadi dan Ibu Rosita serta adikku, Adellia Dwi Pitaloka yang telah mendo'akan serta memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Novan Efendi (Nono Nainggolan) selaku sahabat sejati yang selalu menemani dalam suka maupun duka, juga selalu memberikan dukungan dan mendoakan dalam perjalanan mendapatkan gelar sarjana.
10. Sahabat-sahabat yang disayangi sampai kapanpun Loli, Devika, Bunga, Kanya, Bonny, Ipul, Deva, Lola, Rizal, Nurul Kim, Annisa Azzahra serta Anafis 17 yang selalu menjadi tempat bercerita keluh kesah senang maupun sedih.
11. *English Society* Universitas Lampung yang telah memberikan tempat untuk mengembangkan kemampuan serta memberikan pengalaman yang luar biasa.

Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas kebaikan kalian dengan banyaknya kebaikan yang lebih baik.

Bandar Lampung, 13 Juni 2024

Deni Radiansyah

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN SAMPUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Nikel	5
2.2	Feronikel	6
2.3	Bijih Nikel Laterit	7
2.4	Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit	9
	2.4.1 Pirometalurgi	9
	2.4.2 Hidrometalurgi	10
2.5	Metode Reduksi Selektif	12
2.6	Termodinamika Reduksi	13
2.7	Reduktan	15
	2.7.1 Batu Bara	15
	2.7.2 Biomassa	17
2.8	Penambahan Zat Aditif	18
2.9	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	19
2.10	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	20
2.11	<i>Field Emission Scanning Electron Microscope</i> (FE-SEM)	22

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2	Alat dan Bahan	25
3.3	Prosedur Penelitian	25
3.4	Diagram Alir Penelitian	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakterisasi Bahan	28
	4.1.1 Karakterisasi Bijih Nikel Laterit	28
	4.1.2 Karakterisasi Reduktan	30
4.2	Pengaruh Jenis Reduktan	31
	4.2.1 Pengaruh Penambahan Reduktan Jenis Fosil	31
	4.2.2 Pengaruh Penambahan Reduktan Jenis Biomassa	36
4.3	Perbandingan Optimal Reduktan Jenis Fosil dan Reduktan Jenis Biomassa	39

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1	Simpulan	43
5.2	Saran	44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Feronikel.....	6
Gambar 2.2. Profil skematik laterit Indonesia dan Australia	7
Gambar 2.3. Batu bara.....	15
Gambar 2.4. Arang	17
Gambar 2.5. Difraksi sinar-X pada bidang atom	20
Gambar 2.6. Prinsip kerja XRF.....	21
Gambar 2.7. Bagian utama FE-SEM	22
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 4.1. Pola XRD bijih nikel limonit	29
Gambar 4.2. Grafik persentase pada penambahan reduktan jenis fosil.....	31
Gambar 4.3. Pola XRD penambahan reduktan jenis fosil	33
Gambar 4.4. Struktur mikro hasil reduksi bijih nikel dengan penambahan reduktan jenis fosil	34
Gambar 4.5. Grafik persentase pada penambahan reduktan jenis biomassa ...	36
Gambar 4.6. Pola XRD penambahan reduktan jenis biomassa	37
Gambar 4.7. Struktur mikro hasil reduksi bijih nikel dengan penambahan reduktan jenis fosil	38
Gambar 4.8. Grafik persentase kadar Ni dan <i>recovery</i> Ni pada perbandingan optimal reduktan jenis fosil dan reduktan jenis biomassa.....	39
Gambar 4.9. Perbandingan pola XRD pada penambahan reduktan batu bara-0,71 S dan arang cangkang sawit	40
Gambar 4.10. Perbandingan struktur mikro penambahan reduktan	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Alat Penelitian	24
Tabel 3.2. Bahan Penelitian	25
Tabel 4.1. Hasil Karakterisasi XRF Bijih Nikel Limonit	28
Tabel 4.2. Hasil Uji Proksimat Reduktan	30

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel adalah logam komersial yang penting, terutama digunakan dalam produksi *stainless steel* dan logam campuran (Zhu dkk, 2012). Indonesia merupakan penghasil nikel terbesar ke lima di dunia dengan persentase sebesar 12% cadangan di dunia. Pada saat ini ada 2 jenis bijih nikel yang banyak digunakan sebagai bahan baku untuk membuat logam nikel yaitu bijih jenis sulfida dan laterit (Subagja, Prasetyo dan Sari, 2016). Sedangkan di Indonesia sumber nikel hanya dijumpai dalam bentuk nikel sekunder atau yang disebut juga sebagai nikel laterit (Isjudarto, 2013). Bijih nikel yang banyak digunakan di Indonesia adalah bijih nikel dengan kadar rendah yaitu kurang dari 1,5%, yang kemudian diproses untuk menghasilkan feronikel atau nikel-*matte* (Subagja, Prasetyo dan Sari, 2016).

Namun, pengolahan bijih nikel di Indonesia belum diterapkan secara optimal karena proses pemurnian laterit sangat mahal. Hal ini dipicu oleh energi dan kompleksitas yang diperlukan dalam proses peleburan. Produksi feronikel dari bijih nikel laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih nikel laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar *slag*. Proses pengolahan bijih nikel laterit menjadi feronikel dilakukan dengan proses pirometalurgi. Namun proses ini hanya dapat mengolah bijih nikel laterit dengan kadar Ni diatas 1,5%. Sebesar 50% cadangan

Ni di dunia memiliki kadar Ni < 1,45%, sehingga kurang tepat bila diolah dengan proses pirometalurgi (Setiawan, 2016).

Maka dari itu dikembangkan proses reduksi selektif dengan temperatur rendah, kemudian dilanjutkan dengan proses separasi magnetik bijih nikel laterit (Nurjaman dkk, 2021). Cao dkk, (2010), telah melakukan penelitian dengan mereduksi bijih nikel laterit pada temperatur 1200 °C selama 40 menit dengan penambahan 20% Na₂CO₃ dan 15% batubara. Dari hasil penelitiannya diperoleh kadar feronikel dan nikel pada konsentrat sebesar 10,83% dan 82,15%. Selain itu, penelitian lain tentang reduksi selektif bijih nikel laterit dilakukan oleh Zhu dkk, (2012), dengan melakukan reduksi bijih nikel laterit pada temperatur 1100 °C selama 60 menit dengan penambahan 6% CaSO₄ dan 5% batubara. Dari hasil percobaannya diperoleh konsentrat feronikel dengan kadar 6% dan perolehan nikel dalam konsentrat adalah 92,10%. Kemudian penelitian lebih lanjut dilakukan oleh Hakim dkk, 2017, tentang variasi reduktan dan temperatur terhadap produk feronikel dengan bahan bijih nikel laterit menghasilkan bahwa penambahan 14% reduktan menyebabkan kandungan nikel semakin meningkat dibandingkan dengan penambahan 7% dan 0% reduktan.

Dari beberapa penelitian di atas masih belum banyak penelitian yang menggunakan biomassa sebagai reduktan dalam proses pengolahan bijih nikel laterit. Batu bara/kokas masih menjadi reduktan yang sering digunakan para peneliti, namun batu bara/kokas memiliki beberapa kekurangan diantaranya merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan penggunaan batu bara/kokas yang berlebihan dapat menimbulkan dampak negatif untuk lingkungan. Maka dari itu biomassa digunakan sebagai alternatif reduktan yang diharapkan tidak hanya dapat

mengurangi jumlah pemakaian batu bara/kokas, tetapi juga dapat mengurangi polusi yang dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Dari penjelasan di atas, maka telah dipelajari perbandingan kadar feronikel yang dihasilkan dari penggunaan beberapa jenis reduktan yaitu batubara dan biomassa dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakteristik dari bijih nikel laterit yang digunakan?
2. Bagaimana reduktan jenis fosil dan biomassa dapat mempengaruhi proses reduksi bijih nikel laterit?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik dari bijih nikel laterit yang digunakan.
2. Mengetahui pengaruh jenis reduktan dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bijih nikel laterit yang digunakan berasal dari Sulawesi Tenggara.
2. Zat Aditif yang digunakan sodium sulfat.
3. Jenis reduktan yang digunakan yaitu reduktan jenis fosil dan reduktan jenis biomassa.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mendapatkan parameter optimal dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit terkait pemilihan reduktan.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan reduktan jenis biomassa sebagai reduktan alternatif pengganti reduktan jenis fosil.
3. Hasil penelitian dapat digunakan bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam pemanfaatan reduktan pada proses reduksi selektif bijih nikel laterit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel adalah unsur kimia logam dengan nomor atom 28 dan massa atom 58,6934. Nikel memiliki titik lebur sebesar 1453 °C dan setelah melebur akan berubah menjadi fasa cair dengan titik didih sebesar 2732 °C (Mcrae, 2018).

Nikel memiliki sifat fisik dan kimia yang unik yaitu memiliki titik lebur yang tinggi, tahan korosi dan oksidasi, magnetis di suhu ruangan, katalisator dalam reaksi kimia, serta dapat didaur ulang (Davis, 2000). Nikel bersifat liat, dapat ditempa dan sangat kukuh. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras, sedikit feromagnetik, dan merupakan konduktor yang baik terhadap panas dan listrik (Day & Underwood, 1989).

Karena sifatnya yang fleksibel dan mempunyai karakteristik yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi komersial maupun industri, logam nikel mempunyai beberapa kegunaan diantaranya:

1. Pembuatan *stainless steel* dan logam campuran (*alloy*).
2. Untuk pelapisan logam lain.
3. Bahan industri kimia (sebagai katalis) untuk pemurnian minyak.
4. Dipakai pada unit pemanas listrik (*electric heating unit*).
5. Bahan untuk industri peralatan rumah tangga (Ariani, 2004).

2.2 Feronikel

Feronikel adalah paduan besi dan nikel dengan kadar nikel di bawah 20 % dan di atas 1,5 %. Pada umumnya yang dapat dihasilkan langsung dari *blast furnace* adalah *pig iron* yang mengandung nikel antara 1,5 – 8 % Ni (Yuwandono, 2017). Produksi feronikel dari laterit dengan proses pirometalurgi memiliki tiga tingkatan yang penting yaitu pra reduksi dalam pembakaran rotari, peleburan reduktif dalam *electric arc furnace* dan pengayaan feronikel dalam konverter (Maragkos, Giannopoulou dan Panias, 2009). Pertumbuhan partikel feronikel didorong oleh kombinasi peningkatan metalisasi dan aglomerasi partikel lebih kecil, dibandingkan dengan peningkatan metalisasi saja (Elliott, Pickles dan Peacey, 2017).

Produksi feronikel dari bijih laterit secara pirometalurgi memerlukan energi lebih tinggi dibanding hidrometalurgi, karena pada prakteknya bijih laterit atau bijih pra-reduksi langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar *slag* (Setiawan, 2016).



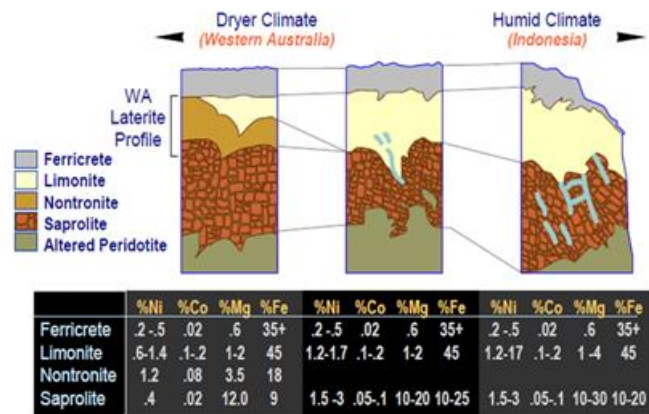
Gambar 2.1. Feronikel (Bajraktari-Gashi dkk, 2022)

Gambar 2.1., menunjukkan *slag* feronikel yang merupakan jenis hasil buangan industri selama pembuatan campuran baja dan nikel. Berdasarkan perbedaan bahan mentah dan teknik produksi, slag feronikel dibedakan menjadi *electric arc furnace*

ferronickel slag (EFS) dan *blast furnace ferronickel slag* (BFS) (Kahariyadi dkk, 2015). Komponen kimia dari slag feronikel yang utama yaitu SiO_2 , MgO , CaO , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 dan mineral kristal pada slag feronikel yaitu enstatit, forsterit dan diopsid (Yang, Yao dan Zhang, 2014).

2.3 Bijih Nikel Laterit

Nikel laterit merupakan sumber nikel yang banyak ditemui di Indonesia (Isjudarto, 2013). Berdasarkan data jumlah cadangan laterit di Indonesia mencapai 1.168 juta ton bijih (lebih dari 1,1 milyar ton) atau setara dengan 22 juta ton logam Ni (Prasetyo, 2016). Istilah “*laterite*” bisa diartikan sebagai endapan yang kaya oksida besi, miskin unsur silika dan secara intensif ditemukan pada endapan lapukan pada iklim tropis. Ada juga yang mengartikan nikel laterit sebagai endapan lapukan yang mengandung nikel dan secara ekonomis dapat ditambang (Isjudarto, 2013).



Gambar 2.2. Profil skematik laterit Indonesia dan Australia (Mudd, 2010).

Bijih nikel digolongkan dalam dua jenis, yaitu nikel sulfida berada dibelahan bumi sub tropis dan nikel oksida yang lazim disebut laterit berada dibelahan bumi khatulistiwa seperti di Indonesia. Menurut Bide, Herrington dan Gunn (2008) mineral utama yang mengandung nikel di laterit adalah *garnierit* dan *nickeliferrous*

limonite. Endapan nikel laterit di Indonesia mempunyai susunan yang sedikit berbeda dengan nikel laterit di tempat lain seperti Australia karena perbedaan iklim seperti pada **Gambar 2.2**. Iklim Indonesia relatif lebih lembab daripada Australia, hal ini akan berpengaruh terhadap proses pembentukan batuan awal (*parent rock*) sehingga secara mineralogi dan komposisi kimia dari nikel laterit yang terbentuk juga akan berbeda. Sedangkan pengotor sampingan yang dibawa oleh bijih nikel laterit didominasi oleh hadirnya oksida besi, magnesium dan silika dimana kadar dari elemen pengotor akan bervariasi dan bergantung pada jenis lapisan laterisasinya (Mudd, 2010).

Bijih nikel laterit terbagi menjadi dua yaitu limonit dan saprolit. Limonit memiliki kadar Ni dan MgO/SiO_2 yang rendah, biasanya diproses dengan proses hidrometalurgi yaitu *High-pressure acid leaching* (HPAL). Sedangkan saprolit memiliki kadar Ni dan MgO/SiO_2 yang tinggi, biasanya diproses dengan proses pirometalurgi (Nurjaman dkk, 2021).

Proses terbentuknya bijih nikel laterit dimulai dari adanya pelapukan yang intensif pada peridotit (batuan induk). Batuan induk ini akan berubah menjadi serpentin akibat pengaruh larutan hidrotermal atau larutan residual pada waktu proses pembekuan magma (proses serpentinisasi) dan akan merubah batuan peridotit menjadi batuan serpentin. Kemudian kembali terjadi pelapukan (fisika dan kimia) menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk (Binudi and Adjiantoro, 2014).

Subagja dkk, (2016), melakukan karakterisasi bijih nikel laterit jenis limonit dan didapatkan senyawa dominan penyusun bijih nikel laterit yaitu besi oksida (Fe_2O_3). Selain itu senyawa lain yang terkandung dalam bijih nikel laterit yaitu SiO_2 , Al_2O_3 ,

Cr₂O₃, MnO₂, NiO, CoO, MgO dan CaO, namun komposisi senyawa ini jauh lebih kecil dan senyawa NiO yang terkandung dalam bijih hanya 1,42%.

2.4 Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Logam Nikel diperoleh dari endapan nikel laterit yang telah diambil dan melalui proses pengolahan. Ada beberapa jalur proses pengolahan yang dapat digunakan untuk mendapatkan logam nikel. Pemilihan proses pengolahan didasarkan pada karakteristik ataupun komposisi dari endapan nikel laterit tersebut. Proses hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit jenis limonit dengan kadar Ni di bawah 1,5%. Sedangkan proses pirometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit jenis limonit dengan kadar Ni 1,5% – 2% dan bijih nikel laterit jenis saprolit dengan kadar Ni 1,8% - 3% (Faiz, 2020).

2.4.1 Pirometalurgi

Pirometalurgi adalah proses pemisahan logam dari bijihnya dengan cara pemanasan pada temperatur tinggi (memakai energi panas). Menurut Zhu dkk, (2012), rute umum pengolahan bijih nikel laterit secara pirometalurgi terdiri dari 5 tahap proses yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya yaitu penambangan bijih, *drying*, *roasting*, pelelehan, dan pemurnian.

1. Penambangan: Bijih nikel laterit terbentuk dekat dengan permukaan tanah, dengan begitu laterit dengan mudah diambil.
2. *Drying* dan *roasting*: Karena bijih nikel laterit kebanyakan ditemukan di daerah dengan iklim tropis yang berada disekitar garis ekuator, bijih nikel laterit mengandung kelembapan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, diperlukan proses untuk menghilangkan kelembapan dengan cara *drying* atau *calcining*. Sebelum proses peleburan (*smelting*) bijih biasanya dilakukan *roasting* di dalam *rotary*

kiln. Dua langkah ini dan langkah selanjutnya merupakan langkah-langkah yang memerlukan energi paling besar seperti gas alam, karbon, dan listrik.

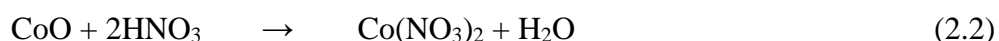
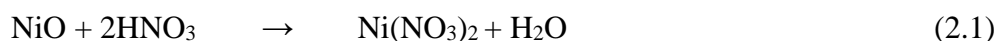
3. *Smelting: Electric arc furnace* biasanya digunakan untuk proses peleburan (*smelting*). Nikel-*matte* didapatkan akibat adanya penambahan sulfur sehingga oksida nikel dapat berubah menjadi nikel sulfida-*matte*.
4. Pemurnian (*refining*): Ada beberapa cara pemurnian yang dapat dilakukan bergantung dari hasil akhir yang ingin dicapai.

Hasil ekstraksi nikel ada beberapa jenis yaitu *ferronickel*, nikel-*matte*, dan nikel logam. Nikel-*matte* dihasilkan dari ekstraksi senyawa nikel yang berupa sulfida. Sedangkan nikel berupa logam adalah pemurnian dari nikel yang berada di dalam *matte* maupun nikel yang berada dibijih seperti pada proses Mond dimana nikel oksida dikenai karbon monoksida sehingga didapat nikel murni (Kyle, 2010).

2.4.2. Hidrometalurgi

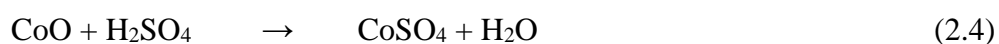
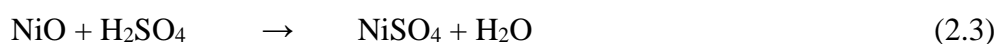
Hidrometalurgi merupakan proses ekstraksi logam dengan menggunakan reagen pelarut yang dilakukan relatif pada temperatur tinggi. Ekstraksi Hidrometalurgi terdiri dari beberapa proses utama yaitu pelindian, pemurnian dan pemulihan logam (Cui & Anderson, 2016). Pelindian (*leaching*) adalah pelarutan sumber logam ke dalam larutan berair, dapat digunakan dengan pereaksi (misalnya asam atau basa) yang selektif melarutkan logam yang diinginkan dan meninggalkan pengotor. Selanjutnya dilakukan pemurnian terhadap larutan tersebut, untuk meningkatkan konsentrasi terlarut logam yang diinginkan, serta menghilangkan pengotor. Tahap terakhir adalah pemulihan logam yang diinginkan dari larutan menjadi bentuk yang dapat dijual (misalnya padatan). Biasanya hal ini dilakukan dengan elektrolisis atau pengendapan.

Dalam proses hidrometalurgi, ada tiga metode yang biasanya digunakan yaitu *atmospheric leaching*, *heap leaching* dan *high pressure acid leaching* (HPAL). *Atmospheric acid leaching* merupakan metode yang digunakan mengekstraksi nikel dari bijih nikel laterit kadar rendah dalam tekanan atmosfer. Asam yang umum digunakan dalam proses ini adalah asam sulfat. Asam nitrat juga dapat digunakan untuk proses *atmospheric leaching* seperti yang dilakukan oleh CSIRO di Australia Barat karena lebih mudah didaur. Reaksi yang terjadi ketika proses *atmospheric leaching* menggunakan asam nitrat ketika mengestrak bijih laterit sebagai berikut (Faiz, 2020).



Heap leaching adalah proses yang sangat lambat, di mana asam tersebar setetes demi setetes di atas tumpukan, perlahan-lahan mengalir ke bawah. Selama waktu reaksi ini, asam yang digunakan bereaksi dengan mineral (Stopic & Friedrich, 2016).

Proses HPAL dapat dikatakan lebih tepat sebagai proses pelarutan dan hidrolisis daripada sebagai proses pelindian. Reaksi pelindian menggunakan asam sulfat dapat dilihat sebagai berikut (Stopic & Friedrich, 2016):



Proses ini dilakukan dalam kondisi pelindian menggunakan konsentrasi larutan asam, temperatur dan tekanan yang tinggi. Hasil dari proses pelindian selain Ni dan Co terdapat juga besi, aluminum, silika, dan kromium yang terbentuk dalam bentuk

padatan, walaupun dalam jumlah kecil dalam larutan namun menambah kompleksitas pengolahan (Kyle, 2010).

2.5 Metode Reduksi Selektif

Reduksi merupakan proses reaksi untuk merubah logam oksida menjadi logam menggunakan reduktan tertentu. Reduksi selektif juga berarti mereduksi logam oksida apa saja dan mencegah reduksi senyawa oksida lain yang terdapat pada bijih. Proses ini diharapkan dapat membebaskan nikel dari pengotornya sehingga akan meningkatkan kadar nikel (Hakim, Juniarsih dan Setiawan, 2017). Produk magnetik yang diperoleh disebut sebagai konsentrat feronikel. Kadar nikel, perolehan kembali nikel, dan perolehan kembali besi dalam konsentrat feronikel digunakan untuk mengetahui pengaruh reduksi selektif terhadap konsentrat feronikel akhir (Jiang dkk, 2013).

Menurut Nurjaman, dkk, (2020), proses reduksi selektif ditujukan untuk mereduksi keseluruhan senyawa oksida nikel, namun hanya mereduksi sebagian senyawa oksida besi yang terkandung dalam bijih nikel laterit.

Sejumlah peneliti menyatakan bahwa reduksi selektif bergantung pada atmosfer reduksi dan tingkat silika; kehadiran belerang secara signifikan mendorong pertumbuhan partikel feronikel untuk meningkatkan pengayaan nikel dalam fase logam (Setiawan dkk, 2017).

Pengaruh suhu kalsinasi hingga 1000 °C selama 1 jam terhadap derajat metalisasi pada bijih nikel laterit kadar rendah yaitu, derajat metalisasi Ni akan turun hingga suhu 600 °C dan setelah itu meningkat tajam dengan meningkatnya suhu kalsinasi. Hal yang serupa diperkirakan terjadi pada proses reduksi selektif, yang mana pada

suhu lebih dari 600 °C, derajat metalisasi Ni akan semakin meningkat (Kim dkk, 2010).

Bijih nikel laterit, reduktan, dan aditif disiapkan dalam 100 mesh dan dicampur secara homogen. Campuran kemudian dipelet menjadi 10-15 mm diameter dan dikeringkan pada 120 ° C selama 4 jam. Pelet direduksi pada 950-1250 °C selama 1 jam dalam tungku meredam dan didinginkan dengan cepat dengan air. Pelet yang direduksi dihancurkan hingga 90% lolos dalam 200 mesh. Pemisahan magnetik dilakukan terhadap bijih tereduksi halus ini menggunakan magnet permanen dengan kekuatan medan magnet 500 G, menghasilkan konsentrat (partikel magnetik) yang mengandung feronikel dan tailing (partikel non-magnetik) mengandung pengotor (Nurjaman dkk, 2021).

2.6 Termodinamika Reduksi

Temperatur reduksi memiliki efek yang signifikan pada pemurnian logam pada bijih laterit, dimana pada temperatur reduksi yang tinggi akan meningkatkan persentase nikel yang ditemukan pada senyawa feronikel akibat laju reduksi wustit yang secara bersamaan dengan pertumbuhan partikel metalik, ditingkatkan menuju pembentukan Fe metalik dan melarutkan nikel dalam taenit (γ -Fe-Ni) (Zhu dkk, 2012). Proses reduksi diawali dengan menghilangkan senyawa hidroksida, yaitu *serpentine*-(Mg,Fe,Ni)₃Si₂O₅(OH)₄ dan *goethite*-(FeOOH).



Pada temperatur 500-600°C, *serpentine* akan berubah menjadi *forsterite*-(Mg,Fe,Ni)SiO₃ dan *enstatite*-(Mg,Fe,Ni)₂SiO₄, sedangkan *goethite* akan berubah menjadi *hematite*-(Fe₂O₃). Pemanasan lebih lanjut akan menyebabkan nikel dalam

forsterite dan *enstatite* berubah menjadi nikel oksida (NiO) dan logam nikel (Ni), sedangkan *hematite* akan berubah menjadi *magnetite*-Fe₃O₄, *wustite*-FeO, dan logam besi-Fe



Dehidroksilasi dari goethit pada 400°C dapat meningkatkan luas permukaan spesifik, mengakibatkan “*opening*” struktur mineral goethit. Akibatnya, selama proses dehidroksilasi berlangsung, nikel bersifat lebih rentan terhadap *attack* karena ketidakstabilan yang lebih besar dari matriks besi. Sebaliknya, temperatur yang lebih tinggi mengarah pada penurunan luas permukaan spesifik kemungkinan akibat dari penggabungan pori-pori yang berukuran kecil sebagai hasil perlakuan temperatur tinggi (Zevgolis dkk, 2010).

Hal ini tampaknya terasosiasi dengan sempurnanya reaksi dehidroksilasi yang tercapai pada temperatur tersebut. Air yang terkandung dalam bijih mineral tidak hanya terikat secara fisika (*surface moisture*), namun juga terikat secara kimia dalam bentuk hidrat (air kristal). Dehidroksilasi adalah transformasi struktural yang mengarah kepada penghancuran struktural kelompok OH⁻ atau hilangnya air kristalin.

Selain temperatur reduksi, jumlah reduktan juga dibutuhkan dalam proses reduksi bijih besi. Reduktan berfungsi untuk melepas oksigen yang terikat pada bijih besi

sehingga hanya tersisa Fe dalam bentuk logam. Dalam penggunaannya, suatu reduktan mempunyai kandungan *fixed carbon*. Semakin banyak *fixed carbon* yang digunakan maka semakin banyak pula ketersediaan bahan reduktan sehingga oksida besi yang dapat direduksi akan semakin banyak, sedangkan semakin banyak kandungan *fixed carbon* dalam suatu reduktan maka akan semakin sedikit penggunaan reduktan yang dibutuhkan (Handayani, Oedayani dan Milandia, 2016).

2.7 Reduktan

2.7.1 Batu Bara

Batu bara merupakan salah satu bahan bakar fosil (tidak dapat diperbaharui). Batu bara (**Gambar 2.3**) merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik yang terbentuk melalui proses pematubaraan.



Gambar 2.3. Batu bara (ligaasuransi.com)

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. Komponen pembentuk batu bara berdasarkan analisis proksimat terdiri dari: kelembaban (*Moisture = M*), abu (*Ash = A*), materi mudah menguap (*Volatile Matter = VM*), karbon padat (*Fixed Carbon = FC*) (Rumiyanti, Sari dan Amin, 2019).

1. *Moisture*

Moisture atau kelembaban menentukan besarnya kandungan air dalam batubara. Kadar air dalam batubara ini harus diminimalkan karena hal ini dapat mengurangi panas dari pembakaran batubara sehingga mengurangi tingkat efisiensi proses

2. *Ash*

Ash merupakan pengotor yang tidak akan terbakar.

3. *Volatile Matter*

Volatile matter merupakan senyawa organik dengan titik didih rendah yang mudah menguap saat proses pemanasan batubara. Senyawa *volatile matter* meliputi metana, hidrokarbon, hidrogen dan karbon monoksida. Secara umum, batubara dengan kandungan bahan *volatile* tinggi mudah terbakar dan sangat reaktif dalam aplikasi pembakaran.

4. *Fixed Carbon*

Fixed carbon adalah bahan bakar padat yang tersisa di tungku setelah zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) didestilasi. Sebagian besar terdiri dari karbon, tetapi juga berisi beberapa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa oleh gas. Karbon tetap memberikan perkiraan kasar dari nilai kalor batu bara.

Menurut Crundwell dkk, (1992), pembentukan batu bara diawali dengan proses biokimia, kemudian diikuti oleh proses geokimia dan fisika yang berpengaruh terhadap peringkat batu bara (*coal rank*). Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas : antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

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 batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batu bara coklat adalah batu bara 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 (Zulyansyah, 2018).

2.7.2 Biomassa



Gambar 2.4. Arang (sciencefictiontwin.com)

Gambar 2.4., menunjukkan salah satu biomassa yang digunakan yaitu arang. Arang adalah residu yang berbentuk padatan yang merupakan sisa dari proses pengkarbonan bahan berkarbon dengan kondisi terkendali di dalam ruangan tertutup seperti arang dapur (Kahariyadi dkk, 2015).

Menurut Zulyansyah, (2008), ada banyak sekali jenis arang yang diproduksi di Indonesia, antara lain ialah: arang tempurung kelapa, sekam padi, kayu asem, kayu alaban, kayu besi, kayu putih, cangkang kelapa sawit, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan sebagainya. Dari berbagai macam jenis arang tersebut yang layak digunakan sebagai agen reduktan dalam proses *Direct Reduction Iron* harus memperhatikan hal hal berikut:

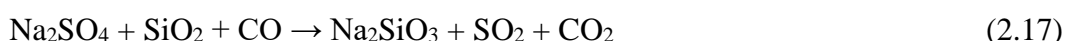
1. Kandungan *fixed carbon* yang cukup tinggi
2. Kandungan sulfur dan fosfor yang rendah
3. Kandungan *ash* yang rendah
4. Kandungan *volatile matter* yang rendah
5. Ketersediaan yang melimpah

Arang dapat digunakan sebagai pengganti batubara, dimana kandungan *fixed carbon* yang dibutuhkan dalam proses pembakaran *Direct Reduction Iron* tercukupi. Kandungan *fixed carbon* sangat menentukan dalam proses *Direct Reduction Iron*. Semakin tinggi kandungan *fixed carbon* maka pembakaran semakin maksimal (Kahariyadi dkk, 2015).

2.8 Penambahan Zat Aditif

Penambahan zat aditif berupa natrium sulfat (Na_2SO_4) dapat menurunkan metalisasi logam besi (Fe) dikarenakan terbentuknya senyawa FeS dengan titik lebur yang rendah, sehingga meningkatkan laju transfer massa ion-ion logam selama proses reduksi dan menyebabkan partikel feronikel mengalami agregasi (Li dkk, 2012). Na_2SO_4 dapat membebaskan besi dan nikel dari lizardit serta peningkatan ukuran partikel feronikel secara signifikan untuk meningkatkan kandungan dan laju

recovery nikel. Na_2SO_4 akan terurai menjadi Na_2S yang bermanfaat untuk reduksi selektif Ni karena pembentukan FeS (Jiang dkk, 2013).

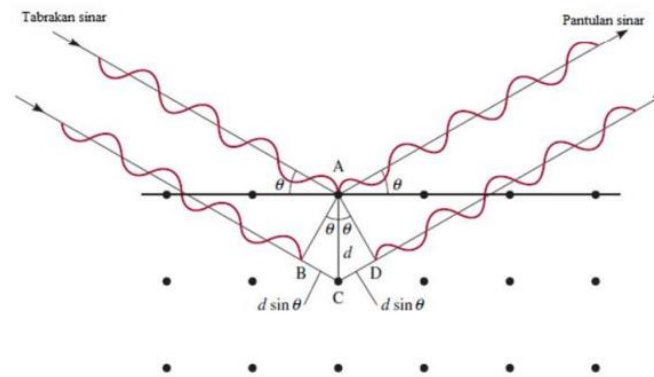


Fasa non magnetik FeS dapat menghambat proses reduksi FeO menjadi logam Fe, sehingga akan mengurangi kadar Fe pada konsentrat dan kadar Ni akan meningkat (Nurjaman dkk, 2018). Adanya fasa FeS dan natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah akan melarutkan partikel-partikel logam dan mempercepat proses perpindahan masa partikel logam sehingga memacu pertumbuhan pertumbuhan partikel logam. Terbentuknya ukuran partikel logam yang relatif besar akan mempermudah proses peningkatan kadar logam dengan alat pemisah magnet (Subagja dkk, 2016).

2.9 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi adalah peristiwa terhamburnya gelombang oleh adanya suatu gangguan (misalnya kisi), diikuti oleh hamburan ke segala arah yang menimbulkan penguatan atau pelemahan pada kondisi tertentu. Difraksi terjadi jika ada kesetaraan orde geometris antara panjang gelombang dengan lebar kisi. Hasil penguatan hamburan menggambarkan karakter dari penghambur atau gangguan itu. Jika berkas dengan panjang gelombang seorde dengan jarak antar bidang kristal ditembakkan ke suatu material kristal (seperti **Gambar 2.5**), maka akan terjadi difraksi kristal (Pratapa, 2010). Prinsip dasar dari XRD adalah hamburan

elektron yang mengenai permukaan kristal. Bila sinar dilewatkan ke permukaan kristal, sebagian sinar tersebut akan terhamburkan dan sebagian lain akan diteruskan ke lapisan berikutnya (Suryanarayana & Norton, 1998).



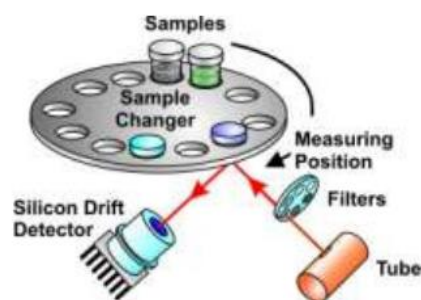
Gambar 2.5. Difraksi sinar-X pada bidang atom (Munasir dkk, 2012).

Sinar-X oleh atom-atom yang tersusun di dalam kristal akan menghasilkan pola yang berbeda tergantung pada konfigurasi yang di bentuk oleh atom- atom dalam kristal (Alfarisa dkk, 2018). Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang (λ) diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut θ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang kristal. Sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling meniadakan atau melemahkan. Berkas sinar sefase tersebut yang menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut difraksi tergantung pada panjang gelombang (λ) berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan (d) (Cullity, 1956).

2.10 X-Ray Fluorescence (XRF)

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi

ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada **Gambar 2.6** (Munasir dkk, 2012).

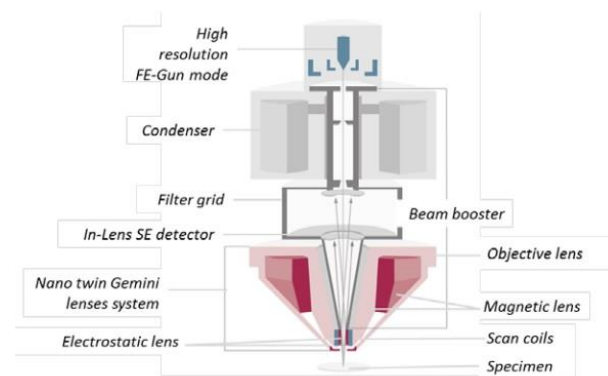


Gambar 2.6. Prinsip kerja XRF (Fansuri, 2010)

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spectrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi).

2.11 Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM)

Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) adalah mikroskop elektron yang menggunakan emisi medan pada perangkat *electron gun* (seperti **Gambar 2.7**). Perbedaan SEM dan FE-SEM adalah pada jenis sumber yang digunakan; SEM menggunakan emiter termionik (*thermionic emitter*), sedangkan FE-SEM menggunakan emiter bidang (*field emitter*).



Gambar 2.7. Bagian utama FE-SEM (vaccoat.com)

Thermionic emitter menggunakan panas untuk memanaskan filamen, dua bahan yang umumnya dipakai sebagai filamen adalah *tungsten* (W) dan *Lanthanum Hexaboride* (LaB_6). Ketika panas *tungsten* sudah cukup untuk memenuhi energi ambang filamen (katoda), maka elektron dapat tereksitasi dari filamen tersebut. Sumber termionik memiliki beberapa kelemahan, diantaranya:

1. Kecerahan yang relatif rendah.
2. Terjadinya penguapan dari katoda dan
3. Terjadinya konduksi panas selama pengoperasian.

Penggunaan *field emitter* pada *electron gun* pada FE-SEM dapat mengatasi tiga kelemahan emitor termionik. *Field emitter* (FE) tidak memanaskan filamen, sehingga disebut juga sebagai *Cold Electron Gun*. Emisi elektron dicapai dengan menempatkan filamen pada gradien potensial yang besar. Pada FE-SEM, material

yang digunakan sebagai filamen adalah *tungsten* (W) yang didesain dengan ujung lancip dengan radius nanoskala (~ 100 nm). Ujung lancip ini dibuat agar medan listrik dapat dikonsentrasikan pada tingkat yang ekstrim, menjadi sangat besar sehingga mengatasi energi ambangnya, sehingga elektron dapat tereksitasi dari filamen (katoda) (Masta, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Tugas Akhir

Tugas akhir ini telah dilakukan pada bulan Maret – Mei 2024 di Laboratorium Pirometalurgi, *Heat-treatment* dan Laboratorium Analisa P RTPB-BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Alat Penelitian.

No	Nama Alat	Kegunaan Alat
1.	Mortar	Sebagai penumbuk sampel
2.	Neraca Digital	Untuk menimbang sampel
3.	<i>Muffle Furnace</i>	Untuk memanggang sampel
4.	Gelas Ukur	Sebagai media pemisahan magnet
5.	<i>Shaker Mill</i>	Untuk menggiling sampel
6.	Magnet	Untuk memisahkan konsentrat dan <i>tailing</i>
7.	Kertas Saring Teknis	Untuk menyaring konsentrat dan <i>tailing</i>
8.	Labu Ukur	Untuk penampung air pada proses penyaringan konsentrat dan <i>tailing</i>
9.	Ayakan 100 dan 200 mesh	Untuk menyaring bahan
10.	Grafit	Sebagai tempat sampel saat di dalam furnace
11.	Mesin <i>Polishing</i>	Untuk menghaluskan permukaan sampel
12.	XRD PAN <i>analytical</i> tipe: <i>Expert Powder</i>	Untuk mengkarakterisasi struktur kristal
13.	FE-SEM <i>Thermo Scientific</i> tipe: <i>Quattro S</i>	Untuk melihat permukaan citra suatu bahan
14.	XRF PAN <i>analytical</i> tipe: <i>Epsilon</i>	Untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung pada suatu bahan

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 3.2.**

Tabel 3.2. Bahan Penelitian.

No	Nama Bahan	Komposisi Bahan	Stoikiometri
1.	Bijih Nikel Limonit	50 g	
2.	Batu bara-0.71 S	1,9 g	
3.	Batu bara-1.9 S	1,1 g	
4.	Batu bara-2.68 S	1,0 g	
5.	Batu bara-5 S	1,0 g	
6.	Kokas	0,9 g	0,1
7.	Arang Cangkang Sawit	0,9 g	
8.	Arang Kayu Lamtoro	1,0 g	
9.	Sodium Sulfat	5 g	
10.	CaO	0,5 g	

3.3 Prosedur Penelitian

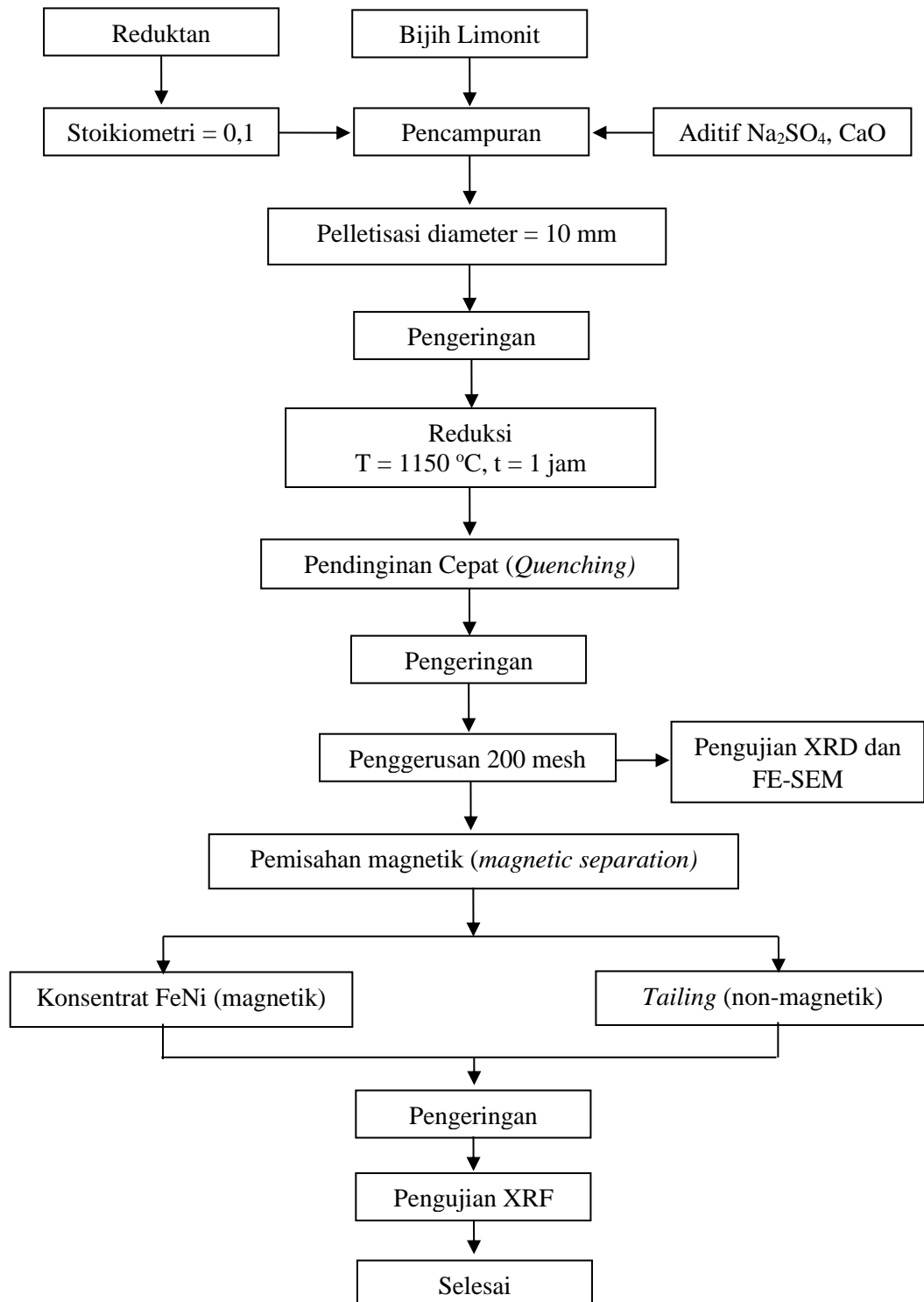
Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

1. Menyiapkan bahan-bahan yang akan digunakan.
2. Bijih nikel limonit dan reduktan diayak dengan ayakan 100 mesh.
3. Semua bahan ditimbang sesuai dengan komposisi masing-masing.
4. Dilakukan peletisasi sampel.
5. Sampel dikeringkan menggunakan *muffle furnace* pada temperatur 120 °C selama 4 jam.
6. Sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam grafit.
7. Sampel diletakkan dalam *muffle furnace* pada suhu 1150 °C selama 1 jam.
8. Sampel dikeluarkan dari *muffle furnace* dan dilakukan *quenching* dengan air.
9. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 4 jam.
10. Sampel dikeluarkan dan ditimbang untuk dihaluskan menjadi serbuk dan karakterisasi FE-SEM.
11. Sampel dihaluskan menggunakan *shaker mill*.
12. Dilakukan pengayakan hingga bubuk sampel lolos penyaringan 200 mesh.

13. Sampel ditimbang untuk karakterisasi XRD dan XRF.
14. Dilakukan separasi sampel yang sudah diayak yaitu pemisahan magnet dalam media air untuk mendapatkan konsentrat dan *tailing*.
15. Sampel kemudian disaring menggunakan kertas saring teknis.
16. Sampel konsentrat dan *tailing* dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 4 jam.
17. Sampel dikeluarkan dari oven dan ditimbang.
18. Sampel dikerok dari kertas saring untuk selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRF.

3.4 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan yang diperoleh dari penelitian pengaruh jenis reduktor pada proses reduksi selektif bijih nikel laterit yaitu:

1. Bijih nikel yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bijih nikel limonit yang didominasi oleh mineral *goethite* dengan kandungan 33,2% Fe dan 1,3% Ni.
2. Kadar nikel dan *recovery* nikel yang diperoleh pada penambahan reduktan jenis fosil menunjukkan hasil optimal pada penambahan reduktan batu bara-0,71 S yaitu 6,142% dan 89,94%. Karena pada penambahan batu bara-0,71 S, terdapat banyak fasa FeS yang dihasilkan sehingga kadar nikel dan *ferronickel* yang dihasilkan semakin tinggi.
3. Pada penambahan reduktan jenis biomassa, penambahan reduktan arang cangkang sawit menghasilkan kadar nikel tertinggi sebesar 4,70%. Karena pada penambahan arang cangkang sawit terdapat fasa *fayalite* yang mampu menekan reduksi FeO menjadi logam Fe, sehingga *recovery* besi yang dihasilkan semakin rendah.
4. Reduktan jenis fosil menunjukkan hasil yang optimal dalam reduksi bijih nikel, dengan hasil kadar nikel dan *recovery* nikel yang lebih tinggi dibandingkan reduktan jenis biomassa. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan kandungan yang dimiliki oleh masing-masing reduktan dalam membatasi reduksi oksida besi

salah satunya yaitu kandungan sulfur yang lebih tinggi pada reduktan jenis fosil dibandingkan dengan reduktan jenis biomassa.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Diperlukan penggunaan reduktan jenis biomassa lainnya dalam proses reduksi bijih nikel.
2. Diperlukan zat aditif lainnya yang mampu bereaksi dengan reduktan yang digunakan sehingga dapat meningkatkan hasil kadar nikel dan *recovery* nikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfarisa, S., Rifai, D. A., dan Truan, P.D. 2018. Studi difraksi sinar-x struktur nano seng oksida (zno). *Jurnal Risalah Fisika* 2(2): 53 - 57.
- Ariani, F. 2004. Ekstraksi nikel (II) dengan ekstrak amonium pirolidin dithiokarbamat (APDC) dan aplikasinya pada analisis kandungan Ni dalam air sungai kaligarang semarang. Semarang: unnes.
- Arifin, M. T. 2021. Prospek Pertambangan Batubara Indonesia di 2021 Cerah. <https://ligaasuransi.com/prospek-pertambangan-batubara-indonesia-di-2021-cerah/>. Diakses pada 10 Maret 2024.
- Abidin, F., Harjanto, S., Kawigraha, A., dan P, N. V. 2019. Pemanfaatan karbon biomassa sebagai reduktor dalam ekstraksi Fe-Ni dari bijih nikel laterit. *Prosiding seminar nasional teknoka*, 3(1).
- Bajraktari-Gashi, Z., Ibrahim, I., and Morina, E. 2022. Determining the enthalpy of an Fe-Ni alloy at various temperatures using the STA PT 1600 equipment. *Materials and Geoenvironment*, 68(2): 1 – 5.
- Bide, T., Hetherington, L., and Gunn, G. 2008. Mineral Profile Nickel. Nottingham: British Geological Survey.
- Binudi, R., dan Adjiantoro, B. 2014. Pengaruh unsur Ni , Cr dan Mn terhadap sifat mekanik baja kekuatan tinggi berbasis laterit. *Majalah metalurgi*, 29(1): 33 – 40.
- Cao, Z., Sun, T., Yang, H., Wang, J., and Wu, X. 2010. Recovery of iron and nickel from nickel laterite ore by direct reduction roasting and magnetic separation. *Chinese Journal of Engineering*, 32(6): 708 - 712.
- Chen, P., and Zhou, X. 2024. A study on the influence of drying and preheating parameters on the roasting properties of limonite pellets. *Minerals*, 166(14): 1 - 16.
- Crundwell, F. K., Moats, M. S., Ramachandran, V., Robinson, T. G., and Davenport, W. G. 1992. Extractive Metalurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals. Oxford: Elsevier.
- Cui, H., and Anderson, C. G. 2016. Literature review of the hydrometallurgical recycling of printed circuit boards (pcbs). *Journal of advanced chemical engineering*, 6(1): 1 – 11.
- Cullity, B. D. 1956. Element of X-Ray Diffraction. Addison-wesley publishing company, Inc.

- Davis, J. R. 2000. ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys. Ohio: ASM International.
- Day, R. A., dan Underwood, A. L. 1989. Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga.
- Della, V. P., Kuhn, I., dan Hotza, D. 2002. Rice husk ash as an alternate source for active silica production. *Materials letters*, 57: 818 - 821.
- Elliott, R., Pickles, C. A., and Peacey, J. 2017. Ferronickel particle formation during the carbothermic reduction of a limonitic laterite ore. *Minerals engineering*, 100:166 – 176.
- Faiz, M. A., Sufriadin, S., dan Widodo, S. 2020. Analisis perbandingan kadar bijih nikel laterit antara data bor dan produksi penambangan: implikasinya terhadap pengolahan bijih pada blok x, PT. Vale indonesia, Tbk. Sorowako. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 24(1): 93 – 99.
- Fansuri, H. 2010. Modul Pelatihan Operasional XRF. Laboratorium Energi Dan Rekayasa. LPPM ITS.
- Hakim, H. Z., Sanwani, E., Sari, Y., dan Nurjaman, F. 2022. Reduksi selektif untuk nikel laterit menggunakan natrium klorida dan arang cangkang sawit dilanjutkan dengan pemisahan magnetik. *Journal of Science, Technology, and Virtual Culture*, 2(1): 201 - 207.
- Hakim, M. I., Juniarsih, A., dan Setiawan, I. 2017. Peningkatan kadar nikel bijih limonit melalui proses reduksi selektif dengan variasi waktu dan persen reduktor. *Jurnal Furnace*, 3(1).
- Handayani, M., Oedayani, S., and Milandia, A. 2016. The effect of temperature and reduction type of acquisition of percent metalization results of iron ore reduction from kalimantan. *Journal Furnace*.
- Isjudarto, A. 2013. Pengaruh morfologi lokal terhadap pembentukan nikel laterit. *Jurnal Kurvatek*, 8: 10 - 14.
- Isnugroho, K., dan Birawidha, D. C. 2015. Production of woods charcoal as bio-reductorin blast furnace. *Jurnal Teknologi Indonesia*, 38(3): 126 - 134.
- Jiang, M., Sun, T., Liu, Z., Kou, J., Liu, N., and Zhang, S. 2013. Mechanism of sodium sulfate in promoting selective reduction of nickel laterite ore during reduction roasting process. *International Journal of Mineral Processing*, 123: 32 – 38.
- Kahariyadi, A., Setyawati, D., Haida, N., Diba, F., dan Roslinda, E. 2016. Kualitas arang briket berdasarkan persentase arang batang kelapa sawit (*elaeis guineensis jacq*) dan arang kayu laban (*vitex pubescens vahl*). *Jurnal Hutan Lestari*, 3(4): 561 – 568.
- Kim, J., Dodbiba, G., Tanno, H., Okaya, K., Matsuo, S., and Fujita, T. 2010. Calcination of low-grade laterite for concentration of ni by magnetic separation. *Minerals Engineering*, 23(4): 282 – 288.

- Kyle, J. 2010. Nickel laterite processing technologies – where to next? In *alta 2010. Nickel/Cobalt/Copper Conference*: 1 – 36.
- 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*, 32: 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 of nickel laterite ore. *Minerals Engineering*, 49: 154 - 164.
- Maragkos, I., Giannopoulou, I. P., and Panias, D. 2009. Synthesis of ferronickel slag-based geopolymers. *Minerals Engineering*, 22(2): 196 – 203.
- Masta, N. 2020. *Scanning Electron Emicroscopy*. Universitas kristen indonesia.
- Mayangsari, W., dan Prasetyo, A. B. 2016. Proses reduksi selektif bijih nikel limonit menggunakan zat aditif CaSO_4 . *Majalah Metalurgi*, 31(1):1 - 68.
- Mayangsari, W., dan Prasetyo, A. B. 2017. Karakterisasi hasil reduksi selektif bijih nikel limonit yang diikuti pemisahan magnetik menggunakan XRD dan SEM-EDS. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Unpar*, hal: 2 - 7.
- Mayangsari, W., Prasetyo, A., B., And Prasetyo, P. 2018. Upgrading nickel content of limonite nickel ore through pelletization, selective reduction and magnetic separation. *AIP Conference Proceedings*, 21: 1 - 6.
- Mcrae, M. E. 2018. *Minerals Yearbook Nickel*. Virginia: U.S. Geological Survey.
- Mudd, G. M. 2010. Global trends and environmental issues in nickel mining: sulfides versus laterites. *Ore Geology Reviews*, 38(2): 9 – 26.
- Munasir, M., Triwikantoro, T., Zainuri, M., Dan Darminto, D. 2012. Uji XRD dan XRF pada bahan mineral (batuan dan pasir) sebagai sumber material cerdas (CaCO_3 dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 2(1): 20 – 29.
- Noten. 2021. Cara Membuat Arang Kayu Modern Beserta Penjelasannya. <https://sciencefictiontwin.com/cara-membuat-arang-kayu-modern/>. Diakses pada 10 Maret 2024.
- Nurjaman, F., Astuti, W., Bahfie, F., and Suharno, B. 2021. Study of selective reduction in lateritic nickel ore: saprolite versus limonite. *In Materials Today: Proceedings*, 44: 1488 – 1494.
- Nurjaman, F., Bahfie, F., Herlina, U., Astuti, W., dan Suharno, B. 2020. Kajian literatur parameter proses reduksi selektif bijih nikel laterit. *Metal Indonesia*, 42(2): 63.
- Nurjaman, F., Rahmawati, A., Karimy, M., F., Nastriana, N., Shofi, A., Herlina, U., Suharno, B., and Ferdian, D. 2019. The role of sodium-based additives on reduction process of nickel lateritic ore. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 478 012001.

- Nurjaman, F., Sa'adah, A., Shofi, A., Apriyana W., and Suharno, B. 2018. The effect of additives and reductors in selective reduction process of laterite nickel ore. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 20(1): 8 - 14.
- Nurjaman, F., Saekhan, K., Bahfie, F., Astuti, W., and Suharno, B. 2021. Effect of binary basicity (CaO/SiO₂) on selective reduction of lateritic nickel ore. *Periodico di Mineralogia*, 90(2): 91 – 97.
- Prasetyo, A. B., Firdiyono, F., & Febriana, E. 2018. Optimasi proses reduksi bijih nikel laterit jenis limonit sebagai bahan baku NPI (nickel pig iron). *Metalurgi*, 29(1): 9.
- Pratapa, S. 2010. Whorkshop Difraksi Sinar-X. Pusat Penelitian Ilmu Bahan Dan Ilmu-Ilmu Dasar. Surabaya: LP ITS.
- Rao, M., Li, G., Zhang, X., Luo, J., Peng, Z., and Jiang, T. 2016. Reductive roasting of nickel laterite ore with sodium sulfate for Fe-Ni production. Part I: reduction/sulphidation characteristics. *Separation Science and Technology*, 51: 1408 - 1420.
- Rumiyanti, L., Sari, Y., dan Amin, M. 2019. Pengaruh temperatur terhadap karakterisasi klinker semen dengan substitusi 20% batu basalt terhadap massa batu kapur dan 20% batubara terhadap massa total sebagai reduktor. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 07(01): 29 – 34.
- Setiawan, I. 2016. Pengolahan nikel laterit secara pirometalurgi: kini dan penelitian kedepan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, hal: 1–7.
- Setiawan, I., Harjanto, S., And Subagja, R. 2017. Low-temperature carbothermic reduction of Indonesia nickel lateritic ore with sub-bituminous coal. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 202.
- Shiau, J. S. 2020. Carbothermic reduction of low-grade laterite-graphite composite pellets. *Metallurgical Research And Technology*, 117(3).
- Stopic, S., and Friedrich, B. 2016. Hydrometallurgical processing of nickel lateritic ores. *Vojnotehnicki Glasnik*, 64(4): 1033 – 1047.
- Subagja, R., Prasetyo, A. B., dan Sari, W. M. 2016. Peningkatan kadar nikel dalam laterit jenis limonit dengan cara peletasi, pemanggangan reduksi dan pemisahan magnet campuran bijih, batu bara, dan Na₂SO₄. *Metalurgi*, 31(2): 103 - 115.
- Sufriadin, Yepta, M., Nur, I., Purwanto, Amalia, R., Irfan, U. R., Basir, D. N., and Otake, T. 2024. Atmospheric hydrochloric and nitric acid leaching of a limonite ore from the Wolo mine area, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 34(1): 1 - 6.
- Sugiarto, E., Putera, A., D., P., and Petrus, H., T., B., M. 2017. Kinetic study of nickel laterite reduction roasting by palm kernel shell charcoal. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 65 012027.
- Suryanarayana, C., and Norton, M.G. 1998. X-Rays and Diffraction. In: X-Ray Diffraction. Springer, Boston, MA.

- Tripathy, S., K., and Suresh, N. 2017. Influence of particle size on dry high-intensity magnetic separation of paramagnetic mineral. *Advanced Powder Technology*, 28(3):1092 - 1102.
- Tyassena, F. Y. P., Agus, T. G., Nur, M. A., Prameswara, G., dan Amin, I. 2022. Perbandingan batubara dan CaSO_4 sebagai reduktor dalam proses reduksi bijih nikel laterit. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1(1): 31–35.
- Yang, T., Yao, X., and Zhang, Z. 2014. Geopolymer prepared with high-magnesium nickel slag: characterization of properties and microstructure. *Construction and Building Materials*, 59: 188–194.
- Yuwandono, R. B. 2017. Analisa pengaruh variasi waktu tahan terhadap kadar Ni dan Fe serta morfologi pada proses reduksi bijih nikel laterit limonit menggunakan bed batubara – dolomit. *Diponegoro Journal of Accounting*, 2(1): 2–6.
- Zevgolis, E. N., Zografidis, C., Perraki, T., and Devlin, E. 2010. Phase transformations of nickeliferous laterites during preheating and reduction with carbon monoxide. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 100(1): 133 – 139.
- Zhu, D. Q., Cui, Y., Vining, K., Hapugoda, S., Douglas, J., Pan, J., And Zheng, G. L. 2012. Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 106–109: 1–7.
- Zulyansyah, D. 2018. Reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik dengan variasi jenis reduktor terhadap kadar Ni dan Fe serta *recovery* menggunakan bed batubara.