



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR –TL184834

**REVIEW PENGARUH REDUKTAN TERHADAP PROSES
SMELTING BIJIH NIKEL LATERIT**

**RADITE SURYA GUMELAR
NRP. 0251164000068**

**Dosen Pembimbing
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR–TL 184834

**REVIEW PENGARUH REDUKTAN TERHADAP PROSES
SMELTING BIJIH NIKEL LATERIT**

RADITE SURYA GUMELAR
NRP. 02511640000068

Dosen Pembimbing
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT–TL 184834

**A REVIEW THE EFFECT OF REDUCTANT ON
SMELTING PROCESS OF NICKEL LATERITE ORE**

RADITE SURYA GUMELAR
NRP. 02511640000068

Advisors
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

MATERIAL AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW PENGARUH REDUKTAN TERHADAP PROSES SMELTING BIJIH NIKEL LATERIT

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada



Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RADITE SURYA GUMELAR

NRP 02511640000068

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc..........(Pembimbing 1)
2. Fakhreza Abdul, S.T., M.T......(Pembimbing 2)



**SURABAYA
AGUSTUS 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW PENGARUH REDUKTAN TERHADAP PROSES SMELTING BIJIH NIKEL LATERIT

Nama : Radite Surya Gumelar
NRP : 0251164000068
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

Abstrak

Salah satu kebutuhan industri dewasa ini adalah feronikel. Feronikel yang berasal dari bijih nikel laterit terus diupayakan pengoptimalan untuk menjadi penyedia kebutuhan pasar. Salah satu proses yang terpenting pada industri produksi feronikel adalah proses smelting. Faktor yang dapat memengaruhi ialah reduktan. Pada tinjauan literatur ini dilakukan analisis pengaruh reduktan terhadap hasil perolehan kadar serta recovery Ni dan Fe. Reduktan yang digunakan yaitu kokas, batu bara, pulverized coke, arang cangkang sawit, dan arang tempurung kelapa. Pada tinjauan literatur ini diharapkan dapat memberikan tinjauan tentang hasil analisis pengaruh reduktan dalam proses smelting bijih nikel laterit serta dapat memberikan rekomendasi penggunaan reduktan dalam proses guna pengoptimalan kinerja pada ranah industri feronikel. Didapatkan hasil analisis reduktan dalam proses smelting bijih nikel laterit dengan perolehan kadar Ni dan Fe tertinggi sebesar 22.1% dengan batu bara dan 87.65% dengan pulverized coke pada bijih nikel saprolitik serta kadar Ni dan Fe tertinggi sebesar 8.52% dengan antrasit dan 92.8% dengan arang cangkang sawit pada bijih nikel limonitik. Serta perolehan recovery Ni dan Fe tertinggi sebesar 99.8% dengan kokas dan 88.63% dengan pulverized coke pada bijih nikel laterit saprolitik serta recovery Ni dan Fe tertinggi sebesar 94.8% dan 97.69% dengan antrasit pada bijih nikel laterit limonitik.

Kata Kunci : *Feronikel, Reduktan, Smelting*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

A REVIEW THE EFFECT OF REDUCTANT ON SMELTING PROCESS OF NICKEL LATERITE ORE

Student Name : Radite Surya Gumelar
NRP : 0251164000068
Department : Material and Metallurgical Engineering
Advisor : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Co-Advisor : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

Abstract

One of the current industry needs is ferronickel. Optimized ferronickel derived from nickel laterite ore continues to be a provider of market needs. One of the most critical processes in the ferronickel production industry is the smelting process. The factor that can influence is reductant. In this literature review, a reductant analysis was carried out on the results of obtaining Ni and Fe assays. Reductants used are coke, coal, pulverized coke palm kernel shell charcoal, and coconut shell charcoal. This literature review is expected to provide an overview of the results of the analysis of the effect of reductants in the smelting process of laterite nickel ores and can provide recommendations for the use of reductants in the process to optimize performance in the ferronickel industry. Reductant analysis results obtained in the process of melting laterite nickel with the highest contribution of Ni and Fe content of 22.1% with coal and 87.65% with pulverized coke in saprolitic nickel ore and Ni and Fe assays of 8.52% with anthracite coal and 92.8% with palm kernel shell charcoal in limonitic nickel ore. Thus, the recovery of Ni and Fe was 99.8% with coke and 88.63% with pulverized coke in saprolitic laterite nickel ore and Ni and Fe recovery of 94,8% and 97.69% with anthracite in nickel ore limonitic laterites.

Keywords : *Ferronickel, Reductants, Smelting*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan karunia-Nya penelitian Tugas Akhir dapat terlaksanakan dengan baik dan dapat selesai tepat pada waktunya. Tujuan dari penyusunan Laporan Tugas Akhir adalah untuk memenuhi salah satu syarat akademis yang wajib dipenuhi dalam kuliah program studi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS, Surabaya.

Terselesaikannya Laporan Tugas Akhir tidak luput dari bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan kebaikan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Fakhreza Abdul, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, 15 Juli 2020

Penulis

RADITE SURYA GUMELAR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Studi Literatur	3
1.5 Manfaat Studi Literatur	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Nikel.....	5
2.2 Nikel Laterit	6
2.3 Reduktan	8
2.4 Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit.....	10
2.5 Proses Smelting	12
2.6 Termodinamika Kalsinasi dan Smelting	13
2.7 Feronikel.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	21
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	26
3.3 Langkah Kerja	28
3.4 Metode Pengumpulan Variabel dan Analisis	29
3.5 Karakterisasi Material.....	32
3.5.1 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	32
3.5.2 XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	33
3.5.3 OES (<i>Optical Emission Spectrometry</i>)	34

3.5.4	AAS (<i>Atomic Absorption Spectroscopy</i>).....	34
3.5.5	Analisis Proksimat	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisis Data	37
4.2	Pembahasan	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....		59
UCAPAN TERIMA KASIH.....		67
BIODATA PENULIS.....		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Bijih Nikel.....	6
Gambar 2.2	Profil bijih laterit di berbagai daerah.....	7
Gambar 2.3	Proses Ekstraksi Bijih Nikel Laterit Saprolit	11
Gambar 2.4	Proses Ekstraksi Bijih Nikel Laterit Limonit	12
Gambar 2.5	Diagram Ellingham	15
Gambar 3.1	Diagram Alir	21
Gambar 3.2	<i>Vaniukov Furnace</i>	22
Gambar 3.3	Induction Furnace.....	22
Gambar 3.4	Submerged Arc Furnace	23
Gambar 3.5	High Temperature Carbon Tube Furnace	23
Gambar 3.6	Electric Arc Furnace.....	24
Gambar 3.7	Rotary Kiln	24
Gambar 3.8	<i>Muffle Furnace</i>	24
Gambar 3.9	(a) Crusher (b) Disk Mill	25
Gambar 3.10	<i>Sieving Machine</i>	25
Gambar 3.11	(a) Batu bara (b) Kokas (c) <i>Pulverized Coke</i> (d) Arang Tempurung Kelapa (e) Arang cangkang sawit	27
Gambar 3.12	<i>Limestone</i>	27
Gambar 3.13	Instrumen XRD	33
Gambar 3.14	Instrumen XRF.....	34
Gambar 4.1	Hasil Uji XRD Bijih Nikel Laterit	38
Gambar 4.2	Grafik <i>recovery</i> optimal Ni dan Fe.....	48
Gambar 4.3	Grafik <i>Separation Efficiency</i> dengan kokas dalam jurnal.....	50
Gambar 4.4	Grafik <i>Separation efficiency</i> dengan batu bara dalam jurnal	50
Gambar 4.5	Grafik <i>Separation efficiency</i> beberapa reduktan dalam jurnal.....	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Paduan Feronikel.....	18
Tabel 3.1 Daftar jurnal yang di- <i>review</i>	29
Tabel 4.1 Hasil Uji XRF Bijih Nikel Laterit	37
Tabel 4.2 Analisis proksimat reduktan.....	38
Tabel 4.3 Perolehan Kadar Ni dan Fe	39
Tabel 4.4 Hasil Uji XRF Nikel Laterit	39
Tabel 4.5 Analisis proksimat arang cangkang sawit	40
Tabel 4.6 Hasil perolehan kadar Ni dan Fe dengan variasi waktu <i>smelting</i>	40
Tabel 4.7 Hasil perolehan kadar Ni dan Fe dengan variasi komposisi reduktan	40
Tabel 4.8 Hasil Uji XRF Nikel Laterit dalam persen	41
Tabel 4.9 Analisis proksimat <i>pulverized coke</i>	41
Tabel 4.10 Perbandingan hasil optimal jurnal penelitian	46

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, pertumbuhan industri nikel terus berkembang pesat. Secara umum, struktur rantai nilai industri nikel dibagi menjadi kelompok-kelompok berikut: rantai industri hulu, yaitu rantai penambangan dan produk pertambangan berada di bentuk bijih nikel. Bijih nikel ini digunakan sebagai bahan baku dalam proses pengolahan dan pemurnian. Produk pemrosesan dan pemurnian dapat berupa NPI (*nickel pig iron*), feronikel, dan *nickel matte* tergantung pada teknologi yang digunakan (Suherman, 2018). Nikel sebagai logam yang bernilai komersial paling banyak digunakan dalam pembuatan *stainless steel* dan paduan temperatur tinggi. Dalam dekade terakhir, peningkatan pesat akan permintaan *stainless steel* telah menyebabkan kenaikan yang signifikan dalam produksi feronikel (Kambuna, 2018). Nikel ditambang dari dua jenis bijih: laterit dan sulfida. Meskipun sekitar 70% dari cadangan bijih ditemukan di bijih laterit, hanya sekitar 40% dari produksi nikel berasal dari laterit (Crundwell, 2011). Dari segi potensi cadangan, Indonesia menempati urutan keenam dengan potensi cadangan sebesar 5% dari total seluruh cadangan dunia. Hal ini menunjukkan posisi penting Indonesia di dunia pertambangan bijih nikel. Cadangan nikel dunia saat ini yaitu jenis lateritik sebanyak 72% dan sisanya sulfida, tetapi produksi nikel saat ini sebagian besar diperoleh dari jenis sulfida yaitu sebanyak 58% dan sisanya 42% dari jenis lateritik. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan pada jenis laterit sangat diperlukan sehubungan dengan adanya penurunan cadangan nikel sulfida (Setiawan, 2016).

Dalam industri pembuatan feronikel, standar proses pirometalurgi untuk bijih nikel laterit terdiri dari *drying*, *calcining*, *electric furnace smelting*, dan *refining*. Salah satu proses yang penting dalam industri ini adalah proses *smelting* atau peleburan. Secara umum, *smelting* merupakan proses peleburan

bijih logam untuk mendapatkan logam yang berharga atau diinginkan. Proses *electric furnace smelting* pada bijih nikel bertujuan untuk menyelesaikan proses reduksi logam nikel yang sebelumnya telah melalui reduksi parsial dalam proses kalsinasi terlebih dahulu pada *rotary kiln*, serta memisahkan produk feronikel dari pengotor yang biasanya mengandung feromangan silikat (Warner dkk., 2006).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang proses *smelting* bijih nikel laterit dengan penggunaan jenis reduktan yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Andika dkk., 2019), menunjukkan bahwa reduktan dalam proses tersebut menggunakan batubara, kokas, dan arang batok kelapa. Penelitian tersebut didapatkan hasil kokas sebagai reduktan yang baik dalam mereduksi nikel serta besi yang terkandung pada bijih nikel laterit dengan ditunjukkan *recovery metal* serta kadar yang didapatkan cukup tinggi. Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh (Sihotang, 2018) menggunakan arang cangkang sawit sebagai agen pereduksi proses *smelting* bijih nikel laterit. Didapatkan hasil waktu *smelting* yang optimal dilakukan sebesar 90 menit dan komposisi reduktan yang dipakai sebesar 2000 gram untuk tiap 9700 gram bijih nikel laterit.

Dalam prosesnya, faktor yang seringkali berpengaruh pada proses *smelting* antara lain waktu proses, temperatur proses, jenis reduktan yang digunakan, persen reduktan yang digunakan, penggunaan *furnace* yang berbeda, dan masih banyak lainnya. Faktor reduktan diteliti lebih lanjut dikarenakan merupakan salah satu faktor penting untuk mereduksi logam-logam yang diharapkan dalam bijih nikel laterit. Kandungan komposisi yang berbeda pada reduktan yang dipakai juga menyebabkan perbedaan produk yang dihasilkan. Serta penggunaan reduktan yang ramah lingkungan dapat menjadi pionir untuk melanjutkan industri pembuatan feronikel dengan tidak menimbulkan efek buruk yang berkelanjutan. Oleh karena itu, dilakukan tinjauan literatur ini ditujukan untuk menganalisis pengaruh reduktan terhadap proses *smelting* bijih nikel laterit. Pada tinjauan ini,

parameter hasil yang digunakan merupakan *recovery* logam nikel dan besi serta kadar logam nikel dan besi yang terkandung pada produk hasil.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah yang terdapat pada tinjauan literatur ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh reduktan terhadap kadar Ni dan Fe produk hasil *smelting* dalam jurnal penelitian yang ditinjau?
2. Bagaimana pengaruh reduktan terhadap *recovery* Ni dan Fe produk hasil *smelting* dalam jurnal penelitian yang ditinjau?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat pada tinjauan literatur ini adalah sebagai berikut :

1. Temperatur proses diasumsikan homogen.
2. *Furnace* yang digunakan dalam proses diasumsikan memiliki kondisi ideal.

1.4 Tujuan Tinjauan Literatur

Adapun tujuan penelitian yang terdapat pada tinjauan literatur ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh reduktan terhadap kadar Ni dan Fe produk hasil *smelting* dalam jurnal penelitian yang ditinjau.
2. Menganalisis pengaruh jenis reduktan terhadap *recovery* Ni dan Fe produk hasil *smelting* dalam jurnal penelitian yang ditinjau.

1.5 Manfaat Tinjauan Literatur

Adapun manfaat penelitian yang terdapat pada tinjauan literatur ini adalah sebagai berikut :

Hasil studi literatur ini diharapkan dapat memberikan tinjauan tentang hasil analisis pengaruh reduktan dalam proses *smelting* bijih nikel laterit serta dapat memberikan rekomendasi penggunaan reduktan dalam proses guna pengoptimalan kinerja pada ranah industri feronikel.

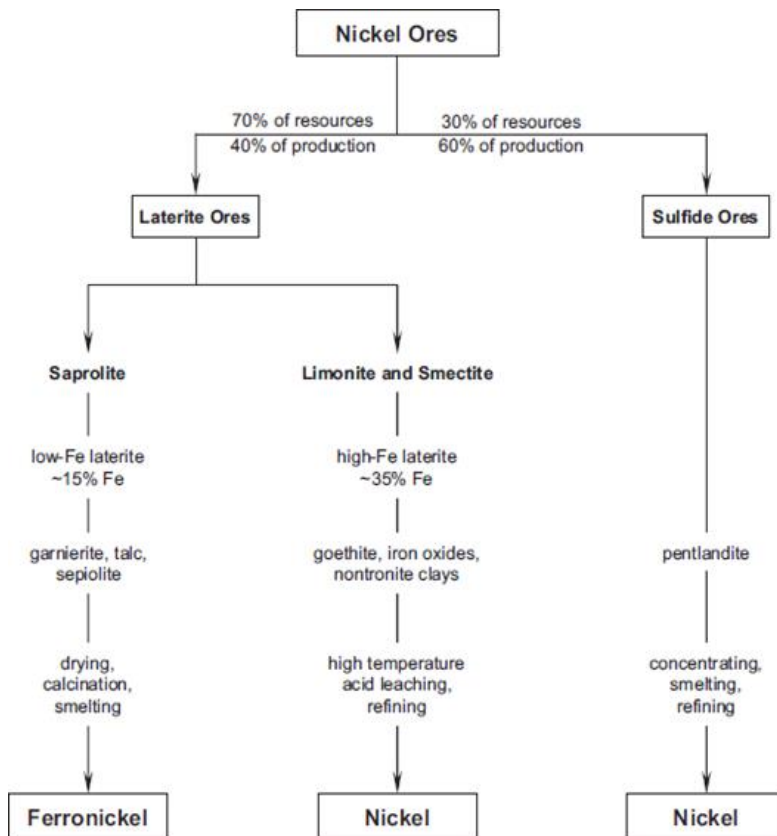
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel merupakan logam yang awam digunakan untuk kebutuhan sehari-hari hingga keperluan industri. Nikel adalah logam putih perak dengan sifat logam khas. Nikel terjadi secara alami sebagai campuran isotop stabil dengan jumlah massa 58 (67,84%), 60 (26,23%), 61 (1,19%), 62 (3,66%), dan 64 (1,08%). Sejauh ini bahkan isotop radioaktif buatan telah diidentifikasi dengan jumlah massa 56,57,59,63,65,66, dan 67 (Habashi, 1997). Nikel digunakan secara luas untuk produksi *stainless steel* ($\pm 58\%$), paduan logam berbasis nikel ($\pm 14\%$), pengecoran dan paduan baja ($\pm 9\%$), *electroplating* ($\pm 9\%$) dan baterai ($\pm 5\%$) (Mudd, 2009).

Sumber nikel utama terbagi menjadi 2 jenis, yaitu bijih nikel sulfida dan laterit (oksida). Bila ditinjau dari kuantitasnya, bijih nikel laterit tersebar lebih banyak yang mencapai angka 60% dari total cadangan nikel dunia dan sulfida hanya sebanyak 40%. Laterit sendiri umumnya terbentuk dekat dengan permukaan akibat pelapukan batuan ultramafik yang kaya akan besi dan magnesium yang mengandung mineral berkadungan nikel seperti limonit dan *goethite*. Disisi lain, bijih nikel sulfida umumnya ditemukan di bawah tanah sehingga membutuhkan infrastruktur pertambangan dan pekerja bawah tanah dalam proses ekstraksinya. Mineral utama sulfida antara lain *pentlandite* ($[\text{Fe},\text{Ni}]_9\text{S}_8$), *pyrrhotite* (Fe_7S_8), *chalcopyrite* (CuFeS_2) (Khoo dkk., 2016). Pembagian bijih nikel menurut asal terbentuknya serta cara pemrosesannya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Klasifikasi Bijih Nikel (Crundwell, 2011)

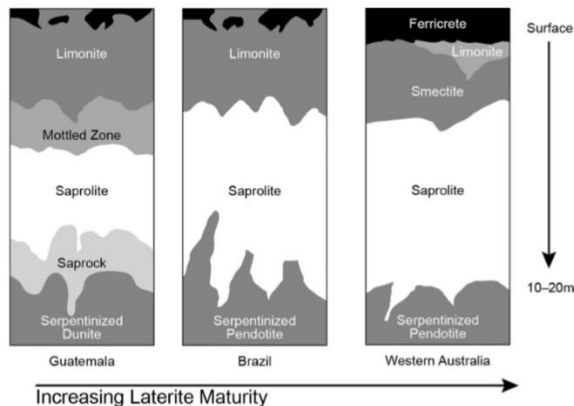
2.2 Nikel Laterit

Laterit banyak ditemukan di daerah tropis dan ditambang untuk nikel dan kobalt di negara-negara seperti Indonesia, Filipina, dan Kuba. Sulfida banyak ditemukan di Kanada dan Siberia Utara. Laterit adalah bijih kompleks yang dibentuk oleh pelapukan lantai laut yang didorong oleh gaya tektonik. Adapun pengertian lain mengenai laterit adalah hasil degradasi tanah yang dihasilkan oleh perubahan iklim, filtrasi air, dan faktor-faktor lain yang meningkatkan kandungan nikel dengan cara meningkatkan

kedalaman deposit (Crundwell, 2011; Garcés-Granda dkk., 2018). Pelapukan ini, yang telah terjadi selama jutaan tahun, telah menghasilkan profil berbagai mineral dari permukaan ke batuan dasar. Tiga lapisan pembawa nikel biasanya diidentifikasi ke dalam profil ini:

- a. *Limonite*, yang terdapat di dekat permukaan;
- b. Lapisan *smectite*, yang juga terdapat di dekat permukaan; dan,
- c. Lapisan *saprolite*, yang terdapat di bawah lapisan *limonite* dan *smectite*.

Lapisan *limonite* terdiri dari campuran mineral yang memiliki zat besi tinggi dan kandungan MgO rendah. Rumus umum dari *goethite*, $(\text{Fe,Ni})\text{OOH}$, digunakan untuk mewakili bijih limonit dalam reaksi kimia. Lapisan *smectite clay*, seperti *nontronite*, ditemukan di beberapa endapan, misalnya, di Murrin-Murrin, Australia Barat. Lapisan *saprolite* berada di bawah lapisan *limonite*. Bijih *saprolite* memiliki zat besi yang rendah dan kandungan MgO yang tinggi. Rumus generik dari *garnierite*, $(\text{Mg}[\text{Ni,Co}])_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, digunakan untuk mewakili bijih saprolite dalam reaksi kimia. Karakteristik bijih laterite ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Profil bijih laterit di berbagai daerah (Crundwell, 2011)

Korelasi antara mineralogi, perilaku mekanik, dan tekstur bijih laterit selama pengolahan bijihnya cukup kompleks. Karakterisasi penuh bijih laterit yang berbeda diperlukan untuk memprediksi efisiensi *recovery* nikel ketika berbagai jenis bijih dicampur, yang merupakan praktik umum dalam industri pengolahan mineral (Farrokhpay, 2019). Bijih laterit nikel memiliki kandungan nikel 1% - 1,5%. Kandungan nikel pada bijih laterit nikel dipengaruhi oleh kondisi iklim di wilayah bijih berada (Supriyatna, 2019). Dan untuk lebih lengkapnya, baik bijih saprolit dan limonit, yang biasanya mengandung 1,3% - 2,5% Ni dan 0,05-0,15% Co, ditingkatkan sebelum perlakuan metalurgi.

Identifikasi lapisan-lapisan ini dalam tubuh bijih laterit penting karena metode ekstraksi yang berbeda digunakan. Ada dua rute utama untuk memproses laterit: peleburan untuk menghasilkan feronikel dan pelindian serta pemurnian untuk menghasilkan logam nikel. Kandungan besi bijih limonit dan smektit terlalu tinggi untuk dilebur secara ekonomis, sedangkan kandungan MgO dari bijih saprolit terlalu tinggi untuk dilakukan pelindian secara ekonomis. Dengan demikian, metode ekstraksi disesuaikan dengan jenis bijih (Crundwell, 2011).

2.3 Reduktan

Reduktan merupakan agen pereduksi yang digunakan pada proses ekstraksi logam untuk mengambil logam berharga yang terkandung dalam bijihnya. Reduktan sendiri memicu reduksi karbotermik terjadi pada proses ekstraksi. Reduksi karbotermik merupakan reduksi bijih menggunakan media gas oksidatif berbasis karbon (C-CO-CO₂). Reaksi yang terjadi melibatkan oksidasi karbon menjadi gas CO yang menjadi gas reduktor pada proses reduksi karbotermik. Sumber gas CO yang digunakan sebagai reduktan adalah batubara, kokas (*cooking coal*), briket antrasit (*coal briquette*), serbuk batubara (*pulverized coal*), arang kelapa (*coconut charcoal*), bahkan potongan kayu (*wood chips*) (Bangalino, 2009).

A. Batu bara

Batu bara adalah substansi heterogen yang dapat terbakar dan terbentuk dari banyak komponen yang mempunyai sifat saling berbeda. Batubara dapat didefinisikan sebagai satuan sedimen yang terbentuk dari dekomposisi tumpukan tanaman selama kira-kira 300 juta tahun. Dekomposisi tanaman ini terjadi karena proses biologi dengan mikroba dimana banyak oksigen dalam selulosa diubah menjadi karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Kemudian perubahan yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan oleh adanya tekanan dan pemanasan yang kemudian membentuk lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panas bumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun, sehingga lapisan tersebut akhirnya memadat dan mengeras. Pola yang terlihat dari proses perubahan bentuk tumbuh – tumbuhan hingga menjadi batubara yaitu dengan terbentuknya karbon. Kenaikan kandungan karbon dapat menunjukkan tingkatan batubara. Dimana tingkatan batubara yang paling tinggi adalah antrasit, sedang tingkatan yang lebih rendah dari antrasit akan lebih banyak mengandung hidrogen dan oksigen (Billah, 2010).

B. Kokas

Kokas ialah residu padat yang tertinggal bila batubara dipanaskan tanpa udara sampai sebagian zat yang mudah menguapnya hilang. Batubara kokas adalah batubara yang bila dipanaskan tanpa udara sampai suhu tinggi akan menjadi lunak, terdevolatilasi, mengembang, dan memadat kembali membentuk material yang *porous* (Supriyatna, 2012).

C. *Pulverized Coke*

Pulverized coke adalah kokas yang telah mengalami penggerusan hingga menyerupai bubuk. Pada pabrik kokas, *pulverized coke* saat ini ditiadakan untuk keperluan industri metalurgi dikarenakan memiliki ukuran yang tidak cocok digunakan untuk skala industri (Xiang, 2018).

D. Arang tempurung kelapa

Arang tempurung kelapa adalah arang yang berbahan dasar tempurung kelapa. Selain dimanfaatkan dengan dibakar langsung,

tempurung kelapa dapat dijadikan sabagai bahan dasar briket arang (Supriyatna, 2012).

E. Arang cangkang sawit

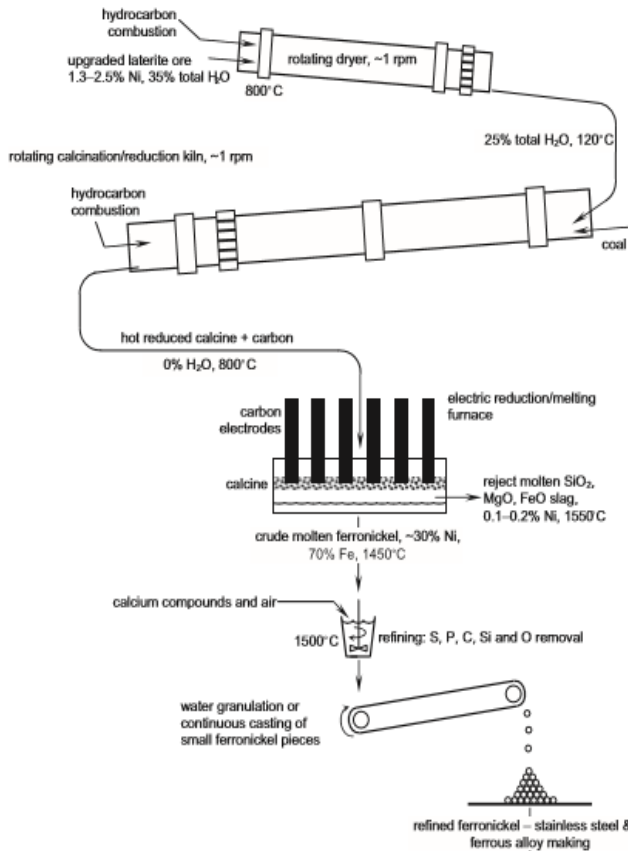
Arang cangkang sawit merupakan arang yang dibentuk dari cangkang sawit. Arang cangkang sawit dapat digunakan menjadi reduktan seperti batubara dikarenakan memiliki biomassa yang tinggi pada kulit inti sawit (Sihotang, 2018).

2.4 Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Teknologi pengolahan bijih laterit dibedakan menurut jenisnya. Terdapat dua jenis bijih nikel laterit, yaitu bijih nikel laterit saprolit dan bijih nikel limonit.

A. Ekstraksi Bijih Nikel Laterit Saprolit

Bijih saprolit sebagian besar dilebur menjadi feronikel, yang biasanya mengandung 30% Ni dan 70% Fe, untuk digunakan dalam stainless steel dan paduan besi lainnya (Crundwell, 2011). Bijih saprolit diproses secara pirometalurgi untuk menghasilkan feronikel karena kandungan Fe yang lebih rendah dan kandungan Mg yang lebih tinggi (pembentuk slag). Bijih saprolit dikeringkan dan dikalsinasi dengan karbon untuk menghasilkan umpan yang tereduksi sebagian untuk *electric arc furnace*. Feronikel diproduksi bersama dengan *slag* dari *electric arc furnace* (Moats, 2014). Proses ekstraksi bijih nikel laterit saprolit ditunjukkan pada Gambar 2.3.

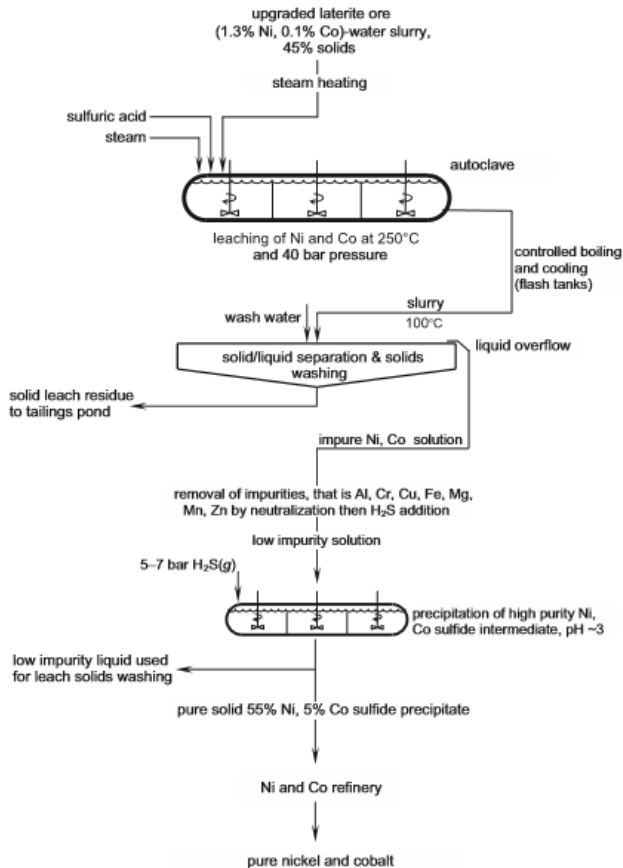


Gambar 2.3 Proses Ekstraksi Bijih Nikel Laterit Saprolit
(Crundwell, 2011)

B. Ekstraksi Bijih Nikel Laterit Limonit

Bijih limonit biasanya diproses dengan metode hidrometalurgi karena kandungan Fe dan Mg yang rendah. Pelindian dengan temperatur dan tekanan tinggi menghasilkan larutan pelindian mengandung nikel dan kobalt yang kaya (Moats, 2014). Bijih limonit sebagian besar terurai dengan asam sulfat

panas pada suhu sekitar 250°C dan tekanan sekitar 40 bar (Crundwell, 2011). Proses ekstraksi bijih nikel limonit ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses Ekstraksi Bijih Nikel Laterit Limonit (Crundwell, 2011)

2.5 Proses Smelting

Pada umumnya, proses *smelting* adalah proses reduksi bijih sehingga menjadi logam unsur yang dapat digunakan berbagai

macam zat seperti karbid, hidrogen, logam aktif atau dengan cara elektrolisis. Pada proses peleburan bijih nikel laterit, kerap kali menggunakan proses RKEF (*Rotary Kiln Electric Furnace*). 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 (Setiawan, 2016). Selain menggunakan proses RKEF, terdapat juga proses smelting dengan metode lain seperti menggunakan *Submerged Arc Furnace (SAF)*, *Blast Furnace (BF)*, *Induction Furnace*, maupun *Krupp-Renn (Oheyama) Process* (Rao, 2013).

2.6 Termodinamika Kalsinasi dan Smelting

Diagram Ellingham berisi plot dari *Gibbs* standar *free energy* pembentukan kelompok senyawa terhadap temperatur. Pada Gambar 2.5, oksida yang paling tidak stabil berada dibagian atas diagram dan paling stabil adalah bagian bawah. Semua garis bisa dilihat dengan persamaan $A + O_2 = AO_2$ dimana satu mol gas oksigen terlibat, untuk menunjukkan tekanan oksigen dalam keadaan setimbang. Diagram tersebut dibentuk dari plot ΔG° (perubahan energy bebas gibbs) terhadap temperature (T). Dengan persamaan yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1 dan 2.2 :

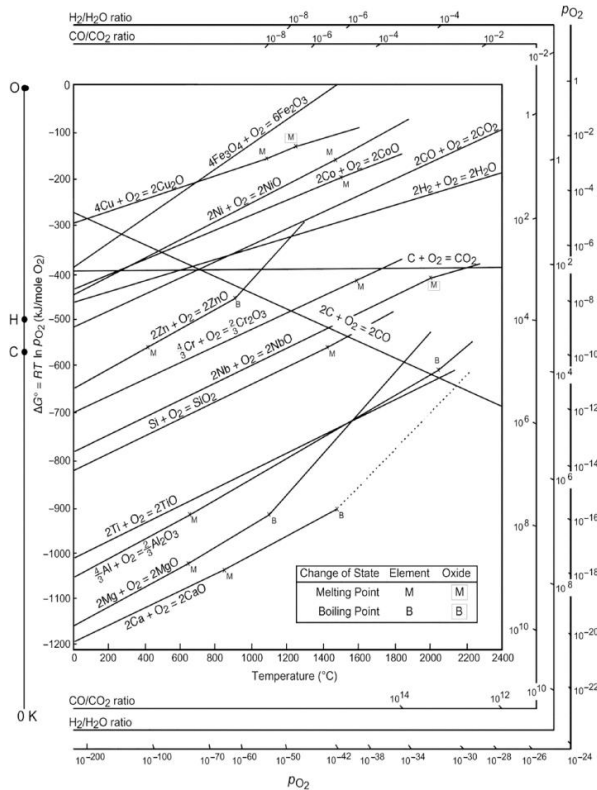
$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad 2.1$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad 2.2$$

Dimana ΔG° adalah Standar Energi *Gibbs*, ΔH° adalah entalpi, ΔS° adalah standar perubahan entropi, K adalah konstanta equilibrium, dan n adalah nomor elektron. ΔG° dengan nilai negatif menunjukkan bahwa suatu reaksi terjadi secara spontan tanpa energi luar dan melepaskan energi atau eksotermik, serta makin stabil dalam membentuk oksida atau mudah dioksidasi sementara reaksi dengan ΔG° positif menunjukkan reaksi tak akan terjadi secara spontan dan membutuhkan energi luar atau endotermik, serta makin tak stabil dalam bentuk oksida atau mudah direduksi (Jeffes, 2001). Dari diagram ellingham, dapat diketahui bahwa pada temperatur berapa suatu oksida dapat

bereaksi. Serta penghitungan termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas *Gibbs* yang dimiliki, namun tidak dengan laju reaksi yang dimiliki. Menurut (Stratton, 2013), secara umum diagram ellingham digunakan untuk:

1. Untuk menentukan tingkat kemudahan reduksi logam oksida menjadi logam.
2. Untuk menentukan tekanan parsial oksigen pada temperatur tertentu agar logam oksida dapat tereduksi.
3. Untuk menentukan rasio karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) pada temperature tertentu agar logam oksida dapat tereduksi.
4. Untuk menentukan rasio hidrogen (H) dan karbon dioksida pada temperatur tertentu agar logam oksida dapat tereduksi.



Gambar 2.5 Diagram Ellingham (Stratton, 2013)

Dalam proses produksi feronikel, terdapat dua proses terpenting yang menjadi inti proses produksi feronikel yaitu proses kalsinasi dan proses smelting. Di dalam prosesnya terdapat banyak reaksi yang terjadi antara lain:

A. Kalsinasi

Dilakukannya proses kalsinasi pada pengolahan bijih nikel bertujuan:

- Untuk menghilangkan sisa air dalam bijih.
- Untuk mengurangi sekitar seperempat dari nikel dalam bijih menjadi logam nikel.

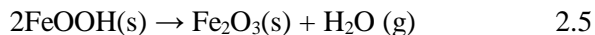
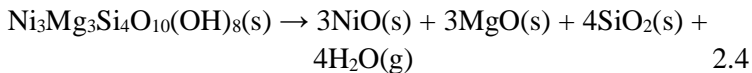
- c) Untuk mengurangi sebagian besar mineral Fe^{3+} menjadi mineral Fe^{2+} dan sekitar 5% besi menjadi besi metalik.
- d) Untuk menambah batubara dalam *kiln*.
- e) Untuk menyediakan kalsin pada suhu sekitar 900°C ke tungku peleburan feronikel, sehingga energi yang digunakan dapat diminimalkan.

Reaksi yang terjadi pada proses kalsinasi adalah sebagai berikut:

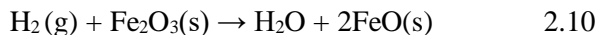
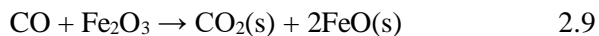
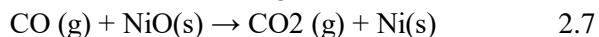
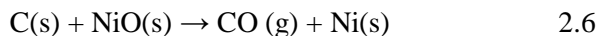
Penguapan sisa air yang tertahan secara mekanis dalam bijih ditunjukkan oleh Reaksi 2.3.



Disosiasi termal mineral laterit menjadi oksida dan $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ pada temperatur 700°C ditunjukkan oleh Reaksi 2.4 dan 2.5.



Reduksi oksida yang dihasilkan oleh batubara dan reduksi gas pada temperatur 800°C ditunjukkan oleh Reaksi 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, dan 2.10.



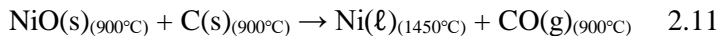
Produk dari kalsinasi adalah debu CO_2 , H_2O , *off-gas* N_2 (250°C), dan *coal bearing calcine* yang panas dan kering (900°C). Kalsin mengandung 1,5-3% Ni, 15% Fe, karbon 1-2%, dan berbagai Mg dan Si oksida. *Off-gas* dideduksi dalam presipitat elektrostatis. Debu ($\sim 15\%$ dari umpan *kiln*) dipeletisasi dan didaur ulang ke kiln untuk dilakukan proses kalsinasi lagi. Gas buang akan dilepaskan ke atmosfer atau kadang-kadang

digunakan untuk memanaskan tungku pengeringan. Kalsin nantinya akan diumpankan ke *electric arc furnace* untuk dilebur. (Crundwell, 2011)

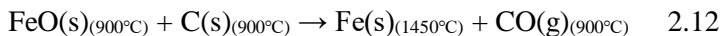
B. Smelting

Pada proses smelting dilakukan peleburan feronikel membuat kalsin menjadi panas hingga meleleh dan menghasilkan feronikel cair yang siap untuk disuling dan digunakan. Kalsin diumpankan terus menerus ke dalam tungku listrik dan menghasilkan (1) lapisan bawah feronikel mentah cair, 20–40% Ni, 80–60% Fe (1450 °C), (2) lapisan atas dari *slag*, *Ni-lean*, SiO₂, MgO, FeO slag, 0,1–0,2% Ni (1550 °C), dan (3) CO, N₂ *off-gas* panas (900°C). Reaksi yang terjadi pada proses *smelting* adalah sebagai berikut:

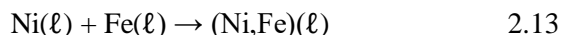
Reduksi nikel oksida dalam kalsin menjadi nikel logam ditunjukkan oleh Reaksi 2.11.



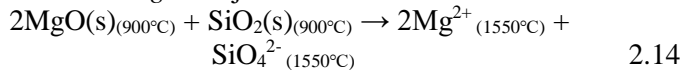
Reduksi besi oksida dalam kalsin menjadi besi logam ditunjukkan oleh Reaksi 2.12.



Peleburan dan pepaduan nikel dan besi untuk membentuk feronikel cair pada temperatur 1450 °C ditunjukkan oleh Reaksi 2.13.



Reaksi lelehan dan pepaduan sisa oksida (SiO₂, MgO, FeO,) membentuk *slag* ditunjukkan oleh Reaksi 2.14.



(Crundwell, 2011)

2.7 Feronikel

Sekitar 2/3 dari nikel di dunia digunakan dalam produksi *stainless steel* untuk memperbaiki kinerja baja, karena paduan nikel dicirikan oleh kekuatan tinggi dan keuletan juga memiliki ketahanan korosi dan panas yang sangat baik. Karena Cina adalah

negara besar dalam hal konsumsi dan produksi *stainless steel* mentah, peleburan feronikel telah menarik banyak perhatian dalam beberapa dekade terakhir (Rong et al., 2017).

Standar feronikel untuk pembuatan baja memiliki berbagai komposisi, dari 5% hingga 25% Ni (Solar et al., 2008), mencatat dua tren dalam pemrosesan nikel laterit, satu mendukung feronikel bermutu tinggi (35% hingga 40% Ni) dan yang lainnya menyukai nilai yang lebih rendah (20% hingga 25% Ni). Karena bijih diproses sangat bervariasi dalam hal kandungan nikel dan komponen lainnya, wajar saja penggunaan proses baik tingkat reduksi lebih rendah dan lebih tinggi digunakan (Polyakov, 2013). Pada Tabel 2.1, menjelaskan secara umum tentang komposisi unsur pada feronikel.

Tabel 2.1 Komposisi Paduan Feronikel (Solar et al., 2008)

Grade	Ni	Co	Si	C	Cr	S	P
FeNi10	5-15	0.3- 0.6	<0.3	<0.1	<0.3	<0.08	<0.0 3
FeNi15	12- 18	0.5- 0.8	<0.4	1-2.5	<2	<0.1	<0.0 3
FeNi20	15- 25	*	<0.4	1-2.5	<2	<0.4	<0.0 3

*Nilai yang disarankan Ni/Co = 20-40

Umpan untuk produksi feronikel adalah bijih nikel laterit jenis saprolit. Bijih ini biasanya mengandung 1.5% - 3% Ni. Nikel hadir sebagai mineral silikat nikel, seperti garnierit. Umpan didominasi oleh saprolit, bukan limonit. Ini karena kandungan besi bijih saprolit, sekitar 15% Fe, lebih rendah daripada bijih limonit. Pemilihan bijih saprolit berguna untuk memastikan bahwa produk feronikel tidak dapat dilarutkan secara berlebihan oleh besi.

Bijih Garnierit sebagian besar dilebur menjadi feronikel (30% Ni, 70% Fe) untuk digunakan dalam *stainless steel* dan paduan besi lainnya. Produksi feronikel dimulai dengan

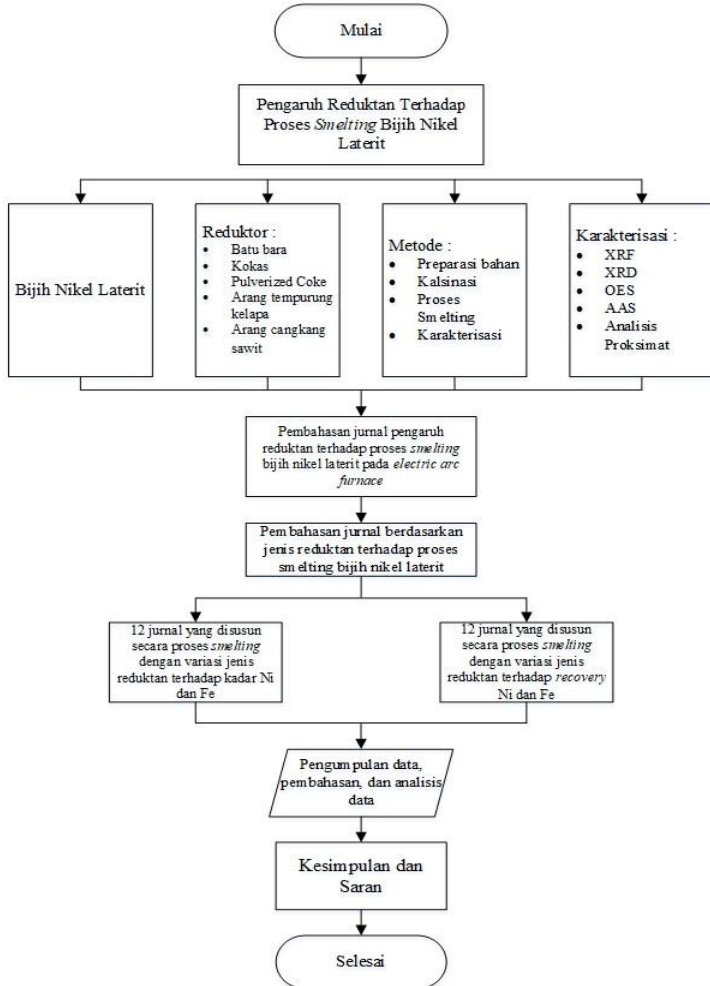
konsentrat garnierite yang lembab. Konsentrat Garnierit biasanya memiliki kadar nikel 1.5-3% Ni. Umpan yang dipakai selalu konsentrat besi rendah garnierite (15% Fe) daripada konsentrat besi tinggi goethite (40% Fe). Umpan ini memastikan bahwa produk feronikel tidak diencerkan secara berlebihan oleh besi. Produksi feronikel diakhiri dengan feronikel olahan dengan komposisi 20-40% Ni, 80-60% Fe. Feronikel siap untuk membuat *stainless steel* dan paduan besi lainnya.

Prinsip pertama peleburan feronikel adalah bahwa oksida Ni dan Fe direduksi menjadi nikel logam dan besi. Prinsip kedua peleburan feronikel adalah bijih laterit tidak dapat dilebur logam nikel saja. Ini karena konsentrat garnierit selalu mengandung 5-10 kali lebih banyak Fe daripada Ni dan oksigen hanya sedikit lebih kuat terikat pada Fe daripada pada Ni yaitu FeO dalam konsentrat yang dikalsinasi hampir sama mudahnya dengan pengurangan NiO. Jadi, produk peleburan konsentrat laterit harus selalu berupa feronikel 20-40% Ni, 80-60% Fe (Moats, 2014). Reduksi dengan kadar Fe rendah akan menyebabkan tingginya *slag losses* dan rendahnya *recovery* nikel tetapi penggunaan daya untuk proses dan reduktor yang digunakan lebih rendah dari persyaratan pada umumnya. Sedangkan reduksi dengan kadar Fe tinggi akan menghasilkan kebalikannya (Solar et al., 2008). Dalam beberapa kasus, *scrap* nikel dan *remelts* ditambahkan ke FeNi tingkat rendah untuk meningkatkan konten nikel (Polyakov, 2013).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI TINJAUAN LITERATUR

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Alat dan Bahan

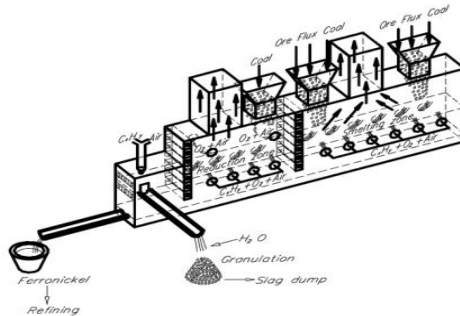
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam jurnal penelitian yang ditinjau secara umum adalah sebagai berikut :

1. *Vaniukov Furnace*

Vaniukov Furnace digunakan untuk proses smelting bijih nikel laterit. Kupola udara panas ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Vaniukov Furnace* (Tsymbolov, 2011)

2. *Induction Furnace*

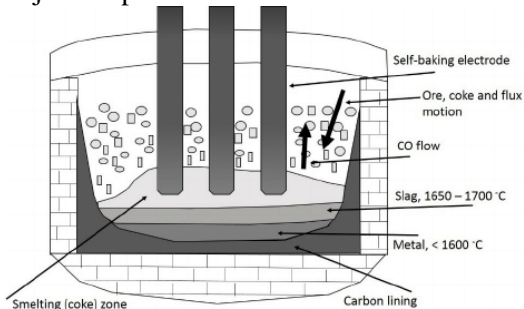
Induction Furnace digunakan untuk proses smelting bijih nikel laterit. *Induction Furnace* ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Induction Furnace* (Foshan Hengyang Furnace Manufacturing)

3. *Submerged Arc Furnace*

Submerged Arc Furnace digunakan untuk proses *smelting* bijih nikel laterit. *Submerged Arc Furnace* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Submerged Arc Furnace (Yang, 2004)

4. *High Temperature Carbon Tube Furnace*

High Temperature Carbon Tube Furnace digunakan untuk proses *smelting* bijih nikel laterit yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 High Temperature Carbon Tube Furnace (vacfurnace.com)

5. *Electric Arc Furnace*

Electric Arc Furnace digunakan untuk proses *smelting* bijih nikel laterit. *Electric Arc Furnace* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Electric Arc Furnace (Hildstrom.com)

6. **Rotary Kiln**

Rotary Kiln digunakan untuk proses kalsinasi bijih nikel laterit yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rotary Kiln (Malmachina.com)

7. **Muffle Furnace**

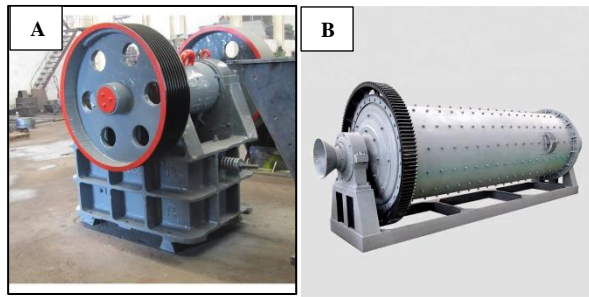
Muffle furnace digunakan untuk proses kalsinasi bijih nikel laterit dan reduktan yang telah diaglomerasi terlebih dahulu. *Muffle Furnace* ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Muffle Furnace (Muffle-furnace.com)

8. *Ore Crusher dan Milling*

Crusher merupakan alat yang digunakan untuk memperhalus ukuran bahan. *Crusher* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.9a. Hasil *crushing* kemudian diperhalus kembali dengan proses *milling*. Alat *milling* yang digunakan adalah *disk mill*. *Disk mill* ditunjukkan pada Gambar 3.9b.



Gambar 3.9 (a) Crusher (b) Disk Mill (Zhengzhou Hengxing Heavy Equipment)

9. *Sieving Machine*

Sieving machine merupakan alat yang berfungsi untuk menyeragamkan ukuran partikel bahan setelah proses komposisi. *Sieving machine* ditunjukkan pada Gambar 3.10.



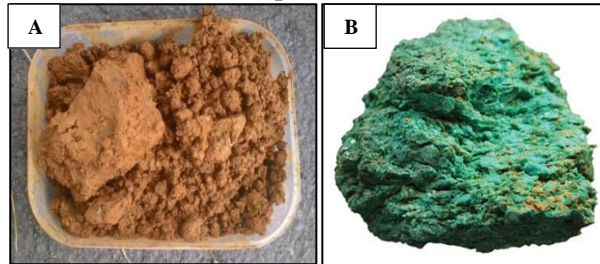
Gambar 3.10 *Sieving Machine* (Duriraj, 2017)

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam jurnal penelitian yang ditinjau secara umum adalah sebagai berikut :

1. Bijih Nikel Laterit

Bijih Nikel Laterit yang digunakan dalam penelitian adalah bijih nikel laterit tipe limonitik (Gambar 3.10a) dan saprolitik (Gambar 3.10b).

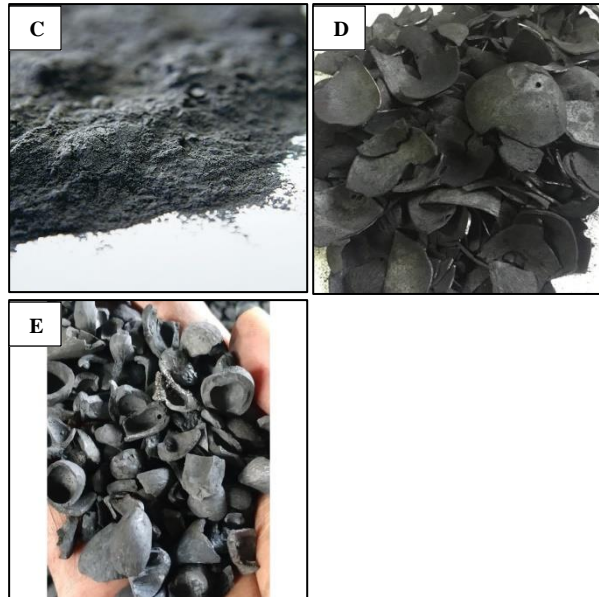


Gambar 3.9 (a) Bijih Nikel Limonit (b) Bijih Nikel Saprolit (Dokumentasi Pribadi)

2. Reduktan

Reduktan yang digunakan dalam penelitian adalah batu bara (Gambar 3.11a), kokas (Gambar 3.11b), *pulverized coke* (Gambar 3.11c), arang tempurung kelapa (Gambar 3.11d), dan arang cangkang sawit (Gambar 3.11e).





Gambar 3.11 (a) Batu bara (b) Kokas (c) *Pulverized Coke* (d) Arang Tempurung Kelapa (e) Arang cangkang sawit (Supriyatna, 2012 ; Agromaret.com)

3. *Limestone*

Limestone ditambahkan dalam proses untuk menjadi fluks. Fluks berfungsi sebagai penyumbang CO_2 untuk menciptakan reaksi yang menghasilkan agen pereduksi. *Limestone* ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 *Limestone* (Geology.com)

3.3 Langkah Kerja

Adapun langkah kerja dibagi menjadi 4 tahapan umum yaitu :

1. Preparasi Bahan

Preparasi bahan merupakan tahapan yang dilakukan dengan tujuan mempersiapkan bahan sebelum memasuki proses reduksi dengan tujuan proses reduksi dapat berlangsung secara optimal. Pada tahapan ini, laterit yang dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD serta reduktan dengan analisis proksimat akan diaglomerasikan sesuai dengan kebutuhan. Dalam tahap ini, laterit akan dihancurkan dengan *crusher* dan diseragamkan ukuran partikelnya menggunakan *sieving machine* kemudian dibentuk sesuai kebutuhan. Proses aglomerasi bijih ini diikuti dengan penambahan reduktan dan aditif yang juga telah dihaluskan ukurannya.

2. Kalsinasi

Proses kalsinasi merupakan proses menghilangkan *free ore moisture*, pemanasan awal bijih, dan mereduksi sebagian besar nikel serta mengontrol bagian besi yang direduksi (Warner et al, 2006).

3. Proses Smelting

Proses smelting merupakan proses memanaskan bijih nikel laterit hingga temperatur leburnya untuk mereduksi semua oksida logam yang terkandung pada bijih.

4. Karakterisasi

Produk yang telah dipisahkan kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung pada produk hasil serta menghitung

recovery logam yang direduksi. Proses ini menggunakan XRF, AAS, serta OES.

3.4 Metode Pengumpulan Variabel dan Analisis

Metode pengumpulan variabel yang dilakukan berbasis pada hasil karakterisasi pada produk proses *smelting*. Adapun variabelnya yaitu pengaruh jenis reduktan terhadap kadar serta *recovery* Ni dan Fe. Hal ini dilatarbelakangi karena data-data berupa kadar dan *recovery* tersebut selalu menjadi parameter perbandingan antara satu proses dan lainnya yang digunakan oleh para peneliti untuk membandingkan hasil penelitiannya dengan penelitian lain.

Untuk metode analisis terhadap hasil analisis data akan dilakukan dengan membandingkan data hasil *review* jurnal dengan teori yang ada dan memberikan analisis kritis terhadap perbandingan data dan teori tersebut. Jurnal yang menjadi bahan *review* ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Daftar jurnal yang di-*review*

Tahun	Nama Jurnal	Judul	Peneliti
2011	Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum	Oxide Nickel Ores Smelting of Ferronickel in Two-Zone Vaniukov Furnace	(Tsymbolov, 2011)
2013	The thirteenth International Ferroalloys Congress	Nickel Pig Iron Production From Lateritic Nickel Ores	(Yildirim, 2013)
2015	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia	Synthesis of Nickel Containing Pig Iron (NCPI) by Using Limonite Type	(Solihin, 2015)

		of Lateritic Ore From South East Sulawesi	
2016	TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)	Ferronickel Preparation From Nickeliferous Laterite By Rotary Kiln-Electric Furnace Process	(Li dkk, 2016)
2016	International Journal of Nonferrous Metallurgy	Making ferronickel from Laterite nickel ore by coal-based self-reduction and High Temperature Melting	(Cao, 2016)
2016	High Temperatute Materials Proceedings	Reduction Smelting Low Ferronickel from Pre-Concentrated Nickel-Iron Ore of Nickel Laterite	(Zhu, 2016)
2017	International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials	Two-stage reduction for the preparation of ferronickel alloy from nickel laterite	(Chen, 2017)

		ore with low Co and high MgO contents	
2018	AIP Conference Proceedings	The effect of smelting time and composition of palm kernel shell charcoal reductant toward extractive Pomalaa nickel laterite ore in mini electric arc furnace	(Sihotang, 2018)
2018	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	Effect of basicity and reductant amount in the nickel pig iron (NPI) production from Indonesian limonite ore in submerged electric arc furnace (SAF)	(Astuti, 2018)
2019	The 6th International Conference on Advanced Materials Science and	Preliminary Study of Smelting of Indonesian Nickel Laterite Ore using an	(Supriyatna, 2019)

	Technology	Electric Arc Furnace	
2019	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	Effect of flux addition and reductant type in smelting process of Indonesian limonite ore in electric arc furnace	(Andika dkk, 2019)
2020	Metals 2020	Mechanism of Calcium Sulphate on the Aggregation and Growth of Ferronickel Particles in the Self-Reduction of Saprolitic Nickel Laterite Ore	(Hang, 2020)

3.5 Karakterisasi Material

Adapun pengujian sampel dari proses penelitian yang dilakukan dalam jurnal tersebut adalah sebagai berikut :

3.5.1 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian XRD merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan cara mengamati pola pantulan atau pembiasan cahaya berdasarkan susunan atom pada kisi kristalnya. XRD akan menganalisis sinar X yang dihamburkan oleh sampel sebagai hasil dari tumbukan antara sinar-X dengan sampel tanpa mengalami kehilangan

energi. Pengujian XRD dapat digunakan untuk beberapa kegunaan seperti mengidentifikasi struktur kristal suatu material, menganalisis reaksi kimia dan sintesis material yang berlangsung serta kemurnian suatu material. Pada prinsipnya, setiap senyawa terdiri dari susunan atom-atom dengan membentuk suatu bidang tertentu. Pola bidang tertentu itu menjadi suatu ciri khas dari suatu senyawa sehingga bila suatu senyawa ditembakkan partikel cahaya (foton) dengan sudut tertentu, maka akan tercipta pola pantulan maupun pembiasan yang khas. Kekhasan pola pantulan atau pembiasan ini yang menjadi bahan analisis kualitatif pengujian XRD untuk membedakan suatu senyawa dengan senyawa lainnya (Setiabudi, 2012). Instrumen pengujian XRD yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Instrumen XRD (Dokumentasi Pribadi)

3.5.2 XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Spektrometer XRF adalah alat uji yang digunakan untuk analisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-x karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jamaludin, 2012).

Instrumen pengujian XRF yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Instrumen XRF (Jamaludin, 2012)

3.5.3 OES (*Optical Emission Spectrometry*)

Optical Emission Spectrometry adalah salah satu teknik analisis yang digunakan untuk penentuan kadar logam multi-unsur yang menggunakan sumber plasma untuk merangsang atom dalam sampel. Spektrometri emisi optik (OES) adalah metode analisis optik yang relatif lama. Teknik ini paling sering digunakan dalam analisis logam atau paduan dalam industri metalurgi dan sampel bervariasi lainnya seperti bijih / mineral dalam pencarian geologi dan limbah dalam pemantauan lingkungan (Zhou, 2005). Keuntungan dari OES dengan kemampuan mengidentifikasi dan mengukur semua elemen yang diukur dengan bersamaan, OES cocok untuk mengukur semua konsentrasi elemen dari *ultratrace* sampai ke tingkat komponen utama, batas deteksi pada umumnya rendah untuk sebagian besar elemen khas dengan rentang dari 1 – 100 mg / L.

3.5.4 AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*)

Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) adalah salah satu teknik yang paling umum digunakan untuk tujuan analitis. Telah banyak digunakan di laboratorium penelitian dan juga dimakanan, lingkungan, farmasi, minyak bumi dan di sektor lain.

Peralatan dikembangkan menggunakan empat katoda berongga lampu, dikombinasikan dengan pemisah sinar, pengabut batang karbon, monokromator khusus dengan memisahkan celah untuk setiap elemen, dan tabung *photomultiplier* tunggal. Lalu, lampu masing-masing elemen dihidupkan "on" dan "off" secara berurutan pada frekuensi yang sama sehingga hanya satu lampu "menyala" pada suatu waktu (Ferreira, 2017).

3.5.5 Analisis Proksimat

Analisis proksimat merupakan pengujian yang dilakukan untuk menganalisis kondisi batubara berdasarkan kandungan air (*moisture*), abu (*ash content*), zat terbang (*volatile matter*), dan karbon padat (*fixed carbon*) yang terdapat di dalamnya. Hal ini dilakukan karena hal-hal tersebut dapat menurunkan kualitas dari batu bara (Kadir, 2016).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

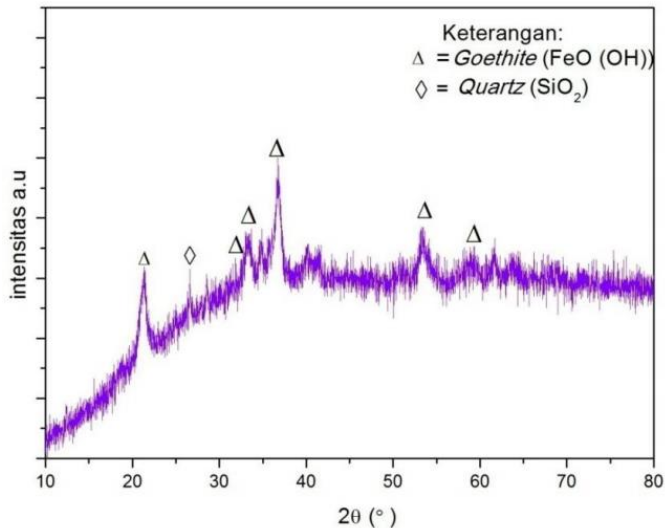
Pada tinjauan literatur ini, digunakan data yang tersedia pada jurnal untuk dijadikan data analisis terkait pengaruh jenis reduktan terhadap kadar Ni dan Fe serta *recovery* Ni dan Fe selama proses smelting bijih nikel laterit.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Andika dkk, 2019) yang dimulai dengan mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung pada bijih nikel laterit dengan pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*). Bijih nikel yang dipakai berasal dari Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Hasil uji XRF ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji XRF Bijih Nikel Laterit (Andika dkk, 2019)

Unsur	Si	Ni	Fe	Mg	Ca	Al
Kadar (%)	3.23	1.26	43.10	6.29	0.34	2.83

Hasil analisis menunjukkan bijih nikel laterit mengandung 1,26% Ni yang merupakan jenis nikel laterit tingkat rendah, sedangkan kandungan Fe adalah 43,1%. Bijih nikel laterit diketahui memiliki unsur Fe yang cukup tinggi. Untuk menyelidiki fase yang dominan dalam bijih nikel laterit, analisis menggunakan XRD dilakukan dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pada Gambar 4.1, menunjukkan bahwa senyawa dominan yang ditemukan dalam bijih nikel laterit adalah goethite (FeOOH) (Anggarda, 2017). Selain itu, ada mineral utama lain yang terkandung, yaitu kuarsa (SiO₂). Nikel umumnya dikaitkan dengan goethite sehingga pola XRD tidak menunjukkan keberadaannya senyawa nikel sebagai senyawa independen (Astuti, 2016).



Gambar 4.1 Hasil Uji XRD Bijih Nikel Laterit (Andika dkk, 2019)

Reduktan yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan (Andika dkk., 2019) adalah kokas, batu bara, dan arang tempurung kelapa. Masing-masing reduktan memiliki kandungan karbon yang berbeda dan komposisi lainnya. Untuk menentukan kandungan karbon masing-masing reduktan, analisis proksimat dilakukan yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Analisis proksimat reduktan (Andika dkk, 2019)

Parameter	Moisture Contents (%)	Volatile Matter (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
Kokas	0.20	9/65	27.18	62.97
Batu bara	0.25	48.5	14.00	37.25
Arang Tempurung Kelapa	0.15	18.62	26.21	55.02

Setelah itu, bijih nikel laterit dan reduktan di-*grinding* hingga berukuran 74 μm serta dicampur dan diaglomerasi hingga

berukuran 10-20 mm untuk dijadikan sebagai pelet. Pelet yang sudah jadi selanjutnya diumpankan pada *mini electric arc furnace* untuk dilakukan proses smelting selama 30-40 menit pada temperatur 1400°C. Didapatkan hasil perolehan kadar Ni dan Fe pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Perolehan Kadar Ni dan Fe (Andika dkk, 2019)

Jenis Reduktan	Kadar Ni (%) dalam <i>metal</i>	Kadar Fe (%) dalam <i>metal</i>
Kokas	3.64	89.40
Batu bara	3.57	82.81
Arang Tempurung Kelapa	2.37	89.99

Perolehan *recovery* Ni tertinggi adalah kokas sebesar 82.81% dan perolehan *recovery* Fe tertinggi adalah arang tempurung kelapa sebesar 62.63%.

Pada jurnal kedua, penelitian dilakukan oleh (Sihotang dkk, 2018) yang diawali dengan analisis unsur yang terkandung dalam bijih nikel laterit yang juga berasal dari Pomalaa, Sulawesi Tenggara menggunakan pengujian XRF dan XRD. Hasil pengujian XRF dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Uji XRF Nikel Laterit (Sihotang, 2018)

Unsur	Fe	Ni	Al	Cr	Si	MnO
Kadar (%)	45.67	1.13	2.06	1.42	2.00	1.26

Dari hasil pengujian XRD, dari analisis *peak* pada grafik pengujian didapatkan hasil fasa dominan yaitu goethite ((Fe, Ni, Al) O (OH)). Terdapat juga fasa *quartz* (SiO₂), *maghemite* (γ -Fe₂O₃), *taenite* (γ -FeNi) dan *talc* (Mg₃Si₄O₁₀ (OH)₂).

Reduktan yang dipakai dalam penelitian ini adalah arang cangkang sawit. Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada arang cangkang sawit dan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Analisis proksimat arang cangkang sawit (Sihotang dkk, 2018)

<i>Fixed Carbon</i> (%)	<i>Volatile Matter</i> (%)	<i>Ash (%)</i>	<i>Moisture(%)</i>
77	22.57	21	0.43

Setelah dilakukan karakterisasi, bijih nikel laterit digerus menggunakan *ball mill grinding* hingga berukuran 80-200 mesh lalu dicampur dengan arang cangkang sawit untuk dilakukan proses aglomerasi hingga menjadi pelet. Lalu pelet yang sudah jadi dikalsinasi pada *muffle furnace* pada temperatur 900°C selama 60 menit, Selanjutnya diumpankan ke dalam *electric arc furnace* dengan penambahan limestone untuk aditif selama proses *smelting* yang dilakukan pada temperatur 1300-1700°C. Variabel penelitian yaitu waktu *smelting* dan komposisi reduktan. Variasi waktu *smelting* yang digunakan sebesar 50, 70, 90, 110, dan 130 menit. Sementara variasi komposisi reduktan yang digunakan sebesar 1000, 1500, 2000, 3200, dan 4300 gram per 9700 gram bijih nikel. Didapatkan hasil dari penelitian tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.6 Hasil perolehan kadar Ni dan Fe dengan variasi waktu *smelting* (Sihotang, 2018)

No	Waktu <i>Smelting</i> (menit)	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
1	50	4.54	89.4
2	70	3.94	92.8
3	90	3.09	90.7
4	110	2.93	88.8
5	130	3.87	89.7

Tabel 4.7 Hasil perolehan kadar Ni dan Fe dengan variasi komposisi reduktan (Sihotang, 2018)

No	Komposisi reduktan (gram)	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
1	1000	3.42	87.8
2	1500	3.70	90
3	2000	3.09	90.7

4	3200	3.09	88.3
5	4300	2.82	79.3

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Sihotang, 2018), perolehan *recovery* Ni tertinggi sebesar 92.53% dan Fe sebesar 67.21% pada variasi waktu *smelting* 90 menit. Untuk variasi penambahan komposisi arang cangkang sawit, perolehan *recovery* Ni tertinggi sebesar 92.53% dan Fe sebesar 67.21% pada penambahan komposisi reduktan sebesar 2000 gram per 9700 gram bijih nikel laterit.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Li dkk., 2016), diawali juga dengan karakterisasi bijih nikel laterit dengan XRF dan XRD serta analisis proksimat untuk reduktan yang dipakai yaitu *pulverized coke*. Untuk hasil pengujian XRF dapat dilihat pada Tabel 4.8. Hasil pengujian XRD menunjukkan *lizardite* ($(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *goethite*, dan *hematite*, ini mengindikasikan tipikal bijih laterit saprolitik.

Tabel 4.8 Hasil Uji XRF Nikel Laterit dalam persen (Li dkk., 2016)

TFe	TNi	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	LOI
23.15	1.85	30.56	15.25	3.43	1.29	1.02	11.45

Untuk analisis proksimat pada *pulverized coke* dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Analisis proksimat *pulverized coke* (Li dkk., 2016)

<i>Volatile Matter</i> (%)	<i>Ash Content</i> (%)	<i>Fixed Carbon</i> (%)
2.85	17.95	79.20

Setelah karakterisasi bahan umpan *furnace*, bijih nikel laterit dicampur dengan *pulverized coke* untuk dijadikan pelet pada temperatur 105°C selama 4 jam terlebih dahulu. Lalu dilakukan *reducing roasting* pada temperatur 900°C selama 30 menit dan kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* untuk dilakukan proses *smelting* pada temperatur 1500°C selama 30 menit dengan variasi penambahan rasio reduktan, penambahan

dosis CaO serta waktu dan temperatur *smelting*. Didapatkan hasil dalam penelitian tersebut bahwa kadar Ni akan menurun dengan pertambahan rasio *pulverized coke* dalam proses *smelting*. Begitu juga sebaliknya, kadar Fe naik tajam seiring bertambahnya rasio *pulverized coke*. Hasil yang maksimal untuk perolehan kadar Ni sebesar 13.01% untuk penambahan komposisi *pulverized coke* sebesar 4.9%, sedangkan perolehan kadar Fe tertinggi sebesar 87.65% pada dosis penambahan *pulverized coke* 9%. Serta perolehan *recovery* Ni tertinggi sebesar 99.03% pada penambahan rasio *pulverized coke* 6.6% dan *recovery* Fe sebesar 88.63% pada penambahan rasio *pulverized coke* 9%.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Cao, 2016) melakukan karakterisasi pada bijih nikel laterit dan reduktan. Reduktan yang dipakai pada penelitian ini adalah batu bara antrasit. Bijih nikel yang digunakan merupakan bijih nikel tipe limonitik dikarenakan memiliki kadar Ni sebesar 0.78% dan total Fe sebesar 46.54%. Bijih nikel digerus hingga berukuran -0.125 mm lalu dikeringkan pada oven dengan temperatur 110°C. Lalu setelah dikeringkan, bijih nikel dan reduktan diumpankan pada *high temperature carbon tube furnace* untuk melakukan proses *smelting*. Komposisi reduktan memiliki *fixed carbon* sebesar 76.56%. Hasil perolehan tertinggi kadar Ni dan Fe sebesar 1.79% dan 89.91%. Serta perolehan *recovery* Ni dan Fe sebesar 92.12% dan 97.69%.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Supriyatna, 2019) diawali dengan karakterisasi bijih nikel laterit dengan reduktan arang cangkang sawit. Arang cangkang sawit mengandung *fixed carbon* sebesar 77%. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah ukuran partikel dan komposisi reduktan. Bijih nikel laterit digerus dengan variasi ukuran #80, -80#100, -100#150, -150#200, dan -200# *mesh*. Serta penambahan dosis reduktan sebesar 1000, 1500, dan 2000 gram. Lalu, bijih nikel laterit dan reduktan diumpankan dalam *electric arc furnace*. Hasil yang didapat dengan variasi ukuran partikel tertinggi didapatkan dengan ukuran -80#100 *mesh* dengan kandungan nikel

sebesar 1.1765%. Hasil proses *smelting* dengan variasi penambahan komposisi reduktan didapatkan dengan penambahan 1500 gr dengan kadar Ni dan Fe sebesar 3.70% dan 90%.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Hang, 2020) dengan cara melakukan karakterisasi bijih nikel dan reduktan terlebih dahulu. Bijih nikel mengandung kadar Ni dan Fe sebesar 1.4% dan 16.8%. Reduktan yang dipakai merupakan antrasit. Fixed carbon yang terkandung dalam antrasit sebesar 82.76%. Dilakukan pencampuran bijih nikel dengan antrasit sebanyak 7.88% dan kalsium sulfat lalu dikompaksi menjadi pelet. Lalu dikeringkan terlebih dahulu dan dilakukan proses *smelting* pada furnace. Produk hasil proses kemudian dilakukan pemisahan magnetik untuk peningkatan kadar perolehan logam. Didapatkan hasil proses *smelting* dengan perolehan kadar Ni dan Fe tertinggi sebesar 8.52% dan 80.75% serta *recovery* Ni dan Fe sebesar 94.8% dan 82.1%.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Astuti, 2018) diawali dengan karakterisasi bijih nikel laterit dan reduktan. Reduktan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kokas dengan *fixed carbon* sebesar 62.97%. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah basisitas dan penambahan dosis reduktan. Setelah dikarakterisasi, bijih nikel dan kokas diumpangkan dalam *Submerged Arc Furnace*. Didapatkan hasil dengan perolehan kadar Ni dan Fe tertinggi sebesar 3.91% dan 90.7% serta *recovery* Ni dan Fe tertinggi sebesar 82.81% dan 55.21%. Untuk keadaan yang optimal disarankan basisitas sebesar 0.8 dan penambahan sebesar kokas 7 kg per 30 kg bijih.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Yildirim, 2013) diawali dengan karakterisasi bijih nikel laterit dan reduktan. Reduktan yang digunakan adalah kokas. Bijih nikel mengandung Ni sebesar 0.9% dan Fe sebesar 30.11%. Bijih nikel dan reduktan digerus hingga berukuran 303 mm lalu dikeringkan dengan temperatur 120°C pada *dryer*. Lalu, diumpangkan dalam *induction furnace* dengan temperatur 1600°C. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah penambahan dosis reduktan dan waktu

smelting. Hasil yang didapatkan kadar Ni tertinggi sebesar 6.94% dengan penambahan reduktan 5%. Untuk kadar Fe tertinggi sebesar 91.76% dengan penambahan reduktan 20%.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Zhu, 2016) diawali dengan karakterisasi bijih nikel laterit dan reduktan. Reduktan yang digunakan adalah kokas dengan mengandung *fixed carbon* sebesar 80.76%. Bijih nikel diproses *pre-reducing* pada temperatur 1100°C selama 80 menit. Lalu, bijih nikel, kokas, dan *limestone* diumpangkan dalam *electric furnace*. Didapatkan hasil perolehan kadar Ni dan Fe tertinggi sebesar 6.58% dan 89.95% serta *recovery* Ni dan Fe sebesar 93.38% dan 89.57%. Keadaan optimal pada temperatur *smelting* 1550°C selama 10 menit dengan penambahan kokas sebesar 10%.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Chen, 2017) dilakukan dengan karakterisasi bijih nikel laterit dan reduktan terlebih dahulu. Reduktan yang dipakai adalah kokas. Fixed carbon yang terkandung pada reduktan sebesar 85.88%. Dilakukan *pre-reducing* pada *muffle furnace* lalu diumpangkan ke dalam *furnace* untuk dilakukan proses *smelting*. Didapatkan hasil perolehan kadar Ni dan Fe sebesar 17.5% dan 79.5%. Serta *recovery* Ni dan Fe sebesar 99.8% dan 75%. Kondisi yang optimal dilakukan pada temperatur *smelting* 1550°C dengan waktu 30-45 menit.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Tsybukov, 2011) dilakukan proses *smelting* bijih nikel menggunakan *Vaniukov Furnace*. Reduktan yang dipakai adalah batu bara. Pada penelitiannya, perolehan tertinggi Ni didapatkan sebesar 22.1%. Namun berkebalikan dengan *recovery* Fe yang didapatkan yaitu 18.1%. Ini menyebabkan banyaknya logam besi yang terbuang ke dalam *slag*.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Solihin, 2015) diawali dengan karakterisasi bijih nikel dan reduktan. Reduktan yang dipakai merupakan batu bara. Bijih nikel dan reduktan digerus hingga berukuran 200 mesh lalu dipeletisasi. Setelah itu,

pelet diumpukan dalam *furnace*. Didapatkan hasil perolehan kadar Ni dan Fe sebesar 3.7% dan 86.8%.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan data penelitian yang dihimpun dalam tinjauan jurnal ini yang mengenai pengaruh reduktan terhadap kadar serta *recovery* Ni dan Fe pada proses *smelting* bijih nikel laterit memperlihatkan perbedaan hasil yang mencolok dan signifikan. Hal ini juga tak lepas dari faktor reduktan yang dipakai dalam proses *smelting* terkait masalah efisiensi reduksi.

Proses reduksi yang terjadi pada *smelting* bijih nikel laterit adalah reduksi karbotermik. Reduksi karbotermik sendiri merupakan reduksi bijih menggunakan media gas oksidatif berbasis karbon (C-CO-CO₂) (Bangalino, 2009). Karbon merupakan salah satu reduktor yang banyak digunakan untuk mereduksi bijih besi. Penelitian menunjukkan bahwa karbon pada pelet komposit karbon memiliki dua fungsi yaitu sebagai reduktor dan sebagai agen karburasi dengan terbentuknya CO (Nagata, 2001). Secara termodinamika, reduksi karbotermik mengikuti kaidah reaksi-reaksi pembentukkan oksida logam. Reaksi pembentukkan logam akan terjadi bila afinitas oksigen terhadap karbon lebih tinggi dibandingkan afinitas oksigen terhadap suatu logam (Bangalino, 2009).

Ikatan kimia yang terbentuk tak lepas dari pengaruh energi bebas Gibbs. Dalam termodinamika, jika nilai energi bebas Gibbs bernilai negatif, maka reaksi pembentukkan logam akan terjadi secara spontan tanpa energi luar (Jeffes, 2001). Perpotongan garis menyatakan kesetimbangan minimum untuk terjadinya sebuah reaksi. Garis yang berada di atas titik perpotongan tersebut akan mengalami reaksi reduksi. Seperti pada diagram ellingham yang dapat dilihat pada Gambar 2.7, garis NiO berpotongan dengan garis pembentukkan CO pada temperatur 500°C serta garis FeO berpotongan pada titik dengan temperatur 700°C. Dapat dilihat juga rasio CO/CO₂ yang dapat menentukan kebutuhan ketersediaan CO untuk mereduksi sebuah logam oksida. Semakin

ke kanan pada diagram, maka kebutuhan CO juga akan semakin banyak.

Ketersediaan karbon suatu reduktan ditunjang dari *fixed carbon* yang dapat diketahui dari analisis proksimat. *Fixed carbon* menjadi parameter kualitas suatu batu bara atau reduktor. Secara umum reduktor dengan *fixed carbon* tinggi memiliki kalori yang tinggi pula (Suharto, 2014). Jumlah karbon dalam batu bara menyediakan reduktor gas CO pada reduksi karbotermik melalui reaksi Boudouard (Anderson, 2016), yang ditunjukkan pada Persamaan 4.1.

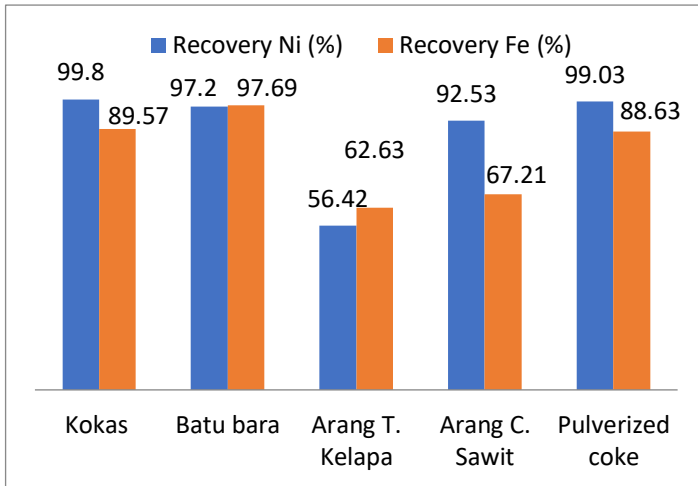


Kebutuhan reduktor harus mempertimbangkan kandungan *fixed carbon* dalam suatu batubara; kandungan *fixed carbon* untuk reduktor diharapkan berkisar 50% (Sarangi, 2011). Secara teoritis, bila *fixed carbon* suatu reduktan tinggi, maka efisiensi proses reduksi logam oksida akan semakin tinggi juga serta perolehan logam menjadi optimal dikarenakan konsentrasi dari produk reduksi yang dihasilkan seperti CO dan CO₂ akan banyak pula yang berdampak pada difusi (Handayani, 2016). Perbandingan hasil optimal perolehan kadar serta *recovery* Ni dan Fe dari ketiga jurnal dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Perbandingan hasil optimal jurnal penelitian

Jurnal Penelitian	Reduktan	Ni	Fe	Rec Ni	Rec Fe	Fixed Carbon
Andika dkk, 2019	Kokas	3.6 4%	89. 40 %	82.81 %	55.06 %	62.97%
Astuti, 2018	Kokas	3.6 4%	82. 21 %	82.81 %	55.21 %	62.97%
Chen, 2017	Kokas	17. 5%	79. 5%	99.8 %	75%	85.88%
Zhu, 2016	Kokas	6.5 8%	89. 95 %	93.38 %	89.57 %	80.76%

Yildirim, 2013	Kokas	3%	89. 06 %	88.13 %	-	70- 80%
Andika, 2019	Batu Bara	3.5 7%	82. 81 %	75.55 %	55.30 %	37.25%
Cao, 2016	Antrasit	1.4 2%	89. 91 %	92.12 %	97.69 %	76.56%
Tsymbulo v, 2011	Batu Bara	22. 1%	-	89%	82.3 %	69.7%
Hang, 2020	Antrasit	8.5 2%	80. 75 %	94.8 %	82.1 %	82.76%
Solihin, 2015	Batu Bara	3.7 %	86. 8%	-	-	-
Andika, 2019	Arang Tempurung Kelapa	2.3 7%	89. 99 %	56.42 %	62.63 %	55.02%
Sihotang, 2018	Arang Cangkang Sawit	3.0 9%	92. 8%	92.53 %	67.21 %	77%
Supriyatna , 2019	Arang Cangkang Sawit	3.0 9%	90. 07 %	89.35 %	-	77%
Li dkk., 2016	<i>Pulverized Coke</i>	10. 32 %	87. 65 %	99.03 %	88.63 %	79.20%



Gambar 4.2 Grafik *recovery* optimal Ni dan Fe

Pada penelitian yang dilakukan jurnal di atas, diketahui bahwa *fixed carbon* tertinggi dimiliki kokas sebesar 85.88% pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Chen, 2017) dengan perolehan kadar Ni dan Fe tertinggi sebesar 17.5% dan 79.5% dengan perolehan *recovery* Ni dan Fe tertinggi sebesar 99.8% dan 75%. Untuk hasil perolehan kadar Ni tertinggi sebesar 22.1% dilakukan oleh (Tsymbulov, 2011) menggunakan *Vaniukov Furnace* dan batu bara. Hal ini mungkin disebabkan penggunaan *vaniukov furnace* yang memiliki dua zona dalam prosesnya. Adanya *natural gas* menyediakan campuran udara-oksigen untuk menjaga temperatur dalam *furnace* maksimum dan stabil. Hasil ini menunjukkan keefisienan suatu reduktan dalam mereduksi nikel sangatlah tinggi dan berguna untuk industri pembuatan feronikel serta menunjukkan keselarasan hasil penelitian dalam jurnal yang ditinjau dengan teori yang telah disebutkan.

Dapat dilihat grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, perolehan *recovery* Ni dan Fe paling optimal didapat oleh batu bara sebesar 97.2% dan 97.69% yang didapatkan dari jurnal penelitian oleh (Tsymbulov, 2011) dan (Cao, 2016). Hal ini menunjukkan keefisienan batu bara dalam menjadi agen

pereduksi dalam proses *smelting*. Ini disebabkan dengan kandungan *fixed carbon* yang melimpah untuk kebutuhan proses reduksi logam. Hasil yang didapat pun dapat dijadikan rekomendasi untuk penggunaan reduktan dalam industri feronikel massal.

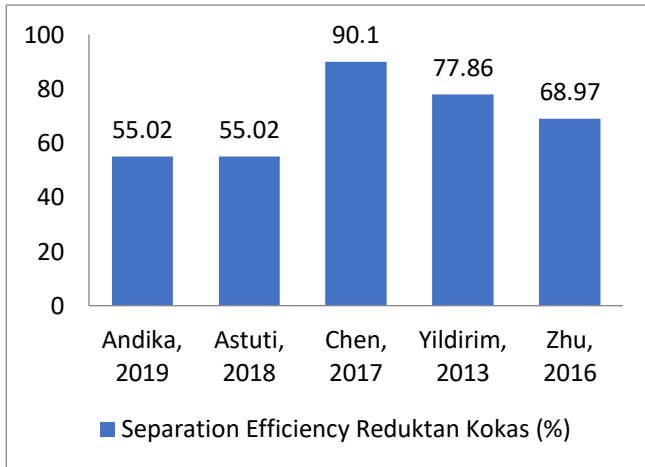
Untuk kebutuhan energi yang terbarukan, pemilihan arang cangkang sawit sangat disarankan karena memiliki *fixed carbon* yang tinggi, sebesar 77% dengan *recovery* Ni sebesar 92.35%. dan *recovery* Fe sebesar 67.21%. *Recovery* sendiri dalam kasus bijih *metallic* merupakan persentase total logam yang terkandung pada konsentrat yang dapat diambil dari total logam pada bijihnya (Wills, 2016). Ini menandakan bahwa semakin tinggi *recovery* proses *smelting* logam, maka semakin efisien juga proses yang bekerja.

Berdasarkan jurnal penelitian yang ditinjau, dilakukan perhitungan *separation efficiency* guna menghitung besaran keefisienan suatu reduktan dalam melakukan reduksi logam. Perhitungan *separation efficiency* sendiri dijelaskan pada Persamaan 4.2 (Pintowantoro, 2019)

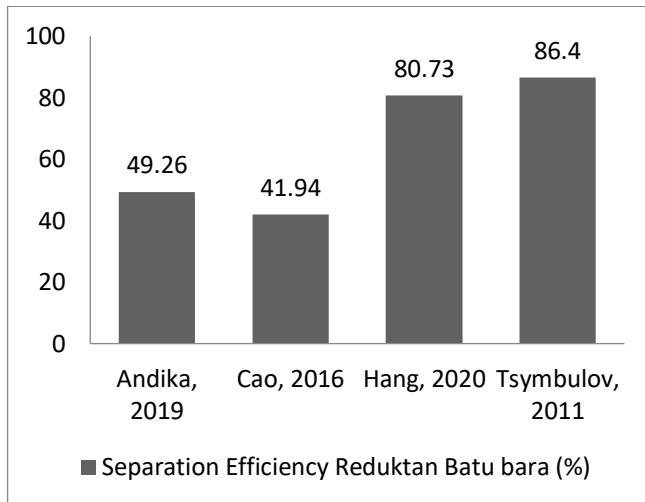
$$\text{Separation Efficiency} = \frac{100 \cdot R_{Ni} \cdot m(Y_{Ni} - X_{Ni})}{(m - X_{Ni})X_{Ni}} \quad (4.2)$$

Di mana: R_{Ni} adalah *recovery* nikel, m adalah persentase nikel dalam mineral berharga (diasumsikan dalam bentuk NiO, jadi m adalah 78,58%), Y_{Ni} adalah kadar nikel dalam produk reduksi, X_{Ni} adalah kadar nikel dalam bijih nikel laterit.

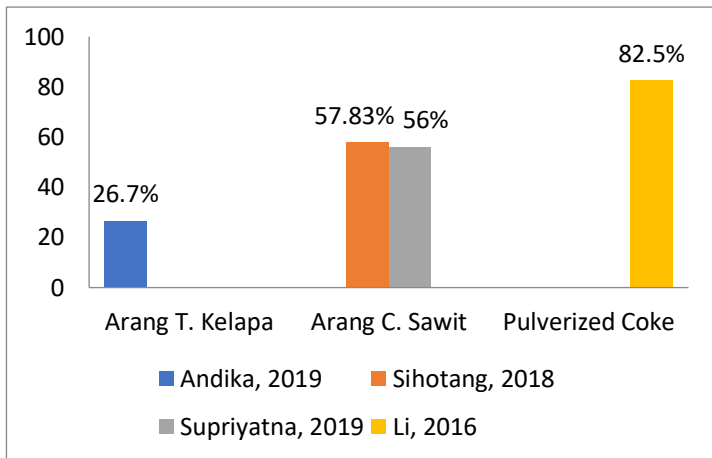
Untuk hasil yang diperoleh dalam jurnal penelitian yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5.



Gambar 4.3 Grafik *Separation Efficiency* dengan kokas dalam jurnal



Gambar 4.4 Grafik *Separation efficiency* dengan batu bara dalam jurnal



Gambar 4.5 Grafik *Separation efficiency* beberapa reduktan dalam jurnal

Berdasarkan perhitungan *separation efficiency* jurnal penelitian yang ditinjau, dapat dilihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada jurnal (Chen, 2017) dengan reduktan kokas sebesar 90.1%. Hal ini menunjukkan keefisienan kokas sebagai agen pereduksi yang baik digunakan dalam proses karena ketersediaan *fixed carbon* melimpah. Selain itu, *volatile matter* juga ikut berperan. *Volatile matter* akan mengalami devolatilisasi pada setiap proses reduksi, devolatilisasi ini ialah proses pelepasan zat-zat yang mudah menguap yang ada pada batubara, yaitu seperti H_2 , CO , N_2 , C_xH_y) (Aswati, 2011). Peningkatan kadar nikel dapat dipengaruhi dengan besarnya nilai *volatile matter*. Semakin besar nilai *volatile matter*, semakin meningkat juga kadar yang diperoleh (Prameswara, 2017). Rendahnya *separation efficiency* yang terdapat pada jurnal dengan reduktan arang tempurung kelapa oleh (Andika dkk., 2019), besar kemungkinan disebabkan oleh rendahnya *fixed carbon* dan *volatile matter* yang tersedia. *Separation efficiency* pun dipengaruhi oleh banyak faktor dalam metode yang digunakan dalam penelitian.

Berdasarkan analisis data penelitian dalam jurnal di atas, menunjukkan adanya *limestone* sebagai fluks dapat memengaruhi hasil proses smelting yang didapat. Fluks sendiri akan menyebabkan reaksi oksidasi, desulfurisasi, dan pembentukan slag. *Limestone* yang kaya akan kalsium akan mengoptimalkan perolehan logam dengan cara mengikat pengotor ke dalam slag (Abhilasa, 2014). Penambahan *Limestone* juga akan memengaruhi basisitas dalam proses smelting. *Quarternary basicity* pada proses smelting nikel laterit ditunjukkan oleh rasio CaO dan MgO terhadap SiO₂ dan Al₂O₃ (Astuti, 2018). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Li dkk., 2013), menunjukkan basisitas yang optimal untuk proses smelting bijih nikel laterit dengan nilai sebesar 1.0. Pada penelitian (Zhu, 2016) juga mengatakan hal yang sama. Serta menunjukkan bahwa basisitas yang rendah mungkin dikarenakan tingginya kadar Fe dalam bijih.

Pada jurnal yang di-review yang dilakukan oleh (Li dkk., 2016) menunjukkan kadar Ni naik dengan penambahan CaO dengan penambahan dosis optimal sebesar 10.63%. Sebaliknya, kadar Fe akan turun. Hal itu disebabkan adanya CaO yang mengoptimasi kinerja slag dengan menurunkan viskositas slag dan tekanan. CaO mampu memfasilitasi penghancuran jaringan silikat dan meningkatkan reduksi nikel dan besi (Zhu, 2012). Selain itu, penambahan jumlah CaO yang tepat dapat memfasilitasi transfer massa yang terjadi (Li dkk., 2013). Penambahan di atas nilai optimal akan menyebabkan kadar Ni turun dikarenakan akan banyaknya fasa *liquid* yang terbentuk dan menyebabkan penurunan area kontak bijih nikel dan reduktan. Partikel logam Ni dan Fe akan sulit diagregat serta meningkatkan partikel halus yang masuk ke dalam slag dan meningkatkan kesulitan untuk pemisahan (Andika dkk., 2019). Pada penelitian yang dilakukan (Sihotang, 2018) ; (Astuti, 2018) ; (Zhu, 2016) juga menggunakan *limestone* sebagai fluks dan mendapat perolehan kadar Ni yang optimal. Sedangkan penelitian yang dilakukan (Andika dkk., 2019), juga menggunakan *limestone*

sebagai fluks namun digunakan pada reduktan kokas saja. Hasil yang didapat pun juga menunjukkan hal yang sama dengan teori.

Penambahan dosis reduktan dalam proses *smelting* pada jurnal di atas juga dapat memengaruhi hasil proses *smelting* yang dilakukan. Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Li dkk., 2016), kadar Ni tertinggi sebesar 13.01% didapatkan dengan penambahan dosis reduktan sebesar 4.9% serta *recovery* Ni teritinggi sebesar 99.03% pada dosis penambahan reduktan sebesar 6.6%. Untuk jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Yildirim, 2013) dan (Zhu, 2016) dengan penggunaan kokas sebagai reduktan didapatkan kadar dan *recovery* Ni akan meningkat seiring penambahan dosis reduktan, namun akan turun jika melebihi batas optimalnya.

Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh (Prasetyo dkk, 2014), menunjukkan bahwa semakin besar jumlah persen reduktor yang digunakan akan semakin tinggi konsentrat yang dihasilkan. Namun, jika penambahan reduktan yang berlebih menyebabkan terbentuknya fasa $\text{Na}_3\text{MgAl}(\text{SiO}_4)_2$, *forsterite*, dan fasa Fe_2SiO_4 yang disebabkan oleh tingginya kandungan silikat yang berasal dari batu bara (Subagja, 2016). Terbentuknya fasa tersebut mengakibatkan sebagian dari nikel masuk ke dalam struktur fasa $\text{Na}_3\text{MgAl}(\text{SiO}_4)_2$ dan perolehan nikel berkurang dalam konsentrat (Forster, 2016).

Berdasarkan penelitian jurnal yang dilakukan di atas menunjukkan bahwa rasio SiO_2/MgO juga dapat menentukan perolehan hasil proses *smelting* bijih nikel laterit. Secara alami, bijih nikel laterit limonit memiliki kandungan MgO yang rendah sedangkan laterit saprolit memiliki kandungan MgO yang tinggi (Carvalho-e-Silva, 2003). Penelitian terhadap rasio SiO_2/MgO dilakukan pada bijih nikel laterit saprolit yang mendapat kesimpulan bahwa rendahnya rasio SiO_2/MgO menyebabkan turunnya reduksibilitas Ni dengan menggunakan reduktan gas hidrogen (Kawahara, 1988). Pada penelitian lainnya yang menggunakan reduktan kokas juga menunjukkan tingginya rasio SiO_2/MgO dapat menyebabkan *recovery* Ni meningkat dan

recovery Fe menurun. Hal ini disebabkan terbentuknya *olivine* $[(Mg,Fe)_2SiO_4]$ (Harjanto, 2015). Namun, jika terlalu banyak adanya SiO_2 dan MgO dalam kandungan bijih dapat menyebabkan feronikel (FeNi) tidak dapat terbentuk dikarenakan kecenderungan Ni dan Fe membentuk senyawa *olivine* atau *nickel-iron-magnesium orthosilicate* (Kawahara, 1988 ; Utigard et al, 1992).

Pada penelitian oleh (Cao, 2016) dan (Chen, 2017) memiliki perbedaan yang signifikan terhadap hasil proses smelting. Ini disebabkan penggunaan bijih nikel laterit yang berbeda yaitu limonit dan saprolit. Dari perbedaan ini juga dapat dilihat bahwa bijih nikel laterit saprolit yang memiliki rasio SiO_2/MgO tinggi lebih baik dalam perolehan kadar Ni dibandingkan bijih laterit limonit untuk kebutuhan industri feronikel.

Slag feronikel yang terbentuk memiliki pengaruh dalam proses smelting yang dilakukan. *Slag* feronikel merupakan senyawa ionik dan biasanya memiliki temperatur lebur sebesar $1500^\circ C$. *Slag* terbentuk dari kebanyakan Mg^{2+} , Fe^{2+} , dan anion seperti SiO_4^{4-} (Solar dkk., 2008). *Slag* sendiri di-*tapping* pada temperatur $50^\circ C$ di atas temperatur leburnya untuk memastikan *slag* berbentuk cair, bagus untuk pemisahan logam dengan *slag* serta memudahkan proses *tapping slag* (Crundwell, 2011). Viskositas *slag* berpengaruh pada perolehan kadar Ni dan Fe dalam konsentrat. Viskositas *slag* akan turun jika basisitas biner (MgO/SiO_2) meningkat (Xueming, 2015). Dengan viskositas *slag* turun dan menjaga fasa *liquid* pada *slag* dapat menyebabkan pertumbuhan partikel feronikel dan berkembangnya ukuran partikel feronikel. Basisitas yang optimal pada penelitian yang dilakukan oleh (Li dkk., 2015) berada pada kisaran 0.8-1.2.

Dalam *review* jurnal ini, terdapat beberapa kasus yang tidak dibahas namun memengaruhi selama proses *smelting* berlangsung. Faktor-faktor yang mempengaruhi di antaranya waktu *smelting* serta ukuran partikel jenis reduktan dan bijih nikel. Secara teoritis, semakin lama waktu proses reduksi,

intensitas puncak fasa logam juga akan semakin meningkat dan intensitas pengotor akan turun (Hakim, 2017). Namun, waktu *smelting* juga dapat mengurangi jumlah reduktan yang tersedia seiring bertambahnya waktu dan mengakibatkan sebagian nikel dan besi yang telah tereduksi menjadi reoksidasi kembali dan nikel oksida yang terbentuk bereaksi dengan magnesium silikat dan terbawa ke *tailing* (Forster, 2016).

Dalam jurnal penelitian (Sihotang, 2018) ; (Li dkk., 2016) ; (Zhu, 2016) ; dan (Yildirim, 2013) juga menunjukkan hal yang sama. Pada jurnal penelitian (Li dkk., 2016) ; (Zhu, 2016) ; dan (Yildirim, 2013), waktu *smelting* yang digunakan dalam proses sebesar 20-50 menit menunjukkan peningkatan pada kadar dan *recovery* Ni. Sebaliknya, pada jurnal (Sihotang, 2018) menunjukkan penurunan kadar Ni dengan rentang waktu *smelting* 50-110 menit. Ini menunjukkan keselarasan hasil penelitian dengan teori. Waktu *smelting* yang optimal menurut (Li dkk., 2016) adalah 30 menit.

Ukuran partikel pereaksi seperti karbon berpengaruh pada proses reduksi logam. Semakin kecil partikel karbon maka semakin luas permukaan yang memungkinkan terjadi reaksi, sehingga laju pembentukan CO semakin tinggi (Putra, 2012). Penelitian tentang pengaruh ukuran partikel telah dilakukan dengan reduktan arang cangkang sawit oleh (Supriyatna, 2019) yang menunjukkan ukuran partikel yang optimal untuk digunakan sebesar -80#100 *mesh*. Namun, dari hasil yang ditunjukkan belum signifikan. Karena menurut (Standish dkk., 1990), ukuran partikel sangat penting dalam proses walau tidak selalu konsisten dalam faktor pemanasan material granular. Dari penelitian yang dilakukan oleh (Ross, 1980), dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran partikel bijih maka kecepatan reduksi Fe akan semakin cepat. Kecepatan reduksi dapat memengaruhi efektifitas reduksi sehingga ada peningkatan kadar Fe pada partikel yang besar. Kecepatan reaksi reduksi bijih mineral juga dapat disebabkan oleh porositas bijih. Perlu adanya penelitian lebih

lanjut untuk faktor-faktor yang dapat memengaruhi proses guna mendapatkan hasil yang maksimal.

Dari seluruh penelitian yang sudah dilakukan dan dilampirkan dalam jurnal di atas, dapat dikatakan hampir semua reduktan yang memiliki *fixed carbon* tinggi memiliki efek pereduksi yang juga tinggi dan dapat dilihat dari kadar serta *recovery* yang diperoleh Ni dan Fe. Serta di sisi lain, proses *smelting* bijih nikel laterit juga akan optimal apabila memiliki temperatur $>1400^{\circ}\text{C}$ serta ketersediaan karbon dari reduktan yang dipakai lebih dari 50%. Dari jenis reduktan yang dipakai dalam penelitian jurnal di atas, secara umum jenis reduktan yang paling bagus digunakan adalah kokas. Kokas memiliki *fixed carbon* yang tinggi sebesar 85.88% serta didapatkan *recovery* Ni sebesar 99.8% dan *separation efficiency* sebesar 90.1% dalam penelitian yang dilakukan oleh (Chen, 2017). Kandungan *fixed carbon* yang tinggi menyebabkan ketersediaan gas CO yang tinggi untuk mereduksi logam nikel dan besi pada bijihnya melalui reaksi Boudouard (Suharto, 2014).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penelitian yang dilakukan dalam jurnal penelitian yang ditinjau didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Reduktan dapat memengaruhi hasil perolehan kadar Ni dan Fe dalam produk hasil *smelting*. Hal ini disebabkan oleh kadar *fixed carbon* yang terdapat dalam reduktan menjadi penyedia karbon utama untuk mereduksi oksida logam. Dengan tingginya kadar *fixed carbon* dalam reduktan, maka semakin optimal perolehan logam yang dibutuhkan dalam proses *smelting*. Perolehan kadar Ni dan Fe tertinggi sebesar 22.1% dengan reduktan batu bara dan 87.65% dengan reduktan *pulverized coke* pada bijih nikel saprolitik serta kadar Ni dan Fe tertinggi sebesar 8.52% dengan reduktan antrasit dan 92.8% dengan reduktan arang cangkang sawit pada bijih nikel limonitik.
2. Perolehan *recovery* Ni dan Fe tertinggi sebesar 99.8% dengan reduktan kokas dan 88.63% dengan reduktan *pulverized coke* pada bijih nikel laterit saprolitik serta *recovery* Ni dan Fe tertinggi sebesar 94.8% dan 97.69% dengan reduktan antrasit pada bijih nikel laterit limonitik.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian mendatang agar diperoleh hasil proses *smelting* bijih nikel laterit yang lebih baik adalah sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut terhadap hasil proses *smelting* dengan memvariasikan penambahan fluks selama proses.

-
2. Melakukan penelitian lebih lanjut terhadap hasil proses *smelting* dengan memvariasikan ukuran partikel reduktan yang digunakan selama proses.
 3. Melakukan penelitian lebih lanjut terhadap hasil proses *smelting* dengan memvariasikan penambahan fluks dengan menggunakan tipe *vaniukov furnace*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhilasa, G., Pintowantoro S. (2014). **Pengaruh Penambahan Flux Dolomite Pada Proses Converting Pada Tembaga Matte Menjadi Blister**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Anderson, C.G. (2016). **Pyrometallurgy Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**. Kroll Institute for Extractive Metallurgy
- Andika, R., dkk., (2019). **Effect of flux addition and reductant type in smelting process of Indonesian limonite ore in electric arc furnace**, IOP Conference Series : Materials Science and Engineering
- Anggarda, D.Y., Pintowantoro, S., (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**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Astuti, W., dkk., (2016). **Comparison of Atmospheric Citric Acid Leaching Kinetics of Nickel from Different Indonesian Saprolitic Ores**, Hydrometallurgy
- Astuti, W., dkk., (2018). **Effect of basicity and reductant amount in the nickel pig iron (NPI) production from Indonesian limonite ore in submerged electric arc furnace (SAF)**. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering
- Aswati, N. (2011). **Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Indonesia Melalui Teknik Slurry Dewatering**. Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Bangalino, M. (2009). **Pengaruh Penambahan Reduktor Sub-Bituminous Dan Briket Kokas Kadar 10%, 13%, 15%, 20% Terhadap Produk Reaksi Karbotermik Bijih Nikel Saprolit**. Program Studi Teknik Metalurgi dan Material FTUI, Depok

-
- Billah, M., (2010), **Peningkatan Nilai Kalor Batubara Peringkat Rendah Dengan Menggunakan Minyak Tanah Dan Minyak Residu**, Surabaya : UPN PRESS
- Carvalho-e-Silva, M. L., dkk., (2003). **Incorporation of Ni into natural goethite: An investigation by X-ray absorption spectroscopy**, *American Mineralogist*, 88, 876–882
- Cao, C., dkk., (2016). **Making Ferronickel from Laterite Nickel Ore by Coal-Based Self-Reduction and High Temperature Melting Process**. *International Journal of Nonferrous Metallurgy*, 5, 9-15
- Chen, Y., dkk., (2017). **Two-stage reduction for the preparation of ferronickel alloy from nickel laterite ore with low Co and high MgO contents**. *International Journal of Minerals, metallurgy, and Materials*, 24, 5, 512
- Crundwell, F. K., dkk., (2011), **Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt, and Platinum-Group Metals**, Amsterdam
- Dariraj, V.P., Manikandan, J. (2017). **Design and fabrication Sieveing Machine**. *International Journal of Pure Applied Mathematics*
- Farrokhpay, S., dkk., (2018). **Characterization of Weda Bay nickel laterite ore from Indonesia**. France, *Journal of Geochemical Exploration*
- Ferreira, S.L.C, dkk. (2017). **Atomic Absorption Spectroscopy – A Multi Element Technique**. *Trends in Analytical Chemistry*
- Forster, J., dkk., (2015). **Microwave Carbothermic Reduction Roasting Of A Low Grade Nickeliferous Silicate Laterite Ore**. *Minerals Engineering*, pp. 1-10.
- Garces-Granda, A., dkk., (2018), **The effect of calcination as pre treatment to enhance the nickel extraction from low-grade laterites**, *Minerals Engineering Elsevier Ltd*.
- Habashi, F., (1997), **Handbook of Extractive Metallurgy**, Federal Republic of Germany *Wiley VCH*
-

-
- Hang, G., dkk., (2020). **Mechanism of Calcium Sulphate on the Aggregation and Growth of Ferronickel Particles in the Self-Reduction of Saprolitic Nickel Laterite Ore.** *Metals* 2020
- Hakim, M.I., dkk., (2017). **Peningkatan Kadar Nikel Bijih Limonit Melalui Proses Reduksi Selektif Dengan Variasi Waktu Dan Persen Reduktor,** Pusat Penelitian Metalurgi LIPI
- Handayani, M., dkk., (2016). **Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor Terhadap Perolehan Persen Metalisasi Hasil Reduksi Bijih Besi dari Kalimantan.** *Jurnal Material Metalurgi Indonesia*
- Harjanto, S., Ulum R.M., (2015). **SiO₂/MgO Ratio Effect on Carbothermic Reaction of Synthetic Nickeliferrous Mixtures,** *Advanced Materials Research* Vol. 1112 pp 542-545
- Jamaludin, A., Adiantoro D., (2012). **Analisis Kerusakan XRF (X-Ray Fluorescence),** BATAN
- Jeffes, J.H.E (2001); **Ellingham Diagram,** *Encyclopedia of Material: Science and Technology* (Second Edition), Pages 2751-2753
- Kadir, A.R. dkk., (2016), **Analisis Proksimat Terhadap Kualitas Batubara Di Kecamatan Tanah Grogot Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur.** *Jurnal Geomine*, 4, 118-122.
- Kambuna, Bening N.H., (2018). **Pengujian Pengaruh Temperatur dan Waktu Pemanasan Terhadap Nilai Indeks Shatter Pelet Debu Pabrik Feronikel.** Banten, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Kawahara, M., dkk., (1988). **Reducibility of Laterite Ore.** *Metallurgical Transaction B.* 19B 181 – 186.
- Khoo, J. Z., dkk., (2016). **A Life Cycle Assesment Of A New Laterite Processing Technology,** *Journal of Cleaner Production*, 1-16.
-

-
- Li, G., dkk., (2013). **Effect of Basicity on Sintering Behavior of Saprolitic Nickel Laterite in Air.** *Powder Technology* , 249, 212-219
- Li, G., dkk., (2015). **Effect of Quaternary Basicity on Melting Behavior and Ferronickel Particles Growth of Saprolitic Laterite Ores in Krupp–Renn Process,** ISIJ International, Vol. 55 (2015), No. 9, pp. 1828–1833
- Li, G., dkk., (2016). **Ferronickel Preparation From Nickeliferous Laterite By Rotary Kiln-Electric Furnace Process.** The Minerals, Metals & Materials Society
- Moats, M. S., & Davenport W.G., (2014), **Nickel and Cobalt Production, USA,** *Treatise on Process Metallurgy*
- Mudd, G. M., (2009). **Nickel Sulfide Versus Laterite : The Hard Sustainability Challenge Remains.** Victoria, Environmental Engineering Monash University
- Nagata K., dkk., (2001), **Mechanisms of Pig-iron Making from Magnetite Ore Pellets Containing Coal at Low Temperature,** ISIJ International
- Pintowantoro, S., Abdul, F., (2019). **Selective Reduction of Laterite Nickel Ore,** *Material Transactions*, 60, 11, pp 2245 to 2254
- Polyakov, O., (2013). **Technology of Ferronickel : Handbook of Ferroalloys**
- Prameswara, B, (2013). **Analisis Pengaruh Variasi Jenis Batubara Dalam Proses Aglomerasi Bijih Nikel Laterit Terhadap Kadar Ni dan Fe serta Morfologi Aglomerat Sebagai Umpan Mini Blast Furnace.** Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Prasetyo. Agus Budi, dkk. (2014). **Optimasi Proses Reduksi Bijih Nikel Laterit Jenis Limonit Sebagai Bahan Baku NPI (Nickel Pig Iron).** LIPI
- Putra, E.M., (2012). **Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Optimasi Derajat Reduksi Fe Pada Bijih Laterit Low Grade,** Universitas Indonesia
-

-
- Rao, M., dan Li G., (2013). **Carbothermic Reduction of Nickeliferrous Laterite Ores for Nickel Pig Iron Production in China : A Review**. *The Journal of the Materials*, 65, 1573-1583
- Rong, W., dkk., (2017). **Exergy assessment of a rotary kiln-electric furnace smelting of ferronickel alloy**, Energy, Northeastern University, China
- Ross, H.U., (1980). **Physical Chemistry**, Chapter 3, “**Direct Reduced Iron Technology and Economics of Production and Use**”, The Iron and Steel Society of AIME, Warrendale
- Sarangi, A. dan Sarangi, B., (2011). **Sponge iron production in rotary kiln** ; PHI Learning, New Delhi, Halaman 183-193
- Setiawan, I., (2016). **Pengolahan Nikel Laterite Secara Pirometalurgi**, Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI
- Sihotang, I.H., dkk., (2018). **The Effect of Smelting Time and Composition of Palm Kernel Shell Charcoal Reductant toward Extractive Pomalaa Nickel Laterite Ore in Mini Electric Arc Furnace**, AIP Conference Proceedings
- Solar, M.Y., dkk., (2008). **Selection of optimum ferronickel grade for smelting nickel laterites**, CIM Bulletin 11, 1107
- Solihin., (2015). **Synthesis of Nickel Containing Pig Iron (NCPI) by Using Limonite Type of Lateritic Ore From South East Sulawesi**. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- Standish, N., dkk., (1990). **Particle Size Effect in Microwave Heating of Granular Material**. Powder Metallurgy, 66 : 225-230
- Subagja, R., dkk., (2016). **Peningkatan Kadar Nikel Dalam Laterit Jenis Limonit Dengan Cara Peletasi, Pemangangan Reduksi Dan Pemisahan Magnet**
-

-
- Campuran Bijih, Batu Bara, Dan Na₂SO₄.** Metalurgi, pp. 103-115.
- Suharto, dkk. (2014). **Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor Pada Pembuatan Sponge Iron Menggunakan Teknologi Direct Reduced Iron Dalam Rotary Kiln**, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 10, 1, 15-21
- Suherman, J., (2018). **Supply Chain Analysis For Indonesian Nickel**, *Indonesia Mining Journal*, 21, No.1: 59-76
- Supriyatna, Y.I., dkk., (2012). **Study Penggunaan Reduktor Pada Proses Reduksi Pellet Bijih Besi Lampung Menggunakan Rotary Kiln**, Prosiding SNaPP2012 : Sains, Teknologi, dan Kesehatan ISSN 2089-3582
- Supriyatna, Y.I., dkk., (2019). **Preliminary Study of Smelting of Indonesian Nickel Laterite Ore using an Electric Arc Furnace**, Balikpapan, *Mineral Technology, Indonesian Institute of Sciences*
- Stratton, P. (2013). **Ellingham diagrams – their use and misuse**, *International Heat Treatment and Surface Engineering*, 70-73.
- Tsymbolov, L.B., dkk., (2011). **Oxide Nickel Ores Smelting of Ferronickel in Two-Zone Vaniukov Furnace**. Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum
- Utigard, T., Bergman R.A., (1992). **Gaseous Reduction of Laterite Ore**, *Metallurgical Transaction B*. 23B 271 – 275.
- Warner, A.E.M., dkk., (2006). **JOM World Nonferrous Smelter Survey, Part III: Nickel: Laterite**, *JOM A Publication of The Minerals, Metals, and Materials Society* April 2006: 11-20
- Wills, B.A., (2016). **Wills' Mineral Processing Technology**. Elsevier
- Xiang, D., dkk., (2018). **A Chemical Looping Scheme of Co-Feeding of Coke-Oven Gas and Pulverized Coke**
-

-
- Toward Polygeneration of Olefins and Ammonia**, Chemical Engineering Journal Elsevier
- Xueming, dkk., (2015). **Viscosity of SiO₂-MgO-Al₂O₃-FeO Slag for Nickel Laterite Smelting Process**, The Fourteenth International Ferroalloys Congress
- Yang, Y., dkk., (2004). **Analysis of Transport Phenomena in Submerged Arc Furnace for Ferrochrome Production**. In Proceedings of the 10th International Ferroalloys Congress, INFACON X, pages 15–25,
- Yildirim, H., dkk., (2013). **Nickel Pig Iron Production from Lateritic Nickel Ores**. The thirteenth International Ferroalloys Congress
- Zhou, Z., dkk., (2005). **Arc/Spark Optical Emission Spectrometry: Principles, Instrumentation, and Recent Applications**, Sichuan University, China
- Zhu D.Q., dkk., (2012). **Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation**. *International Journal of Mineral Processing.*, vol 106-109, pp. 1-7
- Zhu, D., dkk., (2016). **Reduction Smelting Low Ferronickel from Pre-Concentrated Nickel-Iron Ore of Nickel Laterite**. *High Temperature Materials Processes*, 1-6
- www.agromaret.com
- www.geology.com
- www.hildstrom.com
- www.malmachina.com
- www.muffle-furnace.com
- www.vacfurnace.com
- Foshan Hengyang Furnace Manufacturing
Zhengzhou Hengxing Heavy Equipment
-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis yaitu Ibu Ita Nuraini dan Ayah Heri Santoso, S.T. serta keluarga di rumah. Berkat bantuan material, moral, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Bagas, Najib, Naufal, Afni, Eka serta penghuni lainnya kontrakan One Direction yang selalu mendukung dan mendengarkan keluh kesah penulis di setiap kegiatan.
3. Obed, Aldi, Mas Margo Utomo selaku kerabat Go-Kost yang telah menemani serta memberi ide dan pandangan baru kepada penulis selama menjalani masa perkuliahan.
4. Najib, Hangga, Mas Erwin, dan Mas Ivan selaku penghuni kos Matrice yang senantiasa menemani penulis selama berkuliah di DTMM ITS.
5. Muhammad Fadel Devinto selaku rekan TA penulis dan seluruh penghuni lab yang telah membagi ilmu, menemani, berjuang bersama di laboratorium pengolahan mineral.
6. Bagas Dwi Putra selaku rekan penulis dalam menjalankan kegiatan Pengaderan Massal Terbatas (PMT) 18/19 yang senantiasa menemani, membantu, serta menjadi tempat bercerita dan berdiskusi penulis.
7. Tim PSDM-SC 17/18 dan 18/19 yang telah memberi penulis pelajaran dan pengalaman selama berkuliah di DTMM ITS.
8. Teman – teman MT18 dan angkatan 2016 yang telah memberikan kesan dan menemani penulis selama masa perkuliahan penulis.

9. Seluruh mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan pelajaran dan cerita selama masa perkuliahan penulis.
10. Teman – teman MM Familia yang telah menemani dan menjadi tempat berkeluh kesah penulis di Tulungagung, Malang, maupun Surabaya.
11. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Akhir kata, semoga tugas akhir review jurnal ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2020
Penulis

Radite Surya Gumelar
NRP. 0251164000068

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Radite Surya Gumelar lahir di Tulungagung, 23 Oktober 1998 dari orang tua yang bernama Heri Santoso, S.T. dan Ita Nuraini. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Kampungdalem 6, lalu melanjutkan ke SMPN 1 Tulungagung dan SMAN 1 Boyolangu, Tulungagung.

Penulis menempuh pendidikan tinggi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis masuk ke perkuliahan pada tahun 2016 atau angkatan MT18. Penulis aktif berorganisasi di HMMT ITS dan menjadi staf Medfo HMMT ITS 17/18 serta SC Pengaderan Massal Terbatas (PMT) 17/18. Penulis juga menjadi Koordinator SC PMT 18/19 serta staf ahli PSDM HMMT 18/19. Penulis juga telah melakukan kerja praktek di PT Universal Tekno Reksajaya yang melakukan pembelajaran di bidang re-manufaktur serta PT Antam UBPN Sultra di bidang ekstraksi. Penulis memilih metalurgi ekstraksi sebagai minat penelitian dan bergabung dengan laboratorium pengolahan mineral untuk penyusunan tugas akhir. Alamat sur-el penulis : raditesurya@gmail.com