



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

Tugas Akhir - TL141584

# REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT LIMONITIK DENGAN VARIASI MASSA *INNER* *COAL* DAN *OUTER COAL* MENGGUNAKAN REAKTOR *BED* BATU BARA DOLOMIT

PRITA MEILYVIA DEVALINI  
NRP. 0251144000071

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

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN VARIASI MASSA *INNER  
COAL* DAN *OUTER COAL* MENGGUNAKAN  
REAKTOR *BED* BATU BARA DOLOMIT**

PRITA MEILYVIA DEVALINI  
NRP 0251144000071

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

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**Final Project - TL141584**

# **DIRECT REDUCTION LATERIT LIMONITIC NICKEL ORE WITH VARIATION MASS OF INNER COAL AND OUTER COAL USING COAL- DOLOMIT BED REACTOR**

**PRITA MEILYVIA DEVALINI  
NRP 0251144000071**

**Advisor :**

**Sungging Pintowantoro, Ph.D**

**Fakhreza Abdul, S.T., M.T**

**Departement of Materials Engineering  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN VARIASI MASSA *INNER COAL*  
DAN *OUTER COAL* MENGGUNAKAN REAKTOR *BED*  
BATU BARA DOLOMIT**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :  
**PRITA MEILYVIA DEVALINI**  
NRP. 0251144000071

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sungging Pintowantoro, Ph.D..... (Pembimbing I)

Fahreza Abdul, S.T., M.T..... (Pembimbing II)



**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN VARIASI MASSA *INNER COAL*  
DAN *OUTER COAL* MENGGUNAKAN REAKTOR *BED*  
BATU BARA DOLOMIT**

**Nama Mahasiswa** : Prita Meilyvia Devalini  
**NRP** : 0251144000071  
**Jurusan** : Departemen Teknik Material  
**Dosen Pembimbing I** : Sungging Pintowantoro., Ph.D.  
**Dosen Pembimbing II** : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

**Abstrak**

*Pemanfaatan bijih nikel laterit low grade terus meningkat, hal ini dikarenakan semakin bertumbuhnya permintaan stainless steel dan pengurangan supply dari bijih sulfida. Karena kadarnya yang sangat rendah, belum ada proses yang optimal untuk mengolahnya. Berdasarkan penelitian, proses reduksi langsung bijih nikel laterit mampu menghasilkan nikel kadar tinggi. Penelitian ini dilakukan dengan mereduksi bijih nikel laterit limonit menggunakan gas CO hasil reaksi batu bara dengan dolomit. Dilakukan perhitungan kebutuhan batu bara menggunakan neraca massa kemudian di variasikan masing – masing rasio massanya di dalam briket (*inner coal*) dan *bed* (*outer coal*). Briket dimasukkan kedalam *crucible bed*, kemudian direduksi hingga temperatur 1400°C dengan waktu *holding* selama 6 jam. Pengujian EDX, XRD dan SEM dilakukan untuk mengetahui kadar Ni dan Fe serta morfologi hasil reduksi. Kadar Ni dan Fe tertinggi didapat pada penambahan 80% *inner coal* yaitu sebesar 13,99% dan 74,87. *Recovery* Ni dan Fe tertinggi didapat pada penambahan 40% *inner coal* yaitu sebesar 93% dan 21%*

**Kata kunci:** *Bed, Bijih limonit, Inner Coal, Outer Coal, Reduksi langsung*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# DIRECT REDUCTION LATERIT LIMONITIC NICKEL ORE WITH VARIATION MASS OF INNER COAL AND OUTER COAL USING COAL-DOLOMIT BED

**Name** : Prita Meilyvia Devalini  
**NRP** : 0251144000071  
**Departement** : Materials Engineering Departement  
**Advisor** : Sungging Pintowantoro., Ph.D.  
**Co-Advisor** : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

## Abstract

*Utilization of low grade laterite nickel ore continues to increase, this is due to the growing demand for stainless steel and the reduction of supply from sulphide ores. Because of very low nickel content, there is no optimal process to extract them. Based on the research, the direct reduction process of laterite nickel ore is capable of producing high grade nickel. This research was conducted by reducing the limonite laterite nickel ore using CO gas reacted by dolomite. Coal demand calculated using mass balance, then varied each variable respected to mass ratio in briquet (inner coal) and bed (outer coal). The briquettes are reduced at temperature of 1400°C with a holding time of 6 hours. The EDX, XRD and SEM test were performed to determine the content levels of Ni and Fe as well as the morphology of the reduction results. The highest Ni and Fe content was obtained by adding 80% inner coal which was 13.99% and 74.87. The highest Ni and Fe recovery was obtained by adding 40% inner coal which was 93% and 21%.*

**Keyword:** *Bed, Limonite Ores, Inner Coal, Outer Coal, Direct Reduction*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb. Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyusun laporan tugas akhir dengan baik. Tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi persyaratan studi yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT LIMONITIK DENGAN VARIASI MASSA *INNER COAL* DAN *OUTER COAL* MENGGUNAKAN REAKTOR *BED BATU BARA DOLOMIT*”**

Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama rangkaian penyelesaian tugas akhir, diantaranya kepada:

1. Orang tua penulis (Bapak Ugik Prihantoro dan Ibu Shintya Arvianti), adik-adik (Pricilla Maureen Anggita, Prisa Assyifa Megantari dan Putra Sakti Ardhi Pratama), serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan baik material maupun spriritual.
2. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D dan Bapak Fakhreza Abdul, S.T. M.T selaku Dosen Pembimbing tugas akhir.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI ITS atas ilmu dan bantuan yang sudah diberikan selama ini.
4. Mega Octafiarini, Friska Anastasia, Zahra Fajria, Rahma Ashila, Febrian Ramadhan dan semua sahabat terbaik yang selalu menyemangati dan memberi masukan dari jauh.
5. Argyabrata dan Pandu Aditya yang selalu ada di saat tangis, canda, tawa, suka dan duka.

6. Thalyta Rizkha Pradipta, Anisa Nur Amalia, Clarissa Changraini, Zahra Luthfiah, Anisya Purnamasari yang telah menemani dari awal masa perkuliahan.
7. Anggota Lab Ekstraksi, Treshna Satria, Tommi Jaya Surbakti, Isrouf Gerio Pangestu, Ilham Nurrirofiq, Habiyoso Rafli, Luki Wijaya, Abrar Ridhollah dan Anisya, (dan Hendy Roesma W.) yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Badan Pengurus Inti PM3I 2017/2018 Hening Puji Pangastuti, Ari Febiansyah Prima, Faros Fikri Irfani, Dwiki Syahbana, Moh Yan, Roziq F. Rizal, M. Raja Fadil Harahap, Ilham Nurrirofiq, Feisha Fadila Rifki, dan Argyabrata yang memberikan banyak pelajaran berharga.
9. Seluruh Badan Pengurus PM3I dan stakeholder terkait yang selalu memberi energi positif selama satu tahun belakangan
10. Dan semua pihak yang sudah membantu secara langsung maupun tidak langsung

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi kemajuan bersama. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat dimanfaatkan dengan baik.

Surabaya, 2018

Penulis,

Prita Meilyvia Devalini



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<i>Coal Typical Content</i> .....	18
<b>Tabel 3.1</b>	Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit .....	51
<b>Tabel 3.2</b>	Perbandingan Komposisi <i>Ore</i> : Batu Bara: Natrium sulfat : Kanji : Dolomit .....	51
<b>Table 3.3</b>	Total Komposisi Briket .....	52
<b>Tabel 3.4</b>	Kadar Fe dan Ni pada Briket .....	52
<b>Tabel 3.5</b>	Rancangan Penelitian .....	53
<b>Tabel 3.6</b>	Jadwal Rencana Penelitian .....	53
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian EDX bijih nikel laterit limonit ..	55
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara ...	57
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Pengujian EDX Dolomit.....	58
<b>Tabel 4.4</b>	Perhitungan massa dan <i>recovery</i> Ni hasil proses reduksi .....	65
<b>Tabel 4.5</b>	Perhitungan Massa dan Recovery Fe Hasil Proses Reduksi .....	68
<b>Tabel 4.6</b>	Identifikasi fasa pada logam hasil proses reduksi	75
<b>Tabel 4.7</b>	Perbandingan kadar Fe dan Ni dalam logam dan slag .....	79
<b>Tabel 4.7</b>	Komposisi Unsur Slag Hasil Proses Reduksi .....	79
<b>Tabel 4.8....</b>	Identifikasi fasa pada slag hasil proses reduksi....	79

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Grafik <i>Resource</i> dan Produksi Nikel .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Profil Nikel Laterit .....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Diagram Ekstraksi Nikel .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Bentuk Briket .....	15
<b>Gambar 2.5</b>	Batu Bara .....	19
<b>Gambar 2.6</b>	Dolomit .....	20
<b>Gambar 2.7</b>	Diagram Ellingham .....	23
<b>Gambar 2.8</b>	Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori .....	27
<b>Gambar 2.9</b>	Garis Besar Mekanisme Reduksi untuk Mineral Berpori .....	30
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>Gambar 3.2</b>	Bijih Nikel Laterit Limonit .....	33
<b>Gambar 3.3</b>	Batu Bara .....	34
<b>Gambar 3.4</b>	Dolomit .....	34
<b>Gambar 3.5</b>	Serbuk Natrium Sulfat .....	35
<b>Gambar 3.6</b>	Tapioka .....	35
<b>Gambar 3.7</b>	LPG .....	36
<b>Gambar 3.8</b>	Alat Kompaksi .....	37
<b>Gambar 3.9</b>	<i>Muffle Furnace</i> .....	37
<b>Gambar 3.10</b>	<i>Crucible</i> .....	38
<b>Gambar 3.11</b>	Timbangan Digital.....	39
<b>Gambar 3.12</b>	Ayakan.....	39
<b>Gambar 3.13</b>	<i>Thermocouple</i> .....	40
<b>Gambar 3.14</b>	<i>Blower</i> .....	40
<b>Gambar 3.15</b>	<i>Oven</i> .....	41
<b>Gambar 3.16</b>	Skematik Posisi Briket dan Bed Batu Bara Dolomit .....	43
<b>Gambar 3.17</b>	XRD <i>PAN Analytical</i> .....	45
<b>Gambar 3.18</b>	SEM-EDX.....	49
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit .....	56

<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Pengujian XRD Dolomit .....	59
<b>Gambar 4.3</b>	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> terhadap Kadar Ni pada Produk Hasil Reduksi .....	60
<b>Gambar 4.4</b>	Hasi Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> terhadap Kadar Fe pada Briket Hasil Reduksi 1 Pengujian XRD <i>Quicklime</i> .....	63
<b>Gambar 4.5</b>	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> terhadap Recovery Ni pada Briket Hasil Reduksi .....	66
<b>Gambar 4.6</b>	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> terhadap Recovery Fe pada Briket Hasil Reduksi .....	69
<b>Gambar 4.7</b>	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> terhadap Selectivity Factor pada Logam Hasil Proses Reduksi .....	72
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Pengujian XRD pada Metal Hasil Proses Reduksi .....	74
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Pengujian XRD pada Slag Hasil Proses Reduksi .....	81
<b>Gambar 4.10</b>	Morfologi Perbesaran 250x Hasil Reduksi .....	83

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Nikel .....	7
2.2 Nikel Laterit.....	8
2.3 Ekstraksi Nikel Laterit .....	11
2.4 Aglomerasi dan Reduksi Nikel Laterit Limonitik ....	13
2.5 Batu Bara .....	17
2.6 Dolomit.....	19
2.7 <i>Selective Agent</i> .....	20
2.8 Termodinamika Reduksi Nikel Laterit .....	21
2.9 Kinetika Reduksi <i>Ore</i> .....	26
2.10 Peneitian Sebelumnya.....	29

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Bahan Penelitian .....	33

3.2.1 Bijih Nikel Laterit .....	33
3.2.2 Batu Bara.....	33
3.2.3 Dolomit .....	34
3.2.4 Natrium Sulfat.....	34
3.2.5 Tapioka.....	35
3.2.6 Air .....	35
3.2.7 LPG .....	36
3.3 Peralatan Penelitian .....	36
3.3.1 Alat Kompaksi .....	36
3.3.2 <i>Muffle Furnace</i> .....	37
3.3.3 <i>Crucible</i> .....	38
3.3.4 Timbangan Digital .....	38
3.3.5 Ayakan .....	39
3.3.6 <i>Thermocouple</i> .....	40
3.3.7 <i>Blower</i> .....	40
3.3.8 <i>Oven</i> .....	41
3.4 Pelaksanaan Penelitian .....	41
3.4.1 Persiapan Material.....	41
3.4.2 Proses Reduksi .....	42
3.4.3 Proses Pengujian Sampel .....	44
3.5 Neraca Massa Briket Laterit Limonit.....	50
3.6 Rencana Penelitian .....	53
3.7 Jadwal Rencana Penelitian .....	53

## **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Karakterisasi Bahan .....	55
4.1.1 Bijih Nikel Laterit .....	55
4.1.2 Batu Bara.....	57
4.1.3 Dolomit .....	58
4.2 Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap Kadar Fe dan Ni Hasil Proses Reduksi .....	59

4.2.1	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap Kadar Unsur Ni pada Briket Hasil Reduksi .....	60
4.2.2	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap Kadar Unsur Fe pada Briket Hasil Reduksi .....	62
4.3	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap <i>Recovery</i> Fe dan Ni Produk .....	64
4.3.1	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap <i>Recovery</i> Nikel Hasil Proses Reduksi .....	65
4.3.2	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap <i>Recovery</i> Besi Hasil Proses Reduksi .....	67
4.4	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap <i>Selectivity Factor</i> .....	70
4.5	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap Senyawa Produk .....	73
4.6	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap Kadar Fe dan Ni dan Senyawa Slag Hasil Proses Reduksi .....	78
4.7	Pengaruh Variasi Massa <i>Inner Coal</i> dan <i>Outer Coal</i> Terhadap Morfologi .....	82

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	85
5.2	Saran .....	85

## **DAFTAR PUSTAKA .....xxi**

## **LAMPIRAN**

## **BIODATA PENULIS**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nikel pertama kali teridentifikasi sebagai unsur pada tahun 1751 oleh Baron Axel Fredrik Cronstedt, seorang *mineralogist* dan *chemist* dari Swedia. Menurut data dari *United States Geological Survey* tahun 2012, nikel menempati posisi ke lima unsur paling melimpah di bumi. Kebanyakan nikel terletak di inti bumi, lebih dari 1800 *miles* dibawah permukaan laut. Deposit nikel tersebut tersebar di berbagai negara yaitu Norilsk, Russia, Sudbury, Kanada, Kambalda, Australia, Cuba, New Caledonia dan Indonesia. (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004) Nikel adalah salah satu jenis logam yang sering digunakan sebagai paduan untuk meningkatkan kekuatan, ketahanan pada temperatur tinggi dan ketahanan korosi. Data tahun 2011 menunjukkan konsumsi nikel baik sebagai *stainless steel* dan *superalloy* di Amerika Serikat mencapai 80%. Karena sifat nya yang tahan temperatur tinggi dan tahan korosi nikel digunakan di berbagai alat di *chemical plants*, *petroleum refineries*, *jet engines*, *power generation facilities* dan *offshore installations*, alat - alat kedokteran, alat - alat rumah tangga, dan masih banyak lagi. (USGS, 2012)

Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida (Supriadi, A.,2007) Di Indonesia, terdapat cadangan laterit nikel sebesar 15,7% dari jumlah cadangan laterit nikel di dunia. Jumlah tersebut menjadikan Indonesia memiliki jumlah cadangan laterit nikel terbanyak ketiga setelah New Caledonia (22,9%) dan Filipina (17,4%). Beberapa tahun belakangan, pemanfaatan bijih nikel laterit *low grade* semakin meningkat, hal ini dikarenakan



semakin bertumbuhnya permintaan *stainless steel* dan pengurangan *supply* dari bijih sulfida (Zhai, 2010). Dibandingkan dengan bijih sulfida, bijih nikel laterit terdiri dari 73% dari sumber nikel dunia (lebih banyak di bandingkan bijih sulfida) dan akan menjadi sumber utama produksi nikel di masa depan. Pada kenyataannya, sekarang ini produksi dari bijih nikel laterit hanya sekitar 42% dari keseluruhan produksi nikel. Pengolahan bijih nikel laterit masih belum terlalu banyak dikarenakan kadarnya yang sangat rendah dan belum ada proses yang optimal untuk mengolahnya (Jungah, 2010). Oleh sebab itu, akan sangat berguna untuk mengoptimalkan proses ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit karena persediaan cadangan bijih nikel sulfida sudah semakin menipis.

Produksi nikel dari bijih laterit telah terjadi selama lebih dari 100 tahun yang dimulai dengan pengolahan bijih *garnieritic* dari New Caledonia. Baik proses pirometalurgi maupun hidrometalurgi pernah diterapkan secara komersil untuk *merecover* nikel dari bijih nikel laterit. (Guo, 2009) Hal tersebut tergantung kebutuhan, *grade ore* dan substansial energi yang dihasilkan. Produksi feronikel dari bijih laterit secara pirometalurgi memerlukan energi lebih tinggi dibanding hidrometalurgi, karena pada praktiknya bijih laterit atau bijih pra-reduksi langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar slag. Untuk bijih laterit kandungan nikel minimum yang menguntungkan untuk diolah secara pirometalurgi adalah 1,8%, padahal lebih dari 50% cadangan nikel laterit mempunyai kandungan < 1,45%. Pertimbangan utama dalam pirometalurgi adalah kebutuhan energi dan kualitas bijih. Dari beberapa proses utama pengolahan nikel secara pirometalurgi, proses yang mempunyai efisiensi energi paling tinggi yaitu *direct reduction* dalam proses



*luppen*. Proses reduksi bijih nikel laterit dipengaruhi oleh perbandingan kandungan gas CO dan CO<sub>2</sub> pada atmosfer reduksi, dengan kandungan CO yang lebih tinggi akan menyebabkan reduksi semakin baik

Proses reduksi langsung adalah proses reduksi dengan menghindari fasa cair dan menggunakan batu bara sebagai reduktornya. (Romeyndo dan Johny, 2013). Reaksi reduksi dibedakan menjadi dua, pertama, reaksi reduksi konvensional untuk aglomerat, adalah dengan mengontrol reaksi reduksi dengan difusi gas dari luar. Kedua, reaksi dari aglomerat karbon yang terjadi di dalam aglomeratnya sendiri dan bereaksi dengan *ore* dan fluks nya (reaksi *inner coal*). Saat briket dipanaskan, gas karbon monoksida dihasilkan dan mendorong reduksi *ore* dari dalam. Reaksi dari dalam tersebut mempercepat reaksi reduksi karbon aglomerat dibanding reaksi konvensional yang di kontrol dengan difusi dari luar. (Michisita&Tanaka, 2010). Pada proses reduksi langsung terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi terbentuknya Ni, yaitu *holding time*, temperatur, fluks, komposisi massa dan masih banyak lagi. Komposisi massa (*mass ratio*) dari pelet tentunya mempengaruhi perolehan mineral yang dihasilkan. *Mass ratio* pelet yang paling efisien dapat menentukan perolehan fasa yang diperoleh sehingga kita dapat menentukan *mass ratio* yang menghasilkan Ni paling banyak. Pada produk reduksi langsung yang menggunakan batu bara sebagai reduktornya akan dihasilkan gas CO yang berfungsi untuk mereduksi nikel oksida yang dikandung. Reaksi pembentukan CO membutuhkan karbon yang diperoleh dari batu bara sehingga jumlah kandungan batu bara yang diberikan sangatlah berpengaruh terhadap tersedianya gas CO untuk mereduksi nikel oksida. (Romeyndo dan Johny, 2013).

Penelitian ini dilakukan dengan mereduksi langsung bijih nikel laterit kadar rendah (limonit) dengan menggunakan gas CO sebagai hasil reaksi antara CO<sub>2</sub> dan karbon dari *inner coal* dan *outer coal*. Variasi rasio massa antara *inner coal* dan *outer coal*



akan dilakukan untuk melihat ketersediaan gas CO yang terbentuk sehingga akan mempengaruhi mekanisme reduksi. Oleh karena itu dengan menentukan rasio massa *inner coal* dan *outer coal* yang optimum diharapkan dapat mengoptimalkan proses reduksi langsung bijih laterit limonitik sehingga didapatkan kadar Ni tertinggi dan *recovery* nikel yang baik juga.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap kadar unsur Ni dan Fe yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap *recovery* unsur Ni yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh variasi *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap morfologi produk reduksi?

## 1.3 Batasan Masalah

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

1. Komposisi bijih nikel laterit limonitik, batu bara dan fluks (dolomit) yang digunakan diasumsikan homogen.
2. Tekanan kompaksi yang diberikan dianggap homogen.
3. Tapioka digunakan sebagai pengikat dan pengaruh dari reaksi tapioka diabaikan.
4. Permeabilitas dan porositas diasumsikan homogen.
5. Energi panas yang digunakan pada proses reduksi berasal dari *furnace*. Energi panas pembakaran batu bara tidak dipertimbangkan.
6. Temperatur di bagian luar dan bagian dalam *crucible* dianggap sama.



7. Waktu tahan saat pemanasan dianggap sama.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh variasi *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap kadar unsur Ni dan Fe.
2. Menganalisis pengaruh variasi *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap *recovery* unsur Ni.
3. Menganalisis pengaruh variasi *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap morfologi produk reduksi.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (variasi *inner coal*) yang optimal untuk meningkatkan kadar dan *recovery* nikel pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik yang berasal dari Sulawesi Tenggara menggunakan reaktor *bed* batu bara dolomit.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

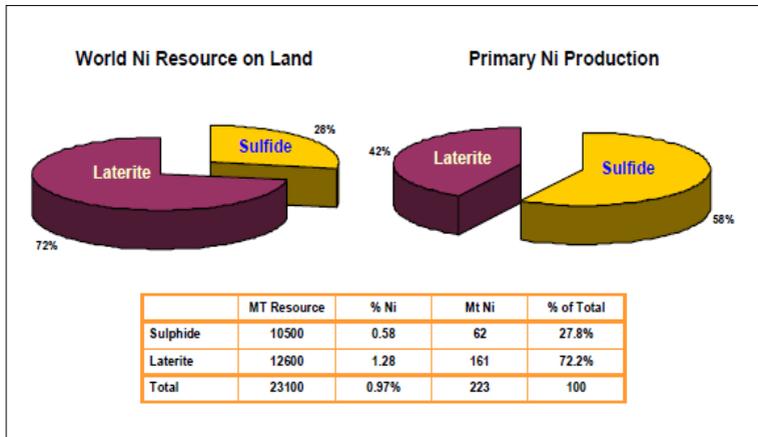
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Nikel**

Nikel merupakan salah satu mineral bumi dengan jumlah cadangan yang sangat berlimpah. Potensi sumber daya nikel di Indonesia diperkirakan mencapai 1.878.550.000 ton dengan kandungan unsur nikel rata-rata 1,45%. Data terakhir dari Badan Geologi Kementerian ESDM menunjukkan bahwa Indonesia memiliki sumberdaya nikel sebesar 2.633 juta ton *ore* dengan cadangan nikel sebesar 577 juta ton *ore* yang tersebar di Sulawesi, Kalimantan, Maluku dan Papua. (ESDM, 2012). Nikel juga tersebar di banyak negara di dunia, seperti Kanada, Rusia, Australia, *Caribbean*, *New Caledonia* dan sebagian Asia. (G.M. Mudd, 2010). Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam industri. Ada banyak jenis produk nikel seperti logam halus, bubuk, spons, dan lainlain. 62% dari logam nikel digunakan dalam baja tahan karat, 13% dikonsumsi sebagai *superalloy* dan paduan non logam karena sifatnya yang tahan korosi dan tahan temperatur tinggi (Astuti, Zulhan, Shofi, Isnugroho, Nurjaman, & Prasetyo, 2012).

Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida. (Yildirim, Morcali, Turan, & Yucel, 2013).



**Gambar 2.1** Grafik *Resource* dan Produksi Nikel (Dalvi, Bacon dan Osborne, 2004)

Bijih nikel sulfida dan oksida memiliki komposisi yang berbeda. Bijih nikel sulfida memiliki kandungan nikel hingga mencapai 2% Ni dan biasanya disertai dengan logam tembaga (Cu), kobalt (Co) dan besi sulfida (Fe *sulfide*). Beberapa logam mulia dan konstituen minor yang tidak diinginkan seperti Arsenik (As), Selerium (Se), Tellerium (Te) dan lain-lain juga ikut hadir. Bijih nikel sulfida dapat terkonsentrasi hingga kadar 6 – 20% Cu-Ni melalui teknik *mineral dressing*. Sedangkan bijih nikel laterit memiliki kandungan nikel hingga mencapai 3% Ni, biasanya disertai dengan sejumlah Co. Bijih jenis ini mengandung jumlah *moisture* yang cukup banyak dan mengikat air membentuk hidroksida. Beberapa kasus, kadar air yang terkandung dapat mencapai hingga 45% wt. (C. M. Diaz & A. Landolt, 1988).

## 2.2 Nikel Laterit

Dalam beberapa penelitian saat ini, dapat dikatakan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dalam waktu dekat di masa yang akan datang. Nikel laterit akan



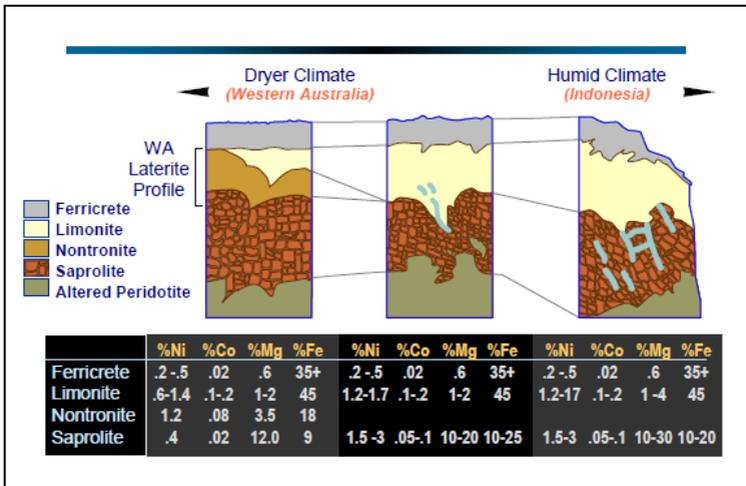
mendominasi produksi nikel karena ketersediaannya. Cadangan nikel yang ada di dunia yaitu 36% berupa sulfida dan 64% berupa laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak daripada bijih sulfida. Alasan dominasi produksi nikel laterit lainnya adalah karena biaya penambangannya yang lebih rendah dibanding penambangan bijih sulfida yang terletak pada *hard rock*. Selanjutnya, ditinjau dari efek terhadap lingkungan, produksi nikel dari bijih sulfida menimbulkan masalah pada lingkungan yaitu terciptanya emisi sulfur oksida. Sedangkan produksi nikel berbasis bijih laterit memiliki masalah lingkungan lebih sedikit. Dan dilihat dari faktor teknologi ada cara yang dapat membuat proses produksi nikel berbasis laterit lebih menguntungkan melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan pendapatan oleh produk. Sehingga membuat produksi nikel berbasis laterit lebih ekonomis dan kompetitif (Shoubao Li, 1999)

Bijih nikel laterit biasanya terdapat di daerah tropis atau sub-tropis yang mengandung zat besi dan magnesium dalam tingkat tinggi. Bijih nikel laterit diklasifikasikan berdasarkan komposisi dan mineralogi pada lapisan profilnya. Deposit tersebut biasanya menunjukkan lapisan yang berbeda karena kondisi cuaca. Lapisan pertama adalah lapisan yang kaya silika dan yang kedua adalah lapisan limonit didominasi oleh *goethite* [FeO(OH)] dan *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Lapisan berikutnya adalah saprolit [(Ni,Mg)SiO<sub>3</sub>.nH<sub>2</sub>O)] yaitu lapisan yang kaya magnesium dan elemen basal. Lapisan terakhir adalah batuan dasar yang berubah dan tidak berubah. Antara lapisan saprolit dan limonit biasanya ada lapisan transisi yang kaya magnesium (10-20% Mg) dengan besi yang disebut serpentine [Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)]. (Yildirim, Morcali, Turan, & Yucel, 2013).

Kedalaman profil bijih laterit biasanya berada pada kedalaman 6 sampai 15 meter dari permukaan. Di beberapa tempat, kedalaman profilnya bisa mencapai kedalaman hingga 60 meter di bawah permukaan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nahon dan Trady (1992), laju proses laterisasi berlangsung sebanyak 22 mm per 1000 tahun. Dan oleh sebab itu, proses



terbentuknya deposit bijih laterit di dalam kulit bumi dapat berlangsung hingga lebih dari satu juta tahun. Bijih nikel laterit memiliki struktur berlapis disebabkan oleh sifat dari proses laterisasinya itu sendiri. Lapisan-lapisan yang terbentuk pada profil laterit tidak terpisah sebagai zona yang berbeda, namun terdapat gradasi di antara lapisan tersebut sehingga masih dapat dibedakan. Seperti yang sudah dikatakan di awal, komposisi kimia dan mineralogi dari masing-masing *layer* pada profil laterit pun sangat berbeda, terutama berkenaan dengan kandungan dan rasio berat dari  $\text{SiO}_2$  atau  $\text{MgO}$ , Fe atau Ni serta kadar air. Secara sederhana, profil bijih nikel laterit digambarkan pada gambar dibawah berikut. Kompleksitas profil laterit dan tingkat ketebalan dari masing-masing lapisan dapat bervariasi dari berbagai deposit bijih nikel di seluruh dunia tergantung pada komposisi dan struktur batuan induk serta iklim daerah. Profil nikel laterit ditunjukkan pada Gambar 2.2 (A. Warner dan C. Diaz, 2006)



**Gambar 2.2** Profil Nikel Laterit (Dalvi, Bacon dan Osborne, 2004)



### 2.3 Ekstraksi Nikel Laterit

Pengolahan metalurgi dari nikel laterit limonit dapat dibagi menjadi dua proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pemilihan proses yang akan digunakan ini dipengaruhi oleh kandungan pada bijih, peningkatan kandungan yang terbatas, teknologi pengolahan yang kompleks, kondisi geografis, dan kebutuhan infrastruktur, seperti; pembangkit listrik, pelabuhan, infrastruktur jalan dan fasilitas pengolahan slag (Filipe Manuel R, 2013).

Beberapa proses ekstraksi nikel berbasis laterit diantaranya :

#### 1. *Matte Smelting Process*

Proses ini terdiri dari beberapa langkah utama. Pertama, bijih dimasukkan ke dalam *rotary kiln* atau *vertical shaft reduction furnace* dan mengalami pemanasan dengan temperatur tinggi. Selama proses ini, air kristal tereduksi diikuti dengan reduksi nikel dan sebagian besi ke dalam *metallic state*. Kemudian, mereduksi kalsin dengan cara direaksikan dengan sulfur dalam *electric furnace*. Sulphur dapat ditambahkan baik dalam bentuk unsur maupun dalam bentuk gypsum atau pirit. Akibatnya, terak yang mengandung komponen oksida dari bijih dan sulfida nikel terbentuk. Konsentrat yang berisi 30-35% nikel, kemudian dibawa ke converter, di mana udara ditiupkan ke dalam converter, sehingga mengoksidasi besi. Konsentrat akhir yang mengandung 75-78% Ni

#### 2. *Reduction Roast – Amonia Leach Process*

Proses ini juga disebut sebagai *Caron Process*. Ada 4 langkah yang utama, yaitu Pengeringan bijih dan *grinding*, *reduction roasting*, *leaching* dengan menggunakan larutan ammonium carbonate, dan *metal recovery*. Pada proses ini *Reduction roasting* merupakan proses yang sangat penting. Temperatur reduksi harus dikontrol dengan baik agar mendapatkan recovery nikel dan cobalt secara maksimal. *Caron Process* dapat me-recover 70 – 80% nikel dan hanya 40 – 50% kobalt. Proses ini diutamakan untuk bijih laterit jenis limonit.



Ketika proses ini untuk bijih serpentit atau bijih laterit yang mengandung besi dengan kadar rendah serta magnesium dengan kadar yang tinggi, maka *recovery* nikel akan menurun secara signifikan. Dikarenakan magnesium lebih dominan untuk bereaksi dengan silica dan NiO, hal ini membuat sebagian besar NiO akan tidak tereduksi ketika proses reduksi *roasting*.

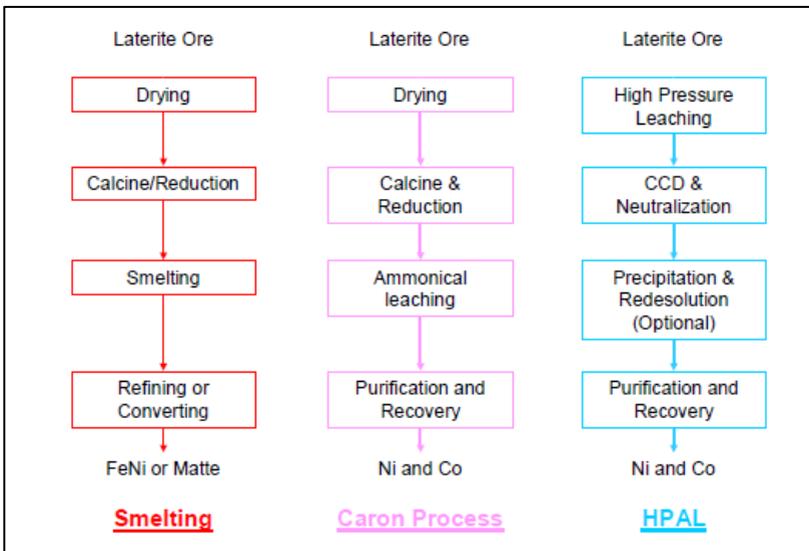
### 3. *Electric Furnace Smelting to Ferronickel*

Pada proses ini, bijih pertama dipanaskan dan dikalsinasi untuk menghilangkan uap air dan air yang berikatan secara kimia, kemudian diproses langsung ke tanur listrik dan mengalami reduksi dan mencair pada temperatur sekitar 1550°C. Hampir semua nikel dan sebagian besar besi tereduksi pada tahap ini dan paduan *FerroNickel* terbentuk, yang biasanya mengandung sekitar 25% Ni. Proses terakhir yaitu memurnikan *crude FerroNickel* menjadi produk yang dapat dijual. Proses pemurnian yang dilakukan yaitu mengeluarkan *crude FeNi* dari tanur listrik ke dalam *Ladle*, dimana *zat additive* seperti soda ash, lime, dan *calcium carbide* ditambahkan ke dalam *crude FeNi* untuk menghilangkan unsur-unsur pengotor (Li, 1999).

Hampir diakui secara pasti bahwa bijih laterit tipe saprolitik lebih cocok untuk diolah menggunakan metode pirometalurgi (C. T. Harris&J. G. Peacey, 2009). Proses yang cocok untuk bijih nikel laterit limonitik yang mengandung 1 – 1,7% Ni dan 0,1 – 0,2% Co adalah dengan *Pressure Acid Leach* dan *Caron Process*. Untuk laterit nontronit kadar 1 – 5% Ni dan 0,05 – 0,1% Co cocok menggunakan proses *Pressure Acid Leach* dan *Smelting*. Laterit Serpentin dan Garnierite yang mempunyai kadar tinggi yaitu sebesar 1,5 – 20% Ni dan 0,05 – 0,1% Co cocok menggunakan proses pirometalurgi (*matte smelting*). (Ashok D. Dalvi, W. Gordon Bacon, Robert C. Osborne, 2004) Alasan utama yang mendasari perbedaan proses pengolahan kedua jenis bijih laterit tersebut adalah komposisi unsur kimia heterogen dan mineralogi yang dimiliki. Unsur – unsur kimia yang dimiliki oleh bijih laterit jenis saprolitik membutuhkan



metode pengolahan yang lebih fleksibel, yaitu metode pirometalurgi. Alasan lainnya adalah karena tingginya kandungan magnesia di dalam bijih tersebut yang dapat mengakibatkan tingginya konsumsi asam jika diolah dengan metode hidrometalurgi. Selain itu, saprolit memiliki mineral pembentuk slag yang dibutuhkan, yang tidak dimiliki limonit. Sebaliknya, bijih laterit jenis limonit dengan mineralogi dan komposisi yang lebih homogen, dan karakter konsumsi asam yang relatif rendah, lebih cocok untuk diolah melalui metode hidrometalurgi. Secara umum, diagram ekstraksi nikel ditunjukkan pada Gambar 2.3 (D. G. E. Kerfoot, 2005)



**Gambar 2.3** Diagram Ekstraksi Nikel (Dalvi, Bacon dan Osborne, 2004)

## 2.4 Aglomerasi dan Reduksi Nikel Laterit Limonitik

Pada proses pirometalurgi, bijih nikel laterit yang mempunyai kandungan nikel cenderung rendah di *upgrade*



melalui proses benefikasi untuk meningkatkan kandungannya sebelum melalui proses *smelting* di *blast furnace* atau *electric arc furnace*. Pada proses benefikasi sifat – sifat fisik dan kandungan metalurgi perlu diperhatikan dan dievaluasi. Sifat fisik memberi indikasi perilaku bijih selama penanganan dan penurunan dalam *furnace*. Metalurgi di sisi lain menunjukkan perilaku bijih selama proses reduksi. Dalam memilih bijih untuk proses *smelting* beberapa sifat yang perlu diperhatikan antara lain: abrasi dan indeks kehancuran, porositas, komposisi kimia, *ignition loss*, sifat reduksi, dan degradasi termal. (M. Kumar, 2008). Kandungan oksigen, fasa yang terbentuk dari *burden material*, permeabilitas, ukuran *burden material*, komposisi kimia dan sifat metalurgi berupa *cold strength*, reduksi disintegrasi dan sifat *softening* dan *melting* juga harus diperhatikan sebelum *burden material* masuk ke dalam *blast furnace*. Oleh karena itu dibutuhkan proses aglomerasi kemudian *roasting*.

Proses aglomerasi menjadikan ore laterit limonite yang berupa tanah digumpalkan dan dicampur dengan batubara serta fluks dengan komposisi tertentu. Sehingga *burden material* hasil aglomerasi akan sesuai untuk proses selanjutnya. Proses aglomerasi yang digunakan berupa pembriketan. Campuran dari laterit, batu bara, dan fluks dikompresi dalam suatu cetakan dengan bentuk tertentu, dengan komposisi tambahan berupa kanji yang berfungsi sebagai zat pengikat.

Fluks digunakan untuk berbagai macam fungsi. Jika fluks tersebut langsung dimasukkan dalam *mini blast furnace* maka akan membutuhkan banyak energi untuk menaikkan temperatur fluks tadi. Sehingga, fluks akan lebih baik ditambahkan saat proses persiapan material / *roasting* sebelum masuk ke dalam *mini blast furnace*. Oleh karena itu diperlukan suatu proses penggumpalan (aglomerasi) yang dilanjutkan dengan proses *roasting*. Kanji digunakan sebagai pengikat (binder) briket untuk meningkatkan kekuatan green biket sebelum proses *roasting*, mengurangi tingkat degradasi briket saat transportasi dan handling. Karena hanya untuk keperluan sebelum proses *roasting*,

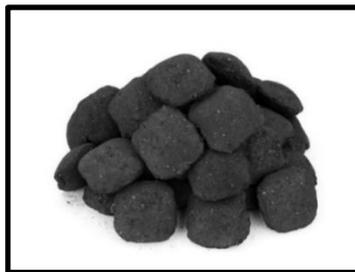


binder tidak boleh memberikan efek negative pada proses roasting. Kanji dipilih sebagai binder karena kanji merupakan zat organic, yang akan terbakar habis saat pemanasan. Menurut Li (2012), perlu ditambahkan bahan tambahan berupa Natrium Sulfat untuk mekanisme *selective reduction* pada Ni.

Secara spesifik pembriketan dibagi menjadi briket dingin dan briket panas. Briket dingin hanya dilakukan pada temperature kamar, sedangkan briket panas dilakukan proses kalsinasi hingga temperature diatas 1000 °C hingga dibawah temperatur lelehnya. Proses kalsinasi dilakukan dalam proses roasting.

Proses pembriketan yang dilakukan berupa briket panas, hal ini dilakukan untuk memperoleh komposisi kimia briket laterit yang sesuai dengan proses produksi NPI (*Nickel Pig Iron*) pada *Mini Blast Furnace*. Proses pembriketan panas harus mencakup (Crundwell, 2011):

1. Menghilangkan sisa kadar air pada *ore* (untuk menghindari terjadinya ledakan pada *mini blast furnace*)
2. Mereduksi sekitar seperempat nikel dalam *ore* menjadi nikel metal
3. Mereduksi mineral  $Fe^{3+}$  menjadi mineral  $Fe^{2+}$  dengan kadar tinggi dan sekitar 5 % dari besi menjadi besi metal
4. Menambah batu bara dengan cukup, sehingga kadar mineral yang tersisa untuk reduksi tahap akhir pada *mini blast furnace*.



**Gambar 2.4** Bentuk Briket (arstaeco.com)



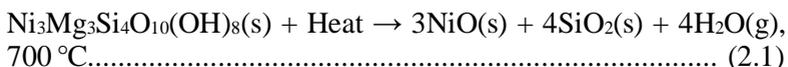
Bentuk briket yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.4. Bentuk briket yang digunakan berupa bentuk bantal (*pillow*) dipilih dengan maksud tertentu. Jika dibandingkan dengan briket berbentuk bola yang memiliki keseragaman tegangan di seluruh permukaannya. Namun briket dengan bentuk bola akan sulit dibuat karena keterbatasan alat yang ada, proses pelepasan briket bola dari alat briket atau cetakan akan sulit dilakukan. Maka briket berbentuk bantal lebih mudah dibuat dengan menggunakan alat yang sudah komersial. Briket bentuk bantal dengan volume yang sama memiliki tebal penampang kecil dan luas permukaan yang lebih besar dibanding dengan bentuk bola. Hal tersebut akan meningkatkan *heat flux* saat proses pemanasan. *Heat flux* yang besar akan meningkatkan *heat transfer* sehingga tingkat reduksi yang terjadi juga akan semakin besar. (Iqbal, 2015)

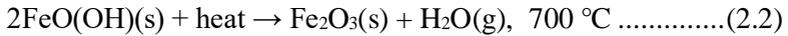
Pada proses pembriketan, proses reduksi yang terjadi haruslah secara optimal. Temperatur kalsinasi / roasting haruslah sesuai dengan temperatur terjadinya reaksi reduksi dari mineral nikel dan besi dalam laterit. Ketika temperatur tidak mencukupi maka reaksi reduksi tidak optimal karena energi yang diperlukan tidak mencukupi.

Perlu juga dipertimbangkan kebutuhan gas CO sebagai agen reduktor. Gas CO berasal dari batu bara, sehingga diperlukan perhitungan kebutuhan komposisi batu bara yang sesuai. Apabila ketersediaan batu bara tidak memadai maka reaksi tidak berjalan optimal karena gas CO juga kurang untuk mereduksi mineral nikel dan besi yang ada.

Menurut buku “Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt” (Tyroler & Landolt, 1998). Persamaan reaksi ekstraksi dari nikel laterit pada proses roasting ditunjukkan pada reaksi :

- Terjadi dekomposisi *garnierite* dan *goethite* (ore)





- Reaksi reduksi oleh gas CO



## 2.5 Batu Bara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $\text{C}_{137}\text{H}_{97}\text{O}_9\text{NS}$  untuk bituminus dan  $\text{C}_{240}\text{H}_{90}\text{O}_4\text{NS}$  untuk antrasit. Batu bara berfungsi sebagai reduktor pada proses reduksi langsung nikel laterit limonitik. Tiap jenis batu bara memerlukan adaptasi operasi terutama dalam hal rasio antara briket ore dan jumlah reduktor yang dibutuhkan. Hal itu dimaksudkan untuk menjaga profil temperatur yang dibutuhkan dalam proses. Batu bara digunakan sebagai sumber karbon untuk berikatan dengan  $\text{CO}_2$  untuk menghasilkan gas CO.

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

1. Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.



2. Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah

**Tabel 2.1** *Coal Typical Content (Brian&Marty, 2008)*

<i>% weight</i>	<i>Anthracite</i>	<i>Bituminous</i>	<i>Sub- Bituminous</i>	<i>Lignite</i>
<i>Heat Content (Btu/lb)</i>	13.000 – 15.000	11.000 – 15.000	8.500 – 13.000	4.000 – 8.300
<i>Moisture</i>	< 15%	2 – 15%	10 – 45%	30 – 60%
<i>Fixed Carbon</i>	85 – 98%	45 – 85%	35 – 45%	25 – 35%
<i>Ash</i>	10 – 20%	3 – 12%	< 10%	10 – 50%
<i>Sulfur</i>	0,6 – 0,8%	0,7 – 4,0%	< 2%	0,4 – 1,0%

Menurut C. F. K. Diessel (1992) pembentukan batubara diawali dengan proses biokimia, kemudian diikuti oleh proses geokimia dan fisika, proses yang kedua ini sangat berpengaruh terhadap peringkat batubara “*coal rank*“, yaitu perubahan jenis mulai dari gambut ke lignit, bituminous, sampai antrasit. Faktor yang sangat berperan didalam proses kedua tersebut adalah



temperatur, tekanan, dan waktu. Batu bara ditunjukkan pada Gambar 2.5.

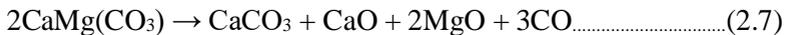


**Gambar 2.5** Batu Bara (id.wikipedia.org)

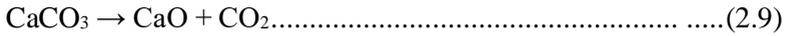
## 2.6 Dolomit

Dolomit merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Dolomit merupakan salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui. Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk akibat proses pembatuan atau litifikasi dari hasil proses pelapukan dan erosi yang kemudian tertransportasi dan seterusnya terendapkan. Senyawa yang ada pada dolomit yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ . (Noviyanti dkk, 2015).

Dolomit akan terdekomposisi termal secara langsung membentuk  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CO}_2$  disertai dengan pembentukan  $\text{MgO}$  pada temperature antara  $700^\circ\text{C}$  -  $750^\circ\text{C}$ . Dimana reaksi yang terjadi yaitu :

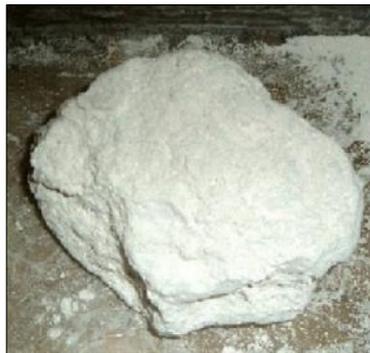


Pada temperature yang lebih tinggi,  $\text{CaCO}_3$  akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Reaksi dekomposisi dolomit dan  $\text{CaCO}_3$  akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi, yaitu :



Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperatur 780 – 785 °C serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur 950 – 960 °C (Philip Engler, dkk. 1988).

Dolomit berperan sebagai penyedia gas CO<sub>2</sub> dalam proses reduksi. Gas CO<sub>2</sub> ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boduard). Gas CO<sub>2</sub> diperoleh dari reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO<sub>3</sub>. Selain itu dolomit juga berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor. Dolomit ditunjukkan pada Gambar 2.6 (Spencer. 1985)



**Gambar 2.6** Dolomit (dnr.mo.gov)

## 2.7 Selective Agent

Meningkatkan temperatur dan waktu reduksi telah menunjukkan hasil pada peningkatan ukuran partikel ferronikel (Elliot et al, 2015; Zhu et al, 2012). Penambahan sulfur dan *fluks agent*, seperti Natrium Sulfida (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) juga akan meningkatkan ukuran partikel ferronikel yang terbentuk (Harris, 2012). Penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bertujuan untuk meningkatkan selektifitas Ni dengan menurunkan kadar komponen yang tidak diinginkan.



$\text{Na}_2\text{SO}_4$  akan terurai menjadi natrium yang dapat mengikat silikat dan Fe bereaksi dengan S membentuk FeS. Natrium silikat dan FeS merupakan komponen bukan magnet yang terikat menjadi *tailing* pada pemisahan magnetik sehingga selektivitas Ni pada konsentrasi meningkat. Selain itu adanya fasa FeS dan natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah akan melarutkan partikel – partikel logam dan mempercepat proses perpindahan massa partikel logam sehingga memacu pertumbuhan partikel logam (Li, 2012). Disamping itu, penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  juga menyebabkan kinetika reduksi bijih nikel laterit berlangsung lebih baik sehingga pelepasan besi dan nikel dari mineralnya menjadi kondusif (Jie Lu, 2013).

## 2.8 Termodinamika Reduksi Nikel Laterit

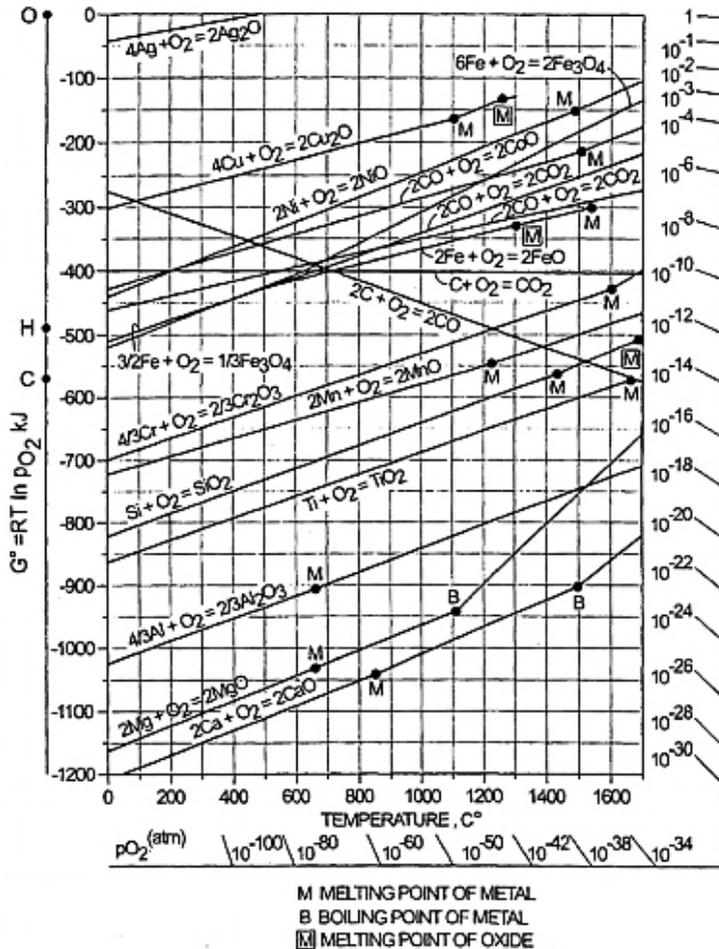
Diagram Ellingham adalah diagram yang menyajikan data – data termodinamika suatu logam yang mengalami proses pembentukan oksida, sulfida atau klorida. Diagram Ellingham merupakan diagram yang berupa plot garis antara energi bebas gibs ( $\Delta G$ ) dan temperatur. Energi bebas gibs ( $\Delta G$ ) adalah suatu ukuran dari *driving force* yang dapat membuat suatu reaksi terjadi.  $\Delta G$  yang bernilai negatif menunjukkan bahwa suatu reaksi dapat terjadi secara spontan tanpa energi dari luar. Sementara itu reaksi yang memiliki  $\Delta G$  positif menunjukkan reaksi tersebut tidak akan terjadi secara spontan. Pada diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Besar nilai energi bebas ( $\Delta G^\circ$ ) untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai  $\Delta G^\circ$  suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida.

Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.7 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi reaksi tersebut



terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO. Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu.

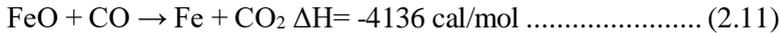
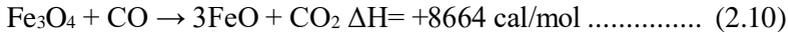
Klasifikasi reaksi reduksi suatu bijih mineral berdasarkan reducing agent dikemukakan oleh *metallurgist* Prancis bernama Jacques Assenfratz pada tahun 1812 (Andronov 2007). Dia membuktikan secara pengujian bahwa reduksi bijih besi terjadi dalam 2 cara, yaitu: kontak antara bijih dan arang atau interaksi dengan gas reduktor.



Gambar 2.7 Diagram Ellingham (Ross, 1980)

Dalam proses berdasarkan batu bara, gas reduktor utama adalah CO. Tiga reaksi reduksi dan entalpi reaksi pada 25 °C dari mineral besi dalam laterit dapat dituliskan sebagai berikut:

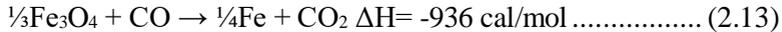




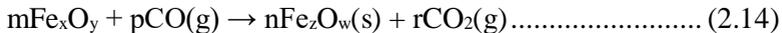
Ketika wustit bertemu dengan silikat akan membentuk fasa fayalit, seperti reaksi:



Entalpi reaksi pada 25 °C dapat diketahui dari entalpi pembentukan. Reaksi (2.20) dan (2.25), mempunyai entalpi negatif, yang berarti reaksi eksotermik dan reaksi (2.21) mempunyai entalpi positif, berarti reaksi endotermik dan membutuhkan energi. Karena wustit metastabil di bawah 570°C, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat direduksi dalam satu langkah menjadi besi metalik, tanpa melewati reaksi wustit.



Dalam sistem solid dan reduktor berfasa gas, seluruh reaksi selama reduksi bijih besi dapat terjadi dalam dua langkah (Chatterjee 1988): reduksi mineral besi dan gasifikasi karbon.



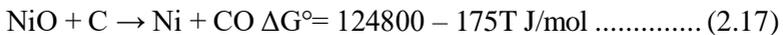
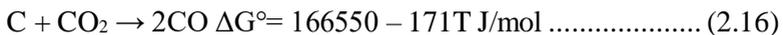
Dalam reaksi Boudouard, ketika karbon dioksida bereaksi dengan karbon membentuk karbon monoksida, 1 volume karbon dioksida menghasilkan 2 volume karbon monoksida pada tekanan konstan. Jika dalam volume konstan, reaksi akan meningkatkan temperatur. Jika tekanan meningkat, maka kesetimbangan sistem karbon oksigen akan bergeser untuk melepas tekanan. Oleh karena itu untuk menjaga rasio CO/CO<sub>2</sub> tetap sama pada tekanan tinggi, temperatur harus ditingkatkan.



Dilihat dari diagram Ellingham, reaksi reduksi NiO oleh CO mulai terjadi pada temperatur 440 °C. Sedangkan reaksi reduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan gas CO mterjadi pada tempetarur 650 °C. Namun kedua reaksi reduksi ini belum akan terjadi pada temperatur tersebut oleh gas CO karena reaksi Boudouard baru terjadi pada temperatur diatas 900 °C.

Menurut Li (2011), reaksi reduksi nikel dari laterit terjadi pada metode deoksidasi *solid-state*, reduktor gas dan padat keduanya digunakan. Proses reduksi nikel Ni dipengaruhi oleh temperatur, waktu reduksi, kadar CO, kadar karbon dan kadar CaO.

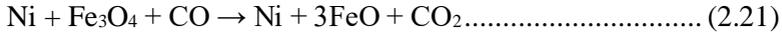
Reaksi utama dari nikel oksida menjadi nikel metalik adalah:



Dari diagram Ellingham (Gambar 2.7), temperatur terendah pada tekanan atmosfer terjadinya reduksi NiO oleh *fixed carbon* pada temperatur 440 °C. Kurva energi Gibbs standar dari pembentukan NiO adalah lebih dari CO<sub>2</sub>, dan energi bebas Gibbs standar dari reaksi (2.23) bernilai negative pada tekanan atmosfer. Sehingga NiO dengan mudah tereduksi dengan CO (Li, 2011).

Faktanya, ore nikel laterit merupakan ore yang kompleks, termasuk di dalamnya berupa senyawa NiO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, dll, sehingga reaksi-reaksi lain pun secara simultan terjadi pada proses reduksi, Berdasarkan reduksi dari trevorite, NiO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yang lebih mudah terjadi reduksi nikel oksida menjadi nikel metalik dimulai dengan:





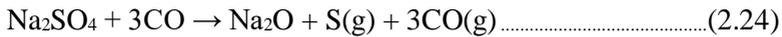
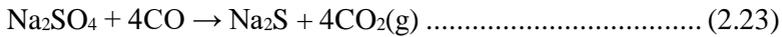
Reduksi selanjutnya dari wustit menjadi besi metalik terjadi:



Berdasarkan kondisi percobaan, proses reduksi dari (2.32) dan (2.33) akan sulit terjadi (Olli 1995).

Menurut Jiang (2013) mekanisme *selective reduction* dari nikel terjadi sesuai reaksi berikut:

- Terjadi dekomposisi termal dan reduksi Natrium sulfat



- Pengikatan Fe membentuk FeS



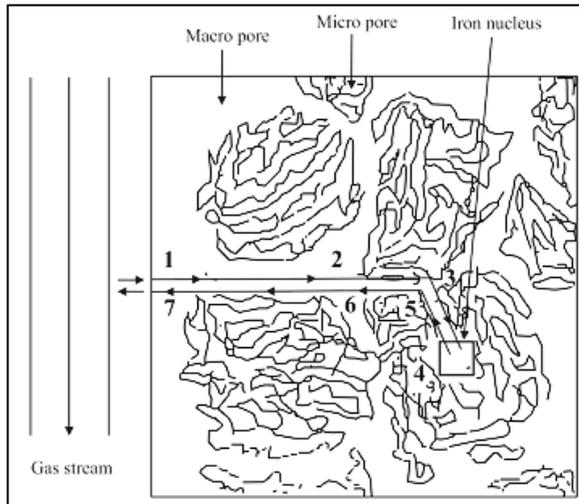
## 2.9 Kinetika Reduksi Ore

Kinetika reaksi reduksi bijih mineral adalah kecepatan mineral oksida untuk bertransformasi menjadi logam metalik dengan melepaskan oksigen. Kecepatan reaksi reduksi bijih mineral ditentukan oleh tinggi rendahnya kemampuan bijih mineral tersebut untuk direduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran partikel, bobot jenis, *porosity*, struktur kristal, serta komposisi kimia (Ross 1980). Kinetika reduksi menggunakan reduktor batu bara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas, perpindahan massa oleh konveksi, difusi fase gas, serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon. El-Geassy (2007) menjelaskan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi reduksi mineral oksida seperti komposisi bahan



baku, basisitas, komposisi gas, dan temperatur reduksi. Pengaruh komposisi gas terjadi pada perubahan *volume* dari mineral oksida pada temperatur 800 – 1100 °C.

Bijih mineral dapat dianggap tersusun atas butiran-butiran. Celah diantara butiran-butiran dikenal sebagai pori makro dan pori yang lebih kecil dikenal sebagai pori mikro. Mekanisme reduksi ore mineral bertahap melalui langkah-langkah sebagai berikut dan diilustrasikan Gambar 2.8 (Bogdandy, Von, & Engell, 1971).



**Gambar 2.8** Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori (Bogdandy, Von, & Engell, 1971).

Dimana:

1. Difusi gas reduktor melewati lapisan batas butir.
2. Difusi gas reduktor melalui pori-pori makro pada bijih besi.
3. Difusi gas reduktor melalui pori-pori mikro menuju posisi reaksi.
4. Reaksi pada batas fasa.
5. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori mikro.



6. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori makro.

Faktor yang mempengaruhi karakteristik reduksi antara lain adalah (Dutta, 1993):

1. Komposisi gas reduktor. Laju reduksi yang menggunakan gas H<sub>2</sub> dan campuran gas H<sub>2</sub> dan CO sebagai reduktor lebih cepat dibandingkan dengan gas CO terutama pada awal reduksi karena laju difusi gas H<sub>2</sub> lebih cepat dibandingkan dengan gas CO, juga karena daya absorpsi gas H<sub>2</sub> lebih besar dibanding gas CO<sub>2</sub>
2. Konsentrasi dan jenis reduktor
3. Temperatur, temperatur mempunyai efek yang besar terhadap laju reduksi besi oksida. Temperatur akan mempengaruhi laju difusi dan reaksi kimia. Pada umumnya laju reaksi reduksi besi oksida akan naik dengan naiknya temperatur.

Dari semua mekanisme reduksi, langkah-langkah yang mendasar dalam reduksi bijih mineral, diantaranya (Takuda, Yoshikoshi and Ohtano 1973) :

1. Perpindahan panas dalam reaksi antarmuka
2. Perpindahan massa antara gas dan permukaan padat oksida, yang meliputi difusi gas reduktor kedalam permukaan solid atau gas hasil reduksi keluar dari permukaan.
3. Perpindahan massa antara permukaan oksida dan reaksi antarmuka internal melalui lapisan hasil reduksi, yang dipengaruhi oleh:
  - Difusi solid melalui oksida rendah
  - Difusi solid melalui lapisan logam metal
  - Difusi antar partikel gas reduktor atau gas hasil reduksi.
4. Reaksi kimia penghilangan oksigen pada permukaan antarmuka.
5. Pengintian dan pertumbuhan fasa logam metalik.



## 2.10 Penelitian Sebelumnya

Tahun 2012, Guanghai Li Tangming Shi dkk, melakukan percobaan untuk mendapatkan konsentrat yang mempunyai kadar Ni 2,3% dan Fe 22,10% pada temperatur 1100°C selama 60 menit dengan penambahan 20% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sehingga dihasilkan konsentrat dengan kadar nikel 9,48% dan perolehan nikel dalam konsentrat sebanyak 83,01%

Upaya lainnya untuk meningkatkan kadar nikel dalam laterit dilakukan oleh Cao dan kawan kawan (2010) yang telah melakukan penelitian proses pemanggangan reduksi selektif pada temperatur 1200°C selama 40 menit dengan penambahan 20% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan 15% batu bara, yang dilanjutkan dengan pemisahan magnet, bijih yang digunakan sebagai bahan baku adalah bijih nikel laterit kadar rendah yang mempunyai kandungan nikel 1,86 dan besi 13,59%. Dari hasil penelitiannya diperoleh konsentrat feronikel dengan kadar nikel 10,83% dan perolehan nikel dalam konsentrat 82,15%.

Upaya untuk meningkatkan kadar nikel dalam laterit juga dilakukan oleh Zhu dkk (2012) yang melakukan penelitian reduksi selektif yang dilanjutkan dengan pemisahan magnet terhadap bijih nikel laterit kadar rendah yang mempunyai kadar 1,42% nikel dan 23,16% besi. Proses reduksi dilakukan pada temperatur 1100°C selama 60 menit dengan penambahan 6% CaSO<sub>4</sub> dan 5% batu bara. Dari hasil percobaannya diperoleh konsentrat feronikel dengan kadar nikel 6% dan perolehan nikel dalam konsentrat adalah 92,10%.

Rudi Subagja dan Agus Budi Prasetyo (2016) melakukan percobaan untuk meningkatkan kadar nikel dalam bijih nikel laterit jenis limonit telah dilakukan dengan cara membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit jenis limonit, batu bara dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dilanjutkan dengan pemanggangan reduksi pelet dalam *muffle furnace* pada temperatur 800°C sampai dengan 1100°C dan waktu pemanggangan reduksi dari 0,5 jam sampai dengan 4 jam. Hasil reduksi dari proses pemanggangan kemudian digiling dalam *vibrating mill* untuk selanjutnya dicampur dengan air dan

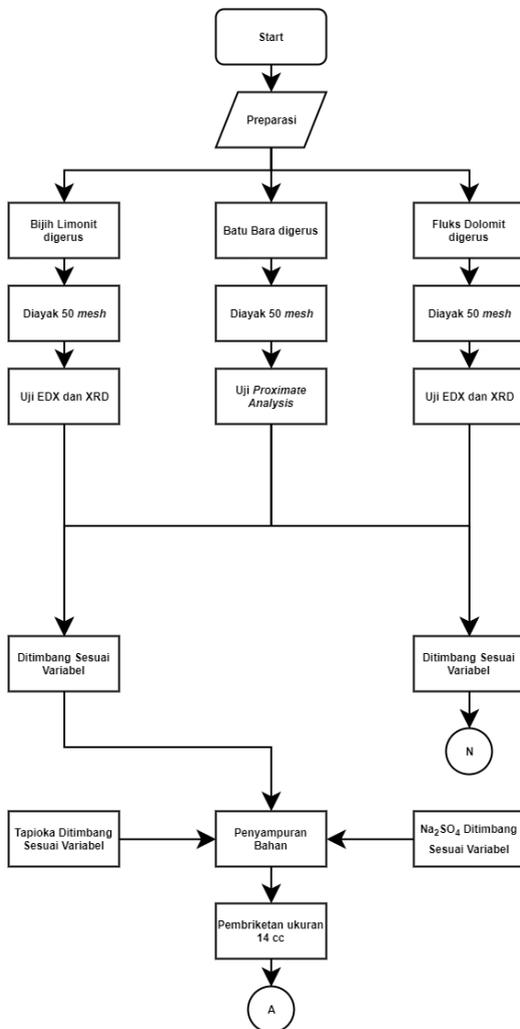


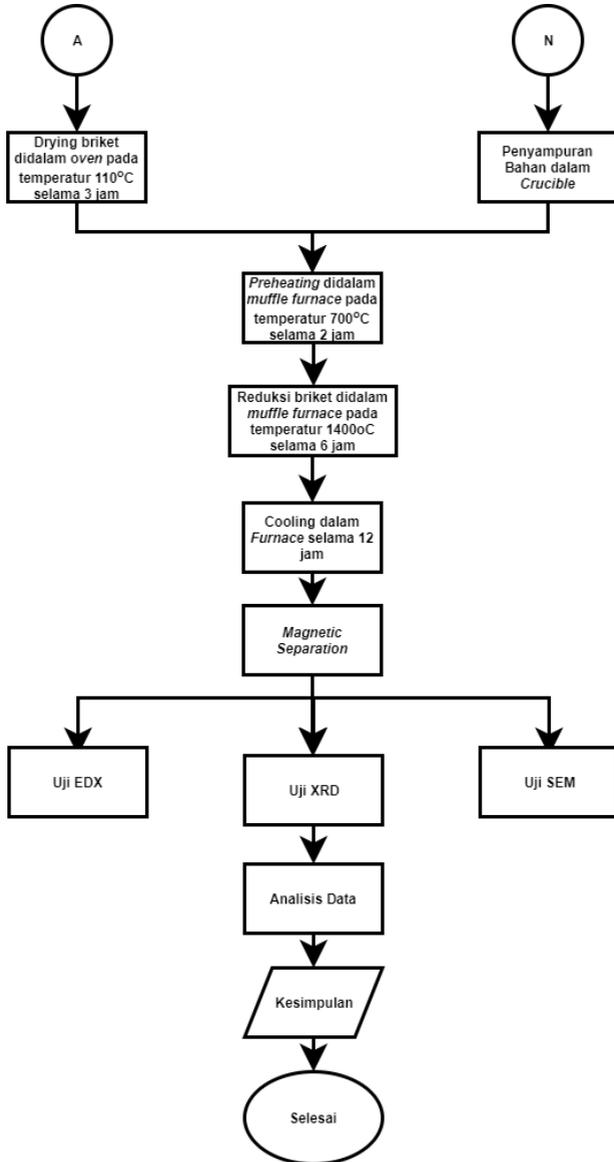
dilewatkan ke dalam alat pemisah magnet untuk memisahkan konsentrat. Konsentrat dengan kadar nikel 0,28% dan besi 66,75% diperoleh dari hasil reduksi pada temperatur 1000°C selama 1 jam, penambahan batu bara 10% dan penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20% dengan perolehan nikel dan besi dalam konsentrat masing masing adalah 64,77% besi dan 34,66% nikel.

Romeyndo Gangga Wilman dan Johny Wahyuadi Soedarsono tahun 2013 melakukan studi pengaruh variasi rasio masa pelet komposit bijih besi dan batu bara terhadap hasil reduksi langsung pelet komposit bijih besi batu bara dengan menggunakan *single conveyor belt hearth furnace*. Dan didapatkan kesimpulan bahwa efek rasio massa terhadap perubahan fasa adalah semakin banyaknya kandungan reduktor dalam komposisi pelet akan meningkatkan tingkat reduksi yang terjadi. Rasio massa yang paling efisien adalah rasio massa yang memiliki kandungan reduktor paling banyak (yang bisa memproduksi gas reduktor paling banyak yaitu mass ratio 1:2 temperatur 900°C *holding time* 30 menit.

# BAB III 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 berupa limonit, 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 Limonit

### 3.2.2 Batu Bara

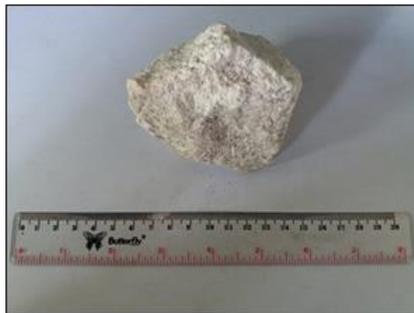
Batu bara yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu bara dengan jenis *sub-bituminus* dari Benuang, Kalimantan Selatan. Batu bara ini juga dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 *mesh*. Batu bara yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Batu Bara

### 3.2.3 Dolomit

Batu Kapur (*Dolomite*) yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 *mesh*. Batu kapur yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Dolomit

### 3.2.4 Natrium Sulfat

Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) digunakan dalam penelitian ini sebagai agen *selective reduction* pada nikel laterit. Natrium sulfat yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Serbuk Natrium Sulfat

### 3.2.5 Tapioka

Tapioka digunakan dalam penelitian ini sebagai pengikat (*binder*) dalam pembuatan briket. Ditunjukkan pada gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Tapioka

### 3.2.6 Air

Air digunakan dalam pembuatan briket. Air yang digunakan yaitu akuades.



### 3.2.7 LPG

LPG digunakan dalam penelitian sebagai sumber bahan bakar yang digunakan dalam *Muffle Furnace*. LPG yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 LPG

## 3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

### 3.3.1 Alat Kompaksi

Alat kompaksi berfungsi untuk membentuk campuran bahan menjadi briket yang berbentuk bantal (*pillow*). Briket dibuat dengan menggunakan bahan baku berupa *ore* (bijih limonit), batubara, *selective reduction* ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), dan pengikat (kanji). Volume hasil briket yaitu  $14 \text{ cm}^3$  dan dimensi briket :

- Panjang : 4,3 cm
- Lebar : 3,4 cm
- Tebal : 1,65 cm



**Gambar 3.8** Alat Kompaksi

### 3.3.2 *Muffle Furnace*

Proses reduksi dilakukan dengan menggunakan *muffle furnace* yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Dimensi *muffle furnace* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Diameter atas	: 36 cm
Diameter bawah	: 36 cm
Tinggi	: 64 cm
Tebal	: 7 cm





### Gambar 3.9 Muffle Furnace

#### 3.3.3 Crucible

Di dalam penelitian ini, *crucible* digunakan sebagai media tempat terjadinya reduksi briket nikel laterit limonitik yang tertimbun di dalam bed batubara. Dimensi *crucible* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Diameter atas	: 13 cm
Diameter bawah	: 10 cm
Tinggi	: 17 cm
Tebal	: 2,5 cm



Gambar 3.10 Crucible

#### 3.3.4 Timbangan Digital

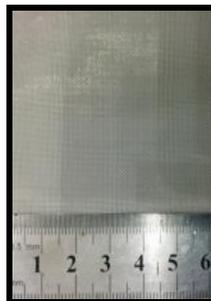
Timbangan digital digunakan dalam penelitian ini untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan campuran untuk pembuatan briket dan pembuatan *bed* batu bara, ditunjukkan pada gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Timbangan Digital

### 3.3.5 Ayakan

Ayakan digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang digunakan sebagai bahan campuran pembuatan briket. Ayakan yang digunakan berukuran 50 *mesh*, ditunjukkan pada gambar 3.12.



**Gambar 3.12** Ayakan



### 3.3.6 *Thermocouple*

*Thermocouple* digunakan untuk mengetahui temperatur di dalam *muffle furnace* saat proses aglomerasi, ditunjukkan pada gambar 3.13.



**Gambar 3.13** *Thermocouple*

### 3.3.7 *Blower*

*Blower* digunakan untuk meniupkan udara luar ke dalam *muffle furnace*. *Blower* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.14.



**Gambar 3.14** *Blower*



### 3.3.8 Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan briket hasil kompaksi untuk menghilangkan *moisture content*. Oven yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Oven

## 3.4 Pelaksanaan Penelitian

### 3.4.1 Persiapan Material

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu:

1. Bijih laterit limonitik, batu bara, dan batu kapur (dolomit) ditumbuk dan dilakukan pengayakan dengan ukuran sebesar 50 mesh.
2. Bijih laterit limonitik, batu kapur (dolomit) dilakukan penguian EDX dan XRD.
3. Batu bara dilakukan pengujian *Proximate Analysis*.
4. Pembuatan briket nikel laterit limonitik.  
Bijih nikel laterit limonitik hasil ayakan dicampur dengan batu bara dan natrium sulfat. Tapioka dicampur dengan air hingga 100 mL, dan dipanaskan dalam air mendidih hingga sedikit mengental. Campuran dari bijih nikel laterit limonitik, batu bara dan natrium sulfat ditambahkan tapioka yang telah sedikit



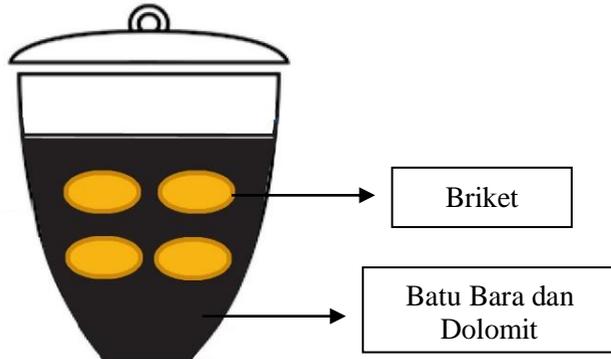
mengental kemudian diaduk hingga merata. Campuran dibentuk menjadi briket *pillow* dengan alat kompaksi dengan tekanan 30 kgf/cm<sup>2</sup>, kemudian dilakukan proses pengeringan (*drying*) di dalam *oven* pada temperatur 110°C selama 3 jam. Dalam satu kali proses reduksi dibutuhkan 4 buah briket.

5. Pembuatan campuran *bed* batu bara  
Batu bara dan batu kapur yang telah diayak, dicampur hingga homogen sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan.

### 3.4.2 Proses Reduksi

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses reduksi yaitu :

1. Briket yang telah dikeringkan, dimasukkan ke dalam *crucible* yang di bagian dasarnya telah dimasukkan sejumlah campuran batu bara dan dolomit sebagai lapisan *bed* bagian dasar.
2. Briket tersebut ditutup kembali menggunakan campuran batu bara dan dolomit yang sama membentuk lapisan *bed* bagian atas, dan seterusnya hingga membentuk tumpukan batu bara dan dolomit dengan briket untuk dilakukan proses reduksi di dalam *Muffle Furnace*.



**Gambar 3.16** Skematik Posisi Briket dan Bed Batu Bara Dolomit

3. Pemanasan awal di *Muffle Furnace* dilakukan hingga temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  dengan *heat rate*  $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ , kemudian dilakukan *holding* pada temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam.
4. Pemanasan selanjutnya dilakukan hingga temperatur  $1400^{\circ}\text{C}$  dengan *heat rate*  $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ , kemudian dilakukan *holding* pada temperatur  $1400^{\circ}\text{C}$  selama 6 jam.
5. Briket hasil reduksi didinginkan di dalam *Muffle Furnace* hingga temperatur kamar.
6. Setelah proses pendinginan selesai, setiap sampel dikeluarkan dari *Muffle Furnace*.
7. Briket hasil reduksi selanjutnya akan dilakukan proses pengujian SEM, XRD dan EDX.



### 3.4.3 Proses Pengujian Sampel

#### 1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif yang terdapat pada bahan baku yang digunakan. Dalam pengujian XRD sampel yang akan diuji sebelumnya harus sudah dihancurkan terlebih dahulu hingga berukuran 200 mesh. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV hingga 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-1} - 10$  nm, berfrekuensi 1017 – 1020 Hz dan memiliki energi  $10^3 - 10^6$  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 sama. Alat uji XRD yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.17. Preparasi sampel bahan limonit, dolomit, dan produk hasil reduksi. Semua bahan dijadikan serbuk ditumbuk dan diayak hingga 50 *mesh* bertujuan agar partikel - partikel pada bahan menjadi homogen. Kemudian dilakukan uji karakteristik XRD untuk di dapat analisis identifikasi fasa, struktur kristal dan senyawa secara kualitatif.



**Gambar 3.17** XRD PAN Analytical

- 2. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)**  
*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakterisasi 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 *energy (KeV)* dengan *counts*. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur – unsur apa saja yang terkandung di dalam suatu sampel. Serta dengan pengujian EDX, didapatkan pula persentase dari suatu unsur yang terkandung di dalam suatu sampel. Preparasi sampel bahan limonit, dolomit, dan produk hasil reduksi. Semua bahan dijadikan serbuk ditumbuk dan diayak hingga 50 *mesh* bertujuan agar partikel - partikel pada bahan menjadi homogen. Kemudian dilakukan uji karakteristik EDX



untuk di dapat analisis identifikasi unsur kimia suatu sampel.

### 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*).

#### a. Moisture

Analisa kadar *moisture* dalam batu bara dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Bahan :

1. Udara kering
2. Pengerih, 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* Pengerih

Prosedur :

1. Mengeringkan sampel dalam pengerih selama 15 menit hingga 30 menit dan ditimbang. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
2. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan ( $104^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ ). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengerih. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur ruangan.
3. Menghitung hasil analisa.



Perhitungan :

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

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

**b. Volatile Matter**

Analisa kadar *volatile matter* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

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. Presentasi weigh loss dikurangi presentasi moisture sama dengan *volatile matter*.

Perhitungan :

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

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen *volatile matter* dihitung



**Volatile Matter, % = C – D**

**(3.3)**

Dimana,

C = *Weight Loss* (%)

D = *Moisture* (%)

**c. Ash**

Analisa kadar *ash* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

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, % = [(A – B) / C] × 100**

**(3.4)**

Dimana,

A = berat kapsul, tutup, dan ash (gram)

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gr)

**d. 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.

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

#### 4. Scanning Electron Microscope (SEM)

*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki kemampuan untuk mengetahui topografi, morfologi dari suatu sampel yang diuji. Alat uji SEM yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.18. Preparasi sampel produk hasil reduksi. Produk hasil reduksi dijadikan serbuk ditumbuk dan diayak hingga 50 *mesh* bertujuan agar partikel - partikel pada bahan menjadi homogen. Kemudian dilakukan uji karakteristik SEM untuk di morfologi setelah proses reduksi. Material yang dapat diuji dengan menggunakan SEM hanyalah material padat.



Gambar 3.18 SEM-EDX



### 3.5 Neraca Massa Briket Nikel Laterit Limonitik

Proses pembriketan yang akan dilakukan proses aglomerasi memerlukan perhitungan terhadap massa bahan yang akan dikomposisikan. Perhitungan dilakukan berdasarkan persamaan reaksi yang terjadi pada proses reduksi bijih nikel laterit limonit. Perhitungan ini berpengaruh pada keberhasilan proses aglomerasi dan komposisi yang dihasilkan. Adapun bahan yang dikomposisikan adalah bijih nikel laterit, batu bara, dan bahan tambahan lain seperti dolomit, natrium sulfat, dan kanji. Perhitungan untuk masing-masing massa bahan tersebut dilakukan dengan memperhatikan perilaku termal senyawa penyusunnya pada temperatur 1400 °C.

Komposisi batu bara diperhitungkan berdasarkan kebutuhan gas CO, sesuai reaksi *Boudouard* (2.15), sebagai agen reduktor untuk mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO. Batu bara juga diperlukan untuk kebutuhan gas CO sebagai agen reduksi dekomposisi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Kebutuhan Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ditentukan dari 10% massa total setelah dihitung neraca massa yang didapat dari bijih nikel laterit, batubara, dan fluks (Jiang, et al. 2013). Diharapkan penambahan Natrium sulfat dapat mengikat Fe yang akan membentuk FeS dan Natrium silikat sesuai reaksi (2.25) dan (2.26), sehingga kadar Fe akan turun menyebabkan kadar Ni meningkat. Kebutuhan dolomit ditentukan berdasarkan kebutuhan gas  $\text{CO}_2$  yang diperlukan sebagai pembentuk gas reduktor sebagai gas pereduksi. Sedangkan kebutuhan kanji sebagai pengikat briket sesuai dengan kebutuhan. Desain target proses aglomerasi briket ditentukan pada Tabel 3.1 berikut:



**Tabel 3.1** Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
<b>Reaksi</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
<b>Reduksi</b>	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	100	Persen (%)
	$\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$	100	Persen (%)
<b>Reaksi</b>	$\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$	100	Persen (%)
<b>Pengikat</b>	Kanji	3	Persen (%)

Berdasarkan target proses reduksi briket tersebut, maka dilakukan perhitungan komposisi dengan neraca massa dengan ditentukan sebagai basis adalah bijih nikel laterit sehingga diperoleh perbandingan komposisi ore : batu bara: Natrium Sulfat : kanji : dolomit, untuk masing masing sebesar :

**Tabel 3.2** Perbandingan Komposisi Ore : Batu Bara:  
Natrium sulfat : Kanji

Ore	Batu Bara	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Kanji	Dolomit
<b>100</b>	70,21	17,27	5,62	66,26

Pembagian variasi rasio massa *inner coal* dan *outer coal* berdasarkan *trial and error*. Dimana *inner coal* yang digunakan pada variabel pertama sebesar 0% dari total kebutuhan batu bara, variabel kedua massa *inner coal* ditambahkan 20% massa dari total kebutuhan batu bara, variabel ketiga ditambahkan 40% dari total kebutuhan batu bara, variabel keempat ditambahkan 60% dari total kebutuhan batu bara dan variabel kelima ditambahkan 80%



dari total kebutuhan batu bara. Sehingga diperoleh total komposisi briket sebagai berikut

Tabel 3.3 Total Komposisi Briket

<i>Ore</i> (gram)	<i>Inner Coal</i> (gram)	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (gram)	<b>Kanji</b> (gram)	<b>Total</b> (gram)
100	0	17,27	5,62	122,89
100	84,25	17,27	5,62	207,14
100	98,29	17,27	5,62	221,18
100	112,37	17,27	5,62	235,26
100	126,38	17,27	5,62	249,27

Jika melalui perhitungan presentase massa bijih tiap variasi briket dengan kadar Fe 55,37 % dan Ni 1,25 % dalam bijih, dapat diperoleh kadar Fe dan Ni pada masing-masing briket variasi jenis fluks sebelum dilakukan proses reduksi ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.4 Kadar Fe dan Ni pada Briket

<b>Massa Campuran Briket</b>	<b>Fe</b>		<b>Ni</b>	
	Massa (gram)	%	Massa (gram)	%
<b>122,89</b>	55,37	45,06	1,25	1,02
<b>207,14</b>	55,37	26,73	1,25	0,6
<b>221,18</b>	55,37	25,03	1,25	0,56
<b>235,26</b>	55,37	23,53	1,25	0,53
<b>249,27</b>	55,37	22,21	1,25	0,5



### 3.6 Rencana Penelitian

**Tabel 3.5 Rancangan Penelitian**

Ore (gram)	Inner Coal (gram)	Outer Coal (gram)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (gram)	Kanji (gram)	Dolomit (gram)	Pengujian
100	0	140,42	17,27	5,62	66,26	
100	84,25	56,17	17,27	5,62	66,26	
100	98,29	42,17	17,27	5,62	66,26	1. XRD
100	112,37	28,08	17,27	5,62	66,26	2. SEM
100	126,38	14,04	17,27	5,62	66,26	3. EDX

### 3.7 Jadwal Rencana Penelitian

Jadwal penelitian ini disusun dengan tujuan agar penelitian dapat dilakukan tepat waktu dan terencana. Selain itu jadwal kegiatan berfungsi agar peneliti dapat melakukan evaluasi mengenai *timeline* penelitian yang dilakukan

**Tabel 3.6 Jadwal Rencana Penelitian**

Kegiatan	September				Oktober				November				Desember	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Preparasi alat dan sample														
Pengujian Bahan														
Pembriketan dan Proses Reduksi														
Pengujian Hasil Reduksi														
Analisa dan Pembahasan														



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Bahan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian karakterisasi terhadap bahan-bahan yang digunakan, yaitu bijih nikel laterit limonitik, batu bara dan dolomit.

#### 4.1.1 Karakterisasi Bijih Nikel Laterit

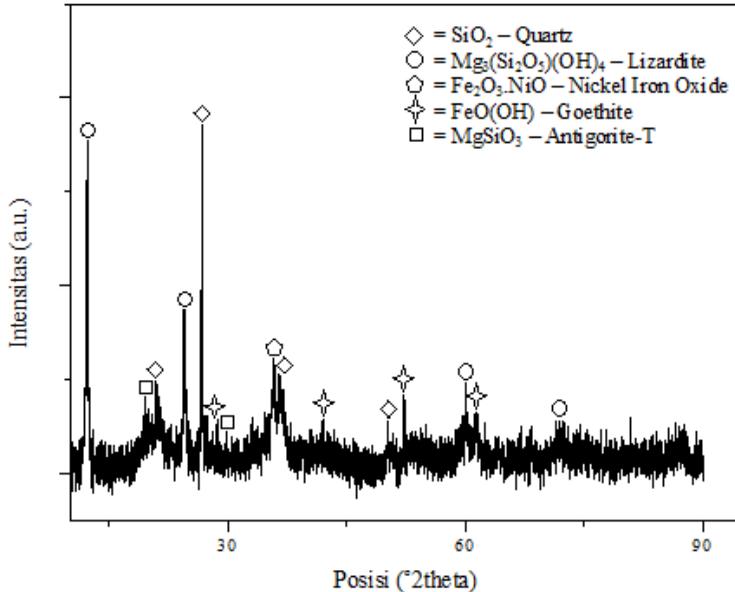
Bijih nikel laterit limonit yang digunakan berupa limonit yang berasal dari Sulawesi Tenggara. Bijih nikel laterit limonit telah diayak dengan ukuran 50 mesh atau 300  $\mu\text{m}$ . Pengujian komposisi / kadar bijih nikel laterit dilakukan terhadap bijih nikel laterit hasil sampling. Pengujian tersebut menggunakan mesin EDX. Didapatkan data komposisi bijih seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Hasil pengujian EDX bijih nikel laterit limonit

Unsur	Ni	Fe	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Co
% wt	1,25	55,37	31,49	0,42	5,04	1,94	0,2	0,67	0,46	1,54	1,62

Dari Tabel 4.1 didapatkan kadar Ni sebesar 1,25% dan Fe sebesar 55,37% yang kemudian dijadikan basis perhitungan neraca massa untuk proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik.

Identifikasi fasa dari bijih nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar 1,54056  $\text{\AA}$ . Hasil pengujian XRD dari bijih nikel limonit laterit dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit  
Limonite

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 limonite. 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* ( $\text{FeOOH}$ ). Selain itu juga terdapat fasa *lizardite* ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) dan *Nickel Iron Oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{NiO}$ ).



#### 4.1.2 Karakteristik Batubara

Batu bara yang digunakan berasal dari Binuang, Kalimantan Selatan. Pada penelitian ini batu bara digunakan sebagai penyedia karbon untuk menghasilkan gas reduksi berupa gas CO. Gas CO yang berasal dari reaksi *boudouard* yang akan mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi Fe dan NiO menjadi Ni.

Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian sangat penting dalam menentukan kadar *moisture*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate* dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil pengujian *proximate analysis* batubara

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

Dari Tabel 4.2 batubara ini memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7204 kal/gr dan kadar karbon 42,35 %. Sehingga dapat dikategorikan sebagai batu bara golongan *sub-bituminus*. Hasil dari analisa proksimat di atas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik.



#### 4.1.3 Karakteristik Dolomit

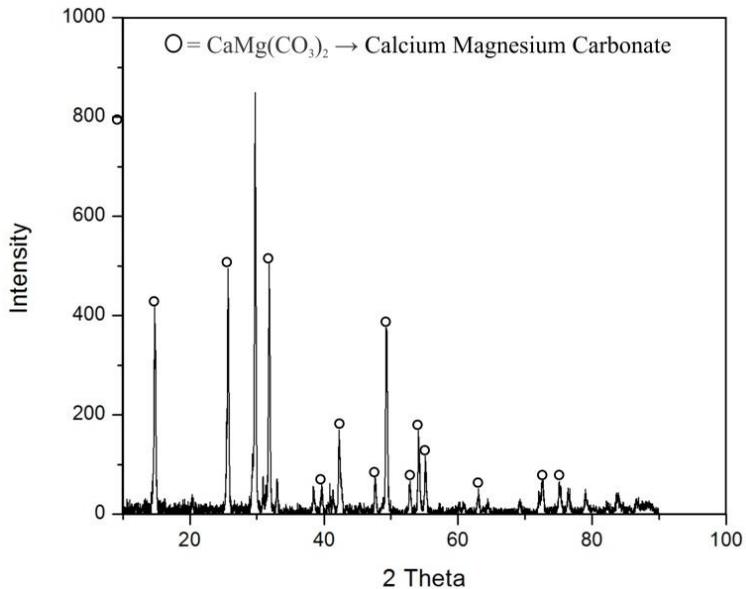
Identifikasi dari dolomit dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat SEM *PAN Analytical* milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil pengujian EDX dari dolomit bisa dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil pengujian EDX dolomit

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium	Ca	18.015
2.	Magnesium	Mg	14.30
3.	Karbon	C	12.6215
4.	Oksigen	O	55.0635

Dari pengujian EDX di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Mg yang cukup tinggi, yaitu 14.30 %. Dari kandungan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *dolostone* atau dolomit bukan *limestone*. Dari segi proses aglomerasi, baik Mg maupun Ca yang membentuk senyawa  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  akan membantu proses dengan cara menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi dan sebagai *flux agent* atau pengikat pengotor seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.7 dan 2.8 (Spencer, 1985).

Setelah itu, dilakukan identifikasi fasa dari batu kapur menggunakan mesin XRD *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Batu kapur yang digunakan berupa dolomit yang berasal dari Gresik. Batu kapur telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau  $300 \mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari dolomit dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Hasil Pengujian XRD Dolomit

Dari Gambar 4.2 di atas tampak bahwa pengujian XRD dolomit memiliki peak tertinggi yaitu *Calcium Magnesium Carbonate* atau  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

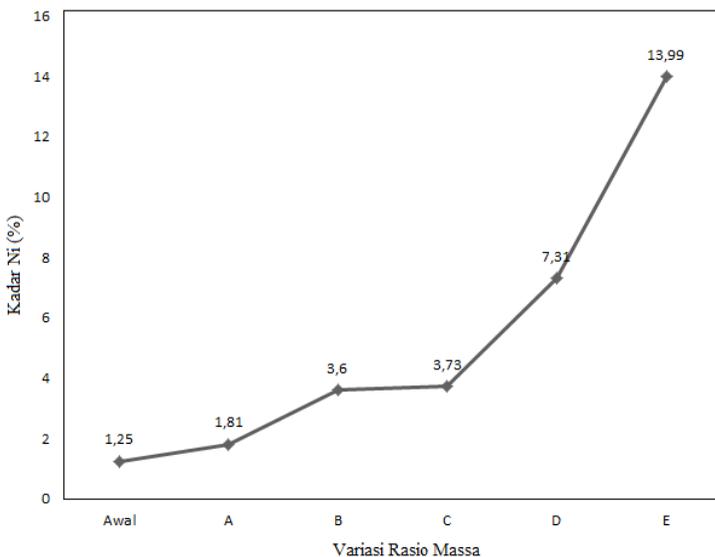
#### **4.2 Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* Terhadap Kadar Fe dan Ni pada Produk Hasil Proses Reduksi**

Variasi massa *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi briket nikel laterit limonit akan mempengaruhi kadar unsur nikel dan besi pada produk hasil proses reduksi. Dimana produk yang dihasilkan berupa logam.



#### 4.2.1 Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* Terhadap Kadar Unsur Ni pada Produk Hasil Proses Reduksi

Variasi massa *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi briket nikel laterit limonit akan mempengaruhi kadar unsur nikel pada produk hasil proses reduksi. Pengaruh variasi massa *inner coal* dan *outer coal* terhadap kadar Ni dapat dilihat pada Gambar 4.3



**Gambar 4.3** Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* terhadap Kadar Ni pada Produk Hasil Reduksi

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa diperoleh kadar Ni bijih nikel laterit limonitik dengan variasi rasio massa A (*inner coal* 0%), setelah proses reduksi pada temperatur 1400°C dan *holding time* selama 6 jam, adalah sebesar 1,81%. Hal ini menunjukkan peningkatan



kadar nikel sebesar 0,56%. Peningkatan ini terjadi karena adanya dehidroksilasi *goethite* ((Fe,Ni)OOH) pada temperatur 200-700°C sehingga senyawa tersebut akan melepas ikatan hidroksidanya (OH). Reaksi ini akan menyebabkan terpisahnya senyawa NiO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari *goethite* seperti yang ditunjukkan pada Pers 2.3 (Crundwell, 2011). Setelah terjadi dehidroksilasi kemudian senyawa NiO tereduksi menjadi Ni oleh gas CO hasil dari reaksi Boudouard (Pers 2.15). Dilihat dari diagram Ellingham, reaksi reduksi tersebut mulai terjadi pada temperatur 400°C.

Pada produk hasil reduksi dengan variasi B (penambahan 20% *inner coal*) didapatkan kadar nikel sebesar 3,6% dan peningkatan sebesar 2,35%. Pada variabel ini ditambahkan 20% batu bara di dalam briket dari total kebutuhan batu bara. Dengan bertambahnya batu bara di dalam briket, maka volume gas CO semakin banyak pada atmosfer reduksi. Semakin banyak volume gas CO yang terbentuk menyebabkan atmosfer reduksi semakin baik dan semakin banyak Nikel oksida yang tereduksi menjadi Nikel sehingga persen Ni akan meningkat (Yopy, 2014)

Pada produk hasil reduksi dengan variasi C (penambahan 40% *inner coal*) didapatkan kadar nikel sebesar 3,73% dan peningkatan sebesar 2,48%. Begitu juga pada variabel ini, ditambahkan 40% batu bara di dalam briket dari total kebutuhan batu bara, sehingga batu bara di dalam briket lebih banyak daripada variabel B dan A. Namun, peningkatan kadar nikel pada variabel ini tidak terlalu signifikan dibanding kadar variabel B, karena Ni yang dihasilkan dari hasil pengujian XRD tidak berbentuk logam melainkan senyawa AlNi dan FeNi.

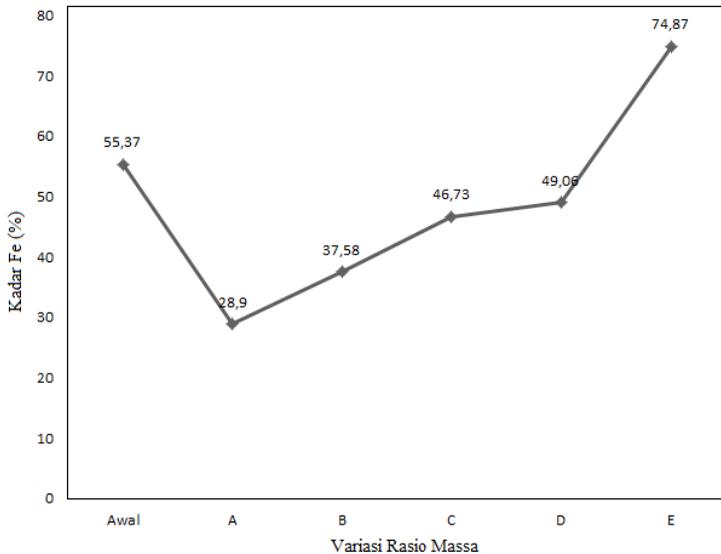


Pada produk hasil reduksi dengan variasi D (penambahan 60% *inner coal*) juga terjadi peningkatan sebesar 6.06% dan didapatkan kadar nikel sebesar 7,31%.

Pada produk hasil reduksi dengan variasi E (penambahan 80% *inner coal*) didapatkan kadar nikel sebesar 13,99%, peningkatannya sebesar 12,74%. Variabel E merupakan variabel dengan kadar dan peningkatan kadar tertinggi. Penambahan karbon dalam briket sebanyak 80% dari kebutuhan total membuat volume gas CO bertambah, atmosfer reduksinya akan sangat kuat pada variabel ini dan proses reduksi NiO dalam furnace tentu akan optimal sehingga terbentuk logam Ni. Penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo, dkk tahun 2014 menunjukkan bahwa semakin besar jumlah reduktor yang digunakan akan semakin tinggi hasil konsentrat yang dihasilkan. Dalam variabel ini pun efek agen selektivitas sangat berpengaruh dilihat dari senyawa FeS yang terbentuk dan kadar Ni yang tinggi. Dari Pers 2.24, FeS bukan merupakan komponen magnetik sehingga tidak akan tertarik magnet dan menjadi pengotor, sehingga menurunkan kadar Fe hasil reduksi (Guang Li, 2012). Dengan penurunan kadar Fe pada massa total briket akan berimbas pada peningkatan kadar Ni hasil reduksi.

#### **4.2.2 Pengaruh Variasi Massa Inner Coal dan Outer Coal Terhadap Kadar Unsur Fe pada Produk Hasil Proses Reduksi**

Variasi massa *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi briket nikel laterit limonit akan mempengaruhi kadar unsur besi pada produk hasil proses reduksi. Pengaruh variasi massa *inner coal* dan *outer coal* terhadap kadar Fe dapat dilihat pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* terhadap Kadar Fe pada Briket Hasil Reduksi

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa diperoleh kadar Fe bijih nikel laterit limonitik dengan variasi rasio massa A (*inner coal* 0%), setelah proses reduksi pada temperatur  $1400^{\circ}\text{C}$  dan *holding time* selama 6 jam, adalah sebesar 28,9%. Hal ini menunjukkan penurunan kadar besi sebesar 26,47%. Penurunan ini terjadi karena faktor selektivitas, dimana peningkatan kadar Ni akan mengakibatkan menurunnya kadar Fe (Pickles, 2014). Pengujian XRD untuk logam variabel A menunjukkan bahwa terdapat senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil reduksi dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Kadar Fe yang rendah ini disebabkan karena hasil dari reaksi dehidrosilasi (Pers 2.2) yang belum tereduksi sempurna menjadi logam Fe.

Pada variasi rasio massa B (penambahan *inner coal* 20%), kadar Fe juga mengalami penurunan sebesar 17,79%.



Hal ini menunjukkan bahwa masih terjadi dekomposisi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebagai agen selektivitas. Namun, kadar pada variasi rasio massa B mengalami peningkatan sebesar 8,68% hal ini dikarenakan penambahan 20% *inner coal* menyebabkan volume gas CO bertambah sehingga atmosfer reduksi nya semakin kuat. Karena hal tersebut,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tereduksi menjadi Fe. Begitu juga untuk variasi rasio massa C dan D. Variasi rasio massa C (penambahan 40% *inner coal*) mengalami penurunan kadar Fe sebesar 8,64% dan variasi rasio massa D (penambahan 60% *inner coal*) mengalami penurunan kadar Fe sebesar 6,31%. Kadar perlahan mengalami peningkatan seiring dengan penambahan *inner coal*.

Pada variasi rasio massa E (penambahan 80% *inner coal*), kadar Fe mengalami peningkatan 19,5%. Pada variabel ini ditambahkan batu bara sebanyak 80% di dalam briket. Besarnya peningkatan kadar unsur Fe tersebut disebabkan oleh banyaknya senyawa besi *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang tereduksi oleh CO membentuk FeO dan Fe metal karena atmosfer reduksi yang kuat.

#### **4.3 Pengaruh Variasi Massa Inner Coal dan Outer Coal Terhadap Recovery dari Fe dan Ni Hasil Proses Reduksi**

Proses Reduksi pada bijih nikel laterit limonit dilakukan untuk memisahkan *ferronickel* dengan unsur atau senyawa pengotor yang tidak diinginkan. Biasanya unsur yang penting dan terkandung dalam bijih nikel limonit adalah besi dan nikel. Suatu proses dikatakan optimal jika suatu proses reduksi mendapatkan perolehan (*recovery*) logam dengan presentase tinggi, presentase perolehan ini dihitung dari massa unsur awal dibanding dengan massa unsur hasil reduksi.



### 4.3.1 Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* Terhadap *Recovery* Nikel Hasil Proses Reduksi

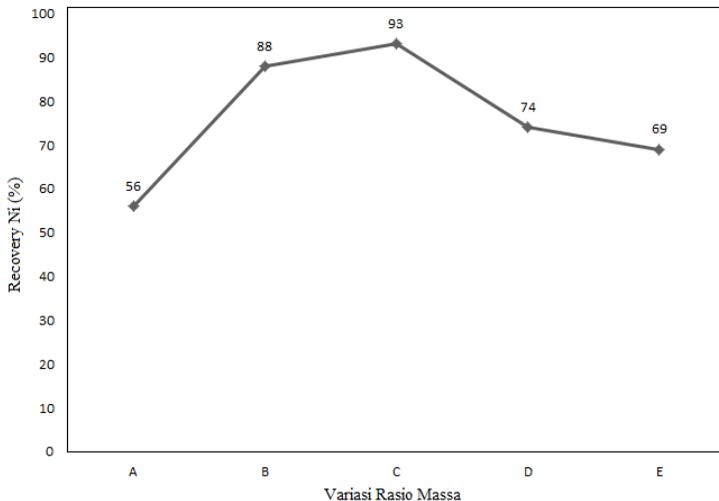
Untuk mengetahui perolehan (*recovery*) nikel dilakukan dengan membandingkan massa nikel hasil proses reduksi dikalikan kadar akhir nikel dengan massa nikel awal dikalikan kadar awal nikel. Massa Ni hasil proses reduksi yang dihitung adalah dari hasil metal dan serbuk, perhitungan massa Ni dilakukan dengan mengalikan kadar Ni (metal dan serbuk) dengan total massa perolehan hasil reduksi (metal dan serbuk). Perhitungan *recovery* Ni ditunjukkan pada persamaan 4.1.

$$Recovery = \frac{(m_{Serbuk\ Ni} \times \% \text{ Serbuk Ni}) + (m_{Metal\ Ni} \times \% \text{ Metal Ni})}{(m_{Ore\ Ni} \times \% \text{ Ore Ni})} \dots\dots\dots (4.1)$$

Untuk mengetahui perhitungan pengaruh variasi rasio massa *inner coal* dan *outer coal* terhadap *recovery* nikel hasil proses reduksi dapat dilihat pada Tabel 4.4

**Tabel 4.4** Perhitungan massa dan *recovery* Ni hasil proses reduksi

Variabel	Wt Ni (gr)	Massa Logam Ni (gr)	Massa Serbuk Ni (gr)	Kadar Logam Ni (%)	Kadar Serbuk Ni (%)	Wo Ni (gr)	<i>Recovery</i> Ni (%)
A	0,75	7	10	1,81	2,96	0,42	56
B	0,75	5	9	3,6	5,34	0,66	88
C	0,75	14	7	3,73	2,55	0,69	93
D	0,75	6	5	7,31	2,37	0,55	74
E	0,75	2	5	13,99	4,78	0,51	69



**Gambar 4.5** Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* terhadap Recovery Ni pada Briket Hasil Reduksi

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa diperoleh *recovery* Ni bijih nikel laterit limonitik dengan variasi rasio massa A (*inner coal* 0%), setelah proses reduksi pada temperatur 1400°C dan *holding time* selama 6 jam, adalah sebesar 56%. Dimana, hasil akhir reduksi langsung mendapatkan massa logam sebesar 7 gram dan massa serbuk sebanyak 10 gram. Kandungan Ni logam sebesar 1,81% dan Ni serbuk 2,96%.

Pada variabel B (penambahan *inner coal* 20%) didapatkan *recovery* sebesar 88%, *recovery* Ni mengalami peningkatan sebesar 32% dari variabel A. Penambahan *inner coal* meningkatkan kandungan Ni logam sebesar 3,6% dan Ni serbuk 5,34% sehingga *recovery* naik

*Recovery* Ni pada variabel C (penambahan *inner coal* 40%) merupakan *recovery* tertinggi yaitu sebesar 93%.



*Recovery* Ni yang tinggi didukung oleh penambahan *inner coal* yang optimal yaitu sebesar 40% (lebih banyak dibanding variabel B) dan homogenisasi sampel sehingga menghasilkan massa dan kadar nikel yang cukup tinggi. Perolehan massa logam hasil proses reduksi sebesar 14 gram dan massa serbuk sebanyak 7 gram. Kandungan Ni logam sebesar 3,73% dan Ni serbuk sebesar 2,55%

Pada variabel D (penambahan *inner coal* 60%) didapatkan *recovery* sebesar 74%, *recovery* Ni mengalami penurunan sebesar 19%. Penambahan *inner coal* 60% menyebabkan penurunan massa logam menjadi 6 gram dan massa serbuk menjadi 5 gram. Sehingga walaupun kadarnya naik, *recovery*nya turun.

Pada variabel E (penambahan *inner coal* 80%) didapatkan *recovery* sebesar 69%. Pada variabel ini ditambahkan batu bara dalam *inner coal* sebanyak 80%. Menurut Zhu D.Q, dkk, (2012) meningkatkan dosis reduktor menyebabkan turunnya *recovery*. Hal ini dapat disebabkan karena dengan meningkatnya kandungan batu bara maka kandungan akan silikat yang berasal dari batu bara dalam hasil reduksi juga meningkat. Peningkatan kadar silikat mendorong terbentuknya fasa  $\text{Na}_3\text{MgAl}(\text{SiO}_4)_2$  *fosterite* dan fasa  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  sebagaimana ditunjukkan pada hasil XRD. Adanya fasa tersebut menyebabkan nikel masuk ke dalam strukturnya sehingga perolehan Ni dalam konsentrat menjadi rendah. (Rudi, 2016). *Recovery* pada variabel ini turun sebesar 5% dari variabel D. Pada variabel E, persen reduksi cenderung meningkat, namun sebaliknya untuk *recovery* pada pemisahan magnetik. Hal tersebut dapat terjadi karena pada hasil reduksi kadar Ni meningkat yaitu 13,99%, sedangkan tidak disertai dengan perolehan massa yang banyak yaitu hanya 2 gram.



Sehingga, meskipun terjadi peningkatan kadar Ni, *recovery* lebih kecil.

### 4.3.2 Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* Terhadap *Recovery* Besi Hasil Proses Reduksi

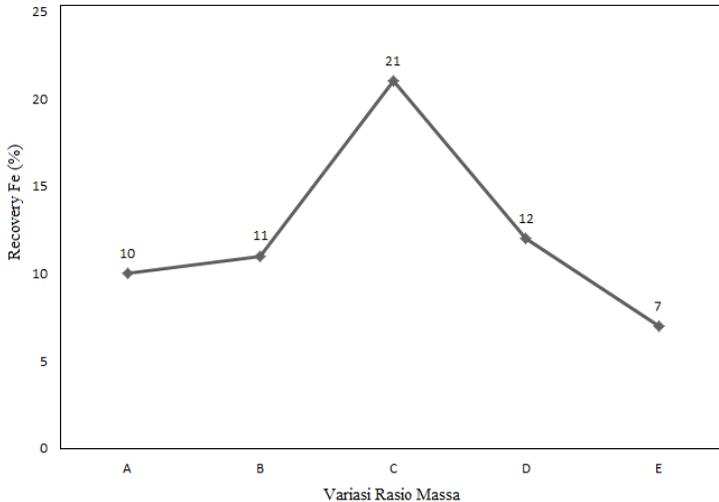
Untuk mengetahui perolehan (*recovery*) besi dilakukan dengan membandingkan massa besi hasil proses reduksi dikalikan kadar akhir besi dengan massa besi awal dikalikan kadar awal besi. Massa Fe hasil proses reduksi yang dihitung adalah dari hasil metal dan serbuk, perhitungan massa Fe dilakukan dengan mengalikan kadar Fe (metal dan serbuk) dengan total massa perolehan hasil reduksi (metal dan serbuk). Perhitungan *recovery Fe* ditunjukkan pada persamaan 4.2.

$$Recovery = \frac{(M \text{ Serbuk} Fe \times \% \text{ Serbuk } Fe) + (M \text{ Metal } Fe \times \% \text{ Metal } Fe)}{(M \text{ Ore } Fe \times \% \text{ Ore } Fe)} \dots\dots\dots (4.2)$$

Untuk mengetahui perhitungan pengaruh variasi rasio massa *inner coal* dan *outer coal* terhadap *recovery* besi hasil proses reduksi dapat dilihat pada Tabel 4.5

**Tabel 4.5** Perhitungan Massa dan *Recovery Fe* Hasil Proses Reduksi

Variabel	Wt Fe (gr)	Massa Logam Fe (gr)	Massa Serbuk Fe (gr)	Kadar Logam Fe (%)	Kadar Serbuk Fe (%)	Wo Fe (gr)	<i>Recovery Fe</i> (%)
A	33,22	7	10	28,9	13,12	3,33	10
B	33,22	5	9	37,58	18,30	3,53	11
C	33,22	14	7	46,73	5,89	6,95	21
D	33,22	6	5	49,06	22,64	4,07	12
E	33,22	2	5	74,87	18,67	2,42	7



**Gambar 4.6** Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* terhadap Recovery Fe pada Briket Hasil Reduksi

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa diperoleh *recovery* Fe bijih nikel laterit limonitik dengan variasi rasio massa A (*inner coal* 0%), setelah proses reduksi pada temperatur 1400°C dan *holding time* selama 6 jam, adalah sebesar 10%. Dimana, hasil akhir reduksi langsung mendapatkan massa logam sebesar 7 gram dan massa serbuk sebanyak 10 gram. Kandungan Fe logam sebesar 28,9% dan Ni serbuk 13,12%. *Recovery* Fe lebih kecil dibanding *recovery* Ni karena faktor selektivitas yang menurunkan kadar Fe. Hal ini membuktikan bahwa terdapat efek dari Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai agen selektivitas nikel. (Man, 2013)

Pada variabel B (penambahan *inner coal* 20%) didapatkan *recovery* sebesar 11%, dengan perolehan massa logam sebesar 5 gram dan massa serbuk sebanyak 9 gram. *Recovery* naik 1% dari variabel A, karena penambahan *inner*



*coal* yang menyebabkan naiknya kadar Fe sebesar 37,58% untuk logam dan serbuk sebesar 18,3%

Pada variabel C (penambahan *inner coal* 40%) didapatkan *recovery* sebesar 21%, dengan perolehan massa logam sebesar 14 gram dan massa serbuk sebanyak 7 gram. Kandungan Fe logam sebesar 46,73% dan Fe serbuk 5,89%. Sama seperti *recovery* nikel, pada variabel C merupakan variabel yang memiliki *recovery* paling tinggi karena penambahan *inner coal* yang optimal.

Pada variabel D (penambahan *inner coal* 60%) didapatkan *recovery* sebesar 12%, yang berarti turun 9% dibanding variabel sebelumnya. Hal ini sebanding pula dengan penurunan massa logam, diperoleh massa dari variabel D sebesar 6 gram untuk logam dan sebanyak 5 gram untuk serbuk.

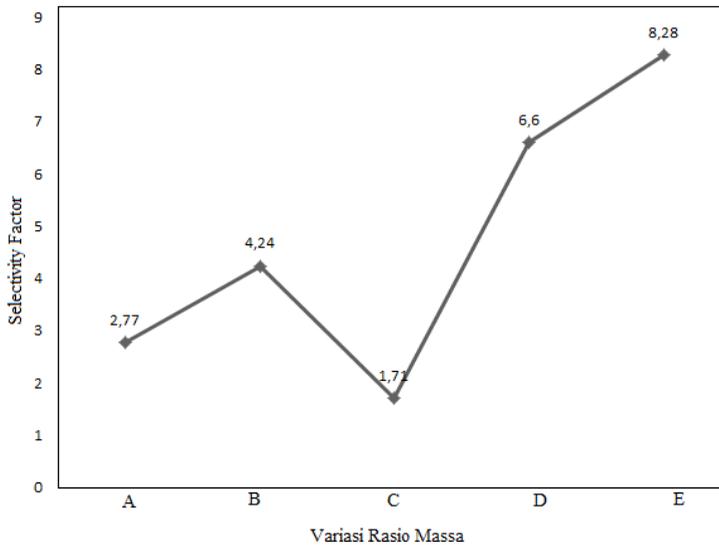
Pada variabel E (penambahan *inner coal* 80%) didapatkan *recovery* sebesar 7%, paling kecil diantara kelima variabel. Pada variabel ini ditambahkan batu bara dalam *inner coal* sebanyak 80%. Sama seperti nikel, pada hasil reduksi kadar Fe meningkat yaitu 74,87%, sedangkan tidak disertai dengan perolehan massa yang sangat sedikit. Sehingga, meskipun terjadi peningkatan kadar Fe, *recovery* menurun. Penurunan jumlah besi dalam konsentrat diduga akibat terbentuknya fasa FeS sebagaimana dapat dilihat pada hasil pengujian XRD hasil proses reduksi. Terbentuknya fasa FeS menyebabkan metalisasi besi berkurang sehingga besi tidak akan masuk ke dalam konsentrat. (Rudi, 2016)



#### 4.4 Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* Terhadap Faktor Selektivitas Hasil Proses Reduksi

Dalam proses reduksi bijih nikel laterit faktor selektivitas ini dipengaruhi oleh atmosfer reduksi dimana semakin rendah atmosfer reduksi akan semakin meningkatkan faktor selektivitas. (Pickles, 2014). Faktor selektivitas pada penelitian menunjukkan kemampuan untuk mereduksi Ni dan Fe, dimana semakin tinggi kemampuan reduksi Ni dan semakin rendah kemampuan reduksi Fe akan meningkatkan nilai faktor selektivitas. Kemampuan reduksi dapat dipresentasikan dengan kadar Ni dan Fe hasil reduksi. Dalam proses reduksi bijih nikel laterit peningkatan kadar Ni dan Fe sangat berpengaruh artinya, dengan meningkatnya kadar Fe akan menurunkan kadar Ni begitu pula sebaliknya, sehingga dalam upaya meningkatkan kadar Ni peningkatan kadar Fe harus dibatasi. Pada proses reduksi selektif, struktur kristal Fe yang merupakan komponen magnetik diubah menjadi komponen non magnetik, juga komponen – komponen magnetik lain yang terkandung pada bijih laterit sehingga selektivitas nikel dapat ditingkatkan (Kim, 2009). Faktor Selektivitas pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4.7.

$$Selectivity = \frac{\% Fe Awal \times \% Ni Akhir}{\% Ni Awal \times \% Fe Akhir} \dots\dots\dots(4.3)$$



**Gambar 4.7** Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* terhadap Selectivity Factor pada Logam Hasil Proses Reduksi

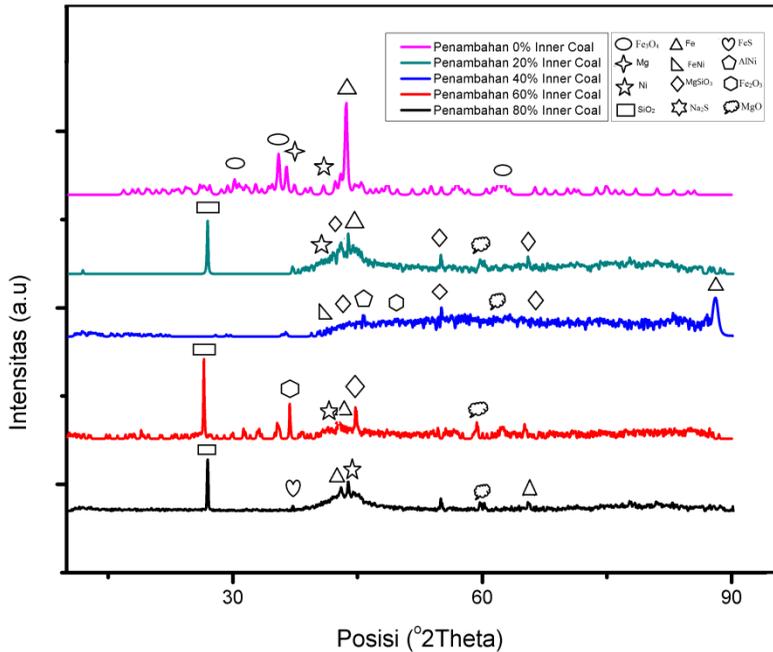
Berdasarkan Gambar 4.7 di atas, dapat diketahui bahwa *selectivity factor* pada logam hasil proses reduksi hampir selalu mengalami tren peningkatan yang positif kecuali pada variabel C (penambahan *inner coal* 40%). Tren yang hampir semuanya mengalami peningkatan tersebut disebabkan oleh kadar Ni yang terus meningkat dan Fe yang menurun. Pada variabel C, faktor selektivitas yang mengalami penurunan disebabkan oleh kadar Ni yang tidak naik secara signifikan sedangkan kadar Fe yang mengalami peningkatan dibandingkan dengan variabel sebelumnya. Faktor selektivitas tidak maksimal karena pada hasil XRD tidak didapatkan unsur Ni murni melainkan senyawa AlNi dan FeNi, Fe tidak bereaksi



membentuk komponen non magnetik sehingga Fe tetap tertarik magnet dan tidak ada pemisahan Fe dan Ni.

#### **4.5 Pengaruh Variasi Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* Terhadap Senyawa Produk**

Identifikasi fasa dari hasil reduksi briket nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Setelah proses reduksi pada briket laterit limonit dengan variasi massa *inner coal* dan *outer coal* didapatkan hasil reduksi yang berupa metal yang kemudian diuji XRD. Selanjutnya pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan PDF-2 Release 2011. Gambar 4.8 merupakan identifikasi dari fasa pada hasil metal yang telah dilakukan proses reduksi dalam *bed* batu bara – dolomit dalam *muffle furnace*.



**Gambar 4.8** Hasil Pengujian XRD pada Metal Hasil Proses Reduksi

Gambar 4.8 merupakan hasil pengujian XRD pada metal hasil proses reduksi, fasa fasa yang teridentifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.6



Tabel 4.6 Identifikasi fasa pada logam hasil proses reduksi

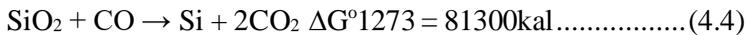
No.	Fasa	Rumus Kimia
1.	<i>Magnetite</i>	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
2.	-	Mg
3.	<i>Nickel</i>	Ni
4.	<i>Quartz</i>	$\text{SiO}_2$
5.	<i>Iron</i>	Fe
6.	<i>Tetrataenite</i>	FeNi
7.	<i>Pyroxene-ideal</i>	$\text{MgSiO}_2$
8.	<i>Disodium sulfide</i>	$\text{Na}_2\text{S}$
9.	<i>Pyrite</i>	FeS
10.	-	AlNi
11.	<i>Hematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
12.	<i>Periclase</i>	MgO

Pada Gambar 4.8 (*inner coal 0%*) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak 20 30,20, 35,50, 62,62 merupakan fasa *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Fasa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) yang terbentuk dikarenakan reduksi dari besi hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) oleh gas CO yang berasal dari reaksi boduard, fasa hematit yang terbentuk tidak dominan dikarenakan gas reduktor yang digunakan untuk mereduksi senyawa hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) berkurang dikarenakan telah digunakan untuk mereduksi hematit dan nikel oksida sehingga menjadi besi nikel metalik. Selain itu pada puncak 20 36,45 merupakan fasa *Magnesium* (Mg), fasa ini merupakan pengotor hasil dekomposisi dolomit pada temperatur di atas  $750^\circ\text{C}$  seperti yang ditunjukkan pada Pers 2.8. Pada puncak 20 43,63 terdapat fasa *nickel* yang sudah tereduksi sempurna oleh gas CO dari fasa *Nickel oxide*. Pada variasi *inner coal 0%*, puncak tertinggi adalah fasa *Iron* (Fe). Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi reduksi dengan adanya penyedia  $\text{CO}_2$  dari dolomit dan karbon dari batubara yang berperan dalam pembentukan gas CO reaksi boduard (2.18) sebagai gas reduktor yang akan mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan mejadi Fe. Fe yang



telah tereduksi kemudian akan bermigrasi dan berkumpul dengan Fe metalik lain yang telah terbentuk sehingga akan terbentuk metal yang lebih besar.

Pada Gambar 4.8 (penambahan *inner coal* 20%) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak  $\theta$  26,96, merupakan fasa *Quartz* ( $\text{SiO}_2$ ). Fasa ini merupakan fasa yang memang ada di dalam bijih nikel laterit limonitik yang digunakan. Reaksi reduksi  $\text{SiO}_2$  memiliki nilai energi bebas positif seperti yang ditunjukkan pada Pers 4.4, sehingga secara termodinamika  $\text{SiO}_2$  sulit di reduksi oleh gas CO (Yopy, 2014)



Selain itu pada puncak  $\theta$  43,63 merupakan fasa *Nickel* yang sudah tereduksi oleh gas CO dari fasa *Nickel oxide* seperti pada variabel *inner coal* 0%. Selain itu pada puncak  $\theta$  44,38, 58,26, 63,00 merupakan fasa *Pyroxene Ideal* ( $\text{MgSiO}_3$ ) yang merupakan pengotor. Fasa tertinggi masih sama seperti variabel *inner coal* 0% yaitu *Iron (Fe)* pada puncak  $\theta$  45,42. Fe yang terbentuk adalah Fe yang telah mengalami reaksi reduksi oleh gas CO. Terdapat pula fasa *Periclase* ( $\text{MgO}$ ) pada puncak  $\theta$  61,12 yang merupakan hasil dekomposisi termal dolomit (Pers 2.7) pada temperatur 700-750°C.

Pada Gambar 4.8 (penambahan *inner coal* 40%) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak  $\theta$  43,72 merupakan fasa *Tetrataenite* ( $\text{FeNi}$ ). Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi reduksi dengan adanya penyedia  $\text{CO}_2$  dari dolomit dan karbon dari batubara yang berperan dalam pembentukan gas CO reaksi Boudouard (Pers 2.15) sebagai gas reduktor yang akan mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$  menjadi Fe dan Ni. Kemudian Fe dan Ni yang telah tereduksi akan bergabung membentuk *solid solution* besi nikel metalik seperti pada Pers 2.32 dan 2.33 (Olli, 1995). Selain itu pada puncak  $\theta$  44,18, 56,29 dan 63,10 terbentuk fasa *Pyroxene Ideal* ( $\text{MgSiO}_3$ ) yang



merupakan pengotor sama seperti variabel penambahan *inner coal* 20%. Selain itu pada puncak 2θ 44,64 terbentuk fasa AlNi. Terdapat pula fasa *Periclase* (MgO) pada puncak 2θ 62,37 yang merupakan hasil dekomposisi termal dolomit (Pers 2.7) pada temperatur 700-750°C. Fasa tertinggi variabel penambahan *inner coal* 40% adalah *Iron* (Fe) pada puncak 2θ 89,13. Hal ini menandakan fasa *hematite* telah tereduksi oleh gas CO menjadi *magnetite* dan kemudian tereduksi lagi menjadi *Iron* (Fe).

Pada Gambar 4.8 (penambahan *inner coal* 60%) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak 2θ 26,6 adalah merupakan fasa *Quartz* (SiO<sub>2</sub>). Fasa ini sudah terkandung pada bijih nikel laterit limonitik yang digunakan dan sulit direduksi oleh gas CO karena memiliki nilai energi bebas positif (Pers 4.4). Pada variabel penambahan *inner coal* 60% terdapat peningkatan intensitas fasa SiO<sub>2</sub> yang menunjukkan bahwa jumlah SiO<sub>2</sub> yang terbentuk pada penambahan 60% *inner coal* lebih banyak dibanding penambahan 20% *inner coal*, kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya kandungan silikat dari batu bara (Rudi, 2016). Selain itu pada puncak 2θ 33,17 terbentuk fasa *Hematit* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Selain itu pada puncak 2θ 43,44 merupakan fasa *Nickel* yang sudah tereduksi oleh gas CO dari fasa *Nickel oxide* seperti pada variabel *inner coal* 0% dan penambahan *inner coal* 20%. Selain itu pada puncak 2θ 44,73 terdapat fasa *Iron* (Fe) yang sudah tereduksi sempurna oleh gas CO. Pada puncak 2θ 61,89 terbentuk fasa *Pyroxene Ideal* (MgSiO<sub>3</sub>) yang merupakan pengotor sama seperti variabel penambahan *inner coal* 20% dan penambahan *inner coal* 40%.

Pada Gambar 4.8 (penambahan *inner coal* 60%) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak 2θ 27,1 adalah merupakan fasa *Quartz* (SiO<sub>2</sub>). Fasa ini sudah terkandung pada bijih nikel laterit limonitik yang digunakan dan sulit direduksi oleh gas CO karena memiliki nilai energi bebas positif (Pers 4.4).



Selain itu pada puncak 20 32,98 terbentuk fasa *Pyrite* (FeS), fasa ini didapat karena Fe berikatan dengan S (Pers 2.26) akibat dari reaksi *selective agent*. Selain itu pada puncak 20 43,04 dan 63,04 terdapat fasa *Iron* (Fe) yang sudah tereduksi sempurna oleh gas CO. Puncak tertinggi yaitu pada puncak 20 44,44 yang terbentuk fasa *Nickel* (Ni) hasil reduksi NiO oleh gas CO. Terdapat pula fasa *Periclase* (MgO) pada puncak 20 60,98 yang merupakan hasil dekomposisi termal dolomit (Pers 2.7) pada temperatur 700-750°C.

#### **4.6 Pengaruh Variasi Massa Inner Coal dan Outer Coal Terhadap Kadar Fe, Ni dan Senyawa pada Slag Hasil Proses Reduksi**

Proses Reduksi pada bijih nikel laterit limonit dilakukan untuk memisahkan *ferronickel* dengan unsur atau senyawa pengotor yang tidak diinginkan. Biasanya unsur yang penting dan terkandung dalam bijih nikel limonit adalah besi dan nikel. Suatu proses dikatakan optimal jika suatu proses reduksi mendapatkan kadar logam dengan presentase tinggi dan kadar slag dengan presentase rendah.

Variasi massa *inner coal* dan *outer coal* pada proses reduksi briket nikel laterit limonit akan mempengaruhi kadar unsur besi dan nikel pada slag hasil proses reduksi. Perbandingan variasi massa *inner coal* dan *outer coal* terhadap kadar Fe dan Ni dapat dilihat pada Tabel 4.7



Tabel 4.7 Perbandingan kadar Fe dan Ni dalam logam dan slag

Variabel	Kadar dalam Logam (%)		Kadar dalam Slag (%)	
	Fe	Ni	Fe	Ni
A	28,9	1,81	2,22	1,50
B	37,58	3,6	3,28	1,61
C	46,73	3,73	2,98	1,53
D	49,08	7,31	1,96	00,94
E	74,87	13,99	1,83	00,89

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat perbandingan kadar Fe dan Ni dalam logam dan slag. Kadar nikel dan besi pada slag hasil proses reduksi bijih nikel laterit limonitik pada temperatur 1400°C dan *holding time* selama 6 jam, di semua variabel mengalami penurunan. Penurunan kadar nikel dan besi pada slag tertinggi adalah variabel E (penambahan 80% *inner coal*), dimana kadar nikel pada logam yang dihasilkan sebesar 13,99% dan pada slag hanya terdapat 00,89% Ni. Kadar besi pada logam pada variabel E sebesar 74,87 dan pada slag hanya terdapat 1,83%. Reduksi dikatakan sudah sempurna karena kadar yang terdapat didalam slag rendah.

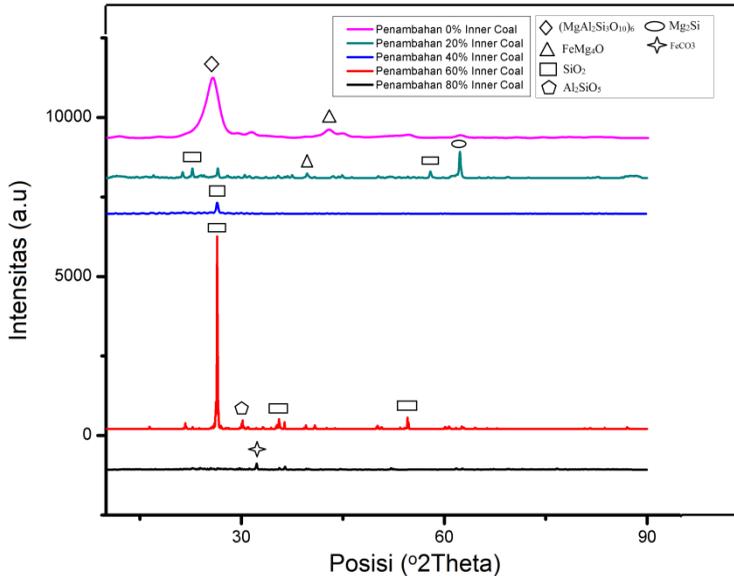
**Tabel 4.8** Komposisi Unsur Slag Hasil Proses Reduksi

Variabel	Ni	Fe	O	Mg	Al	Si	S	Ca
A	1,50	2,22	33,18	11,28	9,19	24,06	00,96	17,13
B	1,61	3,28	32,58	10,05	8,56	31,95	00,31	8,13
C	1,53	2,98	40,17	06,16	9,43	30,13	00,20	22,59
D	00,94	1,96	34,94	8,30	8,14	20,10	00,00	23,13
E	00,89	1,83	45,16	5,37	2,75	7,42	10,50	25,34



Tabel 4.8 menunjukkan unsur-unsur yang terdapat di dalam slag. O dan Si menjadi unsur-unsur dominan dalam slag. Unsur O menjadi unsur dominan dibuktikan dari hasil XRD Slag dimana semua senyawa nya merupakan senyawa oksida. Hasil XRD pun menunjukkan rata-rata senyawa berbasis silika, hal ini diduga karena penambahan batu bara yang dilakukan untuk variabel B, C, D dan E.

Identifikasi fasa dari hasil reduksi briket nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Setelah proses reduksi pada briket laterit limonit dengan variasi massa *inner coal* dan *outer coal* didapatkan juga hasil reduksi yang berupa slag yang kemudian diuji XRD. Gambar 4.9 merupakan identifikasi dari fasa pada hasil slag yang telah dilakukan proses reduksi dalam *bed* batu bara – dolomit dalam *muffle furnace*.



**Gambar 4.9** Hasil Pengujian XRD pada Slag Hasil Proses Reduksi

Gambar 4.9 merupakan hasil pengujian XRD pada slag hasil proses reduksi, fasa fasa yang teridentifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.8

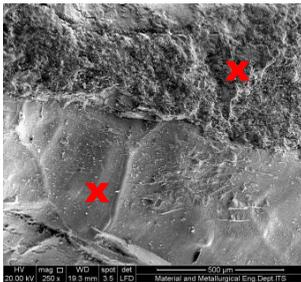
**Tabel 4.8** Identifikasi fasa pada slag hasil proses reduksi

No.	Fasa	Rumus Kimia
1.	-	$(\text{MgAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})_6$
2.	-	$\text{FeMg}_4\text{O}$
3.	<i>Quartz</i>	$\text{SiO}_2$
4.	-	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$
5.	<i>Forsterite</i>	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$
6.	<i>Siderite</i>	$\text{FeCO}_3$

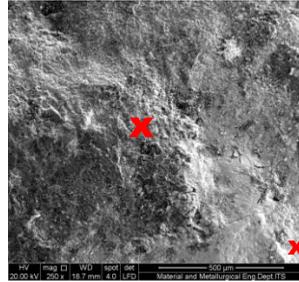


Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.6 diatas, terdapat senyawa-senyawa berbasis silika yang menjadi fasa dominan dalam slag. Terutama pada variabel B, C dan D karena pada variabel tersebut ditambahkan penambahan *inner coal* sebanyak 20%, 40% dan 60%. Fasa *forsterite* dan *quartz*, seperti yang ditunjukkan pada hasil XRD disebabkan oleh dehidroksilasi lizardite [(Mg, Fe)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>] dan rekristalisasi mineral silikat (Li, 2011).

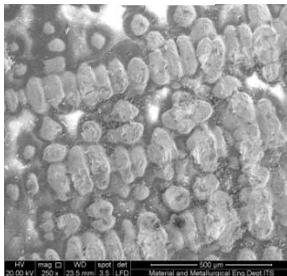
#### 4.7 Pengaruh Variasi Rasio Massa *Inner Coal* dan *Outer Coal* Terhadap Morfologi Hasil Proses Reduksi



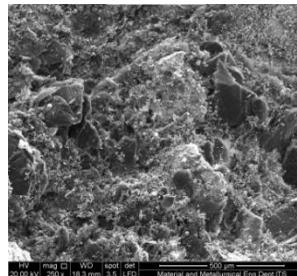
(a)



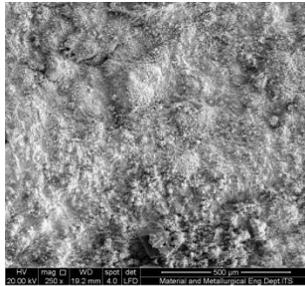
(b)



(c)



(d)



(e)  
**Gambar 4.12** Morfologi Perbesaran 250x Hasil Reduksi dengan : (a) 0% Inner Coal, (b) Penambahan 20% Inner Coal, (c) Penambahan 40% Inner Coal, (d) Penambahan 60% Inner Coal dan (e) Penambahan 80% Inner Coal.

Dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui morfologi dan perilaku pembentukan logam hasil proses reduksi dengan variasi rasio massa *inner coal* dan *outer coal*. Pengujian SEM dilakukan dengan perbesaran 250x untuk mengetahui apakah hasil reduksi benar benar telah membentuk metal juga dilakukan penembakan pada spot tertentu dengan EDX. Terlihat beberapa perbedaan pada hasil reduksi dengan variasi rasio massa *inner coal* dan *outer coal*. Meskipun telah dilakukan beberapa studi tentang pembentukan FeNi hasil reduksi langsung, tetapi belum ada bukti jelas yang menunjukkan morfologi dan ukuran bentuk logam FeNi. (J. Chen, 2013) Gambar 4.12 (a) menunjukkan hasil reduksi dengan *inner coal* sebanyak 0%. Terdapat 2 daerah yang terlihat jelas (ditandai dengan huruf x), dimana daerah pertama merupakan spot kumpulan aglomerat yang mulai berkumpul dan daerah kedua merupakan spot aglomerat yang belum berkumpul. Penambahan 0% *inner coal* ini pada uji EDX menghasilkan kadar Fe dan Ni yang paling rendah, sehingga bisa diasumsikan sementara bahwa penambahan 0%



*inner coal* bukan merupakan rasio massa yang optimum untuk pembentukan logam reduksi langsung nikel laterit limonit.

Pada gambar 4.12 (b) merupakan gambar hasil reduksi dengan penambahan 20% *inner coal*. Terlihat juga 2 daerah yang berbeda, namun untuk spot aglomerat yang masih belum berkumpul terlihat lebih sedikit dibanding dengan variabel a. Permukaan aglomerat terlihat lebih rata, menunjukkan perilaku pembentukan logam yang jelas. Dari uji EDX di beberapa titik terlihat meningkatnya kadar Ni dan Fe. Perilaku yang sama jugaditunjukkan oleh penambahan 60% *inner coal* dan penambahan 80% *inner coal*. Gambar 4.12 (d) merupakan gambar hasuk reduksi dengan penambahan 60% *inner coal*. Gambar 4.12 (e) merupakan gambar hasil reduksi dengan penambahan 80% *inner coal*. Penambahan *inner coal* paling banyak permukaan aglomeratnya paling rata dibandingkan rasio massa yang lain. Dan setelah dilakukan uji EDX pun kadar yang dihasilkan baik Fe maupun Ni merupakan kadar paling tinggi diantara rasio massa yang lain. Dengan penambahan *inner coal*, aglomerat yang belum menyatu mulai bermigrasi dan membentuk suatu aglomerat yang lebih merata. Tren berbeda terlihat pada gambar 4.12 (C) yaitu penambahan 60% *inner coal*. Terdapat perbedaan warna hasil pengujian SEM. Dimana menurut Yan Jun Li (2013), warna silver keabuan merupakan warna senyawa FeNi dan warna terang merupakan silika. Seperti yang sudah dijelaskan diawal memang belum ada ukuran dan bentuk morfologi yang pasti untuk pembentukan FeNi. Efek perbedaan rasio massa dari pelet terhadap perubahan struktur mikro pada bijih juga tidak dapat dijelaskan secara spesifik berdasarkan komposisi, namun akan lebih terlihat pembentukan aglomerat pada saat setelah pemanasan pada tiap tiap sampel rasio massa. (Romeyndo, 2013)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan variasi rasio massa *inner coal* dan *outer coal* mempengaruhi kadar Ni dan Fe pada hasil proses reduksi. Peningkatan kadar Ni dan Fe tertinggi didapatkan saat briket direduksi dengan penambahan 80% *inner coal*, kadar Ni akhir yang didapatkan adalah sebesar 13,99 dengan peningkatan kadar Ni sebesar 12,74 %. Kadar akhir Fe yang didapatkan adalah sebesar 74,87% dengan peningkatan kadar Fe sebesar 19,5%.
2. Penggunaan variasi rasio massa *inner coal* dan *outer coal* mempengaruhi *recovery* Ni dan Fe pada hasil proses reduksi. *Recovery* Ni dan Fe paling tinggi didapat dengan penambahan 40% *inner coal* yaitu sebesar 93% dan 21%
3. Dilihat dari morfologi hasil reduksi dengan variasi penambahan 80% *inner coal* mempunyai bentuk morfologi paling baik dengan terbentuknya aglomerat metal yang *solid* dan lebih merata

#### **5.2 Saran**

1. Melakukan penelitian reduksi bijih nikel limonit dengan mempertimbangkan perbandingan gas CO/CO<sub>2</sub> dalam atmosfer reduksi.
2. Melakukan penelitian tentang mekanisme pembentukan partikel logam selama proses reduksi
3. Melakukan penelitian reduksi bijih nikel limonit dengan lebih dari 80% *inner coal*.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Widi, Zulfiadi Zulhan, Achmad Shofi, Kusno Isnugroho, Fajar Nurjaman, and Erik Prasetyo. 2012. "Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace." **Prosiding InSINas**. 70.
- Bogdandy, L Von, and H.J Engell. 1971. "*The Reduction of Iron Ore*". **Springer-Verlag**
- Bowen B, H, and Marty W. Irwin, 2008. "Coal Characteristic", **The Energy Center at Discovery Park Purdue University**.
- Chang, Y.F., Zhai, X.j., Fu, Y., Ma, L.Z., Li, B.C., and Zhang, T.A., 2008. "**Phase transformation in reductive roasting of laterite ore with microwave heating. Transactions of the Nonferrous Metals Society of China**" 18: 969–973
- C. M. Diaz, C. A. Landolt, A. Vahed, A.E.M. Warner and J. C. Taylor, 1988. "Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt". **Proceedings of a Symposium**.
- C.P. Tyroler and C. A. Landolt Ed., 1988. "The Metallurgical Society". **117th TMS Annual Meeting**, Phoenix, Arizona, TMS
- Chen. J, Jak. E, Hayes. P. C, 2014. "**The Recovery Of Ferro-Nickel From Saprolite Ores Using Reduction Roasting. PYROSEARCH**", School of Chemical Engineering, The University of Queensland, Brisbane, QLD 4072, Australia
- Crundwell, Frank K. 2011. "*Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals.*" Amsterdam: Elsevier Ltd,
- Dalvi, Ashok D, W Gordon Bacon, and Robert C Osborne. 2004. "The Past and The Future of Nickel Laterites." **International Convention**. 1-7.
- D.Q. Zhu , Y. Cui dkk. 2012. Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by Magnetic Separation. **International Journal of Mineral Processing**, 106–109.
- Elliot, A., Fletcher, H., Li, J., Watling, H. and Robinson, D. J., 2009, "Heap leaching of nickel laterites-A challenge and an

- opportunity”, *Hydrometallurgy of Nickel and Cobalt 2009, Proceeding of the 39th Annual Hydrometallurgy Meeting held in the conjunction with the 48th Annual Conference of Metallurgists of CIM*, 537-549.
- G.M. Mudd. 2009. “Nickel Sulfide Versus Laterite : The Hard Sustainability Challenge Remains”, *Proceeding of 48th Conference of Metallurgists and Nickel & Cobalt 2009*, Canadian Metallurgical Society, Sudbury, Canada, 10p.
- Guo, X.Y., Li, D., Kyung, H.P., Tian, Q.H., Wu, Z., 2009. **Leaching behavior of metals from a limonitic nickel laterite using a sulfation–roasting–leaching process.** *Hydrometallurgy* 99, 144–150
- J. Forster, C.A. Pickles , R. Elliott,. 2016. Microwave carbothermic reduction roasting of a low grade nickeliferous silicate laterite ore, **Minerals Engineering**. Vol. 88, pp. 18–27
- Jiang, M., Sun, T., Liu , Z., Kou, J., Liu, N., & Zhang, S. 2013. “Mechanism of Sodium Sulfate in Promoting Selective Reduction of Nickel Laterite Ore during Reduction Roasting Process.” *International Journal of Mineral Processing*. 32-33.
- Jie Lu, Shoujun Liu , Ju Shangguan , Wenguang Du, Feng Pan, Song Yang . 2013. The effect of sodium sulphate on the hydrogen reduction process of nickel laterite ore. **Minerals Engineering**, Vol. 49, pp. 154-164.
- 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, Guang H., Shi T.M., Rao M.J., Kiang T., Zhang Y.B,. 2012. Beneficiation of nickeliferous laterite by reduction roasting in the presence of sodium sulfate. **Mineral Engineering**, Vol. 32, pp.19–26,.
- Li, Shoubao. 1999. **"Study of Nickeliferous Laterite Reduction."**: 1-8
- LI, Yan-jun, SUN, Yong-sheng, HAN, Yue-xin, GAO, Peng. 2013 “Coal-based reduction mechanism of low-grade laterite

- ore". 2013. College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China
- Michishita, Haruyasu., Tanaka, Hidetoshi. 2010. **"Prospects for Coal-based Direct Reduction Process"**: 1-2.
- M. Kumar, S. Jena, dan S. K. Patel. 2008. Characterization of properties and reduction behavior of iron ores for application in sponge ironmaking. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, vol. 29, no. 2, pp.118–129
- Noviyanti, Jasruddin, and Eko Hadi Sujiono. 2015. "Karakterisasi Kalsium Karbonat dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa." *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*: 169-172.
- Rhamdhani, M.A., Chen J., Hidayat T., Jak E., Hayes P. 2009. Advances in research on nickel production through the caron process. **Proceeding European Metall Conference**, hal. 899–913.
- Rodrigues, Filipe Manuel. 2013 **"Investigation Into The Thermal Upgrading of Nickeliferous Laterite Ore."** *Material Science*, 1-10.
- Rudi Subagja, Agus Budi. P., Wahyu MS. 2016. **Peningkatan Kadar Nikel Dalam Laterit Jenis Limonit Dengan Cara Peletasi, Pemanggangan Reduksi dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih Batu Bara dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**. Metalurgi, 103-115.
- Wilman, RG and Soedarsono, JW. 2013. **"Studi Pengaruh Rasio Massa Pelet Komposit Bijih Besi/Batubara Terhadap Hasil Reduksi Langsung Pelet Komposit Bijih Besi/Batubara dengan Menggunakan Single Conveyor Hearth Furnace"**. Depok: Universitas Indonesia. 1-16.
- Supriadi. 2007. "Sistem Informasi Geografis." **USU Press**. Medan.
- USGS, 2012 **"Minerals Yearbook"**, United States Geological Survey, USA, Years 2007 to (URL:<http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/myb.html>).
- Tyroler, G.P, and C.A Landolt. 1998.*Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt*. New York: The Metallurgical Society,

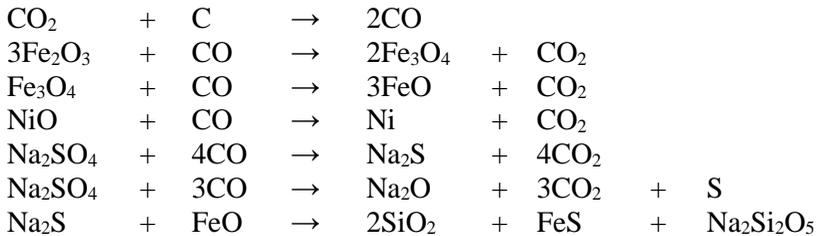
- Yildirim, Halil, Hakan Morcali, Ahmet Turan, and Onuralp Yucel.. "**Nickel Pig Iron Production from Lateritic Nickel Ores .**" *Ferronickel Production and Operation*: 237
- Henpristian, Yopy. Dwi Antoro, Iwan. Oediyani, Soesaptri. 2014. "**Pengaruh Waktu Reduksi dan Komposisi Pelet Terhadap Persen Fe Metal dan Persen Ni FeNi Spons dari Bijih Limonit Menggunakan Simulator Rotary Kiln.**" Teknik Metalurgi FT. Untirta, Cilegon
- 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.



## LAMPIRAN

### Perhitungan Stoikiometri

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses reduksi laterit terdapat beberapa reaksi kimia yang terlibat, seperti reduksi, dekomposisi, reaksi Boudouard. Persamaan reaksi yang terjadi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material

#### 1. Bijih Nikel Laterit

Dari data pengujian EDX, diperoleh presentase berat elemen-elemen yang terkandung didalam bijih nikel laterit.

Hasil EDX Nikel Laterit								
Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Mn	Cr
% Wt	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	0.886	1.54

Dari data pengujian XRD, mineral-mineral kompleks yang terkandung dalam laterit diolah menjadi senyawa oksida, antara lain :

- Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- Nikel oksida (NiO)



## 2. Batu bara

Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi 42,35%.

Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO diketahui dengan cara sebagai berikut :

- Berat  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam laterit

$$\begin{aligned}\% \text{Wt } \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3}{2 \text{ Ar Fe}} \times \% \text{Wt Fe} \\ &= \frac{159,69}{2 \times 55,847} \times 55,37\% = 79,153 \%\end{aligned}$$

- Berat NiO dalam laterit

$$\begin{aligned}\% \text{Wt NiO} &= \frac{\text{Mr NiO}}{\text{Ar Ni}} \times \% \text{Wt Ni} \\ &= \frac{74,7094}{58,71} \times 1,25 \%\end{aligned}$$
$$= 1,59 \%$$

Dari perhitungan diperoleh presentase  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 100 gram ore maka terdapat:

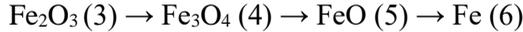
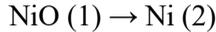
$$\begin{aligned}\text{Fe}_2\text{O}_3 &= 79,1530 \text{ gram} \\ \text{NiO} &= 1,5906 \text{ gram}\end{aligned}$$

Dari massa kedua senyawa maka diperoleh jumlah mol yang terkandung dalam laterit :

$$\begin{aligned}\text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa } \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{79,1539}{159,69} \\ &= 0,495 \text{ mol} \\ \text{NiO} &= \frac{\text{massa NiO}}{\text{Mr NiO}} \\ &= \frac{1,5906}{74,7094} \\ &= 0,02129 \text{ mol}\end{aligned}$$



Dalam penelitian ini reduksi nikel oksida dan besi oksida pada laterit bertahap seperti berikut:

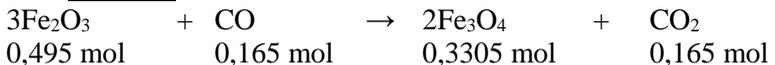


Dengan target	reduksi $\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\rightarrow$	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	$=$	100 %
	reduksi $\text{Fe}_3\text{O}_4$	$\rightarrow$	$\text{FeO}$	$=$	100 %
	reduksi $\text{FeO}$	$\rightarrow$	$\text{Fe}$	$=$	100%
	reduksi $\text{NiO}$	$\rightarrow$	$\text{Ni}$	$=$	100 %

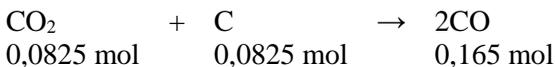
Natrium sulfat ditambahkan sebesar 10% dari massa total briket untuk meningkatkan agregasi dari Fe-Ni.

Dari skema reaksi di atas dapat diketahui berapa mol gas CO yang dibutuhkan untuk reaksi dan berapa mol C untuk membentuk bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  membentuk gas CO yang harus bereaksi dengan C batu bara.

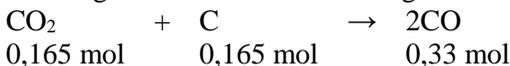
**a. Reaksi 1**



Reaksi Boduard:



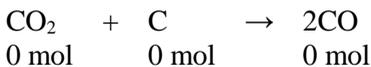
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara:



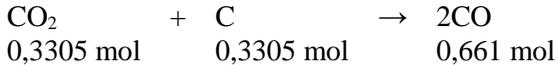
**b. Reaksi 2**



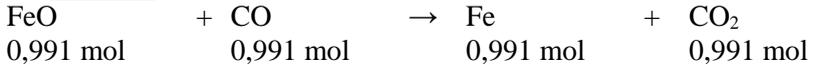
Reaksi Boduard:



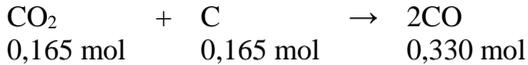
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 2 dengan C batu bara:



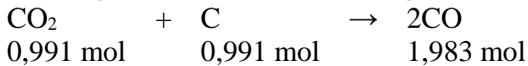
**c. Reaksi 3**



Reaksi Boduard



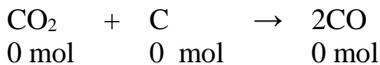
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 3 dengan C batu bara



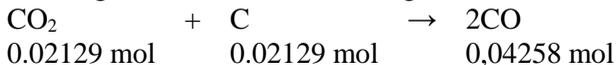
**d. Reaksi 4**



Reaksi Boduard



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 4 dengan C batu bara



**Perhitungan Kebutuhan Batubara (tanpa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0,0825 + 0,165 + 0 + 0,3305 + 0,165 + \\ &0,991 + 0 + 0,02129 \\ &= 1,756 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 1,756 \text{ mol} \times \\ &12,01115 = 21,099 \\ &\text{gram} \end{aligned}$$

$$\text{Massa batu bara yang dibutuhkan} = \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C}$$



$$= \frac{100}{42,35\%} \times 21,099$$

$$= 49,821 \text{ gram}$$

### Perhitungan Fluks Dolomit (tanpa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Dari data pengujian XRF, diperoleh presentase berat elemen – elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur

Tabel 1. Hasil EDX Batu Kapur

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium Oksida	CaO	25.21
2.	Magnesium Oksida	MgO	24.23

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah dolomite (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)

Mempertimbangkan kebutuhan gas CO<sub>2</sub> untuk reaksi *Bouduard*. Batu Kapur berperan sebagai penyedia gas CO<sub>2</sub> untuk reaksi *bouduard* yang akan menghasilkan gas reduktor CO.

$$\text{Total mol CO}_2 = 0,0825 + 0 + 0,0165 + 0 = 0,2475$$

Reaksi Dekomposisi termal yang terjadi pada dolomit yaitu :



$$\begin{aligned} \text{Massa Dolomit} &= \text{Mol} \times \text{Mr CaMg(CO}_3)_2 \\ &= 0,12375 \times 184,3482 \\ &= 22,813 \text{ gram} \end{aligned}$$



**Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat**

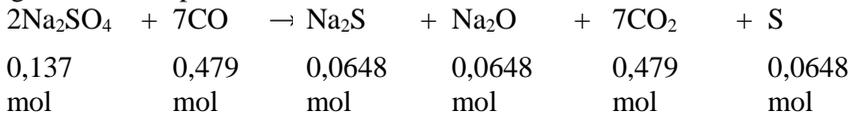
Natrium sulfat yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total.

$$\begin{aligned} \text{Massa total tanpa Na}_2\text{SO}_4 &= \text{massa ore} + \text{massa batu bara} + \\ &\quad \text{massa dolomit} \\ &= 100 \text{ gram} + 49,821 \text{ gram} + \\ &\quad 22,813 \\ &= 172,670 \text{ gram} \end{aligned}$$

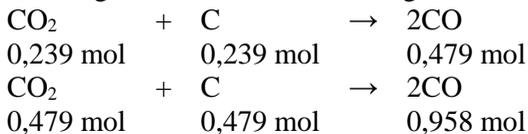
Maka, massa natrium sulfat yang ditambahkan sebesar 17,26 gram

**e. Reaksi 5**

Semisal diketahui kebutuhan Natrium sulfat sebesar 17,26 gram, maka diperoleh sebesar 0,137 mol.



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 4 dengan C batubara



**Perhitungan Kebutuhan total Batubara**

$$\text{Total mol C} = 2,4754 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 2,4754 \text{ mol} \times \\ &\quad 12,01115 = 29,73 \\ &\quad \text{gram} \end{aligned}$$

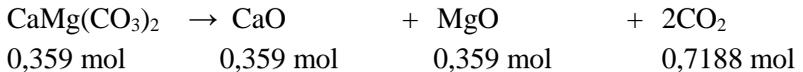
$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 29,73 \\ &= 70,21 \text{ gram} \end{aligned}$$



### **Perhitungan Fluks Dolomit Total**

$$\text{Total mol CO}_2 = 0,2475 + 0,239 + 0,479 = 0,7188$$

Reaksi Dekomposisi termal yang terjadi pada dolomit yaitu :



$$\begin{aligned} \text{Massa Dolomit} &= \text{Mol} \times \text{Mr CaMg(CO}_3)_2 \\ &= 0,359 \times 184,3482 \\ &= 66,26 \text{ gram} \end{aligned}$$

### **Perhitungan Kebutuhan Kanji**

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 100 gram, batu bara 70,21 gram, Natrium sulfat 17,26 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 5,624 gram

*Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : batu bara :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 100 : 70,21 : 17,26 : 5,624*

### **Hasil Pengujian EDX**

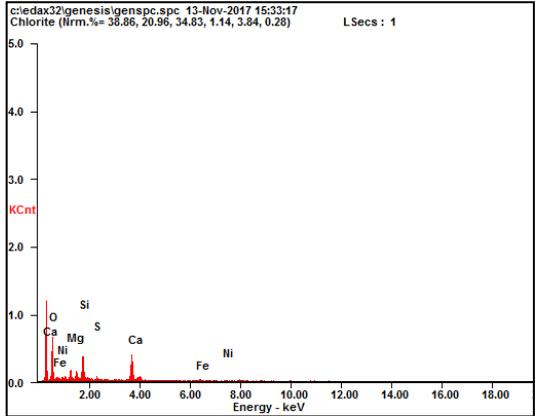
1. Hasil EDX 0% Inner Coal

Dari 3 titik pengujian EDX didapatkan kadar Ni sebesar 0,60 ; 2,64 ; 2,18 sehingga didapat rata-rata kadar Ni 1,8067%. Dan kadar Fe masing-masing 15,7 ; 7,81 ; 63,19 sehingga didapat rata-rata kadar Fe 28,9%.

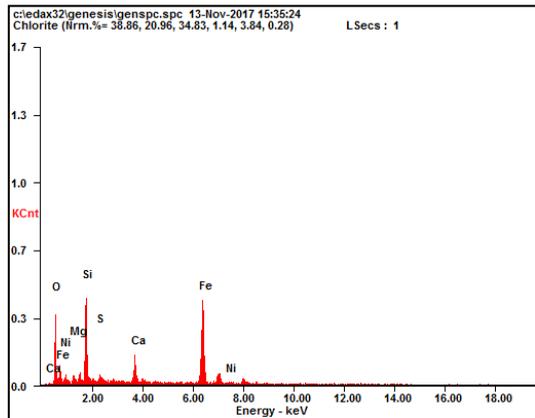
Laporan Tugas Akhir  
Departement Teknik Material FTI-ITS



Element	Wt %	At %
MgK	11.54	16.13
SiK	33.62	40.66
S K	03.17	03.36
CaK	35.37	29.97
FeK	15.70	09.55
NiK	00.60	00.35

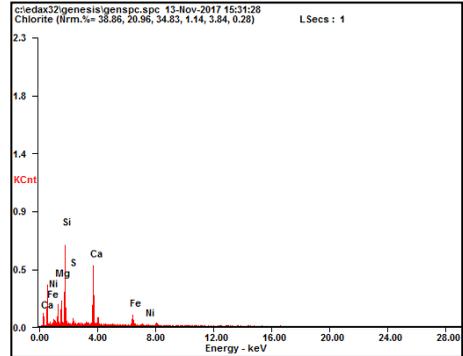


Element	Wt %	At %
MgK	13.65	18.80
SiK	30.72	36.62
S K	03.07	03.21
CaK	42.11	35.18
FeK	07.81	04.68
NiK	02.64	01.51



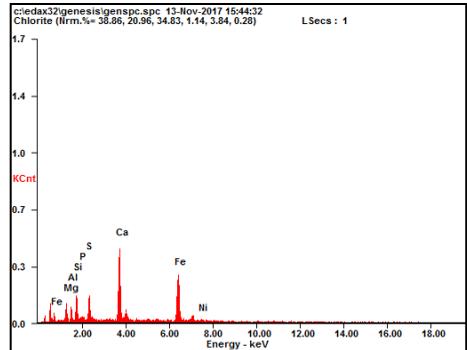


<b>Element</b>	<b>Wt %</b>	<b>At %</b>
<b>MgK</b>	02.90	05.12
<b>SiK</b>	22.49	34.39
<b>S K</b>	01.47	01.97
<b>CaK</b>	07.78	08.34
<b>FeK</b>	63.19	48.59
<b>NiK</b>	02.18	01.59



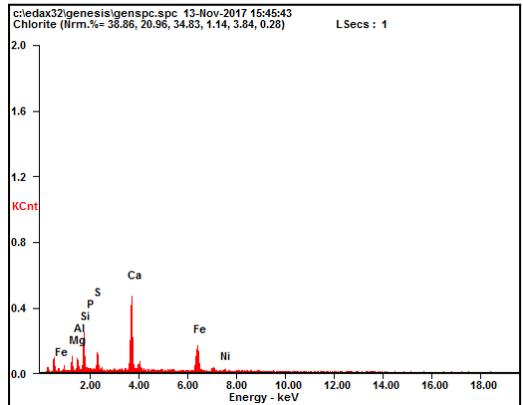
## 2. Hasil EDX Penambahan 20% Inner Coal

<b>Element</b>	<b>Wt %</b>	<b>At %</b>
<b>MgK</b>	08.06	13.40
<b>AlK</b>	03.73	05.58
<b>SiK</b>	07.99	11.49
<b>P K</b>	01.39	01.81
<b>S K</b>	06.71	08.46
<b>CaK</b>	25.30	25.50
<b>FeK</b>	43.38	31.39
<b>NiK</b>	03.44	02.36





<b>Element</b>	<b>Wt %</b>	<b>At %</b>
<b>MgK</b>	06.43	10.24
<b>AlK</b>	04.58	06.57
<b>SiK</b>	12.85	17.74
<b>P K</b>	01.04	01.30
<b>S K</b>	05.57	06.73
<b>CaK</b>	34.00	32.88
<b>FeK</b>	31.78	22.05
<b>NiK</b>	03.76	02.48



Dari 2 titik pengujian EDX didapatkan kadar Ni sebesar 3,44 ; 3,76 sehingga didapat rata-rata kadar Ni 3,6 %. Dan kadar Fe masing-masing 43,38 ; 31,78 sehingga didapat rata-rata kadar Fe 37,58%.

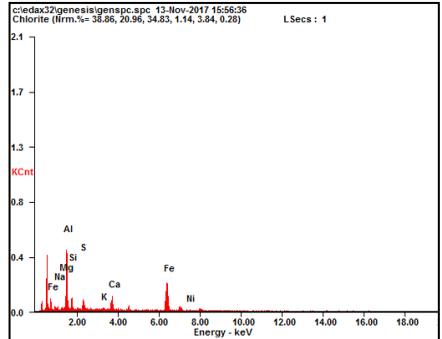
### 3. Hasil EDX Penambahan 40% Inner Coal

Hasil EDX 40% Inner Coal menunjukkan kadar Ni sebesar 3,73% dan Fe sebesar 46,73 %.

*Laporan Tugas Akhir*  
*Departement Teknik Material FTI-ITS*



<b>Element</b>	<b>Wt %</b>	<b>At %</b>
<b>NaK</b>	02.06	03.38
<b>MgK</b>	01.61	02.49
<b>AlK</b>	28.40	39.65
<b>SiK</b>	05.85	07.85
<b>S K</b>	05.04	05.93
<b>K K</b>	00.83	00.80
<b>CaK</b>	07.67	07.21
<b>FeK</b>	46.73	31.53
<b>NiK</b>	01.80	01.15

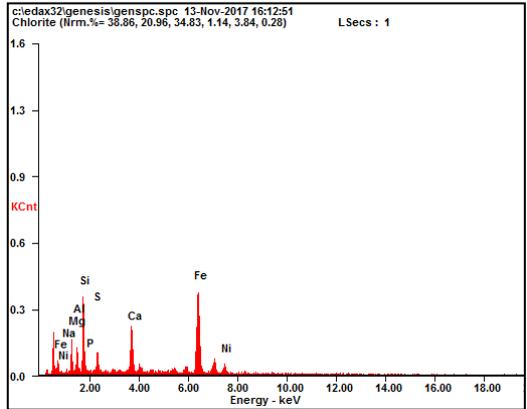


4. Hasil EDX Penambahan 60% Inner Coal

Hasil EDX 60% Inner Coal menunjukkan kadar Ni sebesar 7,31% dan Fe sebesar 49,06 %.

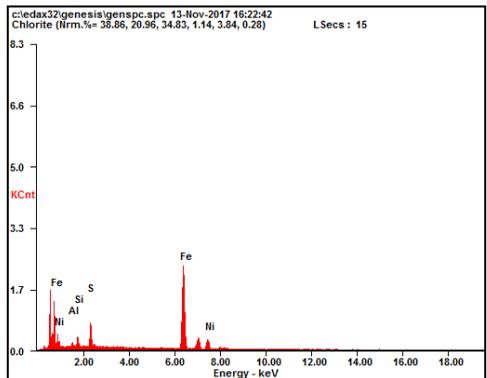


Element	Wt %	At %
NaK	01.19	02.07
MgK	08.34	13.75
AlK	05.80	08.62
SiK	14.20	20.27
PK	00.32	00.42
SK	03.53	04.41
CaK	10.25	10.25
FeK	49.06	35.21
NiK	07.31	04.99



### 5. Hasil EDX Penambahan 80% Inner Coal

Element	Wt %	At %
AlK	01.57	02.99
SiK	03.08	05.63
SK	06.48	10.37
FeK	74.87	68.78
NiK	13.99	12.23

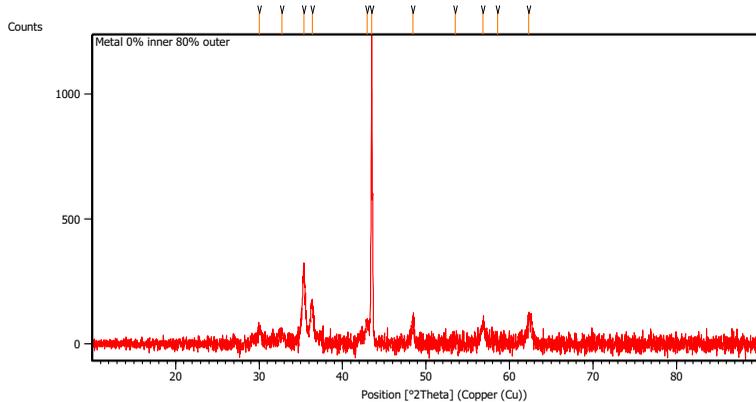


Hasil EDX 80% Inner Coal menunjukkan kadar Ni sebesar 13,99% dan Fe sebesar 74,87 %.



## Hasil Pengujian XRD

### 1. Hasil XRD 0% Inner Coal



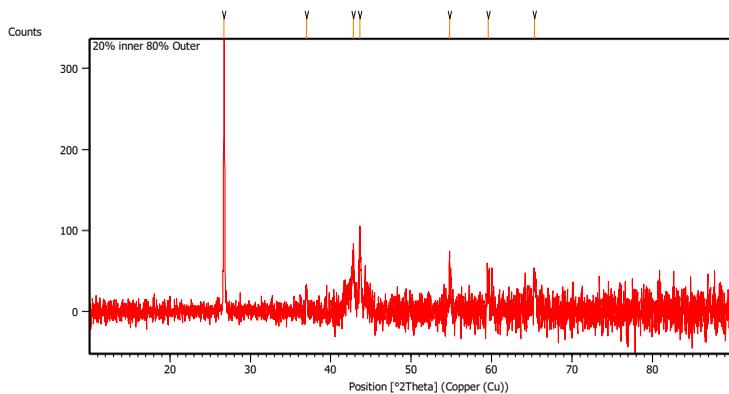
#### Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.0510	56.01	0.4015	2.97374	4.47
32.7078	38.40	0.4015	2.73800	3.07
35.4057	276.73	0.2676	2.53531	22.10
36.3753	169.92	0.2342	2.46992	13.57
42.9707	95.67	0.2676	2.10487	7.64
43.4913	1252.35	0.0612	2.07915	100.00
48.4600	99.27	0.2676	1.87850	7.93
53.4923	30.64	0.8029	1.71305	2.45



56.8024	78.76	0.4015	1.62083	6.29
58.5770	18.40	0.1171	1.57589	1.47
62.3235	117.81	0.2676	1.48986	9.41

2. Hasil XRD Penambahan 20% *Inner Coal*



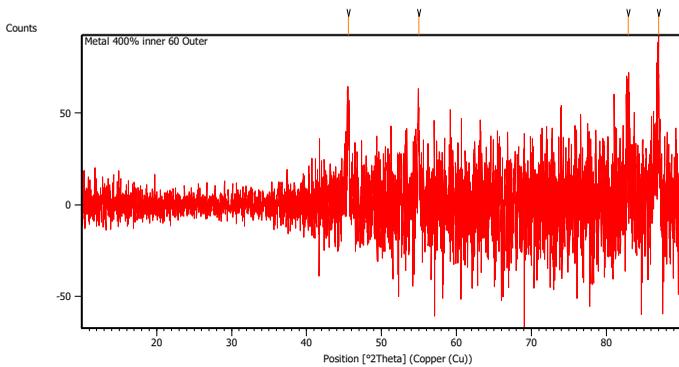
Peak List: (**Bookmark 3**)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.7410	343.31	0.1004	3.33383	100.00
36.9902	26.62	0.1338	2.43026	7.75
42.7874	69.39	0.2676	2.11346	20.21
43.6403	94.65	0.1673	2.07412	27.57



54.7744	68.85	0.0836	1.67595	20.05
59.5809	24.89	0.2676	1.55171	7.25
65.3582	35.86	0.3346	1.42784	10.45

### 3. Hasil XRD Penambahan 40% *Inner Coal*

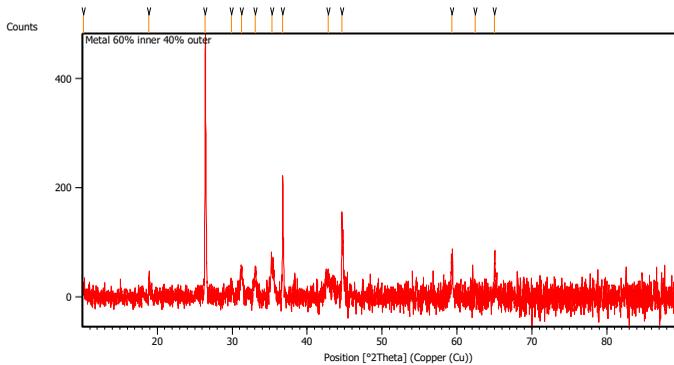


#### Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
45.5770	47.91	0.2676	1.99039	85.69
54.9805	44.11	0.2007	1.67015	78.88
82.9356	36.08	0.4015	1.16421	64.54
86.9668	55.91	0.4015	1.12031	100.00



#### 4. Hasil XRD Penambahan 60% *Inner Coal*



##### Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.1633	18.07	0.2007	8.70376	4.19
18.8924	39.20	0.1004	4.69736	9.08
26.4096	431.43	0.1004	3.37490	100.00
29.9179	18.12	0.4015	2.98666	4.20
31.2183	47.42	0.3346	2.86516	10.99
33.0899	46.53	0.2007	2.70725	10.79
35.2938	62.60	0.2676	2.54309	14.51
36.7577	225.44	0.0502	2.44510	52.26
42.8253	37.00	0.4015	2.11168	8.58
44.6632	152.32	0.0612	2.02728	35.31

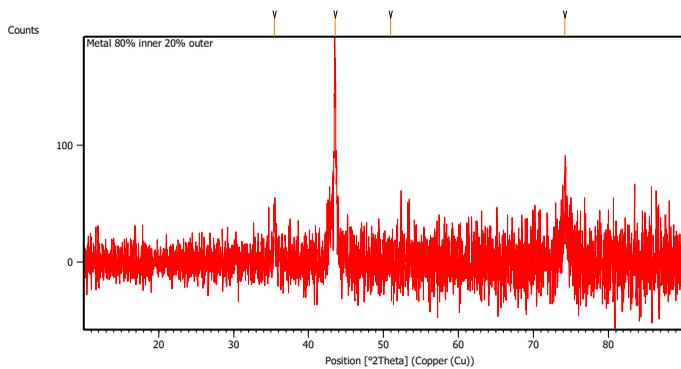



---

59.2867	76.32	0.1004	1.55871	17.69
62.4200	38.47	0.6691	1.48779	8.92
65.0338	57.22	0.2007	1.43417	13.26

---

### 5. Hasil XRD Penambahan 80% *Inner Coal*



#### Peak List: (*Bookmark 3*)

---

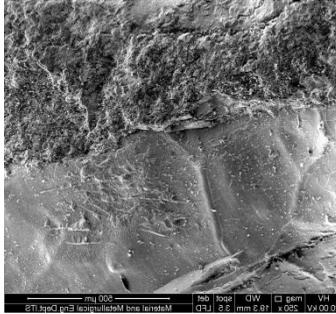
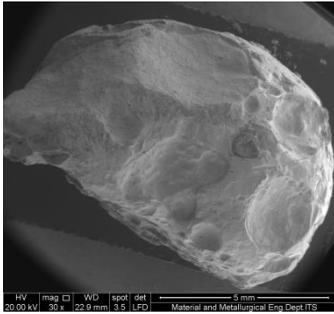
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.4700	39.89	0.2007	2.53086	24.25
43.5518	164.52	0.1338	2.07813	100.00
50.9168	16.68	0.9368	1.79348	10.14
74.2146	52.75	0.4015	1.27785	32.06

---

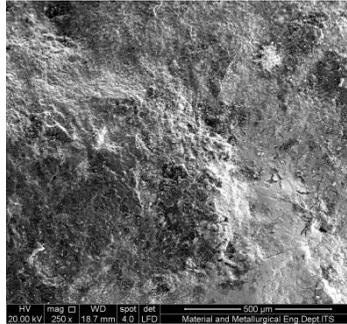


## Hasil Penguujian SEM

### 1. Hasil SEM 0% Inner Coal

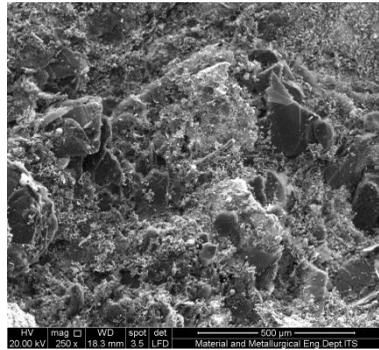
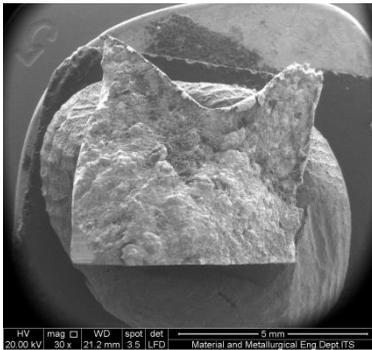


### 2. Hasil SEM 20% Inner Coal

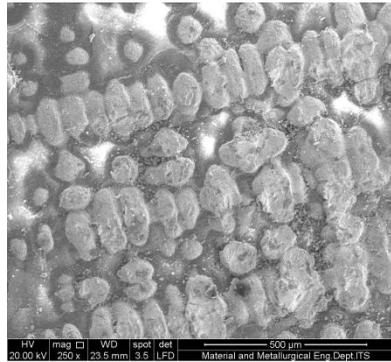
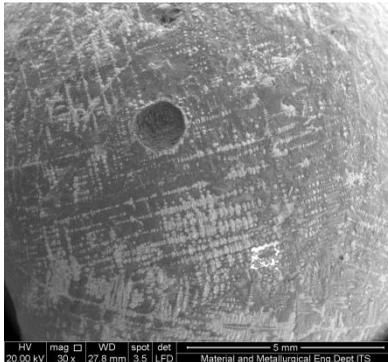




### 3. Hasil SEM 40% Inner Coal



### 4. Hasil SEM 60% Inner Coal





5. Hasil SEM 80% Inner Coal





Foto Dokumentasi





## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bogor, 10 Mei 1996, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis merupakan putri dari pasangan Ugik Prihantoro dan Shintya Arvianti. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Putera Bogor, SDN Sukadamai 3 Bogor, SMPN 5 Bogor dan kemudian SMAN 3 Bogor. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 20134 terdaftar dengan NRP 2714100071.

Di Teknik Material dan Metalurgi penulis memilih bidang Metalurgi Ekstraksi. Penulis sejak kuliah aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi sebagai Staff Departemen Hubungan Luar dan di Perhimpunan Mahasiswa Metalurgi Material se-Indonesia (PM3I) sebagai Sekertaris Jenderal PM3I. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. ANTAM (Persero) UBPP Logam Mulia ditempatkan di departemen *Research and Bussiness Development*. Penulis dapat dihubungi di 087770570571 atau email ke [pritameilyvia@rocketmail.com](mailto:pritameilyvia@rocketmail.com)

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*