



TUGAS AKHIR - TL184834

**STUDI PENGARUH VARIASI MASSA
LIMESTONE TERHADAP KADAR Ni DAN Fe,
RECOVERY Ni DAN Fe, SERTA SENYAWA
PADA PRODUK LOGAM DAN SLAG PADA
PROSES SMELTING BIJIH NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN MINI BLAST FURNACE**

**PATRICK CHRISTOPHER PANGGABEAN
NRP. 0251154000056**

**Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, Ph.D
Fakhreza Abdul, S.T, M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



TUGAS AKHIR - TL184834

**STUDI PENGARUH VARIASI MASSA
LIMESTONE TERHADAP KADAR Ni DAN Fe,
RECOVERY Ni DAN Fe, SERTA SENYAWA
PADA PRODUK LOGAM DAN SLAG PADA
PROSES SMELTING BIJIH NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN MINI BLAST FURNACE**

**PATRICK CHRISTOPHER PANGGABEAN
NRP. 0251154000056**

**Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, Ph.D
Fakhreza Abdul, S.T, M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL184834

STUDY ON THE EFFECT OF LIMESTONE MASS VARIATION TO THE CONCENTRATION OF Ni AND Fe, RECOVERY OF Ni AND Fe, AND THE METAL AND SLAG COMPOUND OF NICKEL LATERITE SMELTING PROCESS USING MINI BLAST FURNACE

**PATRICK CHRISTOPHER PANGGABEAN
NRP. 0251154000056**

**Advisors:
Sungging Pintowantoro, Ph.D
Fakhreza Abdul, S.T., M.T**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH VARIASI MASSA LIMESTONE
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe, RECOVERY Ni
DAN Fe, SERTA SENYAWA PADA PRODUK
LOGAM DAN SLAG PADA PROSES SMELTING
BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN MINI
BLAST FURNACE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

PATRICK CHRISTOPHER PANGGABEAN
NRP. 0251154000056

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sungging Pintowantoro, Ph.D..... (Pembimbing I)
2. Fakhreza Abdul..... (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH VARIASI MASSA LIMESTONE
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe, RECOVERY Ni DAN Fe,
SERTA SENYAWA PADA PRODUK LOGAM DAN SLAG
PADA PROSES SMELTING BIJIH NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN MINI BLAST FURNACE**

Nama Mahasiswa : Patrick Christopher Panggabean
NRP : 0251154000056
Jurusan : Departemen Teknik Material
Dosen Pembimbing I : Sungging Pintowantoro, Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Fakhreza Abdul S.T, M.T.

Abstrak

Nikel laterite merupakan bahan baku nikel masa depan. Ini dikarenakan bahan baku nikel sulfida semakin berkurang sedangkan permintaan nikel sebagai bahan baku stainless steel semakin meningkat. Mengolah nikel laterit lewat Smelting menggunakan Blast Furnace menjadi penting karena kemampuan produksi yang tinggi. Pada pengolahan nikel laterite menggunakan Blast Furnace digunakan Limestone sebagai fluks. Limestone ini penting untuk dipelajari karena penggunaan Limestone sebagai fluks dapat menyebabkan kadar dan recovery nikel dan besi yang optimal. Variable massa Limestone yang digunakan adalah sebesar 7,5 kg, 8,5 kg, dan 9,5 kg. proses Smelting diawali dengan preparasi bahan baku berupa bijih nikel laterit, Limestone, dan batu bara, kemudian proses dilaksanakan pada temperatur 1700 °C dengan residence time 105 menit. Produk lalu dicetak dan di uji EDX untuk mengetahui kandungan unsur, dan XRD untuk mengetahui kandungan senyawa. Setelah analisis menggunakan data yang didapat lewat pengujian maka didapatkan bahwa massa Limestone 9,5 kg menghasilkan kadar Ni terbaik yaitu 30,57%, dan massa Limestone 8,5 kg menghasilkan kadar Fe terbaik yaitu 72,53%. Recovery Ni dan Fe terbaik didapatkan lewat massa Limestone 8,5 kg yaitu 64,30% dan 10,13%. Senyawa yang terbentuk pada produk logam

adalah FeNi, sedangkan senyawa yang terbentuk pada produk Slag adalah AlO_2 , CrO_3 , $NiFe_2O_4$, dan $CaMgO_6SiO_2$.

Kata kunci : Smelting, Nikel Laterit, Kadar, Fasa, Recovery

**STUDY ON THE EFFECT OF LIMESTONE MASS
VARIATION TO THE CONCENTRATION OF Ni AND Fe,
RECOVERY OF Ni AND Fe, AND THE METAL AND
SLAG COMPOUND OF NICKEL LATERITE SMELTING
PROCESS USING MINI BLAST FURNACE**

Name : Patrick Christopher Panggabean
NRP : 02511540000056
Department : Departemen Teknik Material
Advisor : Sungging Pintowantoro, Ph.D.
Co-Advisor : Fakhreza Abdul S.T, M.T.

Abstract

Nickel laterite is the future of nickel. This statement is proven by the diminishing of the nickel sulphide and the rise of the demand for stainless steel. Smelting of nickel laterite using Blast Furnace becomes important because its high production rate and low operational cost. Limestone is used in Blast Furnace processing of nikel laterite as flux. This too is important because utilizing Limestone as flux in the right way will yield the best product concentration and recovery. The objectives of the study is to find the best mass variation of Limestone for smelting nickel laterite. The Limestone mass variations are 7,5 kg, 8,5 kg, and 9,5 kg. Smelting process begins with the preparation of feed material which consists of ore, Limestone, and coal, then smelting process operate at the temperature of 1700 °C for 105 minutes. The product is then cast and tested using EDX for elemental composition and XRD for compound composition. After analyzing using the data acquired it is found that the best Ni concentration of 30,57% is achieved using 9,5 kg Limestone, the best Fe concentration by using 8,5 kg Limestone at 72,53%. The best recovery of Ni and Fe of 64,30% and 10,13% respectively are achieved using 8,5 kg Limestone. The compound of the metal product are FeNi and AlO₂, CrO₃, NiFe₂O₄, dan CaMgO₆SiO₂ for Slag.

***Keywords : Smelting, Nickel Laterite, Concentration,
Phase, Recovery***

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera untuk kita semua.

Puji syukur kehadiran Tuhan YME yang telah memberikan bimbinganNya sehingga Tugas Akhir “**STUDI PENGARUH VARIASI MASSA LIMESTONE TERHADAP KADAR Ni DAN Fe, RECOVERY Ni DAN Fe, SERTA SENYAWA PADA PRODUK LOGAM DAN SLAG PADA PROSES SMELTING BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN MINI BLAST FURNACE**” dapat tercipta. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan studi yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak yang telah membantu selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini:

1. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material yang telah banyak memberikan arahan dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Fakhreza Abdul, S.T. M.T yang telah menuangkan segala bimbingan, ilmu dan gemblengan mengenai Tugas akhir dan kehidupan.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M. Eng selaku ketua Departemen Teknik Material
4. Orang tua, bibi, dan saudara penulis yang selalu mendukung penulis di setiap kegiatan.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Adapun Penulis meminta maaf atas segala kesalahan yang ada di Laporan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Nikel.....	5
2.2 Nikel Laterit.....	6
2.3 Batu Bara.....	8
2.4 <i>Limestone</i>	11
2.5 Ekstraksi Nikel Laterit.....	12
2.6 <i>Mini Blast Furnace</i>	18
2.7 Ferronickel.....	20
2.8 Termodinamika Smelting.....	22
2.9 Penelitian Sebelumnya.....	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Bahan Penelitian.....	32
3.2.1 Bijih Nikel Laterit.....	33
3.2.2 Batu Bara.....	33
3.2.3 <i>Limestone</i>	34
3.2.4 <i>Sinter</i>	34
3.3 Peralatan Penelitian.....	35
3.3.1 <i>Mini Blast Furnace</i>	35

3.3.2	<i>Sintering Bed Furnace</i>	35
3.3.3	Timbangan Digital	36
3.3.4	<i>Sieve</i>	37
3.3.5	Thermocouple dan Thermometer Infrared	37
3.3.6	Blower.....	38
3.3.7	Anemometer.....	38
3.4	Pelaksanaan Penelitian	39
3.4.1	Preparasi Material	39
3.4.2	Proses <i>Smelting</i>	39
3.4.3	Pengujian Sampel	41
3.5	Neraca Massa <i>Smelting</i> Nikel Laterit.....	47
3.6	Rancangan Penelitian	48
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1	Karakterisasi Bahan Penelitian	49
4.1.1	Karakterisasi Bijih Nikel Laterit.....	49
4.1.2	Karakterisasi Batu Bara	50
4.1.3	Karakterisasi <i>Limestone</i>	51
4.1.4	Karakterisasi <i>Sinter</i>	53
4.2	Pengaruh Variasi Massa <i>Limestone</i> Terhadap Kadar Ni dan Fe pada produk Ferronickel dan <i>Slag</i>	54
4.3	Pengaruh Variasi Massa <i>Limestone</i> terhadap <i>Recovery</i> Ni dan Fe.....	59
4.4	Pengaruh Variasi Massa <i>Limestone</i> Terhadap Senyawa Produk	61
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	77
UCAPAN TERIMA KASIH	115
BIODATA PENULIS	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Profil Persebaran Bijih Nikel Laterit pada Beberapa Lokasi di Dunia	7
Gambar 2.2	Nikel Laterit.....	8
Gambar 2.3	Limestone	12
Gambar 2.4	Proses Pengolahan Ferronickel dari Nickel Saprolit	13
Gambar 2.5	Proses Pengolahan Nickel dari Nickel Limonit	15
Gambar 2.6	Diagram Fasa Ternary Sistem SiO ₂ , CaO, dan MgO	17
Gambar 2.7	Daerah - Daerah Dalam Kupola Serta Persebaran Temperaturnya Dalam Fahrenheit	19
Gambar 2.8	Mini Blast Furnace Dengan Tambahan Water Scrubber	20
Gambar 2.9	Ferronickel.....	21
Gambar 2.10	Diagram Ellingham.....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 3.2	Bijih Nikel Laterit.....	33
Gambar 3.3	Batu Bara <i>Sub-Bituminous</i>	33
Gambar 3.4	Limestone	34
Gambar 3.5	Sinter.....	34
Gambar 3.6	Mini Blast Furnace	35
Gambar 3.7	Sintering Bed Furnace	36
Gambar 3.8	Timbangan Digital	37
Gambar 3.9	<i>Sieve</i>	37
Gambar 3.10	(a)Thermocouple (b)Thermometer Infrared	38
Gambar 3.11	Blower	38
Gambar 3.12	Anemometer	39
Gambar 3.13	Mesin Uji EDX.....	41
Gambar 3.14	Mesin Uji XRD PAN Analytical	42
Gambar 4.1	Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit	50

Gambar 4.2	Hasil Pengujian XRD Limestone.....	52
Gambar 4.3	Hasil Pengujian XRD Sinter.....	53
Gambar 4.4	Pengaruh Massa Limestone terhadap Kadar Ni Ferronickel.....	55
Gambar 4.5	Pengaruh Massa Limestone terhadap Kadar Fe Ferronickel.....	56
Gambar 4.6	Pengaruh Variasi Massa Limestone terhadap Kadar Ni di Produk Slag.....	58
Gambar 4.7	Pengaruh Variasi Massa Limestone terhadap Kadar Fe pada Produk Slag.....	59
Gambar 4.8	Pengaruh Massa Limestone Terhadap Recovery Ni Ferronickel.....	60
Gambar 4.9	Pengaruh Massa Limestone Terhadap Recovery Fe Ferronickel.....	61
Gambar 4.10	Hasil Analisis XRD Produk Logam Untuk Masing – Masing Variasi Massa Limestone	63
Gambar 4.11	Hasil Analisis XRD Produk Slag Untuk Masing – Masing Variasi Massa Limestone	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Proporsi Nikel Sebagai Bahan Baku Industri	5
Tabel 2.2	Perbandingan dari Kelas - Kelas Batu Bara.....	10
Tabel 2.3	Perbandingan Densitas Energi dari Batu Bara, Minyak Mentah, dan Gas Alam	11
Tabel 2.4	Mineral yang Diasosiasikan dengan Limestone	11
Tabel 2.5	Grade dari Ferronickel dan Karakteristiknya.....	22
Tabel 3.1	Dimensi Sintering Bed Furnace.....	36
Tabel 3.2	Target Smelting Nikel Laterit	47
Tabel 3.3	Perbandingan Komposisi Bijih, Sinter, Limestone dan Batu Bara.....	47
Tabel 3.4	Rancangan Penelitian.....	48
Tabel 4.1	Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit	49
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batu Bara.....	51
Tabel 4.3	Hasil Pengujian EDX Limestone.....	51
Tabel 4.4	Hasil Pengujian EDX Sinter	53
Tabel 4.5	Identifikasi Fasa pada Produk Sinter	54
Tabel 4.6	Fasa – Fasa Yang Terbentuk Pada Produk Logam Untuk Masing – Masing Variasi Massa Limestone	63
Tabel 4.7	Fasa – Fasa Yang Terbentuk Pada Produk Slag Untuk Masing – Masing Variasi Massa Limestone	66
Tabel 4.8	Identifikasi Tiap Peak pada Grafik XRD Slag 1	68
Tabel 4.9	Identifikasi Tiap Peak pada Grafik XRD Slag 2	69
Tabel 4.10	Identifikasi Tiap Peak pada Grafik XRD Slag 3	70

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel adalah salah satu logam yang penting dalam perkembangan peradaban manusia. Semenjak Harry Brairley menemukan bahwa pemaduan baja dengan nikel dan kromium menciptakan baja yang memiliki ketahanan karat, konsumsi dari nikel semakin bertambah. Bijih nikel yang ditambang diklasifikasikan kedalam dua jenis bijih yaitu bijih nikel laterit dan bijih nikel sulfida. Cadangan bijih nikel laterit di dunia ini lebih besar daripada bijih nikel sulfide, dimana bijih nikel laterit memiliki cadangan sebesar 70% dari total cadangan bijih nikel di dunia. Walaupun demikian, produksi nikel di dunia didominasi oleh bijih nikel sulfide, dimana produksi nikel dari bijih nikel sulfide menyumbang 60% dari total produksi nikel dunia (Crundwell, 2011).

Indonesia adalah salah satu dari sedikit negara di dunia yang memiliki cadangan melimpah bijih nikel. Cadangan bijih nikel di Indonesia sebesar 3,9 juta ton, dari total 74 juta ton cadangan bijih nikel di dunia. Angka ini menempatkan Indonesia di posisi ke 6 dari cadangan nikel di seluruh dunia, dan posisi ke 3 cadangan bijih nikel laterit, setelah New Caledonia dan Filipina (Zhai, 2010).

Saat ini cadangan bijih nikel sulfide di dunia semakin menipis, sehingga produksi menggunakan bijih nikel laterit untuk mendapatkan nikel semakin digencarkan. Kendati demikian pembuatan nikel menggunakan bijih nikel laterit belum optimal dan masih perlu pengembangan sehingga dapat diperoleh potensi maksimal dari bijih nikel laterit (Jungah, 2010).

Bijih nikel laterit umumnya diolah menjadi produk ferronickel, nickel matte, atau nickel pig iron (NPI). Ferronickel adalah paduan yang umumnya terdiri atas 30% nikel dan 70% besi, umumnya digunakan sebagai bahan baku stainless steel dan baja paduan berbasis nikel lainnya (Crundwell, 2011). Produk berupa ferronickel unggul dibanding produk nikel dari bijih nikel laterit

yang lain dikarenakan proses pembuatannya yang relatif mudah dan cepat serta ferronickel sudah terstandarisasi oleh ISO sehingga untuk membuat produk paduan lanjutan dari ferronickel akan lebih mudah untuk mencapai produk yang konsisten (Crundwell, 2011).

Bijih nikel laterit sendiri terdiri atas dua jenis bijih, yaitu bijih nikel laterit saprolit, dan bijih nikel laterit limonit. Pengolahan dari bijih nikel laterit dapat dilaksanakan melalui dua metode yaitu metode pirometalurgi menggunakan *Mini Blast Furnace* atau reduction kiln untuk bijih nikel laterit saprolit dan metode hidrometalurgi menggunakan HPAL (*High Pressure Acid Leaching*) untuk bijih nikel laterit limonit. (Crundwell, 2011). Saat ini sedang dicari metode yang dapat mengolah kedua jenis dari bijih nikel laterit ini (Duyvensteyn, 1979).

Salah satu komponen penting dalam proses pirometalurgi dari bijih nikel laterit adalah fluks, yaitu material basa yang digunakan untuk mengikat pengotor yang ada di bijih nikel laterit. Penggunaan material *Limestone* sebagai fluks pada proses piro metalurgi sudah umum adanya dan sudah sering digunakan pada pemrosesan bijih bijih logam lain. Adanya material *Limestone* jenis baru dengan jumlah yang melimpah dapat digunakan sebagai alternative material fluks pada pengolahan bijih nikel laterit menggunakan metode pirometalurgi di *Mini Blast Furnace*. (Crundwell, 2011).

Mempelajari *Limestone* sebagai fluks sangat penting karena penggunaan fluks dengan perbandingan yang tepat akan menyebabkan produk dengan konsentrasi Ni dan Fe yang tinggi dan *recovery* Ni dan Fe yang sesuai dengan harapan (Morcalli, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap kadar Ni dan Fe dalam produk logam dan *slag* yang dihasilkan pada proses *smelting* bijih nikel laterit?

-
2. Bagaimana pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap *recovery* Ni dan Fe dalam produk logam yang dihasilkan pada proses *smelting* bijih nikel laterit?
 3. Bagaimana Pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap kandungan senyawa dari produk logam dan *slag* yang dihasilkan pada proses *smelting* bijih nikel laterit?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisis masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Komposisi dari bijih nikel laterit, batu bara, dan *Limestone* yang digunakan diasumsikan homogen.
2. Ukuran partikel dari bijih nikel laterit, batu bara, dan *Limestone* yang digunakan diasumsikan sama pada setiap proses.
3. Laju aliran udara dianggap sama.
4. Temperatur selama proses *smelting* dianggap sama pada setiap proses.
5. Waktu tahan dari pada proses dianggap sama.
6. Bahan baku nikel laterit dan *Limestone* didapatkan dari Sulawesi Tenggara, batu bara dari Kalimantan Selatan, dan *Sinter* dari produksi Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap kandungan senyawa dari produk logam dan *slag* yang dihasilkan pada proses *smelting* bijih nikel laterit.
 2. Menganalisis pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap kadar Ni dan Fe dalam produk logam dan *slag* yang dihasilkan pada proses *smelting* bijih nikel laterit.
 3. Menganalisis pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap *recovery* Ni dan Fe dalam produk logam yang dihasilkan pada proses *smelting* bijih nikel laterit.
-

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (variasi massa *Limestone*) yang optimal untuk meningkatkan *recovery* Ni dan Fe pada ferronickel dan kadar Ni dan Fe pada ferronickel pada proses smelting bijih nikel laterit yang berasal dari Sulawesi Tenggara menggunakan *Mini Blast Furnace*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel adalah mineral logam transisi yang terletak di periode IV pada table periodik unsur. Nikel memiliki nomor atom 28, massa atom relative 58,71 gr/mol dan massa jenis 8907 kg/m³. Nikel adalah unsur kelima paling banyak di muka bumi dengan persentase sebesar 1,8% dari total unsur di bumi. (Everhart, 1971) Indonesia adalah negara penghasil nikel, dalam satu tahun Indonesia diperkirakan akan menghasilkan 203 ribu ton nikel dalam bentuk ferronickel, nickel matte, dan nickel pig iron. Jumlah ini merupakan 1/7 dari total produksi dunia yang ada di angka 1,4 juta ton nickel per tahunnya. (Crundwell, 2011). Nikel sendiri digunakan dalam berbagai macam produk di kehidupan manusia seperti sebagai paduan utama dari baja tahan karat (Stainless Steel), paduan super, teknologi pelapisan, dan baterai. Berikut adalah persentase penggunaan nikel dalam berbagai macam produk. Proporsi nikel ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Proporsi Nikel sebagai Bahan Baku Industri
(Crundwell, 2011)

<i>Category</i>	<i>Proportion of total consumption, %</i>
<i>Stainless Steel</i>	60
<i>Nickel-based alloys (for example, superalloys)</i>	14
<i>Alloy steels</i>	09
<i>Electroplating</i>	09
<i>Foundry (castings)</i>	03
<i>Batteries (for example, nickel cadmium)</i>	03
<i>Copper-based alloys (for example, monel)</i>	01
<i>Catalysts</i>	01

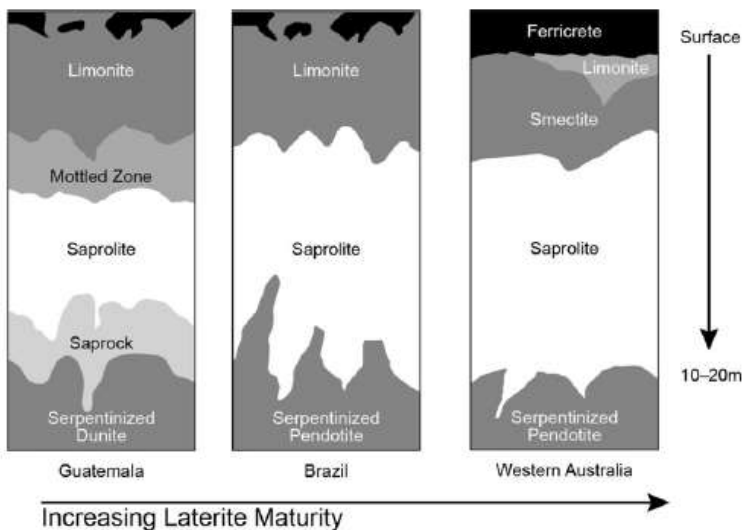
Nikel yang ditambang diklasifikasikan dalam dua jenis bijih yaitu bijih nikel laterit, dan sulfida. Nikel laterite adalah bijih kompleks yang terbentuk akibat proses pelapukan dasar laut yang terdorong ke daratan akibat proses tektonik pada kulit bumi. Kadar nikel dari dari nikel laterit yang layak ditambang berkisar 1,3% - 2,5%. Bijih jenis nikel laterit berlimpah dan menyusun 70% dari sumberdaya nikel total di dunia. Nikel laterit ditambang dengan metode penambangan terbuka yang tersebar di daerah tropis muka bumi seperti New Caledonia, Filipina dan Indonesia (Crundwell, 2011) Nickel sulfida adalah senyawa nikel yang terbentuk atas nikel dan sulfur. Nikel sulfida terbentuk karena keluarnya isi dari mantel bumi ke permukaan akibat proses tektonik, secara umum, nikel sulfida memiliki kadar nikel lebih tinggi daripada nikel laterit yaitu berkisar 1,5% - 3,0%. Nikel sulfida tersebar di daerah yang jauh dari garis khatulistiwa seperti Siberia, dan Afrika Selatan. Saat ini di dunia, produksi nikel dari bijih didominasi oleh proses menggunakan nikel sulfida dengan persentase sebesar 60% dari total produksi nikel di dunia.

2.2 Nikel Laterit

Menurunnya persediaan dan kualitas dari nikel sulfida di beberapa tahun terakhir menyebabkan timbulnya penelitian – penelitian untuk untuk memanfaatkan nikel laterite sebagai bahan baku produksi nikel yang baru. Nikel laterit memiliki beberapa kelebihan dibanding nikel sulfida yaitu, bahwa nikel laterite memiliki cadangan yang lebih melimpah dibanding nikel laterit, proses pengolahan nikel laterit (pirometalurgi) relatif lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan proses pengolahan nikel sulfida (hidrometalurgi) (Crundwell, 2011).

Nikel laterit sendiri terdiri atas dua jenis bijih yaitu bijih nikel limonit – smectit, dan bijih nikel saprolitik. Bijih nikel limonit – smectit terletak di bagian paling atas dari lapisan lapisan bijih nikel. Bijih nikel limonit - smectit sendiri dituliskan sebagai $(\text{Fe,Ni})\text{OOH}$ pada reaksi kimia. Nikel limonit – smectit memiliki kadar besi yang tinggi dan MgO yang rendah akibat leaching MgO dan SiO₂ yang dilakukan oleh sisa tanaman dan hewan yang

telah mati. Bijih nikel saprolitik terletak dibawah lapisan bijih limonit – smectit. Dalam reaksi kimia bijih ini disimbolkan sebagai $(Mg[Ni,Co])_3Si_2O_5(OH)_4$. nikel saprolit memiliki kadar MgO yang relatif tinggi dibanding dengan nikel limonit – smectit karena letaknya yang dalam menyebabkan proses leaching yang terjadi pada nikel saprolit lebih sedikit daripada nikel limonit – smectit (Crundwell, 2011). Profil Laterit ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Profil Persebaran Bijih Nikel Laterit pada Beberapa Lokasi di Dunia (Crundwell, 2011)

Mengetahui profil bijih dari tambang sangat penting adanya terhadap proses pengolahan nikel laterit, karena perbedaan jenis bijih akan menyebabkan cara yang berbeda untuk mengolah bijih tersebut. Nikel limonit – smectit akan tidak optimal hasilnya secara ekonomi apabila diolah dengan metode ferrometalurgi karena kadar besi yang terlalu tinggi, sedangkan nikel saprolit tidak akan optimal secara ekonomi apabila diolah dengan proses

leaching karena kadar MgO yang tinggi akan menyebabkan pembengkakan konsumsi asam pada proses leaching (Crundwell, 2011). Nikel laterit ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Nikel Laterit

2.3 Batu Bara

Batu bara adalah suatu bahan bakar hasil dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang hidup di masa pra – sejarah. Pada umumnya hewan dan tumbuhan yang mati akan membusuk dan terdaur ulang menjadi tanah, namun pada kondisi tertentu material ini tidak membusuk melainkan berkumpul menjadi satu dan terkubur jauh di dalam tanah dan menjadi batu bara. Jenis-jenis dari batu bara ditentukan oleh beberapa faktor yaitu umur penyimpanan, tipe sisa tanaman yang terkubur, serta temperatur dan tekanan yang dialami oleh sisa-sisa tumbuhan pada kedalaman tertentu (Breeze, 2015).

Batu bara diklasifikasikan berdasarkan kadar karbon dan kadar air di dalam batu bara tersebut. Batu bara kelas tinggi

memiliki kadar karbon tinggi dan kadar air rendah, batu bara kelas rendah sebaliknya. Kelas kelas dari batu bara sendiri adalah *anthracite*, *Bituminous coal*, *sub-Bituminous coal*, *lignite*, dan *peat*.

Anthracite adalah batu bara kelas terbaik, dengan kandungan karbon mencapai 92% dry content. *Anthracite* memiliki kadar air dan material volatile yang rendah sehingga saat dibakar menghasilkan polusi yang relatif sedikit dibanding batu bara jenis lain. Selain itu karena kadar karbonnya yang tinggi densitas energynya lebih tinggi daripada batu bara jenis lain, di angka 32 – 33 MJ/kg.

Batu bara dengan jumlah yang paling melimpah adalah batu bara *Bituminous*. Batu bara kelas ini memiliki kadar karbon antara 76% - 86%, kadar air 8% - 18%, dan material volatile 14% - 46%. Nama *Bituminous* sendiri datang dari kondisi dimana saat batu bara kelas ini dibakar, akan terbentuk suatu zat yang lengket. Batu bara ini sangat mudah terbakar terutama dalam kondisi telah dilumat dan digiling, sehingga amat cocok untuk aplikasi pembangkit tenaga.

Batu bara *sub-Bituminous* adalah batu bara dengan kadar karbon 70% - 86%, lebih rendah dari dua jenis batu bara sebelumnya, kadar air 18% - 38%, lebih tinggi daripada dua jenis batu bara sebelumnya, dan material volatile 42% - 53%. Batu bara kelas ini sangat mudah terbakar sehingga cocok digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit tenaga. Selain beberapa kualitas diatas, batu bara *sub-Bituminous* memiliki kadar sulfur yang rendah sehingga relatif lebih ramah lingkungan.

Lignite merupakan kelas terakhir dari batu bara yang digunakan pada pembangkit tenaga, kada karbonnya 65% - 70%, kada air 35% - 50%.

Tipe dari *lignite* yang tidak terkonsolidasi, ditemukan dekat permukaan, dan terkadang disebut sebagai batu bara coklat adalah *Peat*. Kadar karbon dari *Peat* paling rendah dibanding kelas yang lain yaitu <60% dan kadar air yang tinggi yaitu 75%. (Breeze, 2015)

Berikut adalah perbandingan kadar karbon, kadar air, dan kadar material volatile dari kelas kelas batu bara. Perbandingan kelas batu bara ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan dari Kelas - Kelas Batu Bara
(Breeze, 2015)

<i>Coal</i>	<i>Dry, Carbon Content (%)</i>	<i>Moisture Content Before Drying (%)</i>	<i>Dry, Volatile Content (%)</i>	<i>Heat Content (MJ/kg)</i>
<i>Anthracite</i>	86 – 92	7 – 10	3 – 14	32 – 33
<i>Bituminous coal</i>	76 – 86	8 – 18	14 – 46	23 – 33
<i>Sub-Bituminous coal</i>	70 – 76	18 – 38	42 – 53	18 – 23
<i>Lignite</i>	65 – 70	35 – 55	53 – 63	17 – 18
<i>Peat</i>	<60	75	63 – 69	15

Indonesia merupakan salah satu eksportir batu bara terbesar di dunia dengan total produksi sebesar 489 juta ton pada Tahun 2013, selain itu karena harganya yang ekonomis dan proses produksi sampai ke pemakaian yang relatif lebih mudah dibanding alternatif energy yang lain menjadikan batu bara pilihan yang baik untuk proses *smelting* di Indonesia, walaupun demikian batu bara memiliki densitas energy yang lebih kecil dibanding gas alam dan minyak mentah sehingga diperlukan penggunaan lebih banyak untuk menghidupi industri di Indonesia (Breeze, 2015). Perbandingan batu bara ditampilkan pada Gambar 2.3.

Tabel 2.3 Perbandingan Densitas Energi dari Batu Bara, Minyak Mentah, dan Gas Alam (Breeze, 2015)

<i>Fossil Fuel</i>	<i>Average Energy Density</i>
<i>Coal</i>	24 MJ/kg
<i>Crude oil</i>	46 MJ/kg
<i>Natural gas</i>	54 MJ/kg

2.4 Limestone

Limestone adalah contoh batuan endapan yang paling penting. Tersusun dari kalsium karbonat (CaCO_3) dalam bentuk mineral umumnya calcite. Terlepas dari calcite, terdapat beberapa mineral lain yang diasosiasikan dengan *Limestone* yaitu Aragonite, Magnesite, Dolomite, Ankerite, dan Siderite. Masing – masing memiliki system Kristal dan lokasi masing masing (Shelley, 2015). Mineral limestone ditampilkan pada Tabel 2.4.

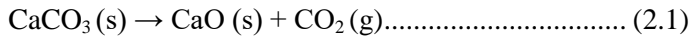
Tabel 2.4 Mineral yang Diasosiasikan dengan *Limestone* (Shelley, 2015)

<i>Mineral</i>	<i>Formula</i>	<i>Crystal System</i>	<i>Occurrence</i>
<i>Aragonite</i>	CaCO_3	<i>Orthorhombic</i>	<i>Some shells and mud, unstable during burial</i>
<i>Calcite</i>	CaCO_3	<i>Hexagonal</i>	<i>Some shells and mud, relatively stable during burial</i>
<i>Magnesite</i>	MgCO_3	<i>Hexagonal</i>	<i>Rare surface mineral</i>
<i>Dolomite</i>	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	<i>Hexagonal</i>	<i>Rarely at the surface, more common as a subsurface replacement</i>
<i>Ankerite</i>	$\text{Ca}(\text{MgFe})(\text{CO}_3)_2$	<i>Hexagonal</i>	<i>A rare cement</i>
<i>Siderite</i>	FeCO_3	<i>Hexagonal</i>	<i>As oolites and cement</i>

Limestone memegang peranan penting dalam perekonomian karena *Limestone* dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Fungsi pertamanya adalah sebagai pengatur kadar pH di tanah pertanian yang bersifat asam karena *Limestone* mengandung kapur yang bersifat basa. Kedua *Limestone* berguna sebagai material agregat bangunan yang baik. Dan yang terpenting

Limestone berguna sebagai fluks dalam proses *smelting* besi. (Shelley, 2015)

Limestone dapat bekerja sebagai fluks pada proses *smelting* dikarenakan komposisi kimianya yang terdiri atas CaCO_3 . Pada temperatur 750°C CaCO_3 mengalami dekomposisi menjadi CaO dan CO_2 . Reaksi ditampilkan pada Persamaan 2.1



Gas CO_2 yang tercipta akibat proses dekomposisi ini nantinya akan berubah menjadi gas CO yang mereduksi bijih besi dan nikel menjadi bentuk logamnya. *Limestone* ditampilkan pada Gambar 2.3. (Noviyanti, 2015)



Gambar 2.3 *Limestone*

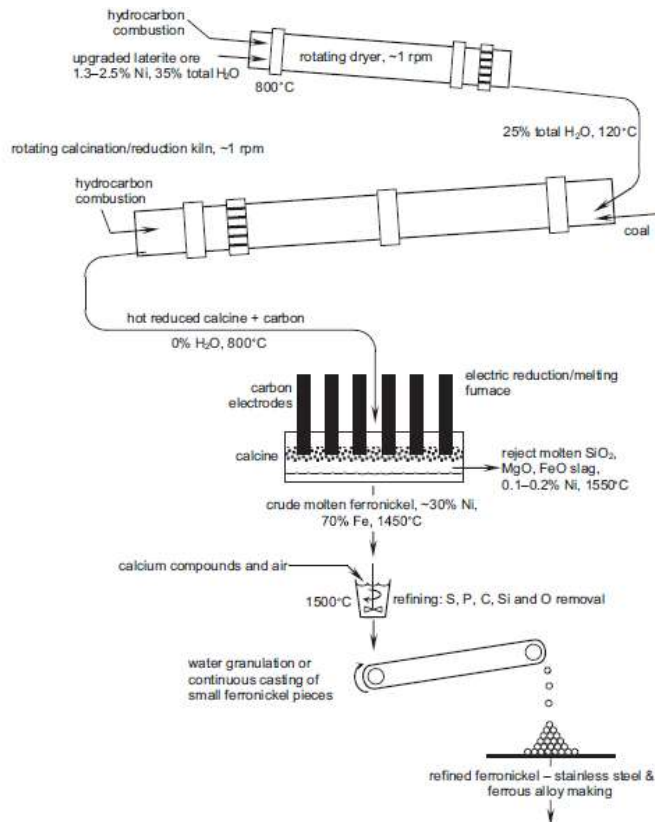
2.5 Ekstraksi Nikel Laterit

Bijih laterit sebagai bijih yang memiliki kandungan nikel perlu diproses lebih lanjut agar kadar nikel didalamnya dapat dipergunakan dalam berbagai macam produk. Namun karena bijih nikel laterit sendiri adalah senyawa yang kompleks, maka perlu cara yang berbeda – beda dalam menangani masing masing jenis bijih agar didapatkan hasil nikel yang optimal dengan biaya

energy dan ekonomi yang optimal. Jenis – jenis dari bijih nikel laterit tersebut adalah bijih nikel limonit dan bijih nikel saprolit.

2.5.1 Ekstraksi Bijih Nikel Saprolit

Bijih nikel saprolit pada umumnya diolah menjadi ferronickel, yang pada nantinya akan digunakan sebagai bahan baku stainless steel. Alur pengolahan ferronickel dari nikel laterit disajikan pada Gambar 2.4

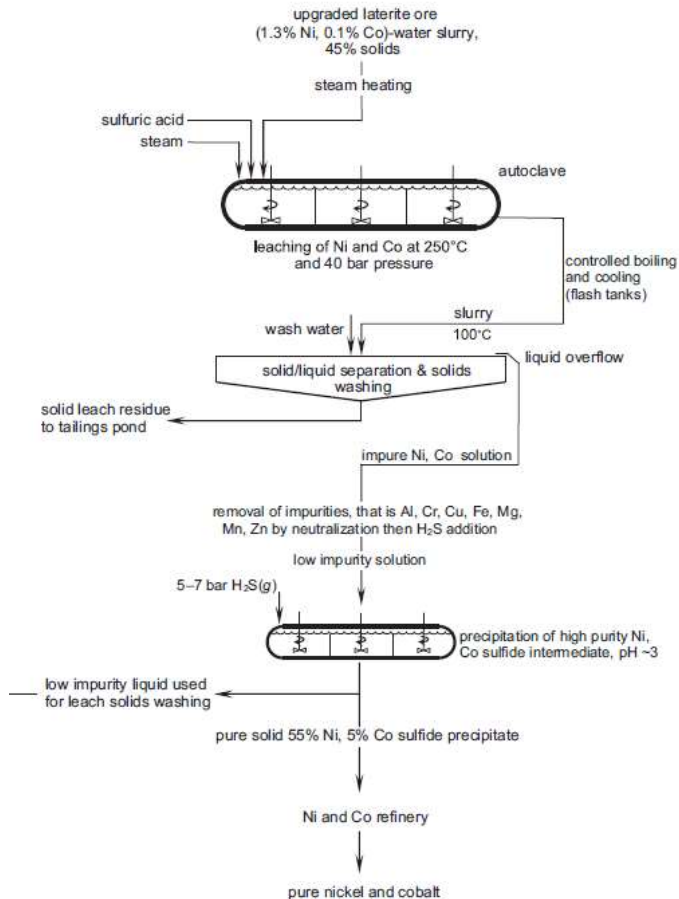


Gambar 2.4 Proses Pengolahan Ferronickel dari Nickel Saprolit (Crundwell, 2011)

Proses pengolahan nikel saprolit dimulai dengan mengurangi kadar air dalam bijih, ini dilakukan dengan cara memanaskan bijih didalam rotating dryer pada temperatur 800°C. setelah kadar air berkurang dilanjutkan dengan proses reduksi bijih dengan reduktor karbon berupa batu bara, tahap ini dilakukan didalam rotating reduction kiln. Hasil dari tahap reduksi ini akan dimasukkan kedalam tahap *smelting* didalam *furnace* yang berbentuk lingkaran dengan diameter 15 – 20 m setelah sebelumnya dicampur dengan tambahan reduktor berupa batubara dan fluks berupa *Limestone* atau batu kapur. Didalam *furnace* campuran bijih, reduktor, dan fluks akan ditingkatkan temperaturnya sampai diatas 1600°C, sehingga *slag* berupa lelehan SiO₂, MgO, FeO dengan kadar nikel yang sangat kecil 0,1% - 0,2% terpisah dari target produk yaitu ferronickel dengan kadar nikel berkisar 30%. Pada tahap ini sebenarnya produk sudah bisa disebut sebagai ferronickel namun terdapat tahapan selanjutnya agar ferronickel ini dapat diterima dipasar logam, yaitu proses refining. Yang dilakukan pada proses refining adalah mencampurkan kedalam ferronickel cair yang baru keluar dari *furnace* dengan udara dan senyawa kalsium, sehingga kandungan Fosfor, Sulfur, Karbon, Silika, dan Oksigen yang tersisa terikat ke senyawa kalsium dan dapat dipisahkan dari ferronickel. Hasil akhir dari proses ini adalah refined ferronickel, yaitu ferronickel yang memiliki kandungan besi, nikel, dan paduan lain yang sesuai dengan regulasi yang ada, sehingga dapat diperjual belikan di pasar logam dunia. (Crundwell, 2011)

2.5.2 Ekstraksi Bijih Nikel Laterit Limonitik

Bijih nikel limonit pada umumnya diproses dengan leaching asam sulfur panas. Proses leaching dengan asam sulfur ini dilaksanakan pada temperatur 250°C dan tekanan 40 bar. Hasil dari proses leaching ini adalah nikel murni. Ekstraksi bijih nikel laterit limonitik ditampilkan pada Gambar 2.5.

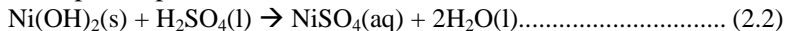


Gambar 2.5 Proses Pengolahan Nickel dari Nickel Limonit (Crundwell, 2011)

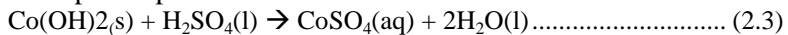
Proses pengolahan nikel limonit diawali dengan memanaskan bijih limonit yang berupa slurry, 45% padatan, lewat proses steam heating. Slurry yang sudah dipanaskan kemudian dimasukkan kedalam autoclave bersama dengan asam sulfur dan uap panas pada temperatur 250°C dan tekanan 40 bar. Pada tekanan dan

temperatur tersebut nikel akan larut kedalam asam. Asam yang mengandung nikel ini akan mengalir keluar dari tank sedangkan padatan yang tidak larut akan berada dibawah tank dan dibuang ke kolam tailing. Campuran ini yang mengandung nikel ini selanjutnya akan ditekan kadar pengotornya dengan penambahan H₂S sehingga kadar Aluminium, Kromium, Tembaga, Besi, Magnesium, Mangan, dan Seng turun. Larutan yang sudah rendah kadar pengotornya ini kemudian akan dipresipitasi nikelnya dalam bentuk nikel sulfida pH 3, dengan memasukkan kedalam autoclave yang diisikan gas H₂S dengan tekanan 5 – 7 bar. Hasil dari proses presipitasi adalah padatan presepitasi nikel sulfida dengan kadar nikel 55% nikel dan cobalt 5%. Presipitat ini kemudian akan di refining menjadi nikel murni. Reaksi – reaksi yang terjadi pada proses *leaching* nikel limonitic ditampilkan sebagai berikut:

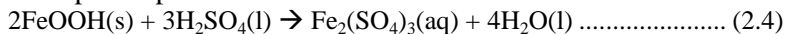
Reaksi pelarutan nikel dalam asam pada temperatur 250°C ditampilkan pada Persamaan 2.2



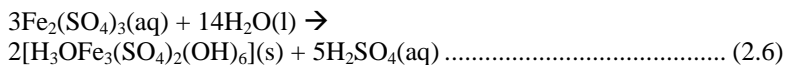
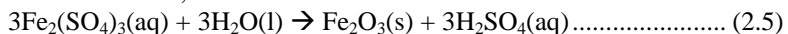
Reaksi pelarutan cobalt dalam larutan asam temperatur 250°C ditampilkan pada Persamaan 2.3

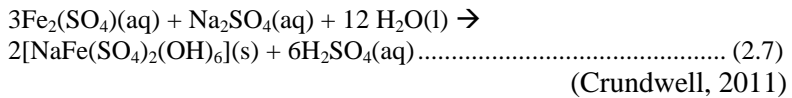


Reaksi pelarutan besi dalam larutan asam temperatur 250°C ditampilkan pada Persamaan 2.4

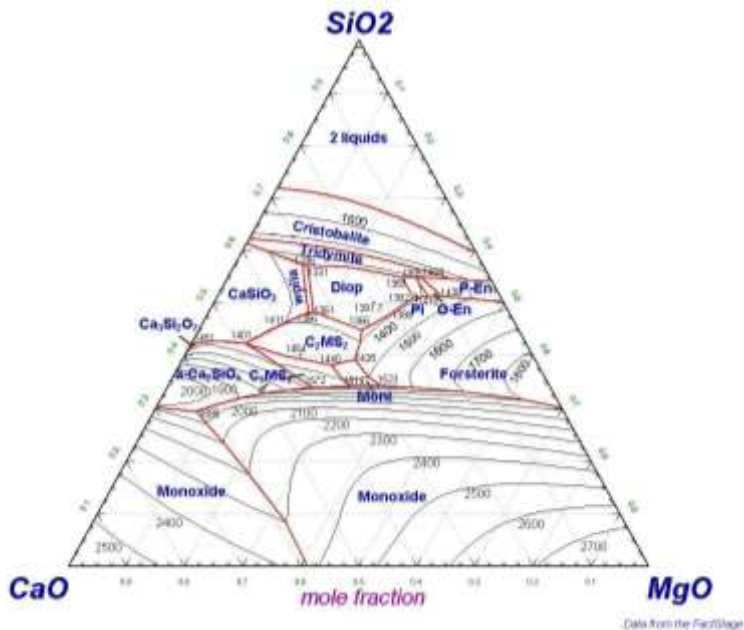


Presipitasi *hematite* atau *jarosite* dalam larutan dari reaksi sebelumnya temperatur 250°C ditampilkan pada Persamaan 2.5, Persamaan 2.6, dan Persamaan 2.7





Pada ekstraksi bijih nikel laterit, mengontrol fasa yang terbentuk pada *slag* amat penting untuk mendapatkan hasil produk logam yang optimal. Fasa dari *slag* ini dikontrol dengan cara mengatur kadar senyawa CaO, MgO, dan SiO₂ yang ada didalam *feed*. Fasa target dari *slag* adalah Diopside karena memiliki temperatur liquidus yang terendah sehingga *slag* cair mudah terbentuk. Keseimbangan fasa dari *slag* dapat dilihat lewat Gambar 2.6.



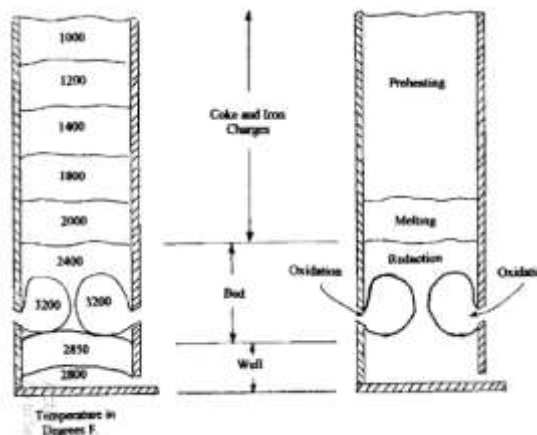
Gambar 2.6 Diagram Fasa Ternary Sistem SiO₂, CaO, dan MgO (Huang, 1995)

2.6 *Mini Blast Furnace*

Blast furnace telah mendominasi proses pembuatan besi dalam skala besar sampai abad ke 20. Sampai pada Tahun 1990, 97% dari produksi besi di dunia dilakukan melalui metode di *blast furnace*. Namun pada beberapa tahun terakhir muncul alternative baru dalam pembuatan besi seperti *COREX Smelting Reduction* dan *Shaft Furnace Direct Reduction Process*. Salah satu dari alternative tersebut adalah *Mini Blast Furnace* (MBF). Secara umum perbedaan utama dari *Mini Blast Furnace* dan *Blast Furnace* ada pada segi ukuran, *Mini Blast Furnace* adalah versi kecil dari *Blast Furnace*. Namun dengan kecilnya ukuran dari *Mini Blast Furnace* ini timbul beberapa keuntungan yang bisa didapat dibanding produksi skala besar melalui *Blast Furnace*, yaitu keuntungan secara ekonomi dan simplisitas. Karena ukurannya yang kecil, *Mini Blast Furnace* memungkinkan penggunaan ore dan reduktor kelas rendah yang apabila digunakan pada *Blast Furnace* akan menimbulkan kerugian, selain itu ukuran dari *Mini Blast Furnace* yang kecil memungkinkan untuk control proses yang lebih dibanding dengan *Blast Furnace* yang besar. Selain itu kebutuhan utilitas dan alat bantu permesinan yang lebih sedikit dari *Mini Blast Furnace* dibandingkan dengan *Blast Furnace* memungkinkan Return On Investment dari pembangunan *Mini Blast Furnace* cepat terpenuhi.

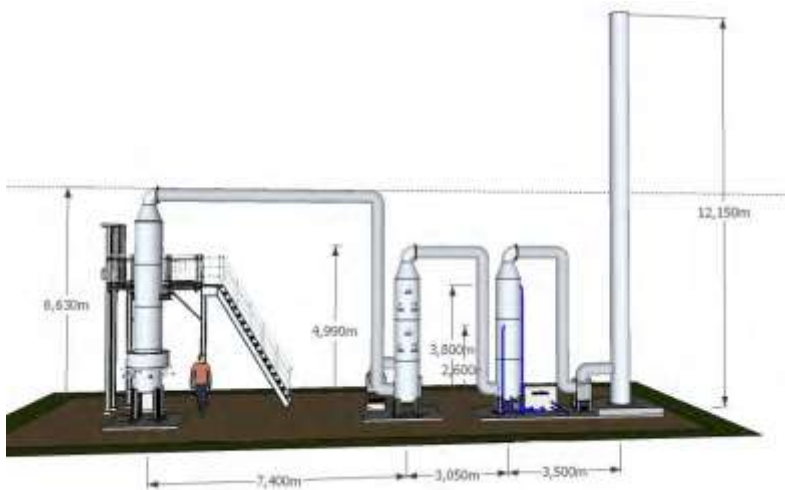
Seperti umumnya *Blast Furnace*, *Mini Blast Furnace* ada counter – current reactor yang berarti udara panas mengalir dari atas membawa energy panas ke bagian atas sedangkan burden material bergerak ke bawah. *Mini Blast Furnace* berbentuk silinder dari besi yang dibagian dalamnya diinsulais dengan material refraktori agar tidak mengalami kerusakan akibat temperatur tinggi. *Mini Blast Furnace* sendiri memiliki bentuk yang mirip dengan cupola, yaitu terdiri atas lima daerah, well, pembakaran, reduction, pelelehan, dan preheating. Well adalah daerah yang ada dibagian paling bawah cupola, bagian ini bertugas untuk menyimpan lelehan besi sampai cupola di tap.

Daerah pembakaran adalah daerah dimana udara ditiupkan kedalam cupola dan bereaksi dengan karbon monoksida sehingga tercipta panas untuk menjalankan cupola, daerah reduksi adalah tempat dimana oksida besi direduksi menjadi besi daerah ini berada diluar daerah pembakaran. Daerah pelelehan adalah daerah diantara daerah reduksi dan daerah preheat, daerah ini dibatasi oleh titik teratas *coke bed* dan titik awal terjadinya pelelehan besi. Daerah preheat adalah daerah diatas daerah melting, pada daerah ini burden material harus mengalami peningkatan dari temperatur kamar ke temperatur melting dari besi. Peningkatan temperatur ini terjadi karena transfer panas dari udara yang datang dari bawah atau daerah pembakaran ke atas. Pada saat udara memasuki daerah preheat temperaturnya adalah sebesar 2200°F namun saat keluar dari area preheat temperatur dari udara hanya 400°F. daerah preheat amat penting adanya pada proses di cupola karena lelehan yang baik membutuhkan preheat yang baik pula, selain itu kadar air dan material volatile juga habis di area preheat sehingga proses dapat berjalan dengan lebih baik. (Chastain, 2000)



Gambar 2.7 Daerah - Daerah Dalam Kupola Serta Persebaran Temperaturnya Dalam Fahrenheit (Chastain, 2000)

Mini Blast Furnace yang digunakan pada Tugas Akhir kali ini adalah *Mini Blast Furnace* yang telah dikembangkan dan ditambah komponen – komponen tambahan untuk meningkatkan efisiensi dan sifat ramah lingkungan dari proses *smelting*. Komponen yang ditambahkan adalah water scrubber yaitu suatu komponen yang berguna untuk mereduksi off gas hasil reaksi *smelting* sehingga dapat dilepas ke udara bebas. System kerja dari water scrubber adalah dengan cara mengalirkan gas gas yang mengandung logam yang terbawa ataupun logam uap dike drum drum yang telah terisi air. Air ini akan menangkap partikel – partikel logam secara keseluruhan setelah dilakukan proses scrubbing sebanyak tiga kali.



Gambar 2.8 *Mini Blast Furnace* Dengan Tambahan Water Scrubber (Abdul, 2014)

2.7 Ferronickel

Ferronickel adalah salah satu dari produk dari proses pengolahan bijih nikel laterit. Ferronickel berbeda dibanding dengan produk produk lain dari proses reduksi nikel dimana

Ferronickel memiliki standar komposisi yang khusus. Pada umumnya ferronickel memiliki kadar nikel dalam jarak 25 % - 45%, Cobalt 0,6 % - 1,8%, Silicon dibawah 1%, tembaga dibawah 0.2%, Kromium dibawah 0,1%, fosfor, karbon, dan sulfur dibawah 0,03% dan Besi dengan kadar mengikuti komposisi lain. (MSDS Vale, 2018)

Ferronickel adalah suatu paduan nikel dengan besi yang memiliki fisik berwarna silver metalik dan digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan stainless steel. Densitas dari ferronickel adalah 3,8 g/cm³, melting point 1500°C, dan *boiling point* 2900°C. ferronickel banyak digunakan dalam aplikasi keteknikan, transportasi, electrical, dan konstruksi. Kadar nikel dalam ferronickel akan memberikan kualitas ketahanan kekuatan di temperatur tinggi pada produk setelah ferronickel (Elliot, 2017)



Gambar 2.9 Ferronickel

Produk ferronickel didunia ekstraksi nikel dibagi menjadi dua, yaitu low grade ferronickel dan high-grade ferronickel.

Tabel 2.5 Grade dari Ferronickel dan Karakteristiknya
(Solar, 2008)

Kategori	High Grade Ferronickel	Low Grade Ferronickel
Kadar Nikel	sampai dengan 40%	20 – 25 %
<i>Recovery</i> Besi	15 – 30%	45 – 65%
Pabrik Produsen	Falcondo, Cerro Matoso	SLN, Pamco, Hyuga
Karakteristik	<i>Recovery</i> nikel rendah (~90%)	<i>Recovery</i> nikel tinggi (~95%)
	Kebutuhan energy dan reduktan rendah	Kebutuhan energy dan reduktan tinggi

High grade ferronickel adalah ferronickel yang memiliki kadar nikel tinggi dan kadar besi rendah. Kadar nikel yang tinggi ini didapatkan dengan cara mengurangi potensial reduksi dari proses *smelting* (control rasio CO/CO₂ dalam proses). Pada pembuatan High grade ferronickel, karena potensial reduksi dari proses berkurang maka *recovery* dari nikel dan besi juga rendah, namun didapatkan nikel yang terkonsentrasi di produk sehingga didapatkan kadar nikel yang tinggi.

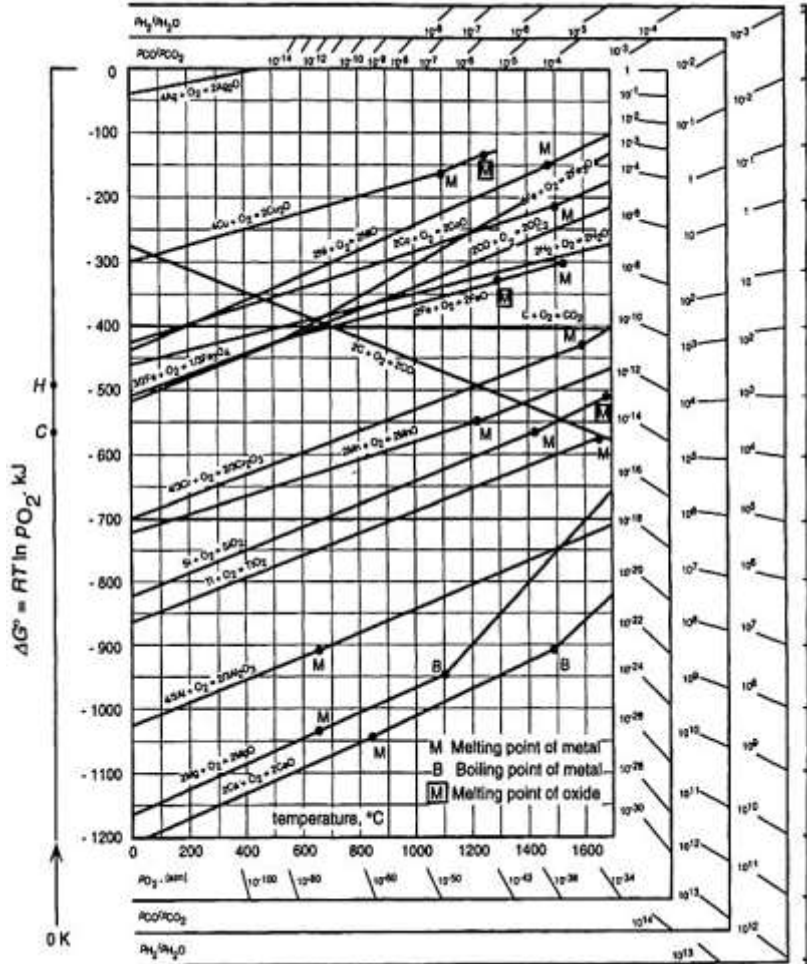
Low grade ferronickel adalah ferronickel yang memiliki kadar nikel yang rendah dan kadar besi yang relatif tinggi. Pada pemrosesan nikel laterit menjadi low grade ferronickel, potensial reduksi dari proses lebih tinggi daripada pada pemrosesan high grade ferronickel, sehingga didapatkan *recovery* dari nikel dan besi yang tinggi. Efek samping dari peningkatan potensial reduksi adalah lebih banyak besi yang tereduksi dibanding nikel yang tereduksi, menyebabkan kadar nikel dalam produk menjadi rendah. (Solar, 2008)

2.8 Termodinamika Smelting

Diagram Ellingham adalah diagram yang menyajikan data – data termodinamika suatu logam yang mengalami proses

pembentukan oksida, sulfida, dan klorida. Diagram tersebut dibentuk dari plot ΔG° (perubahan energy bebas Gibss) pada temperatur (T) tertentu. Secara umum diagram Ellingham memiliki empat kegunaan utama, antara lain

1. Untuk menentukan tingkat kemudahan reduksi suatu 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 temperatur tertentu agar logam oksida dapat tereduksi
4. Untuk menentukan rasio hydrogen (H) dan karbon dioksida pada temperatur tertentu agar logam oksida dapat tereduksi (Stratton, 2013)



Gambar 2.10 Diagram Ellingham (Stratton, 2013)

Posisi garis dari suatu reaksi pada diagram Ellingham menunjukkan kestabilan oksida sebagai fungsi dari temperatur. Reaksi yang berada pada bagian atas diagram adalah logam yang bersifat mulia dan oksida dari logam ini bersifat tidak stabil dan

mudah tereduksi. Semakin kebawah posisi kondisi dari reaksi akan berkebalikan dengan garis reaksi di bagian atas. Sehingga penentuan apakah suatu logam dapat mereduksi oksida logam lain ditentukan oleh posisi garis antara logam dan oksida logam tersebut. Apabila posisi oksida logam yang akan direduksi berada diatas garis logam pereduksi maka reaksi reduksi dapat berjalan (Stratton, 2013)

Energi Gibbs adalah suatu ukuran dari penggerak yang dapat suatu reaksi terjadi. Persamaan energi Gibbs adalah sebagai berikut:

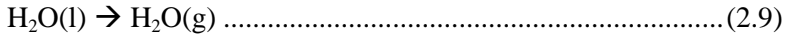
$$\Delta G = -T. \Delta S + \Delta H \dots\dots\dots (2.8)$$

- Dimana :
- ΔG = perubahan energi Gibbs (J)
 - ΔH = perubahan entalpi reaksi (J)
 - ΔS = perubahan entropi reaksi (J/K)
 - T = temperatur absolut reaksi (K)

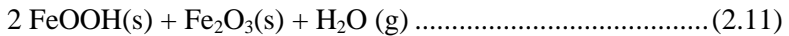
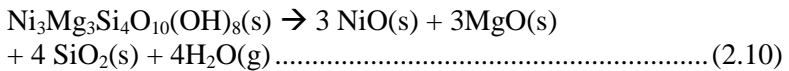
ΔG yang bernilai negatif menunjukkan bahwa suatu reaksi dapat terjadi secara spontan tanpa energi dari luar. Sementara itu reaksi yang memiliki ΔG positif menunjukkan reaksi tersebut tidak akan terjadi secara spontan. Entalpi adalah besaran dari energi yang dilepaskan ketika suatu reaksi berlangsung (panas dari suatu reaksi). Jika entalpinya bernilai negatif maka reaksi tersebut melepaskan energi (eksotermik), sedangkan jika bernilai positif maka reaksi tersebut membutuhkan energi (endotermik). Entropi adalah ukuran dari derajat ketidakteraturan suatu reaksi. Padatan memiliki bentuk yang teratur, cairan memiliki bentuk yang kurang teratur dan gas memiliki ketidakteraturan yang tinggi. (Johansyah, 2012).

dalam proses *smelting*, terjadi beberapa reaksi yang melibatkan bijih nikel laterit, diantaranya :

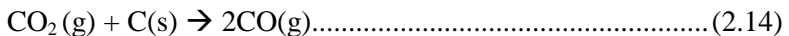
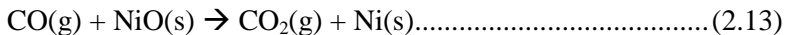
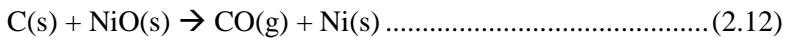
Penguapan air dari liquid menjadi gas pada temperatur sekitar 100°C ditampilkan pada Persamaan 2.9



Dekomposisi termal dari mineral laterit menjadi oksida dan uap air pada temperatur 700°C ditampilkan pada Persamaan 2.10 dan Persamaan 2.11



Pembentukan gas reduktor dan reduksi oksida logam pada temperatur 800°C ditampilkan pada Persamaan 2.12 sampai Persamaan 2.16



(Crundwell, 2011)

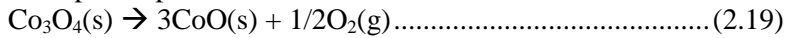
Dekomposisi termal dari kalsit pada temperatur sekitar 550°C ditampilkan pada Persamaan 2.17



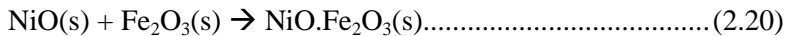
Dekomposisi termal dari *heterogenite* pada temperatur sekitar 300°C ditampilkan pada Persamaan 2.18



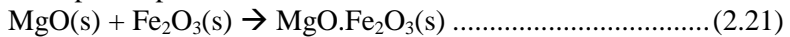
Dekomposisi termal dari kobalt oksida pada temperatur 700°C ditampilkan pada Persamaan 2.19



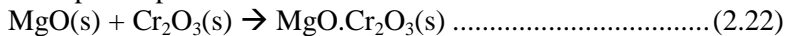
Pembentukan nikel ferit pada temperatur 750°C ditampilkan pada Persamaan 2.20



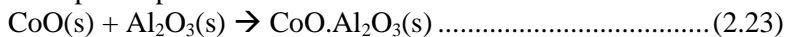
Pembentukan magnesium ferit pada temperatur 975 C ditampilkan pada Persamaan 2.21



Pembentukan magenesio kromit pada temperatur sekitar 1100°C ditampilkan pada Persamaan 2.22

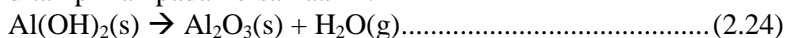


Pembentukan cobalt aluminate pada temperatur 1100°C ditampilkan pada Persamaan 2.23

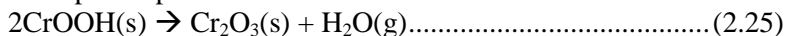


(Bamford, 2008)

Dekomposisi termal dari *gibbsite* pada temperatur 200°C ditampilkan pada Persamaan 2.24



Dekomposisi termal dari *bracewellite* pada temperatur 440°C ditampilkan pada Persamaan 2.25

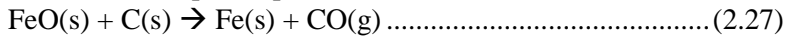


(Wells, dkk, 2006)

Reduksi dari nikel oksida menjadi nikel logam pada temperatur 900 – 1450°C ditampilkan pada Persamaan 2.26



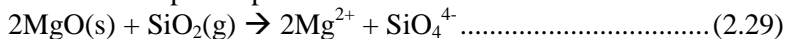
Reduksi dari besi oksida menjadi besi logam pada temperatur 900 – 1450°C ditampilkan pada Persamaan 2.27



Pelelehan dan pemaduan logam nikel dan logam besi menjadi lelehan ferronickel pada temperatur 1450°C ditampilkan pada Persamaan 2.28



Reaksi pelelehan dan pemaduan sisa oksida (SiO_2 , MgO , FeO) untuk membentuk lelehan *slag* pada temperatur 900 – 1550°C ditampilkan pada Persamaan 2.29



(Crundwell, 2011)

2.9 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Morcali, dkk pada Tahun 2017 penambahan massa borax (B_2O_3) sebagai fluks akan meningkatkan *recovery* nikel, kadar nikel pada konsentrasi fluks tertentu, dan kadar besi dalam produk ekstraksi metalurgi. Variasi massa fluks berkisar dari 0 wt%, 4,1 wt%, 5,9 wt%, 7,6 wt%, 9,2 wt%, 10,6 wt%, 11,3 wt%, 12,0 wt%, 12,7 wt%, dan 13,3 wt%. pada penelitian tersebut didapati bahwa peningkatan massa fluks pada campuran yang akan di proses akan meningkatkan *recovery* nikel yang terdapat pada produk. Pada produk yang diproses dengan 0% wt fluks, didapati bahwa *recovery* dari nikel adalah 30,36% sedangkan pada 13,3 wt% fluks *recovery* dari nikel mengalami peningkatan tajam ke 55,25%. Pada peningkatan massa fluks yang digunakan terjadi peningkatan kadar nikel didalam produk, namun hanya sampai massa fluks tertentu. Kadar nikel terendah dalam produk didapati pada massa fluks 12,7 wt% dan 0 wt% yaitu 43,42% serta 43,83% sedangkan kadar nikel tertinggi dalam produk didapatkan pada massa fluks 11,3 wt% yaitu sebesar 48,22 %. Peningkatan massa

fluks pada campuran akan meningkatkan kadar besi dalam produk dimana kadar besi terendah ada pada massa fluks 4,1 wt% yaitu 20,67 % dan kadar besi tertinggi ada pada massa fluks 13,3 wt% yaitu 34,69 %. Penelitian dengan masa fluks sebesar 5% dilakukan oleh Xianhai Li, Biyang Tuo, Qin Zhang, dan Shenjun Zhang pada Tahun 2014 dan hasil yang didapat adalah nilai *recovery* dari nikel dan besi yang lebih baik dibanding 0% fluks.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Astuti, dkk pada 2018 tentang nilai basisitas yang optimal untuk mendapatkan *recovery recovery* nikel, *recovery* besi, dan metal yield, didapatkan bahwa nilai dari basisitas menentukan *recovery* dari nikel dan besi selama proses. Nilai basisitas yang ideal adalah pada basisitas 0,8 dimana nilai *recovery* nikel adalah sekitar 82 %, *recovery* besi 57%, dan metal yield 28%. Nilai – nilai ini berkurang pada basisitas 1,0 dimana *recovery* nikel menjadi 65%, *recovery* besi menjadi 50%, dan metal yield menjadi 21%. Dari percobaan ini didapatkan hasil bahwa massa fluks yang tepat mempengaruhi basisitas dari campuran yang akan masuk ke proses *smelting*, nilai basisitas ini nantinya akan mempengaruhi *recovery* nikel, *recovery* besi, dan metal yield.

Pada Tahun 2018 Tang, dkk melaksanakan penelitian untuk mengetahui pengaruh basisitas dari *pickling sludge* pada proses daur ulang logam nikel, besi, dan kromium yang berpotensi terbuang didalamnya. Pada percobaan dengan basisitas 0,5 didapati bahwa proses daur ulang memiliki nilai *recovery* 97,85 % pada besi dan 98,14 % pada nikel, dan pada basisitas 2,0 yaitu basisitas optimal terjadi peningkatan pada *recovery* besi menjadi 99,01%, dan nikel 99,03%

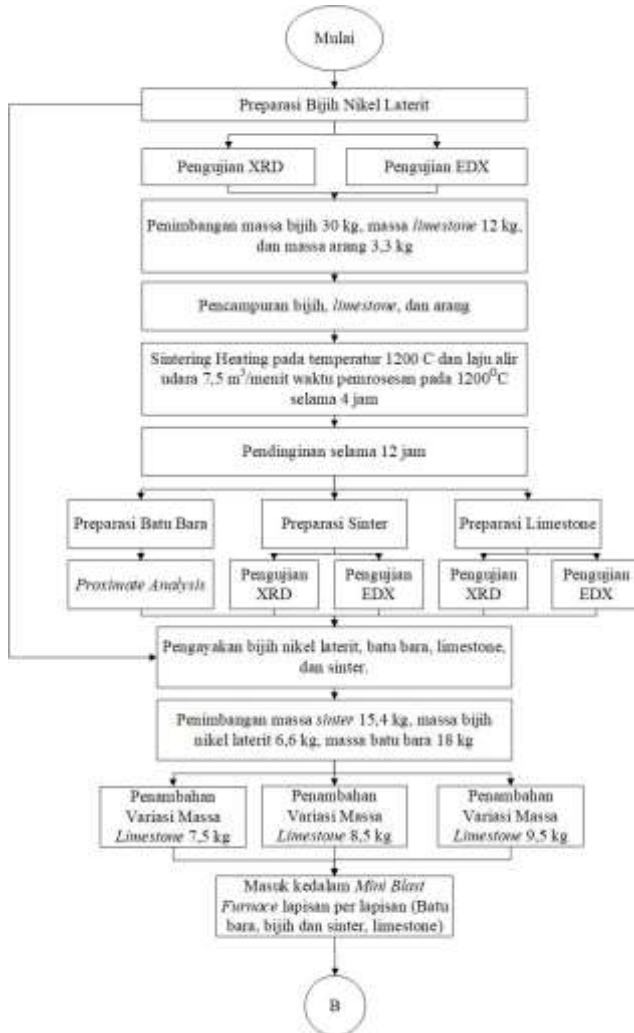
Basisitas akan memberikan efek pada fasa ferronickel yang terbentuk didalam produk *smelting*. Pada proses *smelting* dengan basisitas natural yaitu 0,5 maka fasa ferronickel tidak dapat bertumbuh dengan sempurna karena temperatur melting dari burden material tinggi. Pada basisitas 0,5 temperatur leleh dari material burden adalah sekitar 1400°C. Pertumbuhan ukuran butir ferronickel pada produk yang optimal berada pada basisitas 0,8 –

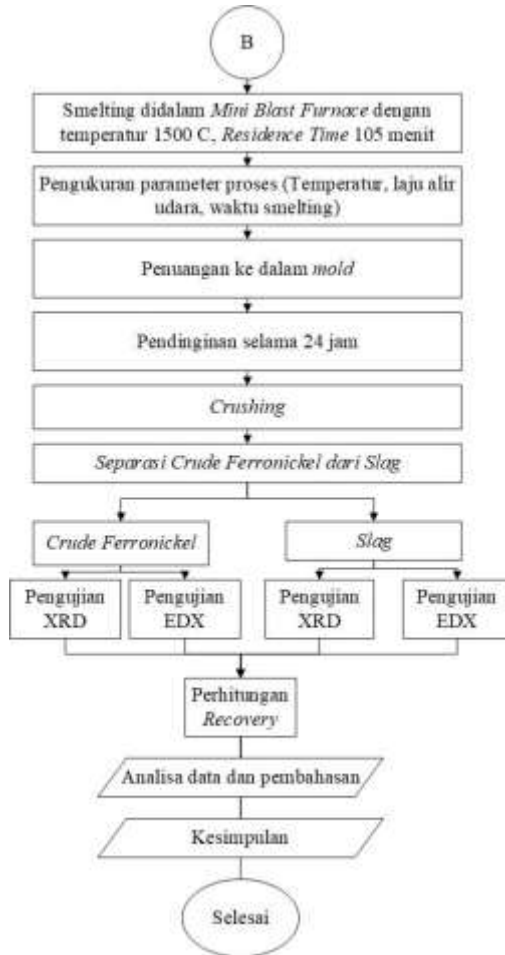
1,2 dimana karena temperatur leleh dari material rendah maka cukup banyak waktu tumbuh dari butir ferronickel dalam produk akhir. Temperatur leleh dari material dengan basisitas 0,8 adalah sekitar 1240°C, dan material dengan basisitas 1,2 adalah sekitar 1280°C menurut Li, dkk, Tahun 2015 sedangkan menurut penelitian yang dilaksanakan oleh Harris pada Tahun 2012 penambahan masa fluks yang berpengaruh pada nilai basisitas akan menyebabkan pertumbuhan ukuran partikel ferronickel, hal ini senada dengan apa yang dikatakan oleh Li pada Tahun 2015.

Pada penelitian yang dilaksanakan oleh Zhu pada buku 5th *International Symposium on High-Temperatur Metallurgical Processing* Tahun 2014, penambahan CaO sebagai upaya peningkatan basisitas campuran yang akan direduksi akan meningkatkan *recovery* dari nikel dan besi dalam produk. Nilai *recovery* tersebut adalah 84,4 % untuk nikel dan 78,44% untuk besi, basisitas yang digunakan adalah 0,0 – 0,30 dimana hasil optimal yang disebutkan diatas muncul pada percobaan dengan menggunakan basisitas 0,21. Selain itu Zhu juga menyatakan bahwa ukuran butir dari ferronickel akan semakin besar pada penambahan massa CaO dikarenakan adanya CaO akan menghambat terbentuknya senyawa nikel dan besi kompleks yang sulit direduksi pada pemrosesan di temperatur tinggi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

3.2.1 Bijih Nikel Laterit

Bijih nikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih nikel laterit, yang berasal dari daerah Sulawesi Tenggara. Bijih nikel dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh. Bijih nikel laterit yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Bijih Nikel Laterit

3.2.2 Batu Bara

Batu bara merupakan bahan bakar dalam penelitian ini. Batu bara yang digunakan adalah batu bara sub – *Bituminous*. Batu bara dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga ukuran 50 *mesh*. Batu bara yang akan digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Batu Bara *Sub-Bituminous*

3.2.3 *Limestone*

Limestone digunakan sebagai fluks dalam penelitian ini. *Limestone* yang digunakan berasal dari Sulawesi Tenggara. *Limestone* terlebih dahulu dihancurkan hingga ukuran 50 mesh. *Limestone* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 *Limestone*

3.2.4 *Sinter*

Sinter adalah campuran dari fluks, bijih nikel, dan bahan bakar yang telah diproses *Sintering* sehingga memiliki ukuran yang homogen dan relatif lebih besar dibanding ore. Fungsi dari *Sinter* adalah meningkatkan perolehan nikel dalam produk ferronickel. *Sinter* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 *Sinter*

3.3 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa peralatan, antara lain:

3.3.1 *Mini Blast Furnace*

Mini Blast Furnace merupakan tanur yang digunakan untuk proses *smelting* bijih nikel laterit menjadi ferronickel. *Mini Blast Furnace* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 *Mini Blast Furnace*

3.3.2 *Sintering Bed Furnace*

Sintering Bed Furnace merupakan tungku yang digunakan untuk proses *Sintering* nikel laterit menjadi *Sinter ore*. *Sintering Bed Furnace* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.7. selain itu dimensi dari *Sintering Bed Furnace* dapat dilihat pada Tabel 3.1



Gambar 3.7 *Sintering Bed Furnace*

Tabel 3.1 *Dimensi Sintering Bed Furnace*

Dimensi	Ukuran
Panjang bagian luar	172 cm
Panjang bagian dalam	152 cm
Lebar bagian luar	122 cm
Lebar bagian dalam	102 cm
Tinggi bagian luar	92 cm
Tinggi bagian dalam	67 cm

3.3.3 Timbangan Digital

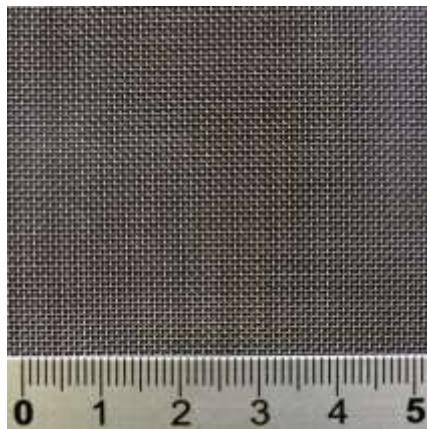
Timbangan digital digunakan dalam penelitian ini untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan yakni bijih nikel laterit, batu bara, *Limestone*. Timbangan digital yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Timbangan Digital

3.3.4 Sieve

Sieve digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang akan digunakan. *Sieve* yang digunakan berukuran 50 *mesh* dan ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Sieve

3.3.5 Thermocouple dan Thermometer Infrared

Thermocouple dan Thermometer Infrared adalah alat yang digunakan untuk sebagai pengukur temperatur saat proses

smelting bijih nikel laterit menjadi ferronickel sedang berlangsung. Gambar dari kedua alat tersebut ditampilkan pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 (a) Thermocouple (b) Thermometer Infrared

3.3.6 Blower

Merupakan alat yang digunakan untuk menyuplai udara kedalam *Mini Blast Furnace*. Blower yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Blower

3.3.7 Anemometer

Merupakan alat yang digunakan untuk mengukur laju alir udara dari blower yang masuk kedalam *Mini Blast Furnace*, ditunjukkan pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Anemometer

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Preparasi Material

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu:

1. Menumbuk bijih nikel laterit, batu bara, *Sinter*, dan *Limestone* kemudian mengayak hingga ukuran dibawah 50 *mesh*.
2. Melakukan pengujian EDX dan XRD pada bijih nikel laterit, *Sinter*, dan *Limestone*.
3. Melakukan Pengujian Proximate Analysis pada batubara.
4. Menimbang bijih nikel laterit, batu bara, *Limestone*, dan *Sinter* sesuai variable.
5. Mencampurkan bijih nikel laterit dengan batu bara dan limeston lalu ditimbang.

3.4.2 Proses Smelting

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses *smelting* bijih nikel laterit adalah:

1. Memasukkan material kedalam *Mini Blast Furnace* dalam lapisan lapisan. Setiap lapisan tersusun dari bawa keatas batu bara sebanyak 18 kg, bijih laterit sebanyak 6,6 kg dan *Sinter* sebanyak 15,4 kg, lalu

-
- Limestone* divariasikan setiap proses yaitu 7,5 kg; 8,5 kg; dan 9,5 kg.
2. Mengatur parameter proses (blast rate dan raju alir udara) ssesuai dengan perhitungan teoritis.
 3. Menyiapkan penyulut pembakaran pada bagian bawah *Mini Blast Furnace*.
 4. Mengalirkan udara melalui blower ke dalam *Mini Blast Furnace* lewat tuyser-tuyser.
 5. Menyulut api pada bagian bawah *Mini Blast Furnace* hingga didapatkan pembakaran yang merata pada seluruh bagian batu bara, temperatur target adalah 1500°C dan lama proses sekitar 105 menit.
 6. Menunggu dan selalu memeriksa proses *smelting* yang sedang berlangsung. Pemeriksaan yang dilakukan antara lain pengukuran temperatur, tekanan dan flow rate udara.
 7. Menyiapkan cetakan untuk logam cair (ferronickel) yang merupakan produk hasil proses *smelting*.
 8. Setelah proses *smelting* usai, logam cair akan keluar lewat lubang tapping pada bagian bawah *Mini Blast Furnace*. Pada saat ini, hentikan stop watch dan catat waktu berlangsungnya proses *smelting*.
 9. Kemudian ferronickel tadi masuk ke cetakan yang telah disiapkan sebelumnya.
 10. Membiarkan ferronickel tadi membeku di dalam cetakan waktu pendinginan selama 24 jam.
 11. Membongkar cetakan dan mengambil ferronickel yang sudah membeku.
 12. Menghilangkan *slag* yang ada di permukaan ferronickel dengan cara memukulnya dengan palu.
 13. Melakukan pengujian XRD serta EDX dan menganalisa serta mengevaluasi produk *smelting* tadi.
 14. Melakukan setting ulang dan mengulangi proses dari awal untuk variable massa fluks yang lain.
-

3.4.3 Pengujian Sampel

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan dari penelitian. Pengujian tersebut antara lain:

1. Pengujian EDX

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakteristik kimia dari suatu sampel. Prinsip kerja dari alat ini adalah metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan X-Ray. Energi tiap-tiap photon X-Ray menunjukkan karakteristik masing-masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak-puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik energi (KeV) dengan counts. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur-unsur yang terkandung di dalam suatu sampel beserta persentasenya. Alat yang digunakan untuk uji EDX ditunjukkan seperti pada Gambar 3.13 ini



Gambar 3.13 Mesin Uji EDX

2. Pengujian XRD

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dari sampel hasil reduksi dengan menggunakan alat XRD PAN Analytical. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10⁻³ - 10 nm, berfrekuensi 10¹⁷ - 10²⁰ Hz dan memiliki energi 10³ - 10⁶ eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk

menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama. Alat yang digunakan untuk uji XRD PAN Analytical ditunjukkan seperti pada Gambar 3.14



Gambar 3.14 Mesin Uji XRD PAN Analytical

3. Proximate Analysis

Untuk mengetahui kandungan batu bara seperti kadar *moisture*, *volatile matter*, *ash*, dan *fixed carbon* dapat dilakukan pengujian *proximate analysis*. Standar pengujian yang dilakukan yaitu ASTM D 3172-02 (*Fixed Carbon*), ASTM D 3173-02 (*Moisture*), ASTM D 3174-02 (*Ash*), dan ASTM D 3175-02 (*Volatile matter*).

3.1 Moisture

Analisa kadar moisture dalam batubara dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Bahan :

1. Udara kering
2. Pengering, seperti kalsium sulfat anhidrat (0,004 mg/L), silika gel, magnesium perklorat (0,0005 mg/L), dan asam sulfat (0,003 mg/L)

Alat :

1. Oven Pengering

Prosedur :

1. Mengeringkan sampel dalam pengering selama 15 menit hingga 30 menit dan ditimbang.
2. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
3. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan (104°C – 110°C). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengering. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur ruangan.
4. Menghitung hasil analisa.

Perhitungan *Moisture* ditampilkan pada Persamaan 3.1 :

$$\text{Moisture, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana:

- A = berat sampel yang digunakan (gram)
B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

3.2 *Volatile Matter*

Analisa kadar *volatile matter* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Alat :

1. Krusibel platina dengan tutup, untuk batu bara berkapasitas 10 – 20 mL, diameter 25 – 35 mm dan tinggi 30 – 35 mm.
2. *Vertical electric tube furnace*.

Prosedur :

1. Menimbang sampel seberat 1 g dalam krusibel platina, tutup krusibel dan masukkan dalam *furnace*, temperatur dijaga $950 \pm 20^{\circ}\text{C}$.
2. Setelah *volatile matter* lepas, yang ditunjukkan dengan hilangnya api *luminous*, periksa tutup krusibel masih tertutup.
3. Setelah pemanasan tepat 7 menit, pindahkan krusibel keluar *furnace* dan didinginkan.
4. Timbang ketika dingin.
5. Persentase *weight loss* dikurangi persentase *moisture* sama dengan *volatile matter*.

Perhitungan *Weight Loss* ditampilkan pada Persamaan 3.2:

$$\text{Weight Loss, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana:

- A = berat sampel yang digunakan (gram)
- B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen *volatile matter* dihitung menggunakan Persamaan 3.3

$$\text{Volatile Matter, \%} = C - D \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana:

- C = *Weight Loss* (%)
- D = *Moisture* (%)

3.3 Ash

Analisa kadar *ash* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Alat :

1. *Electric muffle furnace*
2. Kapsul porselen atau krusibel platina
3. Tutup krusibel

Prosedur :

1. Memasukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam *furnace* dingin. Panaskan dengan temperatur 450 – 500°C selama 1 jam.
2. Memanaskan sampel hingga temperatur mencapai 700 – 750°C selama 1 jam. Kemudian lanjutkan pemanasan hingga 2 jam.
3. Pindahkan kapsul keluar dari *furnace*, didinginkan dan timbang.

Perhitungan *Ash* ditampilkan pada Persamaan 3.4:

$$\text{Ash, \%} = [(A - B) / C] \times 100 \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana:

- A = berat kapsul, tutup, dan *ash* (gram)
B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)
C = berat sampel yang digunakan (gram)

3.4 Fixed Carbon

Analisa kadar fixed carbon dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3172-02 dengan perhitungan dari data kadar *moisture*, *ash*, dan volatile matter.

Perhitungan *Fixed Carbon* ditampilkan pada Persamaan 3.5

$$\text{Fixed Carbon, \%} = 100\% - [\text{moisture (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter (\%)}] \dots\dots\dots (3.5)$$

3.5 Neraca Massa Smelting Nikel Laterit

Proses *smelting* yang akan dilakukan memerlukan perhitungan massa bahan yang akan dikomposisikan (*feed material*). Perhitungan dilakukan berdasarkan persamaan reaksi proses *smelting* bijih nikel laterit. Komposisi massa batu bara dihitung berdasarkan kebutuhan karbon sebagai reduktor untuk mereduksi Fe_2O_3 , reduksi NiO dekomposisi CaCO_3 , dekomposisi MgCO_3 pada temperatur tinggi. Sedangkan kebutuhan *Limestone* ditentukan berdasarkan nilai basisitas target dari *slag* yaitu 1,3. Desain target proses *smelting* ditentukan pada table dibawah ini

Tabel 3.2 Target *Smelting* Nikel Laterit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
Reaksi Reduksi	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	100	Persen (%)
	$\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$	100	Persen (%)
	$\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$	100	Persen (%)
Reaksi Dekomposisi	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO}$	100	Persen (%)
	$\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO}$	100	Persen (%)
Basisitas	<i>slag</i>	85	Persen (%)

Berdasarkan target reduksi tersebut maka dilakukan perhitungan komposisi dengan neraca massa dan neraca panas dengan basis *Sinter* nikel laterit sebanyak 100 kg, sehingga diperoleh perbandingan bijih : *Sinter* : *Limestone* : batu bara sebagai berikut

Tabel 3.3 Perbandingan Komposisi Bijih, *Sinter*, *Limestone* dan Batu Bara

Bijih (kg)	<i>Sinter</i> (kg)	<i>Limestone</i> (kg)	Batu bara (kg)
6,6	15,4	8,5	18

Pembagian variasi massa fluks didasarkan pada *trial and error*. Dimana massa fluks yang digunakan pada variable pertama adalah 8,5 kg, pada variable kedua adalah 7,5 kg, dan pada variable yang ketiga adalah 9,5 kg.

3.6 Rancangan Penelitian

Berikut adalah rancangan penelitian yang dilakukan untuk proses *Sintering* nikel laterit sesuai dengan perhitungan stoikiometri yang dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian

Variabel	Massa Fluks (kg)	Karakterisasi		
		EDX	XRD	<i>Recovery</i>
Pertama	7,5	✓	✓	✓
Kedua	8,5	✓	✓	✓
Ketiga	9,5	✓	✓	✓

`BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian karakterisasi terhadap bahan-bahan yang digunakan, yaitu bijih nikel laterit, batubara, *Sinter* dan *Limestone*.

4.1.1 Karakterisasi Bijih Nikel Laterit

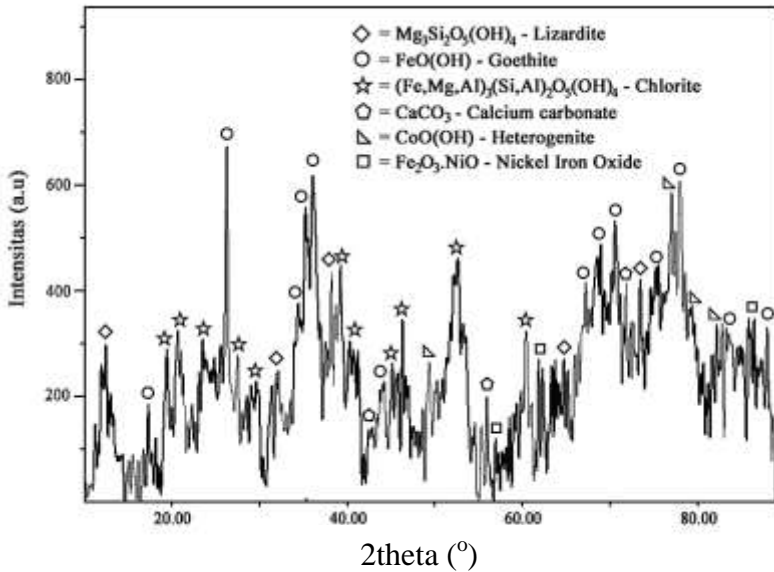
Bijih nikel laterit yang digunakan berasal dari Sulawesi Tenggara. Bijih nikel laterit telah diayak dengan ukuran 50 mesh atau 300 μm . Pengujian komposisi / kadar bijih nikel laterit dilakukan terhadap bijih nikel laterit hasil sampling. Pengujian tersebut menggunakan mesin EDX. Didapatkan data komposisi bijih seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit

Unsur	Fe	Ni	Si	Mg	Al	Ca	Cr	S	Cl	P	Co	O
% wt	36-45	1-2	16-20	5-6	2-3	3-5	1-2	<1	<1	<1	<0,1	18-28

Dari Tabel 4.1 didapatkan kadar Ni sebesar 1,59% dan Fe sebesar 42,01% yang kemudian dijadikan basis perhitungan neraca massa untuk proses *smelting* bijih nikel laterit.

Identifikasi fasa dari bijih nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD PAN Analytical. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1,54056 Å. Hasil pengujian XRD dari bijih nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit

Pengujian XRD menghasilkan peak senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 di atas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari peak tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada bijih nikel laterit. Semakin tinggi peak yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada bijih tersebut, maka dari analisa peak didapatkan fasa dominan pada bijih nikel laterit adalah *goethite* (FeOOH). Selain itu juga terdapat fasa *lizardite* [$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$], *chlorite* [$(\text{Fe,Mg,Al})_3(\text{Si,Al})_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] dan *Nickel Iron Oxide* ($\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$).

4.1.2 Karakterisasi Batu Bara

Batu bara yang digunakan berasal dari Binuang, Kalimantan Selatan. Batu bara digunakan sebagai penyedia karbon untuk menghasilkan gas reduksi berupa gas CO. Gas CO

yang berasal dari reaksi *boudouard* kemudian akan mereduksi Fe_2O_3 menjadi Fe dan NiO menjadi Ni.

Pengujian *proximate analysis* dilakukan untuk mengetahui kadar *moisture*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate analysis* dilakukan berdasarkan standar ASTM D3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* batu bara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Proximate Analysis* Batu Bara

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
Kelembapan Total (<i>Moisture</i>)	1,8	% ar	ASTM D3302-02
Kadar Abu (<i>Ash</i>)	4,75	% ar	ASTM D3174-02
Kadar Karbon Tetap (<i>Fixed Carbon</i>)	42,35	% adb	ASTM D3175-02
Kadar Zat yang Mudah Menguap (<i>Volatile Matter</i>)	52,86	% adb	ASTM D3172-02
Nilai Kalori	7204	Cal/gr, adb	ASTM D5865-03

4.1.3 Karakterisasi *Limestone*

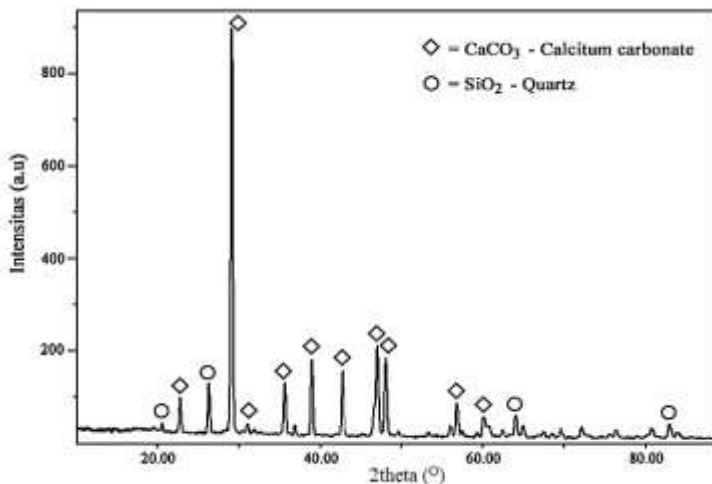
Identifikasi dari *Limestone* dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat SEM PAN Analytical milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil Pengujian EDX dari *limestone* bisa dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian EDX *Limestone*

Unsur	Ca	O	Mg	Si	Al	Fe	K	C
% wt	40-45	32 - 35	<1	5-8	2-3	1-2	<1	8-12

Dari Pengujian EDX di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Ca yang tinggi yaitu 43,01 % dan kandungan Mg yang rendah yaitu 0,57%. Dari kandungan Ca dan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan adalah *Limestone* bukan dolomit. Dari segi proses aglomerasi, baik Ca yang membentuk senyawa CaCO_3 akan membantu penyediaan gas CO_2 pada proses reduksi Fe_2O_3 dan sebagai fluks agent atau pengikat pengotor.

Setelah itu, dilakukan identifikasi fasadari *Limestone* menggunakan mesin XRD PAN Analytical. Pengujian dilakukan dengan posisi 2theta dari 10 sampai 90 dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1,54056 Å. Hasil Pengujian dari *Limestone* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Pengujian XRD *Limestone*

Dari Gambar 4.2 diatas tampak bahwa pengujian XRD *Limestone* memiliki peak tertinggi yaitu Calcium carbonate atau CaCO_3 .

4.1.4 Karakterisasi *Sinter*

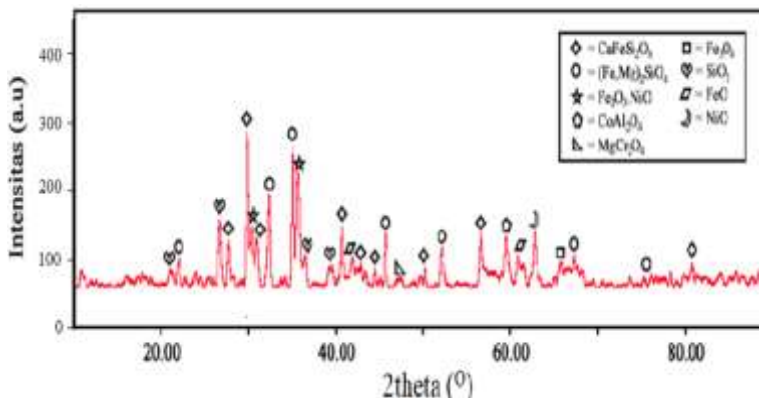
Identifikasi dari *Sinter* dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat SEM PAN Analytical milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil Pengujian EDX dari *Sinter* bisa dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian EDX *Sinter*

Element	Fe	Ni	Co	Cr	Mg	Al	Si	Ca	O
% Wt	16-25	1 – 2,5	<1	<1	6-10	2-3	14-21	14-28	22-27

Didapati bahwa kadar Ni dari *Sinter* yaitu 1,92% lebih tinggi daripada kadar Ni dalam ore 1,59% sehingga dengan adanya penambahan *Sinter* dalam campuran bahan baku yang diumpankan kedalam *blast furnace* akan memberikan produk ferronickel yang memiliki kadar Ni lebih tinggi.

Setelah itu, dilakukan identifikasi fasa dari *Sinter* menggunakan mesin XRD PAN Analytical. Pengujian dilakukan dengan posisi 2theta dari 10 sampai 90 dan menggunakan panjang gelombang CuK α sebesar 1,54056 A. Hasil Pengujian dari *Limestone* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian XRD *Sinter*

Fasa – fasa yang ada dalam *Sinter* ditunjukkan pada Tabel 4.5

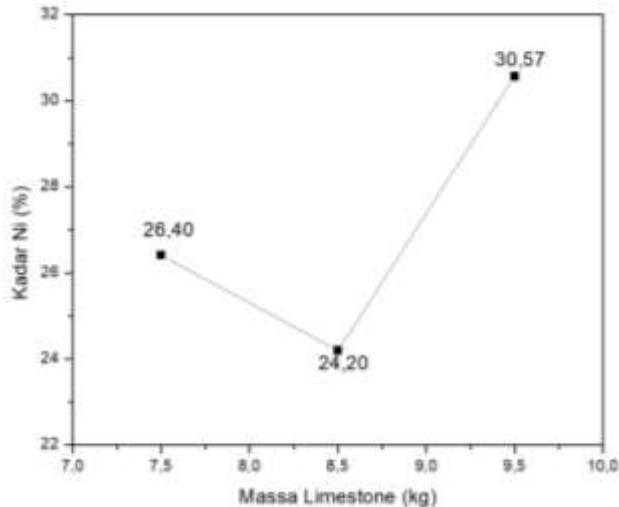
Tabel 4.5 Identifikasi Fasa pada Produk *Sinter*

No	Fasa	Rumus Kimia
1	<i>Pyroxene</i>	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
2	<i>Olivine</i>	$(\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4$
3	<i>Nickel iron oxide</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{NiO}$
4	<i>Magnesiochromite</i>	MgCr_2O_4
5	<i>Spinel</i>	CoAl_2O_4
6	<i>Magnetite</i>	Fe_3O_4
7	<i>Quartz</i>	SiO_2
8	<i>Wustite</i>	FeO
9	<i>Nickel oxide</i>	NiO

Fasa – fasa yang terbentuk seperti wustite (Fe_2O_3) dan Nickel Oxide (NiO) pada *Sinter* adalah fasa yang sudah mengalami reduksi sebagian sehingga mengurangi kebutuhan material reduktor dan energi untuk mereduksi lebih logam lebih lanjut.

4.2 Pengaruh Variasi Massa *Limestone* Terhadap Kadar Ni dan Fe pada produk Ferronickel dan slag

Variasi massa *Limestone* pada proses smelting nikel laterit akan mempengaruhi kadar unsur nikel dan besi pada produk ferronickel dan *slag*. Pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap kadar Ni di Ferronickel dapat dilihat pada Gambar 4.4.



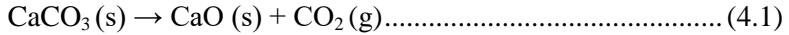
Gambar 4.4 Pengaruh Massa *Limestone* terhadap Kadar Ni Ferronickel

Kadar Ni didalam produk ferronickel didapatkan lewat hasil pengujian EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*)

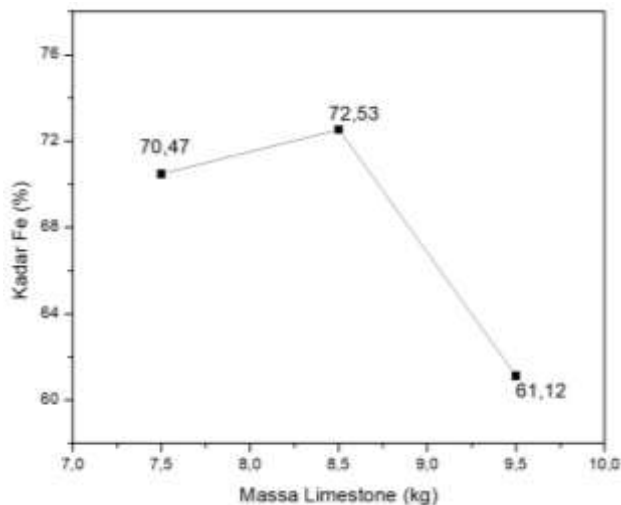
Pada proses ekstraksi bijih nikel laterit menggunakan *Limestone* sebanyak 7,5 kg didapat bahwa kadar Nikel pada produk ferronickel adalah 24,20%, pada penggunaan *Limestone* sebanyak 8,5 kg 26,41% dan pada penggunaan 9,5 kg *Limestone* 30,57%. Terjadi peningkatan kadar nikel dibanding kadar nikel pada bijih nikel laterit dan *Sinter*, dimana kadar nikel pada bijih nikel laterit 1,59% dan *Sinter* 1,92%. Kadar nikel pada ferronickel mengalami penurunan dari 26,41% pada penggunaan *Limestone* 7,5 kg menjadi 24,20% pada *Limestone* 8,5 kg, lalu terjadi peningkatan pada penggunaan 9,5 kg *Limestone* menjadi 30,57%. Kadar Nikel tertinggi didapatkan pada penggunaan 9,5 kg *Limestone*.

Kadar dari nikel berada di posisi puncak pada penggunaan 9,5 kg *Limestone* dikarenakan adanya reaksi dekomposisi CaCO_3

yang lebih banyak pada percobaan ketiga. Reaksi dekomposisi CaCO_3 mengikuti Persamaan 4.1



Menurut persamaan CaCO_3 mengalami dekomposisi menjadi padatan CaO dan gas CO_2 . Gas CO_2 yang terbentuk selama reaksi dekomposisi ini akan merubah kesetimbangan CO/CO_2 didalam *Mini Blast Furnace* sehingga terjadi *selective reduction* Ni dibanding Fe. Hal ini dibuktikan juga oleh pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap kadar Fe. (Yang, 2019). Pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap kadar Fe dapat dilihat pada Gambar 4.5.



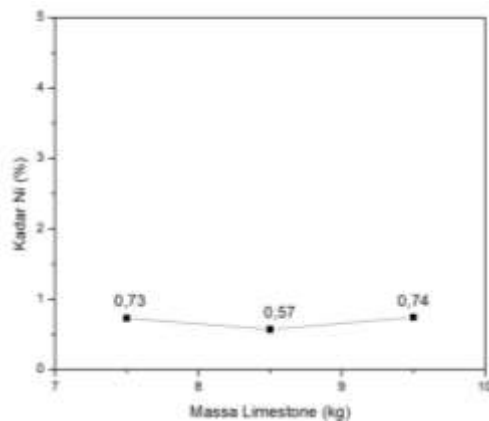
Gambar 4.5 Pengaruh Massa *Limestone* terhadap Kadar Fe Ferronickel

Pada proses ekstraksi bijih nikel laterit menggunakan *Limestone* sebanyak 7,5 kg didapat bahwa kadar besi pada produk ferronickel adalah 70,47%, pada penggunaan *Limestone* sebanyak

8,5 kg 72,53% dan pada penggunaan 9,5 kg *Limestone* 61,12%. Terjadi peningkatan kadar besi dibanding pada bijih nikel laterit dan *Sinter*, dimana kadar besi pada bijih nikel laterit 42,01% dan *Sinter* 22,18%. Kadar besi pada ferronickel mengalami peningkatan dari 70,47% pada penggunaan *Limestone* 7,5 kg menjadi 72,53% pada *Limestone* 8,5 kg, lalu terjadi penurunan 9,5 kg *Limestone* menjadi 61,12%. Kadar besi tertinggi didapatkan pada penggunaan 8,5 kg *Limestone*.

Senada dengan pernyataan pada pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap kadar nikel, peningkatan massa *Limestone* pada percobaan ketiga atau 9,5 kg *Limestone* menyebabkan penurunan kadar Fe karena kesetimbangan CO/CO₂ akibat reaksi dekomposisi CaCO₃ didalam *Limestone*. Terjadi *selective reduction* dimana Ni lebih mungkin tereduksi dibanding Fe sehingga terjadi Kadar Ni tertinggi namun kadar Fe terendah pada penggunaan 9,5 kg *Limestone*. (Yang, 2019)

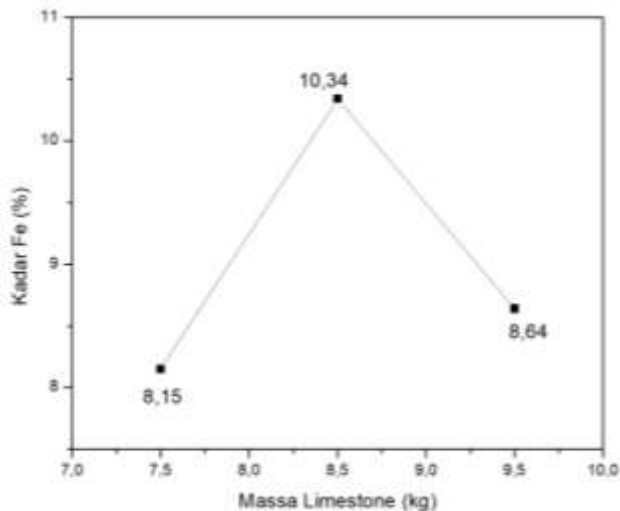
Selain kadar Ni dan Fe di ferronickel analisis terhadap kadar Ni dan Fe pada *slag* juga perlu dilakukan untuk mengetahui *loss* yang terjadi. Kadar Ni pada ketiga produk *slag* akan ditampilkan pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Massa *Limestone* terhadap Kadar Ni di Produk *Slag*

Kadar Ni pada produk *slag* penggunaan 7,5 kg *Limestone* adalah 0,73%, penggunaan 8,5 kg *Limestone* adalah 0,57% dan pada penggunaan 9,5 kg *Limestone* 0,74%. Dapat dilihat bahwa loss dari ketiga variasi massa *Limestone* kecil dimana angka loss dibawah 1% dari massa total *slag*, menandakan bahwa proses berjalan dengan baik.

Kadar Fe dalam produk *slag* juga perlu untuk dianalisis untuk mengetahui total *loss* dari Fe didalam *slag*. Kadar Fe pada ketiga produk *slag* akan ditampilkan pada Gambar 4.7

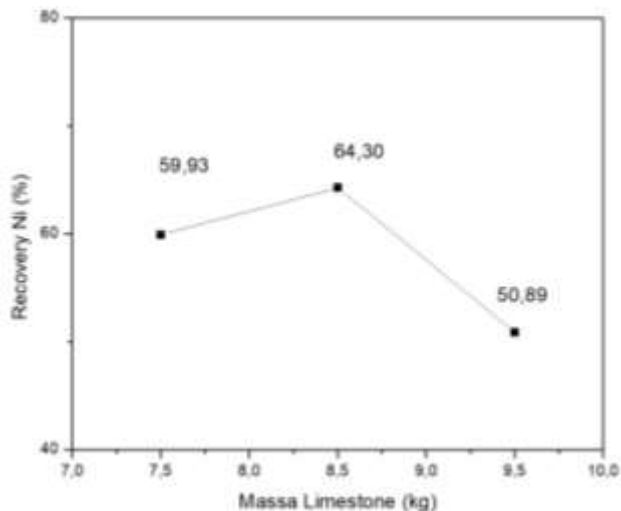


Gambar 4.7 Pengaruh Variasi Massa *Limestone* terhadap Kadar Fe pada Produk *Slag*

Dapat dilihat bahwa kadar Fe masih cukup tinggi didalam *slag*, dimana pada penggunaan 7,5 kg *Limestone* kadar Fe didalam *slag* 8,15%, 8,5 kg *Limestone* 10,34 %, dan 9,5 kg 8,64%. Banyak Fe yang *loss* pada *slag* ini kembali lagi terjadi karena kesetimbangan CO/CO₂ target dalam semua pemroses variasi massa *Limestone* mengarah pada *selectice reduction* Ni dibanding Fe.

4.3 Pengaruh Variasi Massa *Limestone* terhadap *Recovery* Ni dan Fe

Jumlah *Limestone* yang berbeda beda akan memberikan angka *recovery* atau persentase logam total dalam produk dibanding logam dalam bahan baku yang berbeda – beda. Pengaruh variasi *Limestone* terhadap *recovery* logam nikel atau Ni ditampilkan pada Gambar 4.8

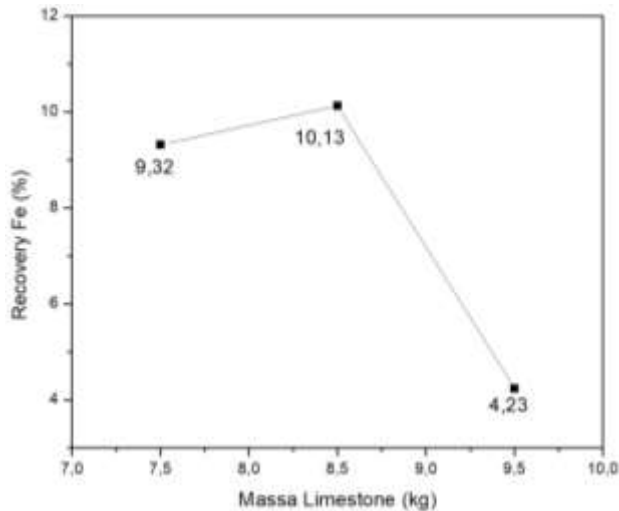


Gambar 4.8 Pengaruh Massa *Limestone* Terhadap *Recovery* Ni Ferronickel

Pada proses ekstraksi bijih nikel laterit menggunakan *Limestone* sebanyak 7,5 kg didapat bahwa *recovery* Nikel pada produk ferronickel adalah 59,93%, pada penggunaan *Limestone* sebanyak 8,5 kg 64,30% dan pada penggunaan 9,5 kg *Limestone* 50,89%. *Recovery* nikel pada ferronickel mengalami peningkatan dari 59,93% pada penggunaan *Limestone* 7,5 kg menjadi 64,30% pada *Limestone* 8,5 kg, lalu terjadi penurunan pada penggunaan 9,5 kg *Limestone* menjadi 50,89%. *recovery* Nikel tertinggi didapatkan pada penggunaan 8,5 kg *Limestone*.

Nilai *Recovery* dari Ni pada setiap variasi massa *Limestone* berada diatas 50%, namun pada percobaan ketiga atau penggunaan 7,5 kg *Limestone* terjadi penurunan yang cukup tajam dibanding dua percobaan sebelumnya, ini dikarenakan penggunaan *Limestone* 9,5 kg menyebabkan penurunan temperatur *slag* selama proses. Temperatur *slag* yang semakin rendah akan menyebabkan *slag* lebih mudah terbentuk sehingga atom – atom Ni tidak sempat teraglomerasi menjadi. Hal ini dibuktikan juga oleh kadar Ni didalam *slag* dimana loss Ni tertinggi di dalam *slag* didapat juga pada penggunaan *Limestone* 9,5 kg. (Wang, 2017)

Selain Ni, *recovery* dari Fe juga perlu dianalisis. Pengaruh variasi massa *Limestone* terhadap *recovery* logam besi atau Fe ditampilkan pada Gambar 4.9.



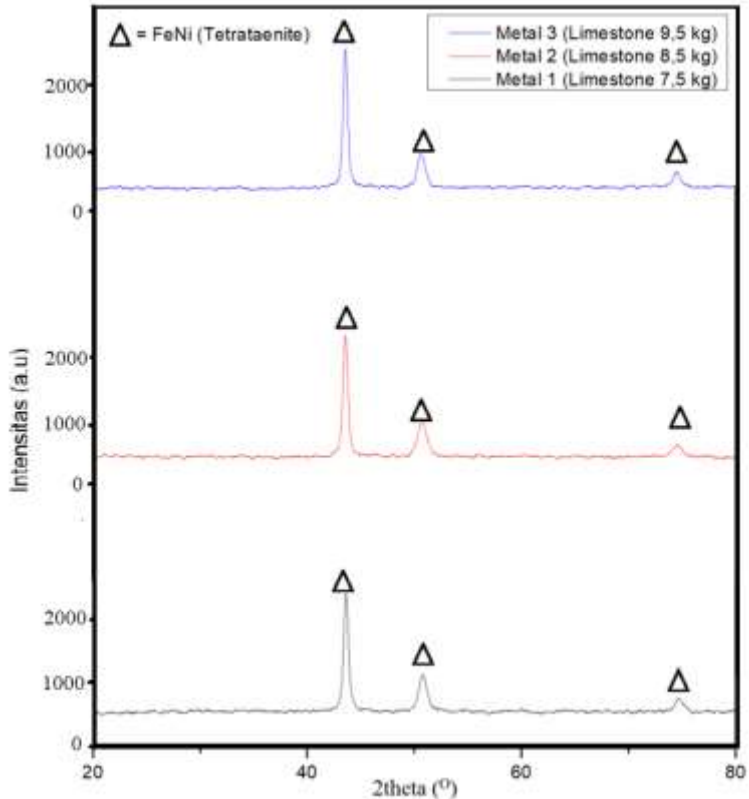
Gambar 4.9 Pengaruh Massa *Limestone* Terhadap *Recovery* Fe Ferronickel

Pada proses ekstraksi bijih nikel laterit menggunakan *Limestone* sebanyak 7,5 kg didapat bahwa *recovery* besi pada

produk ferronickel adalah 9,32%, pada penggunaan *Limestone* sebanyak 8,5 kg 10,13% dan pada penggunaan 9,5 kg *Limestone* 4,23%. *Recovery* besi pada ferronickel mengalami peningkatan dari 9,32% pada penggunaan *Limestone* 7,5 kg menjadi 10,13% pada *Limestone* 8,5 kg, lalu terjadi penurunan 9,5 kg *Limestone* menjadi 4,23%. *Recovery* besi tertinggi didapatkan pada penggunaan 8,5 kg *Limestone*. *Recovery* dari besi pada proses smelting nikel laterit lebih kecil dibanding *recovery* nikel dikarenakan kesetimbangan CO/CO₂ yang mengarah pada *selective reduction* Ni dibanding Fe dikombinasikan dengan *slag* cair yang cepat terbentuk sehingga menghalangi reduksi dan aglomerasi besi cair didalam *Mini Blast Furnace* (Wang, 2017).

4.4 Pengaruh Variasi Massa *Limestone* Terhadap Senyawa Produk

Identifikasi fasa dari hasil *smelting* nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD PAN Analytical. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang CuK α sebesar 1,54056 Å. Setelah *smelting* pada nikel laterit dengan variasi massa *Limestone* didapatkan produk *Sinter* yang berupa metal yang kemudian diuji XRD. Selanjutnya pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *Match 3!*. Gambar 4.10 merupakan identifikasi dari fasa pada hasil metal yang telah dilakukan proses *smelting* dalam *Mini Blast Furnace*.



Gambar 4.10 Hasil Analisis XRD Produk Logam untuk masing – masing Variasi Massa *Limestone*

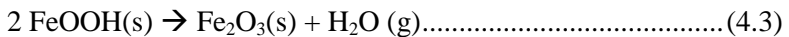
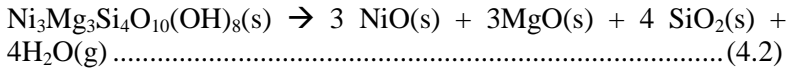
Fasa yang terbentuk pada logam disajikan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Fasa yang Pada Produk Logam untuk masing – masing Variasi Massa *Limestone*

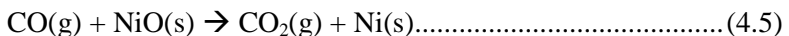
No	Metal	Fasa	Rumus Kimia
1	1 (<i>Limestone</i> 7,5 kg)	Tetrataenite	FeNi
2	2 (<i>Limestone</i> 8,5 kg)	Tetrataenite	FeNi
3	3 (<i>Limestone</i> 9,5 kg)	Tetrataenite	FeNi

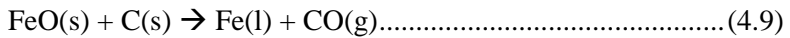
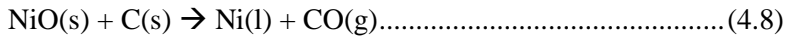
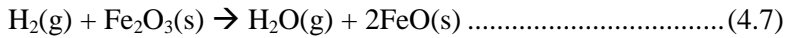
Gambar 4.10 menunjukkan letak puncak 2θ yang relatif sama pada Metal 1, Metal 2, dan Metal 3. Puncak – puncak pada Metal 1 terdapat pada 2θ 43,56; 50,87; 74,71. Pada Metal 2 terdapat pada 2θ 43,49; 50,71; 74,55, dan pada Metal 3 43,49; 50,71; 74,55.

Munculnya fasa Tetrataenite atau FeNi pada ketiga produk metal menunjukkan bahwa reaksi – reaksi smelting di Tinjauan Pustaka berlaku dan berhasil. Reaksi ini dimulai dengan dekomposisi senyawa bijih kompleks karena panas yang mengandung Fe dan Ni menurut Persamaan 4.2 dan 4.3

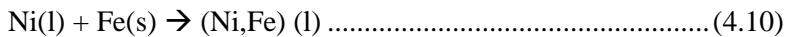


Senyawa Ni Oksida dan Fe Oksida yang terbentuk selanjutnya mengalami reduksi lebih lanjut karena gas CO dan H yang terbentuk karena pembakaran batu bara menurut Persamaan 4.4 sampai 4.9



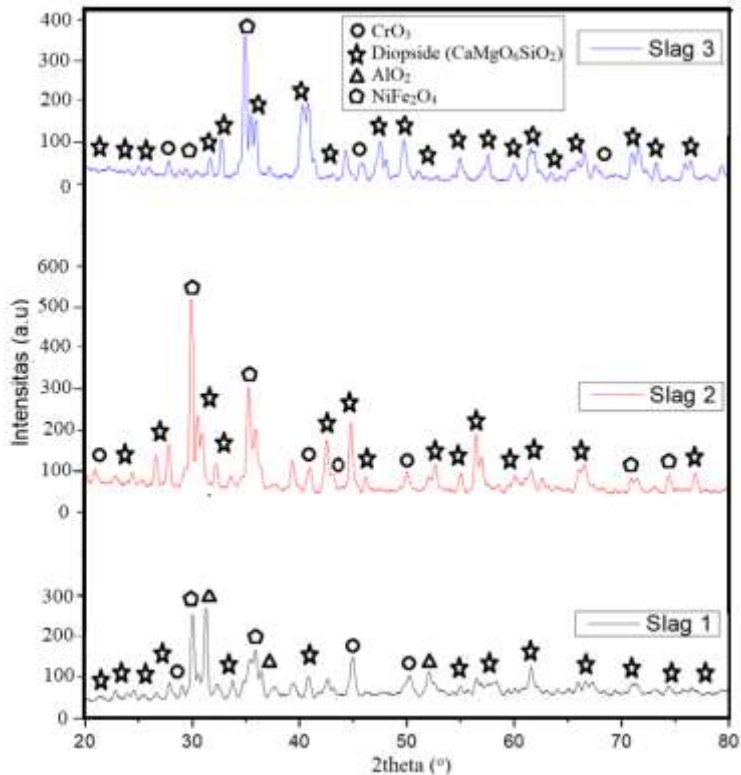


Fe liquid dan Ni liquid hasil Persamaan 4.8 dan 4.9 membentuk paduan FeNi menurut Persamaan 4.10



Reaksi dalam Tinjauan Pustaka sesuai dengan hasil pengujian XRD dimana pada produk metal diakhir muncul FeNi.

Gambar 4.11 menunjukkan Identifikasi dari fasa yang terdapat pada *slag*



Gambar 4.11 Hasil Analisis XRD Produk *Slag* Untuk Masing – Masing Variasi Massa *Limestone*

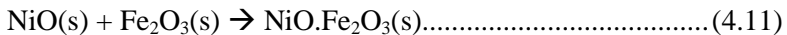
Gambar 4.11 menunjukkan hasil analisis XRD dari *slag* 1, *slag* 2, dan *slag* 3. Fasa – fasa yang terbentuk pada *slag* disajikan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Fasa – Fasa Yang Terbentuk pada Produk *Slag* Untuk Masing – Masing Variasi Massa *Limestone*

No	<i>Slag</i>	Fasa	Rumus Kimia
1	1 (<i>Limestone</i> 7,5 kg)	CrO ₃ <i>Diopside</i> AlO ₂ <i>Nickel Ferrite</i>	CrO ₃ CaMgO ₆ SiO ₂ AlO ₂ NiFe ₂ O ₄
2	2 (<i>Limestone</i> 8,5 kg)	CrO ₃ <i>Diopside</i> <i>Nickel Ferrite</i>	CrO ₃ CaMgO ₆ SiO ₂ NiFe ₂ O ₄
3	3 (<i>Limestone</i> 9,5 kg)	CrO ₃ <i>Diopside</i> <i>Nickel Ferrite</i>	Cr ₃ O CaMgO ₆ SiO ₂ NiFe ₂ O ₄

Pada *slag* 1, yaitu variasi massa *Limestone* smelting seesar 7,5 kg, terdapat empat fasa yaitu CrO₃, pada letak 20 27,82; 44,92; dan 50,33. Fasa CrO₃ terbentuk karena dehidroksilasi laterit pada awal proses smelting dimana senyawa logam lepas dari ion hidroksida. Senyawa oksida Cr yang terlepas ini lalu pada proses smelting tidak berhasil direduksi selama proses smelting di *Mini Blast Furnace* sehingga tetap dalam bentuk oksidanya dan masuk ke *slag*. Namun dikarenakan logam target smelting adalah Fe dan Ni maka adanya Cr didalam *slag* tidak diperhitungkan dalam perhitungan *recovery*.

Selain CrO₃ didalam *slag* juga terdapat fasa NiFe₂O₄ atau NiO. Fe₂O₃ atau Nickel Ferrite ditandai oleh puncak 2θ pada 30,55 dan 35,93. Nickel Ferrite terbentuk oleh reaksi antara NiO dan Fe₂O₃ pada temperatur 750°C menurut Persamaan 4.11

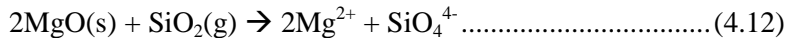


Adanya Nickel Ferrite menandakan terjadi loss pada proses smelting karena menurut Persamaan 4.5 dan Persamaan 4.7 yang ada NiO. Fe₂O₃ seharusnya mengalami reduksi menjadi dua senyawa terpisah yaitu Ni dan FeO. Loss yang terjadi ini

dibuktikan lebih lanjut pada perhitungan *recovery* dan hasil pengujian EDX dimana pada perhitungan *recovery* didapat terdapat perbedaan jumlah logam didalam produk Ferronickel dengan jumlah logam yang seharusnya ada. Pada pengujian EDX juga ditemukan terdapat Ni dan Fe disetiap sampel *slag*.

Terdapat juga fasa AlO_2 pada puncak 2 θ 31,26; 36,43; dan 52,02. Fasa AlO_2 atau Aluminum Peroxide muncul karena kurangnya energi untuk mereduksi sempurna Al dari Al_2O_3 yang terdapat didalam ore dan *Sinter*.

Fasa terakhir yang ada pada *slag* 1 adalah *Diopside* atau $CaMgO_6SiO_2$. Fasa ini ditandai pada grafik hasil XRD pada puncak.2 θ 22.83;24.64;26.63;29.81;30.03;32.21;33.83;35.19;37.56;39.29;40.83;42.58;43.10;54.94;56.39;58.39;61.42;65.95;66.56; 67.35;71.05;74.44;76.75;80.66 .Fasa ini adalah terbentuk karena kombinasi ion ion oksida sisa reaksi smelting yang terjadi pada temperatur 1550°C menurut Persamaan 4.12



Ion – ion sisa reaksi smelting ini berikatan satu sama lain membentuk senyawa bernama *Diopside* atau $CaMgO_6SiO_2$. Rangkuman identifikasi setiap peak pada *slag* 1 akan ditampilkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Identifikasi Tiap Peak pada Grafik XRD *Slag 1*

No	<i>Slag</i>	Fasa	Rumus Kimia	Puncak 2theta (°)	
1	1 (Limestone 7,5 kg)	CrO ₃	CrO ₃	27,82	
				44,92	
				50,33	
2		NiFe ₂ O ₄	NiFe ₂ O ₄	30,55	
				35,93	
3		AlO ₂	AlO ₂	31,26	
				36,43	
4		Diopside	CaMgO ₆ SiO ₂	22.83	43.10
				24.64	54.94
				26.63	56.39
	29.81			58.39	
	30.03			61.42	
	32.21			65.95	
	33.83			66.56	
	35.19			67.35	
	37.56			71.05	
	39.29			74.44	
40.83	76.75				
42.58	80.66				

Pada *slag 2* juga ditemukan fasa CrO₃ pada puncak 2θ 20,04; 41;07; 44,69; dan 49;92. Fasa NiFe₂O₄ pada 30,44; 35,87; 71,46; 74,32. Dan fasa Diopside pada puncak 2θ 20.88; 22.81; 24.43; 26.64; 27.77; 29.92; 30.66; 30.90; 32.23; 33.55; 35.16; 36.34; 39.21; 42.55; 43.06; 44.84; 46.12; 52.06; 52.61; 55.04; 56.39; 56.54; 56.92; 58.50; 60.03; 61.56; 62.61; 66.03; 66.54; 70.85; 76.82. Rangkuman identifikasi setiap peak pada *slag 1* akan ditampilkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Identifikasi Tiap Peak pada Grafik XRD *Slag 2*

No	<i>Slag</i>	Fasa	Rumus Kimia	Puncak 2theta (°)	
1		CrO ₃	CrO ₃	20,04	
				41;07	
2		NiFe ₂ O ₄	NiFe ₂ O ₄	44,69	
				49;92	
3	2 (Limestone 8,5 kg)	Diopside	CaMgO ₆ SiO ₂	30,44	
				35,87	
				71,46	
				74,32	
				20.88	44.84
				22.81	46.12
				24.43	52.06
				26.64	52.61
				27.77	55.04
				29.92	56.39
				30.66	56.54
				30.90	56.92
				32.23	58.50
				33.55	60.03
				35.16	61.56
				36.34	62.61
39.21	66.03				
42.55	66.54				
43.06	70.85				
	76.82				

Pada *slag 3* ditemukan fasa CrO₃ pada puncak 2θ 27,77; 44,63; dan 71,47. Fasa NiFe₂O₄ pada 30,42; dan 35,83. Dan terakhir fasa Diopside pada puncak 2θ 20.14; 20.88; 22.82; 23.88; 24.37; 26.72; 29.41; 29.92; 30.91; 32.19; 35.10; 35.40; 36.41; 39.28; 40.65; 42.18; 42.49; 43.03; 46.08; 49.93; 52.59; 55.03; 56.41; 56.83; 58.46; 60.97; 61.52; 62.48; 65.98; 66.61; 68.16; 70.83; 74.35; 76.70. Rangkuman identifikasi setiap peak pada *slag 3* akan ditampilkan pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Identifikasi Tiap Peak pada Grafik XRD *Slag 3*

No	Slag	Fasa	Rumus Kimia	Puncak 2theta ($^{\circ}$)	
1		CrO ₃	CrO ₃	27,77	
				44,63	
				71,47	
2		NiFe ₂ O ₄	NiFe ₂ O ₄	30,42	35,83
3	3 (Limestone 9,5 kg)	Diopside	CaMgO ₆ SiO ₂	20.14	43.03
				20.88	46.08
				22.82	49.93
				23.88	52.59
				24.37	55.03
				26.72	56.41
				29.41	56.83
				29.92	58.46
				30.91	60.97
				32.19	61.52
				35.10	62.48
				35.40	65.98
				36.41	66.61
				39.28	68.16
				40.65	70.83
42.18	74.35				
42.49	76.70				

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan – kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi massa *Limestone* menyebabkan perbedaan kadar logam dalam produk ferronickel. Massa *Limestone* yang memiliki kadar logam Ni yang tertinggi ada pada massa *Limestone* 9,5 kg yaitu 30,57% , dan kadar logam Fe yang tertinggi ada pada massa *Limestone* 8,5 kg yaitu 72,53 %
2. Variasi massa *Limestone* mempengaruhi *recovery* logam pada proses *Smelting*. *Recovery* logam Ni yang terbaik terdapat pada penggunaan massa *Limestone* 8,5 kg, yaitu 64,30%. Dan *recovery* logam Fe yang terbaik terdapat pada penggunaan massa *Limestone* 8,5 kg, yaitu 10,13%.
3. Senyawa - senyawa yang terbentuk pada ferronickel dengan variasi massa *Limestone* 7,5 kg, 8,5 kg, dan 9,5 kg adalah FeNi sedangkan senyawa yang terbentuk pada *slag* 7,5 kg, 8,5 kg, dan 9,5 kg adalah CrO_3 , AlO_2 , NiFe_2O_4 , dan $\text{CaMgO}_6\text{SiO}_2$.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian – penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan penelitian smelting bijih nikel laterit dengan massa *Limestone* sebanyak 6,5 dan 10,5 kg.
2. Melakukan penelitian smelting bijih nikel late rit dengan mengubah perbandingan ore, dan batubara, dan *Limestone* yang lebih bervariasi
3. Melakukan penelitian lanjutan mengenai ferronickel untuk mengembangkan produk nikel Indonesia.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, F. 2014. **Studi Pengaruh Variasi Feed Materials pada Proses Smelting Mineral Tembaga Karbonat Menggunakan Mini Blast Furnace**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Astuti, W., Andika, R., Nurjaman, F. 2018. **Effect of Basicity and Reductant Amount in The Nickel Pig Iron (NPI) Production from Indonesian Limonite Ore in Submerged Electric Arc Furnace (SAF)**. Lampung : IOP Publishing.
- Bamford, C.H., Tipper, C.F.H. 2008. **Comprehensive Chemical Kinetics**. New York : Elsevier.
- Breeze, Paul. 2015. **Coal-Fired Generation**. New York : Elsevier.
- Chastain, S.D. 2000. **Iron Melting Cupola Furnaces for The Small Foundry**. Jacksonville : Stephen D. Chastain.
- Crundwell, F.K., Moats, M.S., Ramachandran V., Robinson, T.G., dan Davenport, W.G. 2011. **Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals**. Oxford : Elsevier.
- Duyvensteyn, W. P. C., Wicker, G. R., & Doane, R. E. 1979. An Omnivorous Process for Laterite Deposits. **International Laterite Symposium 5**, 553–569.
- Elliot, R., Pickles, C.A., Peacey, J. 2017. **Ferronickel Particle Formation During The Carbothermic Reduction of a Limonitic Laterite Ore**. New York : Elsevier.

-
- Everhart, J.L. 1971. **Engineering Properties of Nickel and Nickel Alloys**. New York : Plenum Press.
- Harris, C.T., Peacey J.G., Pickles, C.A. 2012. **Selective Sulphidation and Flotation of Nickel from a Nickeliferous Laterite Ore**. New York : Elsevier
- Huang, W., Hillet, M. Wang, X., Sep. 1995. "Thermodynamic Assessment of The CaO-MgO-SiO₂ System". **Metallurgical and Materials Transactions A** 26, 9: 2293-2310.
- Johansyah, D. 2012. **Studi Pengaruh Proses Reduksi Pemanggangan dan Waktu Pelindian Amonium Bikarbonat terhadap Perolehan Nikel dari Bijih Limonit**. Depok: Universitas Indonesia.
- Jungah, K., Gjergj, D., Hideaki, T., Katsunori, O., Seiji, M., Toyohisa, F., 2010. Calcination of Low-grade Laterite for Concentration of Ni by Magnetic Separation. **Minerals Engineering** 23. 282–288.
- Li, G. Luo, J. Peng, Z. Zhang, Y. Rao, M., Jiang, T. 2015. Effect of Quaternary Basicity on Melting Behavior and Ferronickel Particles Growth of Saprolitic Laterite Ores in Krupp–Renn Process. **ISIJ International** 55 , 1828 – 1833.
- Li, X. Tuo, B., Zhang, Q. Zhang, S. 2014. Experimental Study on Recovery of Nickel from Nickel-bearing Laterite. **Advanced Materials Research** 881, 1611 – 1615.
-

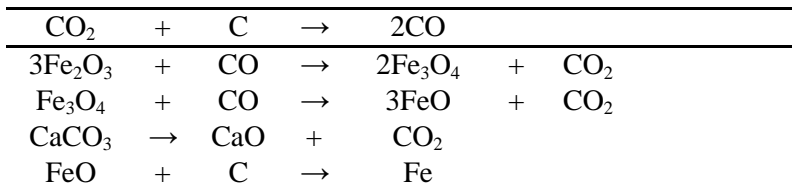
-
- Morcalli, M.H., Khajavi, L.T., Dreisinger, D.B., Okt. 2017. "Extraction of Nickel and Cobalt from Nickeliferous Limonitic Laterite Ore using Borax Containing Slags". **International Journal of Mineral Processing** 167, 27-34.
- Vale. 2018. **Safety Data Sheet**.
- Noviyanti, Jasruddin, dan Sujiono, E.K. 2015. Karakterisasi Kalsium Karbonat dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa. **Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika** 31, 169-172.
- Shelley, R.C. 2015. **SEDIMENTARY ROCKS/Limestones**. London : Imperial College of London.
- Solar, M.Y., Candy, I. Wasmund, B. 2008. Selection of optimum ferronickel grade for smelting nickel laterites. **CIM Bulletin** 101, 1 – 8.
- Stratton, P. 2013. Ellingham diagrams – their use and misuse. **International Heat Treatment and Surface Engineering** 31, 112-114.
- Tang, Z., Ding, X., Yan, L., Dong, Y., Liu, C. 2018. Recovery of Iron, Chromium, and Nickel from Pickling Sludge Using Smelting Reduction. **Metals - Open Access Metallurgy Journal** 8, 936 - 940.
- Wang, Z., Chu, M., Liu, Z., Wang, H., Zhao, W., Gao, L. 2017. **Preparing Ferro-Nickel Alloy from Low-Grade Laterite Nickel Ore Based on Metallized Reduction-Magnetic Separation**. Shenyang : Metals.
-

-
- Wells, M.A, Fitzpatrick dan R.J Gilkes. 2006. **Thermal and Mineral Properties of Al-, Cr-, Mn-, Ni- and Ti-Substituted Goethite**. Virginia : The Clay Minerals Society.
- Yang, J., Zhang, G., Ostrovski, O., Jahanshahi, S. 2019. **Selective Reduction of an Australian Garnieritic Laterite Ore**. Sydney : Elsevier.
- Zhai, Y.C., Mu, W.N., Liu, Y., Xu, Q., 2010. **A green process for recovering nickel from nickeliferous laterite ores**. Transactions of the Nonferrous Metals Society of China 20, 65–70.
- Zhu, D., C. Yang, J. Pan dan L. Lu. 2018. **Granulation Effectiveness of Iron Ore Sinter Feeds: Effect of Ore Properties**. Tokyo : The Iron and Steel Institute of Japan

LAMPIRAN

A. Perhitungan Stoikiometri Campuran Smelting

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses smelting reaksi kimia yang terlibat adalah reaksi reduksi, dekomposisi, dan bouduard. Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material umpan

1. Bijih Nikel Laterit

Dari data EDX diperoleh persentase berat elemen elemen dalam bijih nikel laterit adalah

Tabel 1. Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	O
% Wt	1.59	42.01	17.78	5.91	2.36	2.5	1.29	25.89

2. *Sinter*

Dari data EDX diperoleh persentase berat elemen elemen dalam *Sinter* adalah

Tabel 2. Hasil EDX *Sinter*

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	O
% Wt	1.92	22.18	14.38	6.23	28.64	2.51	0,74	22.36

3. Batu bara

Dari data pengujian proximate analysis (fixed carbon) diperoleh konsentrasi 61,8 %. Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah Fe_2O_3 diketahui dengan cara sebagai berikut:

Berat CaO dalam laterit

$$\begin{aligned} \% \text{Wt CaO} &= \frac{\text{Mr CaO}}{\text{Ar Ca}} \times \% \text{Wt Ca} \\ &= \frac{56}{40} \times 2.36 \% = 3,31 \% \end{aligned}$$

Berat MgO dalam laterit

$$\begin{aligned} \% \text{Wt MgO} &= \frac{\text{Mr MgO}}{\text{Ar Mg}} \times \% \text{Wt MgO} \\ &= \frac{40,3}{24,3} \times 5,91 \% = 9,80 \% \end{aligned}$$

Berat SiO_2 dalam laterit

$$\begin{aligned} \% \text{Wt SiO}_2 &= \frac{\text{Mr SiO}_2}{\text{Ar Si}} \times \% \text{Wt Si} \\ &= \frac{60}{28} \times 17,78 \% = 38,1 \% \end{aligned}$$

Berat Al₂O₃ dalam laterit

$$\begin{aligned} \% \text{Wt Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr Al}_2\text{O}_3}{\text{Ar Al}} \times \% \text{Wt Al} \\ &= \frac{102}{54} \times 2,5\% = 4,72\% \end{aligned}$$

Berat Fe₂O₃ dalam laterit

$$\begin{aligned} \% \text{Wt Fe}_2\text{O}_3 &= 100\% - \% \text{Wt Al}_2\text{O}_3 - \% \text{Wt SiO}_2 - \% \text{Wt CaO} - \\ &\quad \% \text{Wt MgO} = 38,84\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh presentase Fe₂O₃ dan NiO dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 42,85 kilogram *ore* maka diperoleh massa Fe₂O₃, CaO, MgO, SiO₂, dan Al₂O₃ yaitu sebagai berikut.

Fe ₂ O ₃	= 16,64	kilogram
CaO	= 1,418	kilogram
MgO	= 4,200	kilogram
SiO ₂	= 16,326	kilogram
Al ₂ O ₃	= 2,023	kilogram

Dari massa kedua senyawa maka diperoleh jumlah mol yang terkandung dalam laterit yaitu sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{16,64}{160} \\ &= 0,104 \text{ kmol} \end{aligned}$$

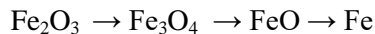
$$\begin{aligned} \text{CaO} &= \frac{\text{massa CaO}}{\text{Mr CaO}} \\ &= \frac{1,418}{56} \\ &= 0,025 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MgO} &= \frac{\text{massa MgO}}{\text{Mr MgO}} \\ &= \frac{4,200}{40,3} \\ &= 0,104 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= \frac{\text{massa SiO}_2}{\text{Mr SiO}_2} \\ &= \frac{16,326}{60} \\ &= 0,272 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa Al}_2\text{O}_3}{\text{Mr Al}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{2,023}{102} \\ &= 0,020 \text{ kmol} \end{aligned}$$

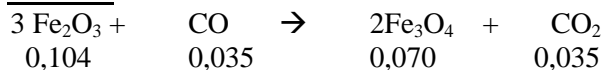
Dalam penelitian ini reaksi senyawa oksida, reaksi dekomposisi terjadi bertahap sebagai berikut



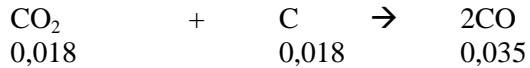
Dengan target reduksi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 = 100\%$
 reduksi $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} = 100\%$
 reduksi $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} = 100\%$

Dari skema reaksi dapat dihitung berapa kebutuhan batu bara dengan cara menghitung berapa mol gas CO dan unsur C yang harus bereaksi dengan laterit

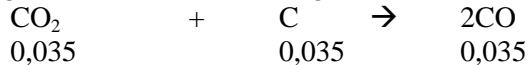
a. **Reaksi 1**



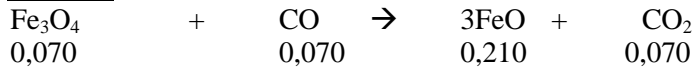
Reaksi bouduard



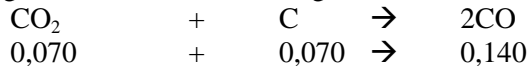
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan batu bara



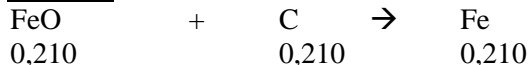
b. **Reaksi 2**



Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 2 dengan C batu bara



c. **Reaksi 3**



Total mol C = 0,018 + 0,035 + 0,070 + 0,210 = 0,333 kmol

Massa C yang dibutuhkan oleh laterit

= total mol C x Ar C = 0,333 kmol x 12 gram/mol = 4 kg

Tabel 3 Komposisi Elemen didalam *Sinter*

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	O
% Wt	1.92	22.18	14.38	6.23	28.64	2.51	0,74	22.36

Dari kadar unsur dalam *Sinter*, maka jumlah FeO diketahui dengan cara sebagai berikut:

Berat CaO dalam *Sinter*

$$\begin{aligned} \% \text{Wt CaO} &= \frac{\text{Mr CaO}}{\text{Ar Ca}} \times \% \text{Wt Ca} \\ &= \frac{56}{40} \times 28.64 \% = 32,04 \% \end{aligned}$$

Berat MgO dalam *Sinter*

$$\begin{aligned} \% \text{Wt MgO} &= \frac{\text{Mr MgO}}{\text{Ar Mg}} \times \% \text{Wt MgO} \\ &= \frac{40,3}{24,3} \times 6.23 \% = 8.26 \% \end{aligned}$$

Berat SiO₂ dalam *Sinter*

$$\begin{aligned} \% \text{Wt SiO}_2 &= \frac{\text{Mr SiO}_2}{\text{Ar Si}} \times \% \text{Wt Si} \\ &= \frac{60}{28} \times 14,38 \% = 24,62 \% \end{aligned}$$

Berat Al₂O₃ dalam *Sinter*

$$\begin{aligned} \% \text{Wt Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr Al}_2\text{O}_3}{\text{Ar Al}} \times \% \text{Wt Al} \\ &= \frac{102}{54} \times 2,5 \% = 7,58 \% \end{aligned}$$

Berat FeO dalam *Sinter*

$$\begin{aligned} \% \text{Wt FeO} &= 100 \% - \% \text{Wt Al}_2\text{O}_3 - \% \text{Wt} \\ \text{SiO}_2 - \% \text{Wt CaO} - \% \text{Wt MgO} &= 22,79 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh presentase FeO dalam *Sinter*. Jika diasumsikan dalam 100 kilogram *Sinter* maka diperoleh massa FeO, CaO, MgO, SiO₂, dan Al₂O₃ yaitu sebagai berikut.

FeO	=	22,785	kilogram
CaO	=	32,036	kilogram
MgO	=	8,255	kilogram
SiO ₂	=	24,620	kilogram
Al ₂ O ₃	=	7,576	kilogram

Dari massa kedua senyawa maka diperoleh jumlah mol yang terkandung dalam laterit yaitu sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{FeO} &= \frac{\text{massa FeO}}{\text{Mr FeO}} \\ &= \frac{22,785}{72} \\ &= 0,316 \text{ kmol}\end{aligned}$$

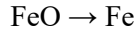
$$\begin{aligned}\text{CaO} &= \frac{\text{massa CaO}}{\text{Mr CaO}} \\ &= \frac{32,036}{56} \\ &= 0,572 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{MgO} &= \frac{\text{massa MgO}}{\text{Mr MgO}} \\ &= \frac{8,255}{40,3} \\ &= 0,205 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SiO}_2 &= \frac{\text{massa SiO}_2}{\text{Mr SiO}_2} \\ &= \frac{24,620}{60} \\ &= 0,410 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa Al}_2\text{O}_3}{\text{Mr Al}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{7,576}{102} \\ &= 0,074 \text{ kmol}\end{aligned}$$

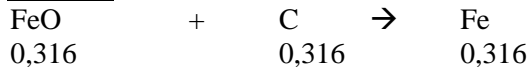
Dalam penelitian ini reaksi senyawa oksida, reaksi dekomposisi terjadi bertahap sebagai berikut:



$$\text{reduksi FeO} \rightarrow \text{Fe} = 100\%$$

Dari skema reaksi dapat dihitung berapa kebutuhan batu bara dengan cara menghitung berapa mol gas CO dan unsur C yang harus bereaksi dengan *Sinter*

c. **Reaksi 3**



$$\text{Total mol C} = 0,316 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan oleh Sinter} \\ &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} = 0,316 \text{ kmol} \times 12 \text{ gram/mol} \\ &= 13,792 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Maka total C yang dibutuhkan dari laterit dan Sinter} = 4 \text{ kg} + 13,792 \text{ kg} = 17,792 \text{ kg}$$

B. Perhitungan Kebutuhan *Limestone*

Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen – elemen yang terkandung di dalam *Limestone* yang disajikan pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil EDX *Limestone*

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Calcium	Ca	43.01
2.	Magnesium	Mg	0.57
3.	Silicon	Si	6.51
4.	Aluminium	Al	2.43
5.	Oksigen	O	33.93

Perhitungan kebutuhan fluks (*Limestone*)
mempertimbangkan nilai basisitas dari campuran

$$\text{Basisitas} = \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)}$$

Menghitung basisitas *ore*

$$\text{Basisitas ore} = \frac{(1,42 + 4,20)}{(16,32 + 2,02)} = 0,306$$

Menghitung basisitas *Sinter*

$$\text{Basisitas Sinter} = \frac{[(1,42 + 4,20) + (43,52\% \times \text{massa Limestone})]}{[(16,32 + 2,02) + (18,54\% \times \text{massa Limestone})]}$$

$$1,037 = \frac{[5,62 + (43,52\% \times \text{massa Limestone})]}{[18,34 + (18,54\% \times \text{massa Limestone})]}$$

$$\text{Massa Limestone} = \frac{13,39}{24,31\%} = 55,19 \text{ kg}$$

Massa *Limestone* = 55,19 kg pada setiap 100 kg *Sinter*

C. Perhitungan Neraca Energi

Untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar, dilakukan perhitungan neraca panas/energi terlebih dahulu. Kebutuhan panas/energi pada proses *Smelting* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 5 Kebutuhan Energi Smelting

No	Item	Energi yang dibutuhkan (kkal/100kg <i>Sinter</i>)
1	Panas untuk pemanasan dan smelting bijih nikel serta <i>Sinter</i>	680.649,390
2	Panas untuk dekomposisi dan pemanasan <i>Limestone</i>	56.792,388
Total		737.441,778

Dengan panas pembakaran karbon pada batu bara sebesar 7204 kkal/kg maka jumlah batu bara yang dibutuhkan dalam proses smelting sebesar $= \frac{737.441,388 \text{ kkal}}{7244 \text{ kkal/kg}} = 115,16 \text{ kg}$

Rincian dari kebutuhan energi dari proses smelting bijih nikel laterit adalah sebagai berikut.

Massa <i>Sinter</i>	= 100 kg
Massa Bijih	= 42,85 kg
Massa <i>Limestone</i>	= 55,19 kg
Temperatur Target	= 2005 K
S.F Batu Bara	= 10%

Tabel 6 Kebutuhan Energi Bijih Nikel Laterit

Senyawa	ΔH (kJ/mol)	Mol	Entalpi (kJ)
Fe ₂ O ₃	7.601,52	7.601,52	7.601,52
Fe ₂ O ₃ -> FeO	-10.790,00	-10.790,00	-10.790,00
FeO	20.617,34	20.617,34	20.617,34
FeO -> Fe	28.872,48	28.872,48	28.872,48
Fe	469.747,20	469.747,20	469.747,20
NiO	3.803,38	3.803,38	3.803,38
NiO -> Ni	30.488,40	30.488,40	30.488,40
Ni	1.589,64	1.589,64	1.589,64
CaO	2.294,25	2.294,25	2.294,25
MgO	9.038,09	9.038,09	9.038,09
SiO ₂	32.571,84	32.571,84	32.571,84
Al ₂ O ₃	4.208,58	4.208,58	4.208,58
Cr ₂ O ₃	1.088,21	1.088,21	1.088,21
CoO	101,24	101,24	101,24
P ₂ O ₅	233,83	233,83	233,83
SO ₃	507,28	507,28	507,28
Cl	127,43	127,43	127,43
Total KJ			602.100,70
Total KKal			144.504,17

Tabel 7 Kebutuhan Energi *Limestone*

Senyawa	ΔH (kJ/mol)	Mol	Entalpi (kJ)
CaCO ₃	139,76	469	65548,09
CaCO ₃ -> CaO	234,16	469	109824,17
CaO	67,49	469	31656,48
MgCO ₃	9,91	14	138,76
MgO	128,25	14	1795,50
MgO	84,14	14	1177,96
Al ₂ O ₃	210,42	28	5892,01
SiO ₂	119,74	143	17124,16
K ₂ O	204,61	5	1023,05
Fe ₂ O ₃	245,47	10	2454,77
Total KJ			236634,95
Total KKal			56792,39

Tabel 8 Kebutuhan Energi Sinter

Senyawa	ΔH (kJ/mol)	Mol	Entalpi (kJ)
Fe ₂ O ₃	73,092	413	30.186,81
Fe ₂ O ₃ -> FeO	-51,875	826	-42.848,75
FeO	83,994	826	69.378,65
FeO -> Fe	138,810	826	114.657,06
Fe	8,000	826	1.865.438,40
NiO	316,949	22	6.972,87
NiO -> Ni	9,000	22	55.895,40
Ni	132,470	22	2.914,34
CaO	91,770	295	27.072,15
MgO	86,905	209	18.163,08
SiO ₂	119,749	601	71.969,39
Al ₂ O ₃	210,429	53	11.152,73
Cr ₂ O ₃	217,641	10	2.176,41
CoO	101,236	8	809,89
Total KJ			2.233.938,43
Total KKal			536.145,22

D. Perhitungan Laju Alir Udara

Dari kebutuhan batu bara yang dibutuhkan, dapat diketahui kebutuhan oksigen, kebutuhan udara serta laju alir udara.

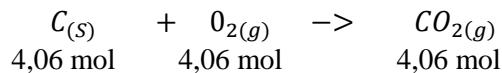
Massa batu bara : 115,16 kg

%C pada Batu bara : 42,35 %

Mol C dapat dihitung

$$\frac{\%C \text{ pada arang} \times \text{Massa arang}}{\text{Ar C}}$$

$$= \frac{42,35\% \times 115,16}{12} = 4,06 \text{ mol}$$



$$\text{Massa } O_2 = \text{Mol } O_2 \times \text{Ar } O_2 = 4,06 \times 32 = 129,92 \text{ kg}$$

$$\text{Volume } O_2 = \text{Massa } O_2 / \text{Densitas } O_2 = \frac{129,92 \text{ kg}}{1,429 \text{ kg/m}^3} = 90,91 \text{ m}^3$$

Volume udara dapat diketahui dari volume O_2

$$\frac{100}{21} \times \text{volume } O_2 = \frac{100}{21} \times 90,91 = 432,90 \text{ m}^3$$

Waktu smelting 105 menit dengan volume udara
432,90 m³

Waktu *Smelting* 1 jam dengan laju alir udara per jam
= 432,90 ÷ 7/4 = 247,64 m³/jam

Untuk waktu *Smelting* per-menit, maka laju alir udara
= $\frac{247,64}{60} = 4,12 \text{ m}^3/\text{menit}$

E. Perhitungan *Recovery*

Persentase *Recovery* dari Ni dan Fe dalam Ferronickel didapat dengan cara membandingkan jumlah masing – masing logam yang terolah dalam produk dengan jumlah logam yang seharusnya didapat setelah proses (logam yang terdapat dalam *Sinter* dan bijih nikel laterit).

$$RL = 100\% \times \frac{C[L - FeNi] \times M[FeNi]}{C[L - ore] \times M[ore] + C[L - sntr] \times (M[sntr] - M[waste])}$$

Keterangan :

RL	= <i>Recovery</i> Logam (%)
C[L-FeNi]	= Kadar Logam dalam Ferronickel
C[L-ore]	= Kadar Logam dalam Bijih Laterit
C[L-sntr]	= Kadar Logam dalam <i>Sinter</i>
M[FeNi]	= Massa Ferronickel
M[ore]	= Massa Bijih Laterit
M[sntr]	= Massa <i>Sinter</i>
M[waste]	= Massa <i>Sinter</i> yang tidak terolah

Tabel 8 Data Hasil Pengolahan Ferronickel

Variasi Massa <i>Limestone</i> (kg)	7,5	8,5	9,5
Massa Ore (kg)	145,2	46,2	33
Massa <i>Sinter</i> (kg)	338,8	107,8	77
Massa Waste (kg)	140	70	70
Massa Ferronickel (kg)	13,9	3,88	1,45
%Ni Ore	1,59	1,59	1,59
%Ni <i>Sinter</i>	1,92	1,92	1,92
%Ni FeNi	26,41	24,20	30,57
%Fe Ore	42,01	42,01	42,01
%Fe <i>Sinter</i>	22,18	22,18	22,18
%Fe FeNi	70,47	72,53	61,3

$$\begin{aligned} & \text{Recovery Ni Ferronickel 1 (Limestone 7,5 kg)} \\ & = 100 \% \times \frac{26,41\% \times 13,9 \text{ kg}}{1,59\% \times 145,2 \text{ kg} + 1,92\% \times (338,8 \text{ kg} - 140 \text{ kg})} \\ & = \mathbf{59,93 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Recovery Ni Ferronickel 2 (Limestone 8,5 kg)} \\ & = 100 \% \times \frac{24,20\% \times 3,88 \text{ kg}}{1,59\% \times 46,2 \text{ kg} + 1,92\% \times (145,2 \text{ kg} - 70 \text{ kg})} \\ & = \mathbf{64,30 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Recovery Ni Ferronickel 3 (Limestone 9,5 kg)} \\ & = 100 \% \times \frac{30,57\% \times 1,45 \text{ kg}}{1,59\% \times 33 \text{ kg} + 1,92\% \times (77 \text{ kg} - 70 \text{ kg})} \\ & = \mathbf{50,89 \%} \end{aligned}$$

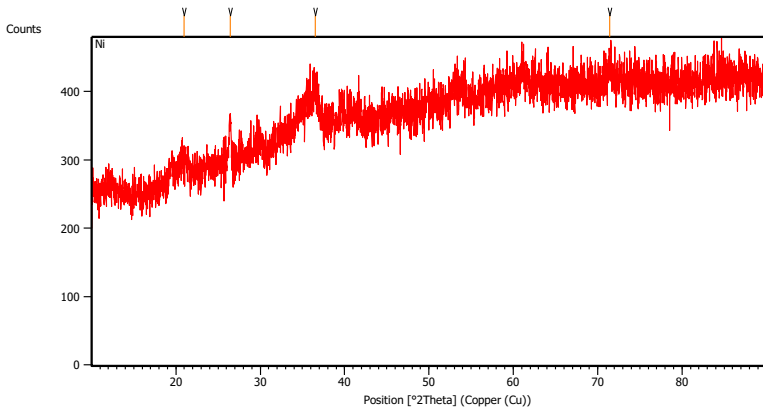
$$\begin{aligned} & \text{Recovery Fe Ferronickel 1 (Limestone 7,5 kg)} \\ & = 100 \% \times \frac{70,47\% \times 13,9 \text{ kg}}{42,01\% \times 145,2 \text{ kg} + 22,18\% \times (338,8 \text{ kg} - 140 \text{ kg})} \\ & = \mathbf{9,32 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Recovery Fe Ferronickel 2 (Limestone 8,5 kg)} \\ & = 100 \% \times \frac{72,53\% \times 3,88 \text{ kg}}{42,01\% \times 46,2 \text{ kg} + 22,18\% \times (145,2 \text{ kg} - 70 \text{ kg})} \\ & = \mathbf{10,13\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Recovery Fe Ferronickel 3 (Limestone 9,5 kg)} \\ & = 100 \% \times \frac{61,12\% \times 1,45 \text{ kg}}{42,01\% \times 33 \text{ kg} + 22,18\% \times (77 \text{ kg} - 70 \text{ kg})} \\ & = \mathbf{4,23 \%} \end{aligned}$$

F. Hasil Pengujian XRD

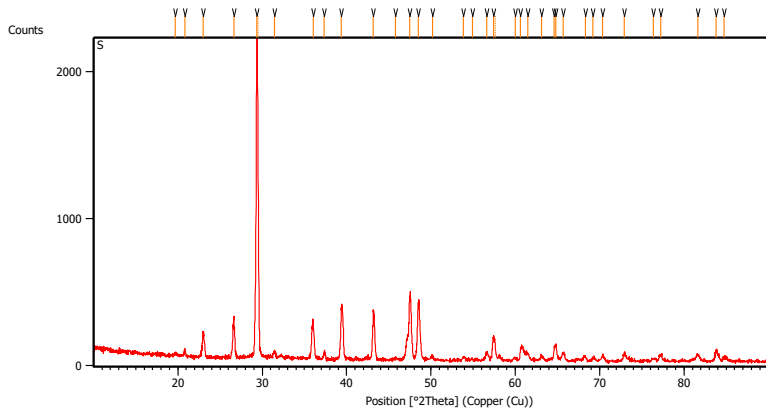
Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit



Peak List:

Pos.	Height	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int.
20.9708	17.76	0.8029	4.23626	26.57
26.4654	66.86	0.2007	3.36792	100.00
36.5053	40.87	0.5353	2.46143	61.12
71.4102	24.44	0.8029	1.32097	36.56

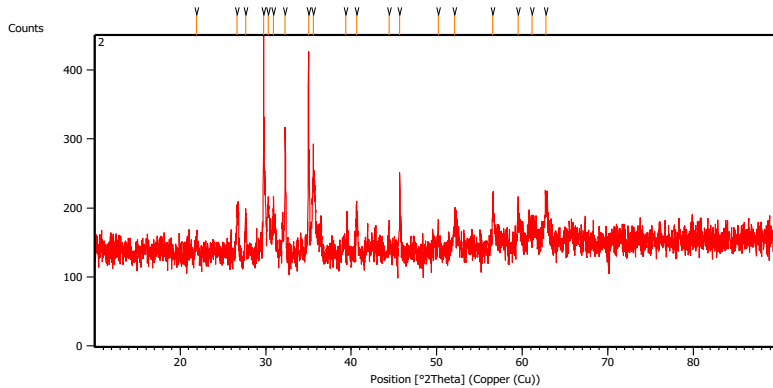
Hasil Pengujian XRD *Limestone*



Peak List:

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
19.6728	12.31	0.4015	4.51275	0.57
20.8132	43.59	0.1338	4.26799	2.00
22.9960	169.34	0.2342	3.86758	7.78
26.6190	282.22	0.0502	3.34883	12.97
29.3857	2175.91	0.1836	3.03701	100.00
29.4846	1673.62	0.1020	3.03457	76.92
31.4693	43.40	0.2856	2.84052	1.99
36.0335	266.20	0.1020	2.49050	12.23
37.3421	48.30	0.2448	2.40618	2.22
39.3875	336.10	0.1632	2.28580	15.45
43.1737	323.52	0.0816	2.09371	14.87
45.8187	12.86	0.6528	1.97881	0.59
47.5143	422.21	0.3264	1.91207	19.40
48.4774	343.25	0.1020	1.87631	15.77
50.1594	27.07	0.3264	1.81726	1.24
53.8710	24.35	0.3264	1.70049	1.12
54.9119	13.42	0.2856	1.67069	0.62
56.6271	56.81	0.2856	1.62409	2.61
57.3999	152.12	0.2856	1.60405	6.99
57.5985	130.36	0.1224	1.60296	5.99
59.9687	19.65	0.4080	1.54133	0.90
60.6287	81.00	0.2448	1.52612	3.72
61.4519	52.23	0.3264	1.50763	2.40
63.1306	34.70	0.4080	1.47152	1.59
64.6183	87.65	0.1224	1.44119	4.03
64.8159	115.33	0.1632	1.43728	5.30
65.6860	57.46	0.4080	1.42033	2.64
68.2894	29.38	0.4080	1.37239	1.35
69.2038	20.41	0.4080	1.35647	0.94
70.3600	41.17	0.3264	1.33698	1.89
72.9396	48.99	0.4080	1.29593	2.25
76.3900	15.51	0.3264	1.24575	0.71
77.2561	36.28	0.4080	1.23394	1.67
81.6142	45.30	0.4080	1.17870	2.08
83.7867	73.27	0.2040	1.15358	3.37
84.7232	24.48	0.4896	1.14320	1.12

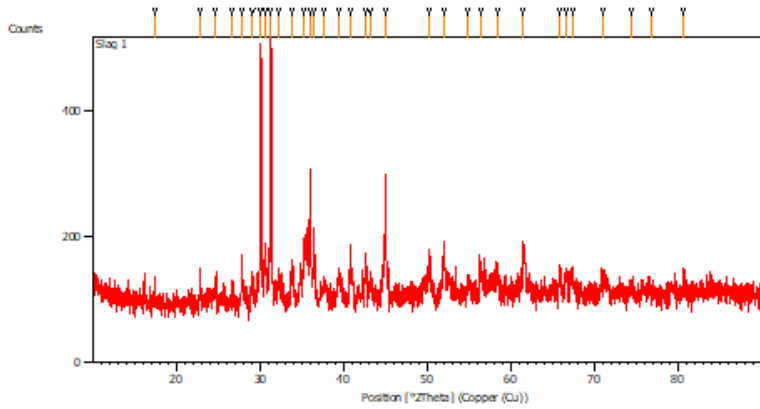
Hasil Pengujian XRD Sinter



Peak List:

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
21.9355	29.39	0.2676	4.05210	8.79
26.6708	68.22	0.2007	3.34245	20.41
27.6857	55.85	0.1338	3.22218	16.71
29.7489	334.27	0.0502	3.00323	100.00
30.3048	81.49	0.2007	2.94940	24.38
30.9294	63.33	0.3346	2.89125	18.95
32.2820	191.20	0.0502	2.77314	57.20
35.0153	296.80	0.0502	2.56267	88.79
35.5949	129.92	0.1338	2.52226	38.87
39.3586	11.12	0.6691	2.28931	3.33
40.6681	55.84	0.2007	2.21857	16.71
44.4521	25.52	0.2007	2.03811	7.63
45.6761	118.78	0.0612	1.98465	35.54
50.1755	32.23	0.2007	1.81822	9.64
52.1069	46.82	0.2007	1.75528	14.01
56.5643	63.24	0.1004	1.62709	18.92
59.5524	42.47	0.2007	1.55239	12.71
61.1340	21.03	0.5353	1.51597	6.29
62.7570	62.11	0.2676	1.48061	18.58

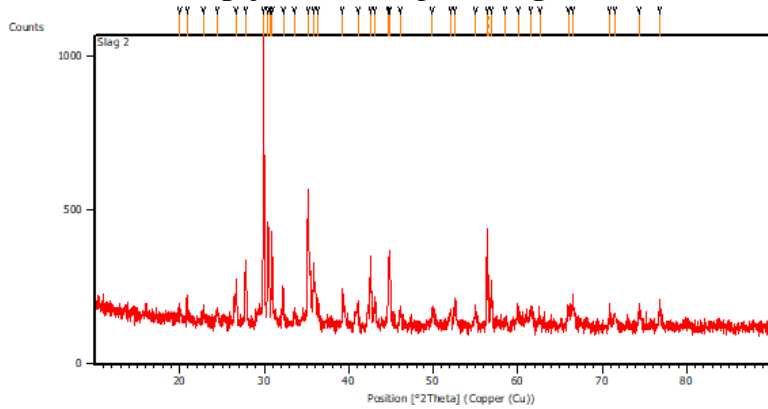
Hasil Pengujian XRD *Slag 1 (7,5 kg Limestone)*



Peak List:

Pos. [$^{\circ}$ Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.3416	27.88	0.1004	5.11379	6.79
22.8361	31.18	0.2007	3.89428	7.59
24.6467	25.71	0.3346	3.61215	6.26
26.6643	17.57	0.4015	3.34324	4.28
27.8272	63.06	0.1338	3.20611	15.35
29.1081	48.04	0.1338	3.06788	11.70
30.0398	401.08	0.0836	2.97482	97.66
30.5562	79.03	0.2007	2.92571	19.24
31.2626	410.67	0.1004	2.86119	100.00
32.2180	46.33	0.2007	2.77850	11.28
33.8387	50.58	0.1673	2.64903	12.32
35.1962	93.72	0.1338	2.54991	22.82
35.9387	211.56	0.0502	2.49892	51.51
36.4343	89.24	0.1673	2.46606	21.73
37.5664	21.66	0.5353	2.39430	5.27
39.2922	35.27	0.4015	2.29302	8.59
40.8013	87.71	0.0502	2.21163	21.36
42.5814	68.75	0.0836	2.12321	16.74
43.1094	26.26	0.2007	2.09842	6.40
44.9281	196.28	0.0669	2.01761	47.79
50.3326	51.74	0.2007	1.81291	12.60
52.0234	76.05	0.1338	1.75790	18.52
54.9455	19.90	0.4015	1.67113	4.84
56.3998	48.32	0.2007	1.63144	11.76
58.3933	28.07	0.4015	1.58041	6.84
61.4992	81.54	0.1004	1.50784	19.85
65.9507	34.14	0.2676	1.41644	8.31
66.5675	37.20	0.2676	1.40481	9.06
67.3565	27.33	0.4015	1.39026	6.65
71.0583	23.37	0.4015	1.32665	5.69
74.4483	13.39	0.4015	1.27441	3.26
76.7526	13.16	0.8029	1.24180	3.20
80.6681	33.88	0.2007	1.19111	8.25

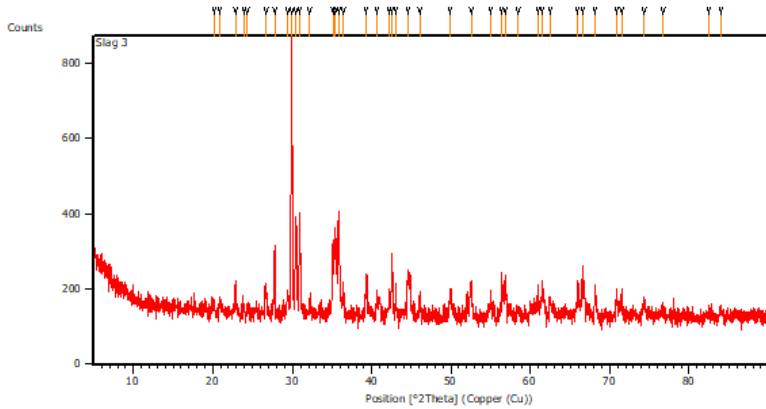
Hasil Pengujian XRD *Slag 2 (8,5 kg Limestone)*



Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.0414	21.54	0.2676	4.43058	2.29
20.8807	78.92	0.0669	4.25434	8.40
22.8191	19.84	0.4015	3.89715	2.11
24.4359	40.90	0.2676	3.64284	4.35
26.6408	145.65	0.0669	3.34613	15.50
27.7761	160.91	0.0836	3.21189	17.12
29.9298	939.64	0.1171	2.98550	100.00
30.4450	320.83	0.0836	2.93614	34.14
30.6656	56.90	0.2676	2.91552	6.06
30.9074	300.63	0.0502	2.89326	31.99
32.2324	126.61	0.0502	2.77729	13.47
33.5578	43.17	0.2007	2.67057	4.59
35.1671	442.14	0.0502	2.55196	47.05
35.8713	195.30	0.1338	2.50346	20.78
36.3470	81.82	0.1673	2.47178	8.71
39.2167	124.22	0.0502	2.29727	13.22
41.0774	70.80	0.2342	2.19740	7.53
42.5534	194.99	0.1338	2.12454	20.75
43.0622	97.48	0.0836	2.10061	10.37
44.6942	229.32	0.1020	2.02595	24.40
44.8461	232.93	0.0669	2.02111	24.79
46.1267	55.73	0.2342	1.96794	5.93
49.9232	55.72	0.2007	1.82682	5.93
52.0634	45.74	0.2007	1.75665	4.87
52.6122	90.25	0.1338	1.73961	9.60
55.0449	56.80	0.2676	1.66835	6.05
56.3992	317.93	0.0816	1.63011	33.84
56.5404	167.02	0.0612	1.63041	17.78
56.9232	125.65	0.0816	1.61634	13.37
58.5097	17.84	0.4896	1.57624	1.90
60.0307	30.36	0.3264	1.53988	3.23
61.5670	48.24	0.3264	1.50509	5.13
62.6134	30.33	0.3264	1.48243	3.23
66.0351	52.42	0.2448	1.41366	5.58
66.5466	71.00	0.3264	1.40403	7.56
70.8541	53.27	0.3264	1.32887	5.67
71.4674	37.63	0.4080	1.31896	4.00
74.3249	59.52	0.1224	1.27517	6.33
76.8291	80.45	0.1224	1.23972	8.56

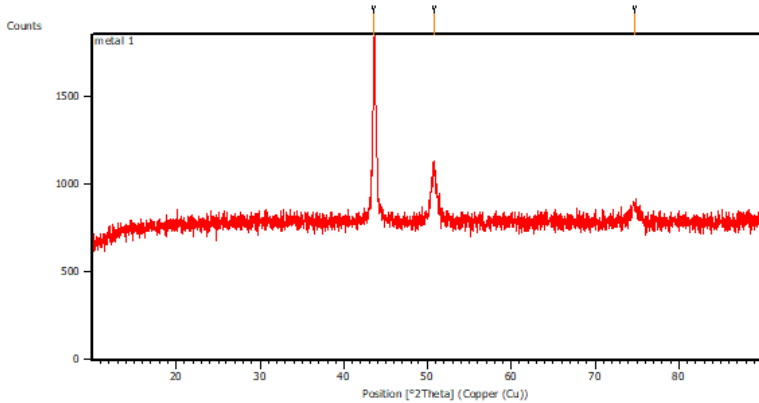
Hasil Pengujian XRD *Slag 3 (9,5 kg Limestone)*



Peak List:

Pos. [$^{\circ}$ Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
20.1444	15.88	0.3346	4.40816	2.12
20.8815	30.84	0.1004	4.25418	4.12
22.8231	85.60	0.1004	3.89648	11.45
23.8888	18.44	0.2676	3.72500	2.47
24.3752	20.41	0.2676	3.65176	2.73
26.7255	67.92	0.2007	3.33572	9.08
27.7757	184.58	0.0669	3.21195	24.68
29.4114	52.01	0.2007	3.03693	6.96
29.9230	747.78	0.1004	2.98616	100.00
30.4214	230.30	0.0836	2.93836	30.80
30.9147	265.63	0.0836	2.89259	35.52
32.1945	44.51	0.2007	2.78047	5.95
35.1009	201.73	0.1171	2.55662	26.98
35.4039	219.71	0.1338	2.53543	29.38
35.8304	280.00	0.1338	2.50622	37.44
36.4108	78.52	0.1338	2.46760	10.50
39.2896	104.63	0.2007	2.29317	13.99
40.6545	62.71	0.1673	2.21928	8.39
42.1855	69.16	0.1338	2.14221	9.25
42.4983	149.53	0.1673	2.12717	20.00
43.0336	74.68	0.1673	2.10194	9.99
44.6304	96.81	0.1506	2.03037	12.95
46.0883	51.01	0.1004	1.96949	6.82
49.9302	66.31	0.1673	1.82658	8.87
52.5941	82.18	0.1004	1.74017	10.99
55.0383	59.95	0.1004	1.66853	8.02
56.4107	116.65	0.0836	1.63115	15.60
56.8377	102.42	0.1004	1.61991	13.70
58.4604	17.81	0.2676	1.57876	2.38
60.9741	48.71	0.2007	1.51956	6.51
61.5265	90.48	0.1338	1.50723	12.10
62.4832	43.29	0.2007	1.48644	5.79
65.9875	74.47	0.2007	1.41574	9.96
66.6175	133.11	0.1020	1.40271	17.80
68.1667	67.58	0.1004	1.37569	9.04
70.8397	67.08	0.1004	1.33020	8.97
71.4719	59.45	0.2007	1.31998	7.95
74.3562	38.69	0.2676	1.27576	5.17
76.7088	22.82	0.4015	1.24240	3.05
82.5087	11.63	0.5353	1.16914	1.55
84.0248	19.50	0.4015	1.15187	2.61

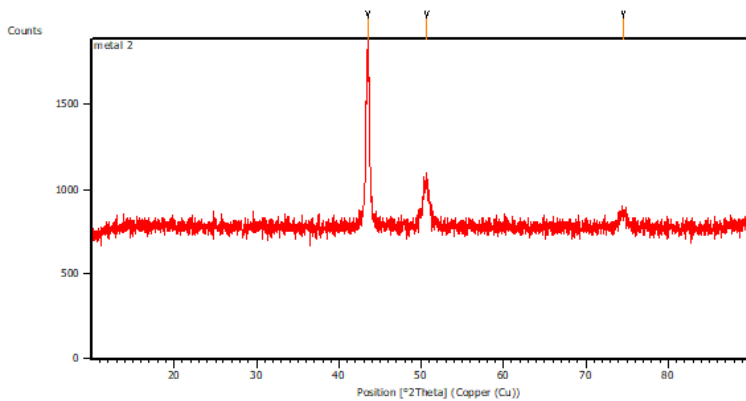
Hasil Pengujian XRD Metal 1 (7,5 kg *Limestone*)



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.5636	1025.18	0.0836	2.07759	100.00
50.8760	303.34	0.2007	1.79482	29.59
74.7138	100.37	0.5353	1.27054	9.79

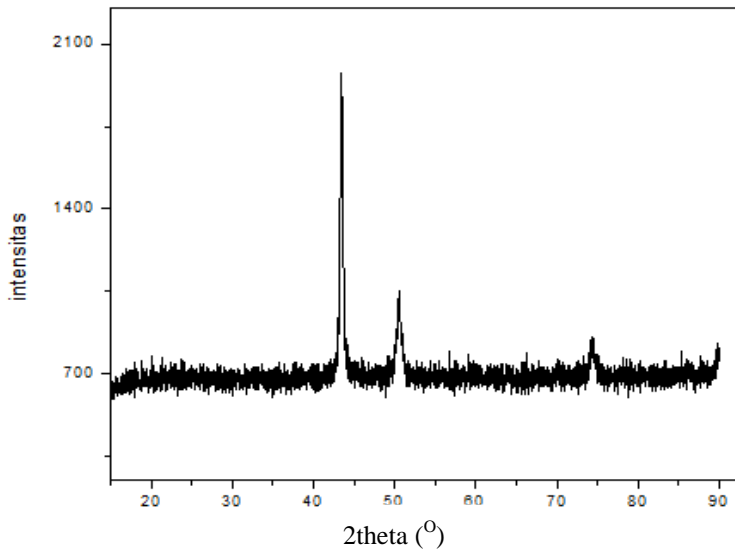
Hasil Pengujian XRD Metal 2 (8,5 kg *Limestone*)



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.4970	1098.40	0.0836	2.08062	100.00
50.7122	259.12	0.6022	1.80023	23.59
74.5541	77.91	0.6691	1.27287	7.09

Hasil Pengujian XRD Metal 3 (9,5 kg *Limestone*)

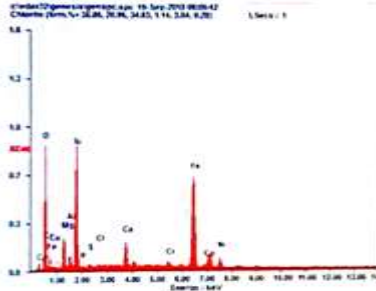


Peak List:

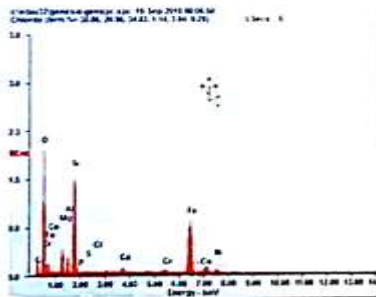
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.4970	1098.40	0.0836	2.08062	100.00
50.7122	259.12	0.6022	1.80023	23.59
74.5541	77.91	0.6691	1.27287	7.09

F. Hasil Pengujian EDX

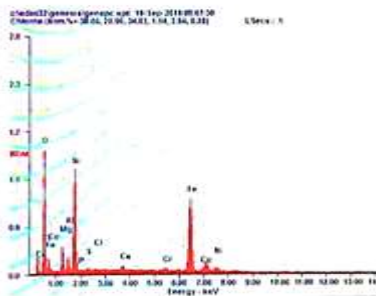
Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit



Element	Wt %	At %
O K	17.96	36.45
MgK	05.80	07.74
AlK	01.73	02.08
SiK	15.90	18.38
PK	00.28	00.29
SK	00.32	00.33
CaK	00.32	00.30
CaK	04.46	03.61
CrK	01.55	00.97
FeK	44.92	26.12
CoK	00.02	00.89
NiK	01.76	02.85

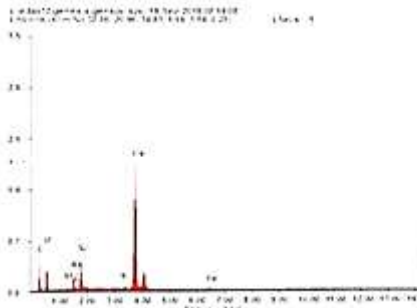


Element	Wt %	At %
O K	27.18	47.53
MgK	06.19	07.13
AlK	03.68	03.20
SiK	19.95	19.88
PK	00.14	00.12
SK	00.20	00.18
CaK	00.17	00.13
CaK	01.55	01.08
CrK	01.11	00.60
FeK	36.01	18.04
CoK	00.02	00.59
NiK	01.59	01.52

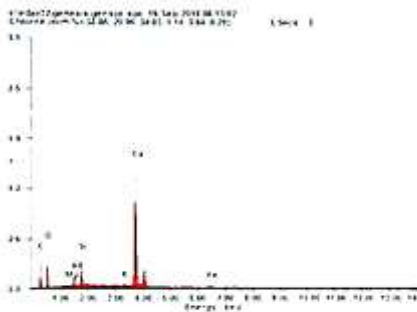


Element	Wt %	At %
O K	20.00	39.23
MgK	05.74	07.40
AlK	02.69	03.12
SiK	17.49	19.53
PK	00.13	00.13
SK	00.28	00.27
CaK	00.10	00.09
CaK	01.08	00.84
CrK	01.22	00.74
FeK	45.09	25.33
CoK	00.02	00.90
NiK	01.43	02.40

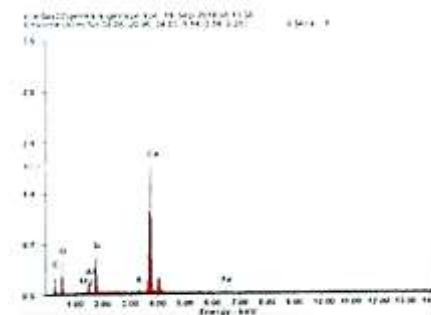
Hasil Pengujian EDX *Limestone*



Element	Wt %	At %
C K	12.22	22.40
O K	32.95	45.33
Mg K	00.67	00.60
Al K	02.85	02.33
Si K	06.05	04.74
K K	00.65	00.36
Ca K	42.98	23.60
Fe K	01.62	00.64

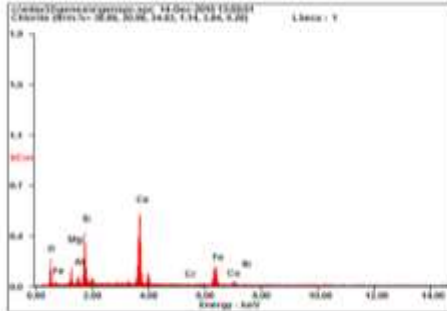


Element	Wt %	At %
C K	12.26	22.47
O K	35.89	48.19
Mg K	00.60	00.53
Al K	02.26	01.80
Si K	05.44	01.16
K K	00.67	00.37
Ca K	40.33	21.61
Fe K	02.25	00.87

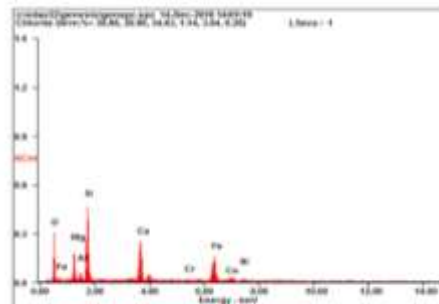


Element	Wt %	At %
C K	08.29	15.97
O K	32.95	47.64
Mg K	00.14	00.41
Al K	02.19	01.88
Si K	08.03	06.61
K K	00.66	00.39
Ca K	45.71	26.38
Fe K	01.73	00.72

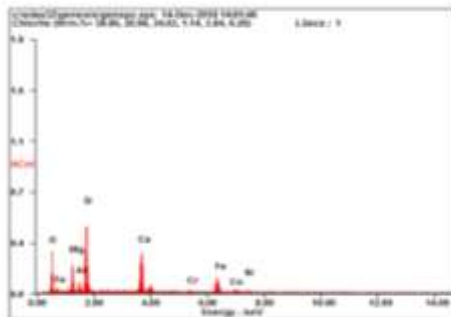
Hasil Pengujian EDX Sinter



Element	WT %	At %
O K	22.36	40.69
MgK	06.23	07.46
AlK	02.51	02.70
SiK	14.38	14.90
CaK	28.64	20.81
CrK	00.74	00.42
FeK	22.18	11.56
CoK	01.03	00.51
NiK	01.92	00.95



Element	WT %	At %
O K	23.75	41.46
MgK	10.22	11.74
AlK	02.30	02.38
SiK	19.71	19.60
CaK	14.50	10.11
CrK	00.93	00.50
FeK	25.15	12.58
CoK	01.21	00.57
NiK	02.24	01.07



Element	WT %	At %
O K	27.32	45.02
MgK	10.15	11.01
AlK	02.22	02.17
SiK	21.69	20.36
CaK	17.53	11.53
CrK	01.10	00.56
FeK	16.72	07.89
CoK	00.76	00.34
NiK	02.50	01.12

Hasil Pengujian EDX *Slag 1 (Limestone 7,5 kg)*

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>C K</i>	07.87	14.67
<i>O K</i>	33.11	46.31
<i>NaK</i>	00.58	00.57
<i>MgK</i>	06.79	06.25
<i>AlK</i>	04.18	03.47
<i>SiK</i>	15.88	12.66
<i>S K</i>	00.36	00.25
<i>K K</i>	00.63	00.36
<i>CaK</i>	19.86	11.09
<i>TiK</i>	00.80	00.37
<i>CrK</i>	01.02	00.44
<i>FeK</i>	08.55	03.43
<i>NiK</i>	00.36	00.14

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>C K</i>	19.15	31.89
<i>O K</i>	30.39	38.00
<i>NaK</i>	00.36	00.31
<i>MgK</i>	06.59	05.42
<i>AlK</i>	03.49	02.59
<i>SiK</i>	14.49	10.32
<i>S K</i>	00.20	00.12
<i>K K</i>	00.48	00.25
<i>CaK</i>	15.29	07.63
<i>TiK</i>	00.67	00.28
<i>CrK</i>	00.97	00.37
<i>FeK</i>	07.00	02.51
<i>NiK</i>	00.91	00.31

Hasil Pengujian EDX Slag 2 (Limestone 8,5 kg)

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>C K</i>	10.77	19.49
<i>O K</i>	32.40	44.01
<i>NaK</i>	00.58	00.55
<i>MgK</i>	06.25	05.59
<i>AlK</i>	04.71	03.79
<i>SiK</i>	16.59	12.84
<i>S K</i>	00.13	00.09
<i>K K</i>	00.41	00.23
<i>CaK</i>	15.76	08.54
<i>TiK</i>	00.65	00.29
<i>CrK</i>	00.52	00.22
<i>FeK</i>	10.66	04.15
<i>NiK</i>	00.57	00.21

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>C K</i>	03.35	06.55
<i>O K</i>	32.35	47.49
<i>NaK</i>	00.36	00.37
<i>MgK</i>	07.86	07.59
<i>AlK</i>	07.16	06.23
<i>SiK</i>	19.19	16.05
<i>S K</i>	00.13	00.10
<i>K K</i>	00.54	00.32
<i>CaK</i>	18.03	10.56
<i>TiK</i>	01.13	00.55
<i>CrK</i>	01.13	00.51
<i>FeK</i>	08.09	03.40
<i>NiK</i>	00.68	00.27

Hasil Pengujian EDX *Slag 3 (Limestone 9,5 kg)*

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>C K</i>	03.98	08.28
<i>O K</i>	26.91	42.08
<i>NaK</i>	00.34	00.37
<i>MgK</i>	05.57	05.73
<i>AlK</i>	06.53	06.06
<i>SiK</i>	18.78	16.73
<i>S K</i>	00.21	00.16
<i>K K</i>	00.27	00.17
<i>CaK</i>	20.53	12.81
<i>TiK</i>	00.49	00.26
<i>CrK</i>	00.51	00.24
<i>FeK</i>	15.30	06.85
<i>NiK</i>	00.58	00.25

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>C K</i>	03.98	08.28
<i>O K</i>	26.91	42.08
<i>NaK</i>	00.34	00.37
<i>MgK</i>	05.57	05.73
<i>AlK</i>	06.53	06.06
<i>SiK</i>	18.78	16.73
<i>S K</i>	00.21	00.16
<i>K K</i>	00.27	00.17
<i>CaK</i>	20.53	12.81
<i>TiK</i>	00.49	00.26
<i>CrK</i>	00.51	00.24
<i>FeK</i>	15.30	06.85
<i>NiK</i>	00.58	00.25

Hasil Pengujian EDX Metal 1 (Limestone 7,5 kg)

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>SiK</i>	00.99	01.97
<i>SK</i>	00.87	01.50
<i>FeK</i>	70.47	70.28
<i>CoK</i>	01.26	01.19
<i>NiK</i>	26.41	25.05

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>SiK</i>	01.26	02.50
<i>SK</i>	00.28	00.49
<i>FeK</i>	70.99	70.92
<i>CoK</i>	01.05	01.00
<i>NiK</i>	26.42	25.10

Hasil Pengujian EDX Metal 2 (Limestone 8,5 kg)

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>SiK</i>	02.12	04.07
<i>PK</i>	00.49	00.86
<i>SK</i>	02.76	04.65
<i>FeK</i>	71.07	68.74
<i>NiK</i>	23.56	21.68

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>SiK</i>	01.76	03.45
<i>PK</i>	00.36	00.64
<i>SK</i>	01.15	01.97
<i>FeK</i>	72.53	71.31
<i>NiK</i>	24.20	22.63

Hasil Pengujian EDX Metal 3 (*Limestone 9,5 kg*)

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>SiK</i>	00.52	00.98
<i>P K</i>	00.27	00.46
<i>S K</i>	07.76	12.87
<i>FeK</i>	61.36	58.43
<i>CoK</i>	01.33	01.20
<i>NiK</i>	28.77	26.06

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>SiK</i>	01.03	01.97
<i>P K</i>	00.50	00.87
<i>S K</i>	05.39	09.04
<i>FeK</i>	61.03	58.77
<i>CoK</i>	01.54	01.41
<i>NiK</i>	30.51	27.94

H. Dokumentasi







UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tak lupa penulis sampaikan kepada pihak – pihak yang telah membantu penciptaan Tugas Akhir “Studi Pengaruh Variasi Massa *Limestone* Terhadap Kadar Ni dan Fe, *Recovery* Ni dan Fe, Serta Senyawa pada Produk Logam dan *Slag* pada Proses Smelting Bijih Nikel Laterit Menggunakan *Mini Blast Furnace*” ini:

1. Para Anggota Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material Mas Imam, Mas Pijul, Marina, Deni, Alfin, Ari, Pambayun, Aldi, Rizqi, Iib, Arfi, Habli, Ardi, Bugi, Atek, Aal yang selalu menemani di setiap tahap pengerjaan Tugas Akhir ini, mulai dari preparasi, selama proses, sampai pembuatan sampel, pengujian, dan analisis. Tugas Akhir ini tidak akan sesukses ini tanpa kalian
2. Para sahabat di Kontrakjing Julian, Ovan, Petot, Jonathan, Ezek, Razkan, Abrar, Rafi, Bayuzen, Yoessa yang selalu mudah memberikan uluran tangan yang sangat dan selalu dibutuhkan
3. MT 17 angkatan yang solid, tegas, dan tangguh. Selalu bisa menjadi tempat kembali
4. Mas dan Mba MT14, MT15, MT16 yang membimbing Penulis selama menjalani Perkuliahan
5. Adik – adik MT18, MT19, dan MT20 yang selalu mendorong untuk dapat menjadi teladan yang baik

Penulis menyadari terdapat pihak – pihak yang belum dapat dituliskan dalam halaman ucapan terima kasih ini dan memohon maaf yang sebesar – besarnya untuk hal itu. Semoga kebaikan yang telah kalian berikan dibalaskan berlipat – lipat dengan keberkahan dari Tuhan YME.

Surabaya, 2019
Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 25 Desember 1997, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dasar di SDK Melania III Jakarta, dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPK Melania II Jakarta dan selanjutnya penulis menempuh pendidikan jenjang atas di SMA Negeri 68 Jakarta. Penulis menyelesaikan pendidikan tinggi Strata 1 di Departemen Teknik Material FTI-ITS pada Tahun 2015 - 2019. Selama menempuh aktivitas perkuliahan, penulis aktif

dalam kegiatan organisasi dan keprofesian teknik baik di tingkat Departemen dan Institut. Penulis tercatat sebagai Asisten Laboratorium Fisika Material selama dua tahun yaitu pada Tahun 2016 - 2018. Penulis juga tercatat sebagai Koordinator Grader Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material pada Tahun 2018 – 2019. Penulis mengemban amanah sebagai Staff Ahli Departemen Analysis and Design ITS Material Advantage Chapter periode 2017/2018. Penulis ikut berpartisipasi dalam proyek Pengolahan Bijih Nikel Laterit Menggunakan Teknologi *Mini Blast Furnace*. Berbagai pelatihan seperti LKMM Pra TD, LKMM TD, LKMW TD, PJTD dan PKTI pernah penulis ikuti. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. Krakatau Steel (Persero), Tbk pada bulan Juli - Agustus 2018 dan memiliki topik selama kerja praktik dengan judul “Analisa Pengaruh Parameter Proses terhadap Komposisi dan Sifat Mekanik *Bloom* di Wire Rod Mill, PT Krakatau Steel, Tbk”. Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang metalurgi ekstraksi dengan judul “Studi

Pengaruh Variasi Massa *Limestone* Terhadap Kadar Ni dan Fe, *Recovery* Ni dan Fe, Serta Senyawa pada Produk Logam dan *Slag* pada Proses Smelting Bijih Nikel Laterit Menggunakan *Mini Blast Furnace*". Penulis dapat dihubungi melalui 081384313353 atau email ke patrick.christopher2597@gmail.com.