



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN VARIASI JENIS FLUKS  
(DOLOMITE, LIMESTONE, QUICKLIME)  
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA  
MORFOLOGI MENGGUNAKAN BED BATUBARA**

**TOMMI JAYA SURBAKTI  
NRP 02511440000093**

**Dosen Pembimbing :  
Sungging Pintowantoro, Ph.D  
Fahreza 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 TYPE OF FLUX (DOLOMITE, LIMESTONE, QUICKLIME) To Fe AND Ni PURITY AND MORPHOLOGY USING COAL-DOLOMIT BED**

TOMMI JAYA SURBAKTI  
NRP 0251144000093

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 JENIS FLUKS  
(DOLOMITE, LIMESTONE, QUICKLIME) TERHADAP  
KADAR Ni DAN Fe SERTA MORFOLOGI  
MENGUNAKAN BED BATUBARA**

**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 :

**TOMMI JAYA SURBAKTI**  
NRP. 0251144000093

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sungging Pintowantoro, S.T.,M.T., Ph.D..... (Pembimbing I)

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



**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN JENIS FLUKS  
(DOLOMITE, LIMESTONE, QUICKLIME)  
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA  
MORFOLOGI MENGGUNAKAN REAKTOR *BED*  
BATU BARA DOLOMIT**

Nama Mahasiswa : Tommi Jaya Surbakti  
NRP : 0251144000093  
Jurusan : Departemen Teknik Material  
Dosen Pembimbing I : Sungging Pintowantoro., Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

**Abstrak**

*Permintaan akan nikel diprediksi akan terus meningkat namun cadangan bijih nikel sulfide yang dominan digunakan dalam industry terus menurun hal ini menjadikan bijih nikel low grade laterit limonit menjadi peluang untuk pemenuhan nikel kedepannya. Baik proses pirometalurgi maupun hidrometalurgi telah diterapkan untuk mengolah bijih nikel laterit namun sampai sekarang belum ditemukannya proses yang optimal dalam pengolahan bijih nikel laterit karena kadarnya yang sangat rendah. Penelitian ini dilakukan dengan mereduksi bijih nikel laterit limonit untuk meningkatkan kadar Nikelnya dengan menggunakan gas CO hasil reaksi batu bara dengan variasi jenis fluks (dolomite, limestone, quicklime). Briket yang terdiri dari ore, batu bara, Natrium sulfat serta kanji dimasukkan ke dalam crucible bed yang terdiri dari campuran batu bara dan dolomit. 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. Diharapkan dengan menentukan jenis fluks yang optimum mampu mengoptimalkan proses reduksi langsung dengan mendapatkan kadar dan recovery nikel*

*tertinggi. Dari penelitian diperoleh peningkatan kadar Ni tertinggi dengan fluks limestone sebesar 21,68% namun recovery Ni tertinggi didapatkan dengan fluks dolomite sebesar 93,73%.*

**Kata kunci:** *Bed, Bijih limonit, Dolomite, Limestone, Quicklime, Reduksi langsung*

**DIRECT REDUCTION LATERIT LIMONITIC NICKEL ORE WITH VARIATION TYPE OF FLUX (DOLOMITE, LIMESTONE, QUICKLIME) To Fe AND Ni PURITY AND MORPHOLOGY USING COAL-DOLOMIT BED**

**Name** : Tommi Jaya Surbakti  
**NRP** : 0251144000093  
**Departement** : Materials Engineering Departement  
**Advisor** : Sungging Pintowantoro., Ph.D.  
**Co-Advisor** : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

**Abstrak**

*Demand for nickel is predicted to continue rise but the dominant sulfide ore reserves used in the industry has been decreased, this problem make low grade laterite limonite nickel ore become an opportunity for future nickel fulfillment. Both the pyrometallurgical and hydrometallurgical processes have been applied to recover the laterite nickel ore but yet no optimal process has been found in lateriti nickel ore because of their very low purity. This research was conducted by reducing the limonite laterite nickel ore to increase its Nickel content by using CO gas of coal reaction with variation of flux type (dolomite, limestone, quicklime). Briquettes consisting of ore, coal, sodium sulphate (as selectivity agent for Ni) and starch are inserted into a crucible bed consisting of a mixture of coal and variation type of flux. Then preheat in temperature 700<sup>0</sup>C for 2 hours next, reduced to a temperature of 1400<sup>0</sup>C with a holding time of 6 hours. The EDX, XRD and SEM tests were performed to determine the levels of Ni and Fe as well as the morphology of the reduction. It is hoped that by determining the optimum flux type can optimize the direct reduction process by obtaining the highest levels and recovery of nickel. From the research, the highest Ni content with limestone flux was*

21.68%, but the highest Ni recovery was obtained with dolomite flux of 93.73%.

**Keywords :** *Bed, Bijih limonit, Dolomite, Limestone, Quicklime, Direct Reduction*

## KATA PENGANTAR

Syalom, .Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyusun laporan tugas akhir dengan baik. Tidak lupa syukur dan terima kasih serta salam penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib 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 JENIS FLUKS (DOLOMITE,LIMESTONE,QUICKLIME) TERHADAP KADAR Fe DAN Ni SERTA MORFOLOGI 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 tugas akhir, diantaranya kepada:

1. Orang tua penulis (Bapak Herman Surbakti dan Ibu Luksia Simamora), kakak saya (Inawaty, Dina mariana, Roma Sintahuli) dan abang adik saya ( Batman dan Christman) 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. Anggota Tikams Boy, Figo, Ichsan, Wahyu, Ferdi, Pandu, Irfan, Afiq, Zaki dan semua sahabat terbaik yang selalu menyemangati dan memberi masukan dari jauh.

5. Dede Zulyansyah dan Renaldi Situmorang sahabat saya mulai dari SMA hingga sekarang.
6. Seluruh Keluarga besar MT 16 yang namanya tidak dapat saya sebutkan semua yang selalu memberi support dan nasehat yang baik untuk kedepannya.
7. Anggota Lab Ekstraksi, Treshna Satria, Prita Meilyvia, Isrouf Gerio Pangestu, Ilham Nurrirofiq, Habiyoso Rafli, Luki Wijaya, Abrar Ridhollah dan Anisya yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. 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 perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan baik.

Surabaya, 2018  
Penulis,

Tommi Jaya Surbakti

## 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 Laterit .....	7
2.2 Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit.....	8
2.3 Aglomerasi Nikel Laterit .....	11
2.4 Batubara .....	13
2.5 Dolomit .....	16
2.6 Limestone .....	17
2.7 Quicklime .....	18
2.8 Termodinamika Reduksi Nikel Laterit .....	20
2.9 Reaksi Boudard.....	24
2.9 Kinetika Reduksi <i>Ore</i> .....	25
2.10 Kajian Penelitian Sebelumnya .....	27

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	31
-----------------------------------	----

3.2	Bahan Penelitian .....	32
3.3	Peralatan Penelitian .....	37
3.4	Pelaksanaan Penelitian .....	42
3.5	Pengujian Penelitian .....	44
3.6	Neraca Massa Briket Laterit Limonit.....	50
3.7	Rancangan Penelitian .....	53
3.8	Jadwal Penelitian .....	53

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

4.1	Karakterisasi Bijih Nikel Laterit .....	55
4.1.1	Karakteristik Batu Bara .....	56
4.1.2	Karakteristik Batu Kapur (Dolomit) .....	57
4.1.3	Karakteristik <i>Limestone</i> .....	59
4.1.4	Karakteristik <i>Quicklime</i> .....	61
4.2	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Komposisi Unsur pada Briket Hasil Proses Reduksi .....	63
4.2.1	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Unsur Ni pada Briket Hasil Proses Reduksi .....	64
4.2.2	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Unsur Fe pada Briket Hasil Proses Reduksi .....	67
4.3	Pengaruh Jenis Fluks Terhadap Recovery Fe dan Ni produk hasil reduksi .....	69
4.4	Pengaruh Jenis Fluks Terhadap Selektivitas factor.	72
4.5	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Fasa logam hasil reduksi .....	74
4.5.1	Analisa Hasil XRD Logam Hasil reduksi .....	74
4.5.2	Analisa Hasil XRD Slag Hasil Reduksi .....	77
4.6	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	81

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	85
5.2	Saran .....	86

**DAFTAR PUSTAKA ..... xxi**  
**LAMPIRAN**  
**BIODATA PENULIS**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Profil Nikel Laterit .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Diagram Ekstraksi Nikel dan <i>FerroNickel</i> ....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Bentuk Briket .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Batu Bara .....	14
<b>Gambar 2.5</b>	Batu Kapur .....	16
<b>Gambar 2.6</b>	Limestone .....	17
<b>Gambar 2.7</b>	Quicklime .....	19
<b>Gambar 2.8</b>	Diagram Ellingham .....	20
<b>Gambar 2.9</b>	Diagram Reaksi Boudard .....	23
<b>Gambar 2.10</b>	Garis besar mekanisme reduksi .....	26
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	27
<b>Gambar 3.2</b>	Bijih Nikel Laterit .....	29
<b>Gambar 3.3</b>	Batu Bara .....	30
<b>Gambar 3.4</b>	Batu Kapur .....	30
<b>Gambar 3.5</b>	Limestone .....	31
<b>Gambar 3.6</b>	Quicklime .....	31
<b>Gambar 3.7</b>	Natrium Sulfat .....	32
<b>Gambar 3.8</b>	Serbuk Kanji.....	32
<b>Gambar 3.9</b>	LPG .....	33
<b>Gambar 3.10</b>	Alat Kompaksi .....	34
<b>Gambar 3.11</b>	<i>Muffle Furnace</i> .....	34
<b>Gambar 3.12</b>	<i>Crucibel</i> .....	35
<b>Gambar 3.13</b>	Timbangan Digital.....	36
<b>Gambar 3.14</b>	Ayakan .....	36
<b>Gambar 3.15</b>	<i>Thermocouple</i> .....	37
<b>Gambar 3.16</b>	<i>Blower</i> .....	37
<b>Gambar 3.17</b>	Oven .....	38
<b>Gambar 3.18</b>	Skematik Posisi briket .....	40
<b>Gambar 3.19</b>	XRD <i>PAN Analytical</i> .....	41
<b>Gambar 3.20</b>	SEM-EDX .....	45
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit .....	51

<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Pengujian XRD Dolomit .....	54
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Pengujian XRD <i>Limestone</i> .....	56
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil Pengujian XRD <i>Quicklime</i> .....	58
<b>Gambar 4.5</b>	Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Ni dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi.....	59
<b>Gambar 4.6</b>	Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Fe dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	62
<b>Gambar 4.7</b>	Recovery Ni Produk Hasil Reduksi .....	64
<b>Gambar 4.8</b>	Recovery Fe Produk Hasil Reduksi .....	66
<b>Gambar 4.9</b>	Nilai Selektivitas Factor .....	67
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil Pengujian XRD Metal Hasil Proses reduksi .....	69
<b>Gambar 4.11</b>	Kadar Ni dalam Slag .....	73
<b>Gambar 4.12</b>	Kadar Fe dalam Slag .....	73
<b>Gambar 4.13</b>	Hasil Pengujian XRD Slag .....	74
<b>Gambar 4.14</b>	Morfologi Perbesaran 250x Logam Hasil Reduksi.....	77

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<i>Coal Typical Content</i> .....	14
<b>Tabel 3.1</b>	Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit .....	47
<b>Tabel 3.2</b>	Perbandingan Komposisi Briket .....	48
<b>Table 3.3</b>	Kadar Fe dan Ni pada Briket.....	48
<b>Tabel 3.4</b>	Rancangan Penelitian .....	49
<b>Tabel 3.2</b>	Jadwal Penelitian .....	50
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian EDX bijih nikel laterit limonit ..	50
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara ...	52
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Pengujian XRF Dolomit .....	53
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Pengujian EDX Limestone .....	55
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil Pengujian EDX Quicklime .....	57
<b>Tabel 4.6</b>	Perhitungan massa dan recovery Ni .....	64
<b>Tabel 4.7</b>	Perbandingan selectivity factor beberapa penelitian .....	68
<b>Tabel 4.8</b>	Identifikasi fasa metal hasil reduksi.....	70
<b>Tabel 4.9</b>	Identifikasi fasa slag hasil reduksi .....	75

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## I.1. Latar Belakang

Nikel merupakan adalah unsur paduan utama dari stainless steel, dan mengalami pertumbuhan yang sangat cepat seiring dengan peningkatan permintaan *stainless steel*. Saat ini lebih dari 65% nikel digunakan dalam industri *stainless steel*, dan sekitar 12% digunakan dalam industri manufaktur *super alloy* atau *nonferrous alloy* (Moskalyk, Johnson). Sumber bahan baku nikel yang penting dan ekonomis yang sudah diproduksi secara komersial adalah bijih nikel sulfida dan bijih nikel oksida. Contoh bijih nikel sulfida yang biasa diolah adalah *pentlandite* dan *pyrhotite* sedangkan contoh bijih nikel oksida ialah *laterite*. Cadangan nikel dunia saat ini yaitu jenis lateritik sebanyak 72% dan sisanya sulfida (Dalvi), tetapi produksi nikel saat ini sebagian besar diperoleh dari jenis sulfida yaitu sebanyak 58% dan sisanya 42% dari jenis lateritic (Dalvi).

Produksi nikel dari sulfida lebih dominan karena kadar nikel yang lebih tinggi sehingga pengolahan yang lebih mudah dibandingkan dengan tipe deposit laterit. Seiring meningkatnya permintaan akan nikel sedangkan deposit nikel sulfida yang mulai menurun, diprediksi kedepannya kebutuhan nikel dunia akan menggunakan bijih nikel laterit yang ketersediaannya hampir 70% di dunia (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004). Indonesia merupakan salah satu negara penghasil nikel di dunia dari jenis lateritic. Berdasarkan laporan United States Geological Survey pada Januari 2015 (USGS 2015), dari segi potensi cadangan, Indonesia menempati urutan ke-enam dengan potensi cadangan sebesar 5% dari total seluruh cadangan dunia . Hal ini menunjukkan posisi penting Indonesia di dunia pertambangan bijih nikel sehingga penelitian dan pengembangan pada jenis laterit sangat diperlukan. Teknologi pengolahan bijih nikel lateritik terbagi menjadi 2 proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Proses pirometalurgi



meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi / reduksi, *electric furnace smelting*, dan pemurnian (*refining / converting*). Hasil dari proses pirometalurgi biasanya berupa FeNi (*FerroNickel*) atau *Matte Smelting*. Pada proses hidrometalurgi terbagi lagi menjadi 2 proses yaitu *Caron Process* dan *HPAL Process*. *Caron Process* meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi / reduksi, *amonical leaching*, dan *purification & recovery*.

Hasil dari *caron process* berupa Ni dan Co. Sedangkan pada *HPAL Process* meliputi beberapa proses yaitu *high pressure leaching*, *CCD & Neutralization*, presipitasi, *purification & recovery*. Hasil dari *HPAL Process* juga berupa Ni dan Co (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004). Hidrometalurgi memiliki beberapa kekurangan yaitu recovery Ni lebih rendah jika dibandingkan dengan pirometalurgi, membutuhkan tempat proses yang luas dan waktu proses yang lama sehingga pengembangan pengolahan laterite lebih diharapkan ke *pyrometallurgi*. Produksi ferronikel dari bijih laterit secara pirometalurgi memerlukan energi lebih tinggi dibanding hidrometalurgi. Salah satu proses dalam pirometalurgi yang mempunyai efisiensi energi paling tinggi yaitu *direct reduction* dalam proses luppen. *Direct reduction* atau proses reduksi langsung bertujuan meningkatkan kandungan mineral Ni pada bijih nikel lateritik limonitik dengan cara mereduksi bijih laterite limonit dengan gas CO/CO<sub>2</sub>.

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 (Iwan Setiawan, 2016). Gas CO dan CO<sub>2</sub> pada atmosfer reduksi didapat dari penambahan batubara dan fluks (dolomit, limestone, quicklime) pada proses reduksi. Temperatur reduksi dan waktu reduksi secara significant mempengaruhi perkembangan partikel Ni dan Fe, ukuran dan kadar partikel meningkat seiring peningkatan temperatur reaksi dan lamanya waktu reaksi. Penambahan batubara dan fluks dalam *crucible (bed)*



dilakukan untuk mengontrol kandungan CO dan CO<sub>2</sub>. Selain itu penambahan *selective agent* seperti Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dapat meningkatkan selektivitas dan ukuran partikel feronikel yang terbentuk. (Yan-Jun Li, dkk 2013)

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian 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>. Didapatkan hasil data kandungan nikel dalam konsentrat tertinggi sebesar 3,53% diperoleh pada temperatur pemanggangan reduksi 1100 °C dan terendah sebesar 1,67% pada 800 °C. Penambahan batubara dalam reduksi mempengaruhi kandungan nikel dalam konsentrat. Kandungan nikel dalam konsentrat yang tertinggi diperoleh pada penambahan batubara 20% sebesar 5,2% dan terendah sebesar 1,92% pada penambahan 5% batubara. Penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam reduksi mempengaruhi kandungan nikel dalam konsentrat. Kandungan nikel dalam konsentrat yang tertinggi diperoleh pada penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20% sebesar 10,28% dan terendah sebesar 2,26% pada penambahan 10% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Kadar nikel tertinggi diperoleh pada konsentrat hasil pemanggangan reduksi pelet yang mengandung 10 % batubara dan 20 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dipanggang pada temperatur 1000 °C. (Rudi Subagja, dkk 2016). Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa reduksi langsung ternyata mampu meningkatkan kadar Ni dalam laterit.

Penelitian ini dilakukan dengan mereduksi langsung bijih nikel laterite kadar rendah (limonite) dengan menggunakan gas CO sebagai hasil reaksi antara batubara dengan fluks (dolomite, limestone, quicklime). Variasi jenis fluks akan dilakukan pada bed batubara akan menentukan perbandingan gas CO/CO<sub>2</sub> yang terbentuk sehingga akan mempengaruhi mekanisme reduksi. Oleh karena itu dengan menentukan jenis fluks yang optimum diharapkan dapat mendapatkan kadar Ni tertinggi dan recovery nikel yang baik juga. Sehingga didapatkan suatu proses yang



optimal untuk proses pengolahan nikel laterit dengan kadar rendah yaitu limonit.

### **I.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks (*dolomite, limestone, dan quicklime*) pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap kadar unsur Ni dan Fe yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks (*dolomite, limestone, dan quicklime*) pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap *recovery* unsur Ni yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks (*dolomite, limestone, dan quicklime*) pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap morfologi produk reduksi?

### **I.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

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.



#### **I.4. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, antara lain:

1. Menganalisis pengaruh variasi jenis fluks (*dolomite, limestone, dan quicklime*) pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap kadar unsur Ni dan Fe.
2. Menganalisis pengaruh variasi jenis fluks (*dolomite, limestone, dan quicklime*) pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap *recovery* unsur Ni.
3. Menganalisis pengaruh variasi jenis fluks (*dolomite, limestone, dan quicklime*) pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap morfologi produk reduksi.

#### **I.5. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (variasi jenis fluks (*dolomite, limestone, dan quicklime*) 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 Laterit**

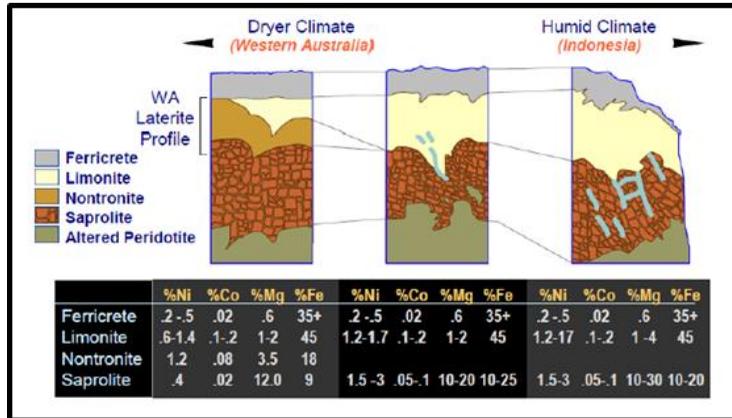
Nikel laterit merupakan salah satu sumber nikel dan feronikel yang penting dimana endapan ini merupakan hasil dari pelapukan intensif dari batuan ultrabasa pembawa Ni-silikat dan pada umumnya terdapat pada daerah khatulistiwa (Glesson: 2003). Laterit adalah nama umum mineral yang berupa tanah merah sebagai akibat dari pelapukan batuan asal (induk) di daerah tropis atau sub tropis. Laterit kaya akan kaonilit, goethite, dan kwarsa, sehingga komposisi dari laterit sangat kompleks. Secara kimia, laterit dicirikan oleh adanya besi, nikel, dan silica sebagai sisa-sisa proses pelapukan batuan induk (Firdiyono dkk: 1983)

Dalam beberapa penelitian saat ini, dapat dikatakan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dalam waktu dekat di masa yang akan datang. Ada banyak alasan yang menjadikan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel, antara lain :

1. Ketersediaan : Cadangan nikel yang ada di dunia yaitu 36% berupa sulfida dan 64% berupa laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak daripada bijih sulfida.
2. Biaya Penambangan : Karena bijih sulfida terletak pada *hard rock*, sebagai eksplorasi lebih lanjut cadangan sulfida akan didapatkan pada bagian yang lebih dalam yang menyebabkan biaya penambangan lebih tinggi. Sedangkan penambangan bijih laterit pada dasarnya yaitu berpindah-pindah yang bagaimanapun juga menjadikan biaya penambangannya lebih rendah.
3. 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.
4. 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)



**Gambar 2.1** Profil Nikel Laterit (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

## 2.2. Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Pengolahan metalurgi dari nikel laterit dapat dibagi menjadi dua proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Hasil dari pirometalurgi berupa feronikel (Fe-Ni) dan nikel pig iron (NPI) sedangkan hidrometalurgi secara majority menghasilkan Ni dan Co. 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. *Laterite Pyrometallurgy - Ferronickel Process*

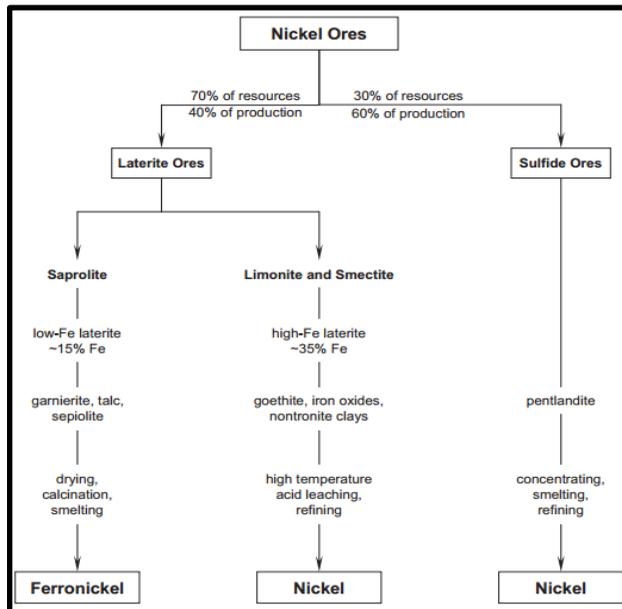
Bahan umpan yang digunakan ialah laterite jenis saprolite. Selanjutnya saprolite akan discreening, crushing dan blending terlebih dahulu. Lalu bijih dimasukkan ke dalam rotary kiln atau *vertical shaft reduction furnace* dan mengalami pada temperature 1000°C. Selama proses ini, air kristal tereduksi diikuti dengan reduksi nikel dan sebagian besi ke dalam *metallic state*. Kemudian, mereduksi hasil kalsinasi 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 . Proses selanjutnya di dalam electric arc furnace 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)

2. *Laterite Hydrometallurgy -The Caron Process*

Bahan umpan yang digunakan adalah laterite limonit. 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. Kalsinasi dilakukan pada temperature  $850^{\circ}$ . Selanjutnya hasil kalsinasi akan melalui proses *amonia leaching* pada hot temperatur sekitar  $150^{\circ}$ - $200^{\circ}$ C. *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 serpentin 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*. Selain Caron Process masih terdapat beberapa proses hidrometalurgy yang digunakan dalam pengolahan nikel laterite yakni HPAL ( high pressure acid leaching), AL(Atmospheric leaching), HL (Heap Leaching), Bioleaching dan beberapa kombinasinya.



**Gambar 2.2** Diagram Ekstraksi Nikel dan *FerroNickel* (Crundwell, 2011).



### 2.3. Aglomerasi Nikel Laterit Limonit

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.

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 organik, 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.



**Gambar 2.3** Bentuk Briket (arstaeco.com)

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  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi mineral  $\text{Fe}^{2+}$  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*.

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 biket atau cetakan akan sulit dilakukan. Maka briket bebentuk bantal lebih mudah dibuat dengan menggunakan alat yang sudah komersial. Briket bentuk bantal dengan volume yang sama memiliki tebal penambang 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.

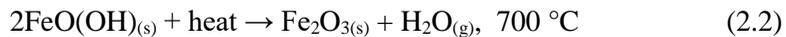
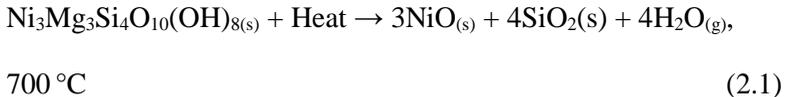
Pada proses pembriketan, proses reduksi yang terjadi haruslah secara optimal. Temperatur kalsinasi / roasting haruslah sesuai dengan temperature terjadinya reaksi reduksi dari mineral nikel dan besi dalam laterit. Ketika temperature tidak mencukupi maka reaksi reduksi tidak optimal karena energi yang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

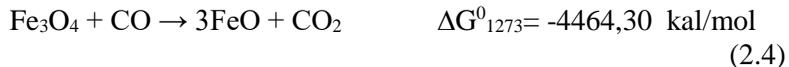
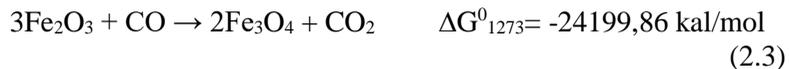


Menurut buku “Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt” (Tyroler & Landolt, 1998). Persamaan reaksi ekstraksi dari nikel laterit pada proses roasting ditunjukkan pada reaksi :

- Terjadi dekomposisi garnierite dan goethite (ore)



- Reaksi reduksi oleh gas CO



## 2.4. Batubara

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  $C_{240}H_{90}O_4NS$  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 di gunakan sebagai sumber karbon untuk berikatan dengan  $CO_2$  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)

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



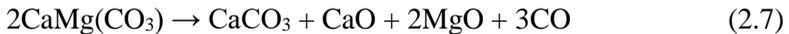
**Gambar 2.4** Batu Bara (id.wikipedia.org)



### 2.5. 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 :

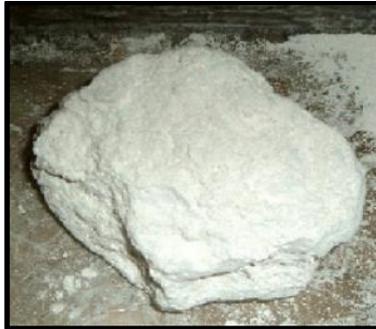


Pada temperature yang lebih tinggi,  $\text{CaCO}_3$  akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Reaksi dekomposisi dolomit dan  $\text{CaCO}_3$  akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi, yaitu :



Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperatur  $780 - 785^\circ\text{C}$  serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur  $950 - 960^\circ\text{C}$  (Philip Engler, dkk. 1988).

Dolomit berperan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$  dalam proses reduksi. Gas  $\text{CO}_2$  ini berguna untuk reaksi pembentukan gas  $\text{CO}$  (Reaksi Boduard). Gas  $\text{CO}_2$  diperoleh dari reaksi dekomposisi dolomit dan  $\text{CaCO}_3$ . Selain itu dolomit juga berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor. (Spencer. 1985)



**Gambar 2.5** Batu Kapur (dnr.mo.gov)

## 2.6. Limestone

Limestone merupakan salah satu batuan sedimen. Limestone memiliki kandungan utama yang berupa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Limestone juga dapat disebut sebagai batu gamping / kalsium. Namun dalam beberapa hal, limestone juga dikatakan sebagai batu kapur. Meski tampilan fisik dari limestone dan batu kapur sekilas sama, akan tetapi senyawa yang komponen penyusun dari limestone dan batu kapur berbeda. Yang membedakan yaitu, kandungan utama pada limestone yaitu kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang kadarnya sekitar 95%, sedangkan kandungan utama pada batu kapur atau bisa disebut juga sebagai dolomit yaitu kalsium magnesium karbonat ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

Seperti yang diketahui bahwa batu kapur mengandung sebagian besar mineral kalsium karbonat yaitu sekitar 95%. Kandungan kalsium karbonat ini dapat diubah menjadi kalsium oksida dengan kalsinasi sehingga lebih mudah terdekomposisi menghasilkan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) (Noviyanti, dkk. 2015).

Dengan cara ini, batu kapur dapat dimanfaatkan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$  dalam proses reduksi. Gas  $\text{CO}_2$  ini berguna untuk reaksi pembentukan gas  $\text{CO}$  (Reaksi Boduard). Gas  $\text{CO}_2$  diperoleh dari reaksi dekomposisi  $\text{CaCO}_3$ . Reaksi dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  berlangsung secara spontan, dimana reaksinya :





Munculnya fase oksida dari kalsium dikarenakan pada suhu 750 °C  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  mengalami dekomposisi akibat energi panas dan membentuk  $\text{CaO}$ . Berdasarkan referensi dari para peneliti disebutkan bahwa  $\text{CaO}$  seringkali dihasilkan melalui kalsinasi  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  secara langsung dengan temperatur tinggi. Elemen – elemen yang terkandung pada  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  tidak hanya elemen penyusun kalsium namun juga terdapat beberapa elemen lain, seperti kalium, silikon, sodium, potassium, aluminium, dan oksigen yang akan mengalami penurunan kadar seiring dengan meningkatnya suhu kalsinasi kecuali kalsium ( $\text{Ca}$ ) yang kadarnya semakin meningkat (Noviyanti, Jasruddin, & Sujiono, 2015).



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

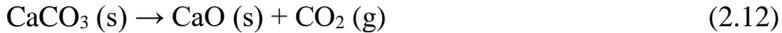
## 2.7. Quicklime

Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), umumnya dikenal sebagai kapur atau dibakar kapur, adalah senyawa kimia secara luas digunakan. Ini adalah putih, kaustik, basa, kristal padat pada suhu kamar. Untuk umum digunakan istilah "kapur" berkonotasi bahan anorganik yang mengandung kalsium, di mana karbonat, oksida dan hidroksida kalsium, silikon, magnesium, aluminium, dan besi mendominasi. Sebaliknya, "kapur" khusus berlaku untuk senyawa kimia kalsium oksida tunggal. Kalsium oksida yang bertahan pengolahan tanpa bereaksi dalam produk bangunan seperti semen disebut bebas kapur.

Kapur relatif murah. Kedua hal itu dan turunan kimia (kalsium hidroksida, yang kapur merupakan basis anhidrida)



adalah bahan kimia komoditas penting. Kalsium oksida biasanya dibuat oleh dekomposisi termal dari bahan, seperti batu kapur atau kerang, yang mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ; kalsit mineral) dalam kiln kapur. Hal ini dilakukan dengan memanaskan material di atas  $825^\circ\text{C}$  ( $1517^\circ\text{F}$ ), proses yang disebut kalsinasi atau kapur pembakaran, untuk membebaskan molekul karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), meninggalkan kapur.



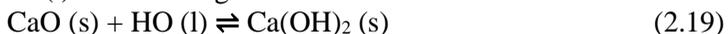
Kapur tidak stabil dan, ketika didinginkan, secara spontan akan bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  dari udara sampai, setelah cukup waktu, itu akan benar-benar diubah kembali ke kalsium karbonat kecuali dipuaskan dengan air untuk ditetapkan sebagai plester kapur atau kapur mortar. Produksi di seluruh dunia tahunan kapur adalah sekitar 283 juta ton.

Kapur memiliki afinitas tinggi untuk air dan sebuah pengering lebih efisien daripada silika gel. Reaksi kapur dengan air dikaitkan dengan peningkatan volume dengan faktor minimal 2,5. (Yu & Brouwers, 2011)

Reaksi dalam pembuatan kapur :



Jika disiram dengan air, maka kapur tohor akan menghasilkan panas dan berubah menjadi kapur padam (*calcium carbonate*,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).  $\text{CaCO}_3$  : Lime stone (kalsium karbonat) Batu kapur (bahasa Inggris: limestone) ( $\text{CaCO}_3$ ) adalah sebuah batuan sedimen terdiri dari mineral calcite (*calcium carbonate*). Untuk menuliskan reaksi yang terjadi antara kapur tohor  $\text{CaO}(\text{s})$  dengan air  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  adalah sebagai berikut:



Hasil dari proses reaksi kimia tersebut adalah  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  atau kalsium hidroksida sukar larut dalam air dan apabila didiamkan maka akan



tampak endapan/padatan putih di dasar bejana. (Kato, Murakami, & Sugawara, 2012)



**Gambar 2.7** Quicklime (geology.com)

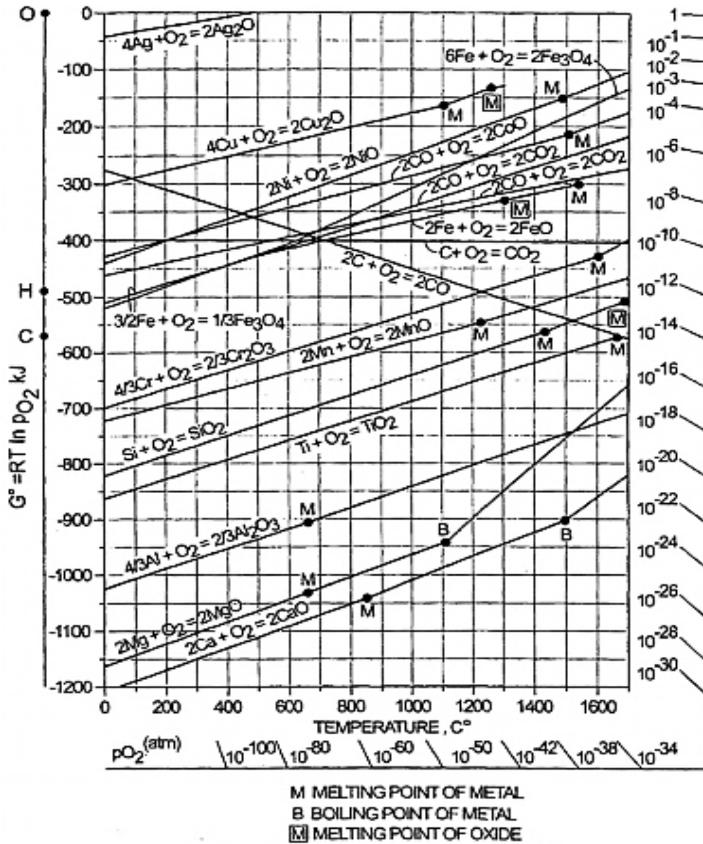
### **2.8. Termodinamika Reduksi Nikel Laterit**

Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas suatu reaksi yang diplot ke dalam suatu grafik dengan parameter energi bebas terhadap temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. 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 2.9 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.

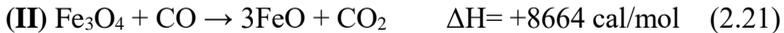
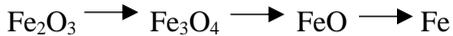


Gambar 2.8 Diagram Ellingham (Ross, 1980)

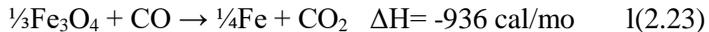
Dalam proses berdasarkan batu bara, gas reduktor utama adalah CO. Tiga reaksi reduksi dan entalpi reaksi pada  $25^\circ\text{C}$  dari mineral besi dalam laterit dapat dituliskan sebagai berikut:



**I                      II                      III**



Entalpi reaksi pada 25 °C dapat diketahui dari entalpi pembentukan. Reaksi (2.20) dan (2.22), 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.



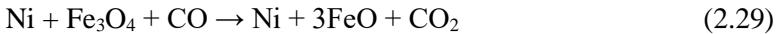
Dilihat dari diagram Ellingham, reaksi reduksi NiO oleh CO mulai terjadi pada temperatur 440 °C. Sedangkan reaksi reduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan gas CO mterjadi pada tempetarur 650 °C. Namun kedua reaksi reduksi ini belum akan terjadi pada temperatur tersebut oleh gas CO karena reaksi Boudouard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

Reaksi utama dari nikel oksida menjadi nikel metalik adalah:



Faktanya, ore nikel laterit merupakan ore yang kompleks, termsuk 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:



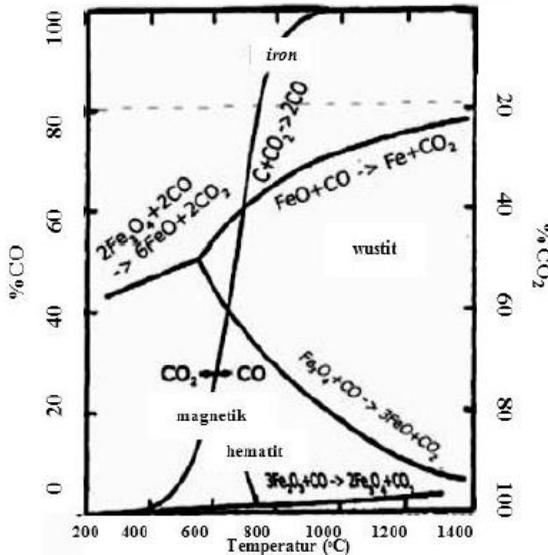
Berdasarkan kondisi percobaan, proses reduksi dari (2.29) dan (2.30) akan sulit terjadi (Olli 1995).

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

- Terjadi dekomposisi termal dan reduksi Natrium sulfat
$$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{CO} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 4\text{CO}_{2(\text{g})} \quad (2.31)$$
$$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 3\text{CO} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{S}_{(\text{g})} + 3\text{CO}_{(\text{g})} \quad (2.32)$$
- Pengikatan Fe membentuk FeS
$$\text{Na}_2\text{S} + \text{FeO} \rightarrow 2\text{SiO}_2 + \text{FeS} + \text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5 \quad (2.33)$$
$$\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS} \quad (2.34)$$

## 2.9. Reaksi Boudard

Proses reduksi langsung menggunakan kesetimbangan antara besi hematite, magnetit, wustit, karbonmonoksida, karbondioksida, serta karbon padat pada tekanan 1 atm seperti ditunjukkan dalam diagram Bauer Glassner dan Boudouard pada gambar 2.11. Kesetimbangan tersebut merupakan dasar dilakukan proses reduksi langsung dengan menggunakan karbon padat dari batubara.



Gambar 2.9 Diagram Reaksi Boudouard

Dalam diagram tersebut terdapat kesetimbangan besi oksida dengan campuran gas CO/CO<sub>2</sub> antara lain :

- Garis kesetimbangan Boudouard :  $C + CO_2 \rightarrow 2CO$
- Garis kesetimbangan :  $3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$
- Garis kesetimbangan :  $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$
- Garis kesetimbangan :  $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$

Jika dilihat dari garis kesetimbangan Boudouard, pada temperatur 1000°C terdapat 100% gas CO. Apabila temperature diturunkan maka kesetimbangan tersebut tidak tercapai sehingga terjadi penguraian dari gas CO menjadi CO<sub>2</sub> dan C. Sehingga jumlah gas CO (preduktor) akan berkurang. Pada daerah disebelah kiri garis kesetimbangan boudouard maka gas CO<sub>2</sub> akan lebih stabil sehingga gas CO yang ada akan terurai menjadi CO<sub>2</sub>. Pada daerah di sebelah kanan garis kesetimbangan boudouard gas CO lebih stabil sehingga gas CO<sub>2</sub> akan mengalami reaksi boudouard membentuk gas CO. Hal tersebut merupakan contoh dari prinsip



Le Chatelier, reaksi boudouard merupakan reaksi yang endotermik sehingga membutuhkan temperatur tinggi untuk dapat berjalan.

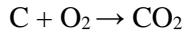
Dari Diagram Bauer Glassner dan Boudouard pada gambar 2.XX senyawa yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara CO/CO<sub>2</sub> dan juga temperature operasi. Misal pada temperatur 700°C dengan perbandingan CO/CO<sub>2</sub> adalah 60:40 maka senyawa yang paling stabil adalah wustit. Magnetit akan tereduksi menjadi wustit, sedangkan Fe akan mengalami oksidasi menjadi wustit. Hal penting yang dapat disimpulkan dari kesetimbangan Boudouard antara garis kesetimbangan wustit/Fe dan garis kesetimbangan boudouard berpotongan pada temperatur 700°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi wustit Fe adalah 700°C. Antara garis kesetimbangan Magnetit/Wustit dan garis kesetimbangan boudouard berpotongan pada temperatur 650°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperature minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi magnetit menjadi wustit adalah 650°C. Temperatur minimum diatas pada tekanan 1 atm. Sangat tidak mungkin reaksi dapat berjalan dibawah temperatur minimum karena karbonmonoksida terurai menjadi karbondioksida. Proses reduksi sebaiknya dilakukan pada temperatur di atas 900°C karena pada temperatur tersebut proses pembentukan gas CO akan stabil. Kestabilan CO akan menurun seiring dengan menurunnya temperatur.

## 2.10 Kinetika Reduksi Ore

Mekanisme reduksi langsung laterit limonit dengan karbon padat terdiri dari

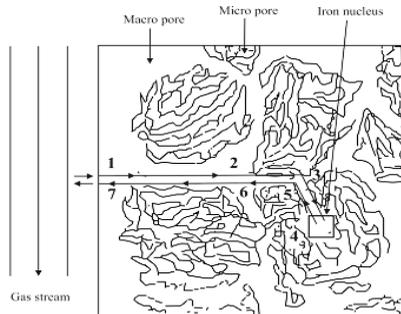
1. Pembentukan gas reduktor
2. Adsorpsi gas pada besi oksida
3. Proses difusi dalam besi oksida

Pembentukan gas reduktor dengan adanya oksigen pada temperatur tinggi akan terbentuk gas CO menurut reaksi :



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 and Engell 1971).



**Gambar 2.10** Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori (Bogdandy, Von and 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.

## 2.11 Kajian Penelitian Sebelumnya

Zulfiadi Zulhan dan Ian Gibranata melakukan penelitian tentang proses reduksi langsung kadar rendah nikel laterit untuk menghasilkan ferronickel menggunakan muffle furnace dengan metode isothermal-gradient temperatur. Metode isothermal-gradient temperature dapat diaplikasikan untuk mereduksi limonit nikel lateritik menghasilkan nugget yang terpisah dari slag pada temperatur 1400°C. Jumlah penambahan 10% berat batubara cocok untuk menghasilkan nugget dengan ukuran butir 1-2 mm. Bila jumlah penambahan batubara meningkat menjadi 20% berat dan 30% berat, diperoleh nugget dengan ukuran lebih kecil (di bawah 0,2 mm). Berdasarkan pengamatan makroskopis, nugget tersebut muncul pada temperatur 1380°C. Namun, di pengamatan



mikroskopis dengan analisis SEM, logam sudah diamati pada 1333 °C dan mulai bergabung membentuk nugget lebih besar seiring peningkatan temperatur. Laju pemanasan mempengaruhi recovery nikel dan besi. Mengurangi laju pemanasan akan menghasilkan peningkatan recovery feronikel. Recovery nikel dan besi akan dipengaruhi oleh waktu tahan pada temperatur akhir tertentu. Peningkatan waktu tahan akan meningkatkan recovery nikel dan besi. Recovery tertinggi dicapai pada laju pemanasan 6,67 ° C / menit dengan waktu tahan selama 60 menit pada 1400 ° C.

Yan-Jun Li dkk(2013) melakukan penelitian tentang mekanisme reduksi kadar rendah ore laterit menggunakan batu bara dengan variasi temperature reduksi. Mekanisme reduksi dilakukan dalam muffle furnace dengan laju pemanasan 10<sup>0</sup>C/menit hingga 20<sup>0</sup>C/menit dengan massa ore sebesar 50 gram, dengan ratio C/O sebesar 2,5 . Selanjutnya akan dilakukan pengujian SEM dan EDX pada sampel hasil reduksi. Temperatur reduksi dan waktu reduksi secara signifikan mempengaruhi perilaku pertumbuhan partikel Fe-Ni. Fase logam Fe-Ni diatur dalam matriks sebagai partikel berbentuk bola. Partikel partikel yang susah direduksi dari bijih nikel laterit berubah menjadi partikel logam dan matriks slag selama reduksi. Selama reduksi, nikel sebagian besar direduksi dengan CO daripada C. ditemukan adanya hubungan antara proses reduksi dengan sruktur kristal dan sifat kimia dari ore nikel. Reduksi terjadi karena disosiasi senyawa kompleks dan pengurangan oksida sederhana. Logam besi dan nikel secara bertahap berkumpul dan membentuk partikel yang besar.

Guan-Jhou Chen dkk(2014) melakukan penelitian tentang effect dari temperatur reduksi pada reduksi carbothermic ore laterit dengan menggunakan bio-coal. Limonit dan Saprolit laterit direduksi secara carbothermic proses pada berbagai temperatur. Dalam reduktan, biocoal telah menjadi reduktan, kandungan nikel limonit meningkat dari 1,18 (sebelum reduksi) menjadi 1,64% (setelah reduksi) dan saprolit meningkat dari 3,43 menjadi 4,93%. Fase utama limonit sebelum reduksi adalah Fe<sub>1.833</sub> (OH)<sub>0.5</sub>O<sub>2.5</sub> dan



$\text{Fe}_2\text{SiO}_2$ , dan setelah reduksi adalah Fe. Fase utama dari saprolit sebelum reduksi adalah  $\text{Fe}(\text{CO}_3)$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ , dan  $\text{Al}_3\text{S}_4$ , dan reduksi tersebut adalah Fe,  $\text{Fe}_{0.64}\text{Ni}_{0.36}$ , dan  $\alpha\text{-Fe}_{10.08}\text{Ni}$ . Lapisan luar pelet membentuk daerah padat dan inti pelet memiliki daerah celah/rongga saat awal reaksi reduksi. Bila pelet menghasilkan daerah dua fasa pada  $1200^\circ\text{C}$ , itu secara signifikan menyusut 30%. Akhirnya, pelet membentuk fasa paduan besi-nikel dan fasa besi dan fasa oksida pemisahan.

Rudi Subagja, Agus budi dan Wahyu mayang sari telah melakukan penelitian peningkatan kadar nikel dalam laterit jenis limonit dengan cara peletasi, pemanggangan reduksi dan pemisahan magnet campuran bijih, batu bara dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Dari studi peningkatan kadar nikel dalam bijih nikel laterit jenis limonit dengan membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit jenis limonit, batubara dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dapat disimpulkan kadar nikel dalam bijih nikel laterit kadar rendah jenis limonit dapat ditingkatkan dengan cara membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit kadar rendah, bahan reduktor batubara dan bahan aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , kemudian dilanjutkan dengan proses pemanggangan reduksi pelet dan melewati kalsin yang dihasilkan dari proses pemanggangan reduksi kedalam alat pemisahan magnet sehingga diperoleh konsentrat nikel. Kadar nikel dalam konsentrat nikel dipengaruhi oleh temperatur pemanggangan reduksi, jumlah batubara yang ditambahkan kedalam campuran pelet nikel laterit, dan jumlah  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang ditambahkan kedalam campuran pelet nikel laterit.

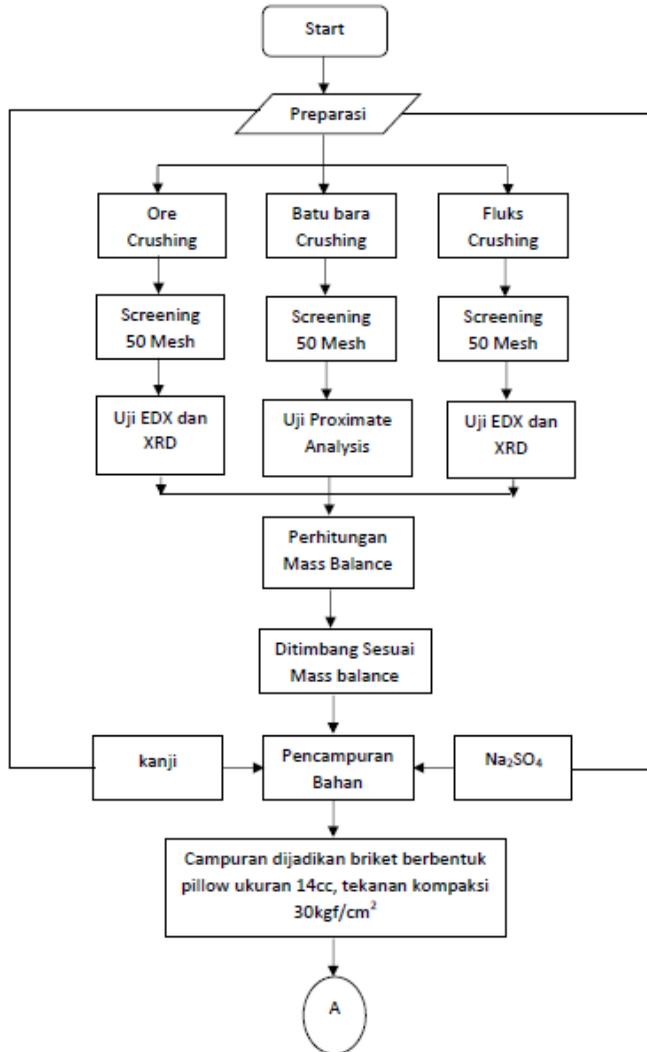
Kenaikan waktu pemanggangan reduksi dari 0,5 jam menjadi 4 jam tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap kenaikan kadar nikel dalam konsentrat. Temperatur pemanggangan reduksi mempengaruhi kandungan nikel dalam konsentrat. Kandungan nikel dalam konsentrat tertinggi sebesar 3,53% diperoleh pada temperatur pemanggangan reduksi  $1100^\circ\text{C}$  dan terendah sebesar 1,67% pada  $800^\circ\text{C}$ . Penambahan batubara dalam reduksi mempengaruhi kandungan nikel dalam konsentrat. Kandungan nikel dalam konsentrat yang tertinggi diperoleh pada penambahan batubara 20% sebesar 5,2% dan terendah sebesar

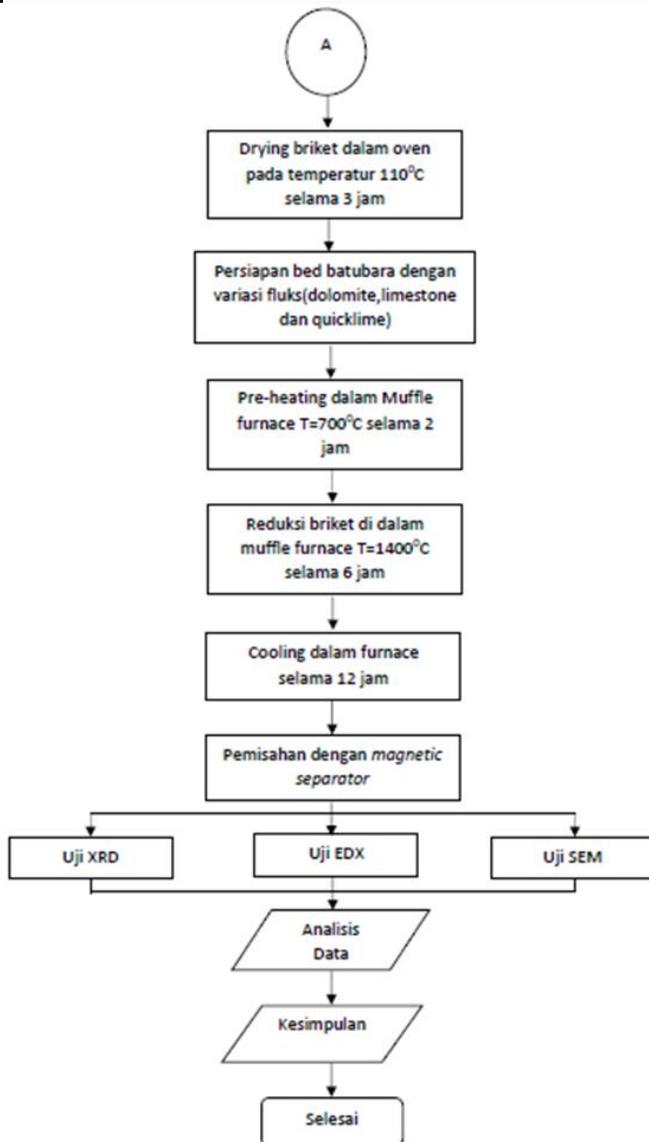


1,92% pada penambahan 5% batubara. Penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dalam reduksi mempengaruhi kandungan nikel dalam konsentrat. Kandungan nikel dalam konsentrat yang tertinggi diperoleh pada penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  20% sebesar 10,28% dan terendah sebesar 2,26% pada penambahan 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Kadar nikel tertinggi diperoleh pada konsentrat hasil pemanggangan reduksi pelet yang mengandung 10 % batubara dan 20 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang dipanggang pada temperatur 1000 °C.

## 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

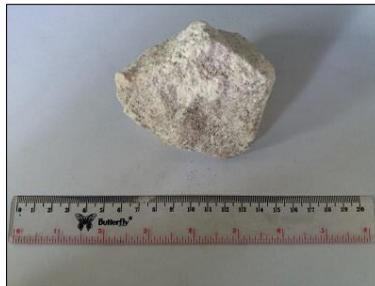
Batu bara yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu bara dengan jenis *sub-bituminus* dari Benuang, Kalimantan Selatan. Batu bara ini juga dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 *mesh*. Batu bara yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Batu Bara

### 3.2.3 Batu Kapur

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** Batu Kapur

### 3.2.4 Limestone

Limestone yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga 50 *mesh*.



**Gambar 3.5** Limestone

### 3.2.6 Quicklime

Quicklime yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga 50 mesh



**Gambar 3.6** Quicklime

### 3.2.4 Natrium Sulfat

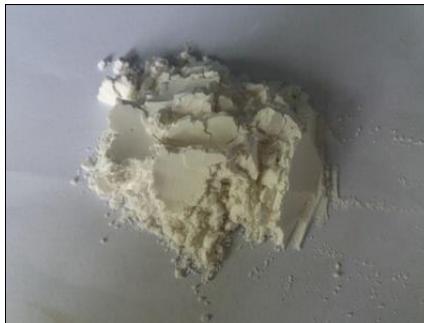
Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) digunakan dalam penelitian ini sebagai agen *selective reduction* pada nikel laterit. Natrium sulfat yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.5.



**Gambar 3.7** Serbuk Natrium Sulfat

### 3.2.5 Kanji

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



**Gambar 3.8** Serbuk Kanji

### 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 3.9 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 beriket yaitu  $14 \text{ cm}^3$  dan dimensi briket :

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



**Gambar 3.10** 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 3.11** *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 3.12** *Crucible*

### 3.3.4 Timbangan Digital

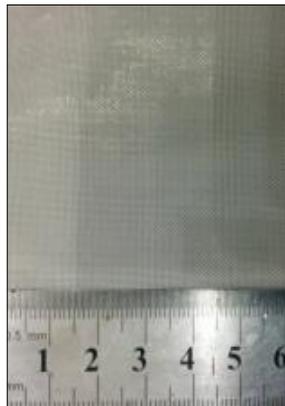
Timbangan digital digunakan dalam penelitian ini untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan campuran untuk pembuatan briket dan pembuatan *bed* batu bara, ditunjukkan pada gambar 3.11.



**Gambar 3.13** 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 3.14** Ayakan



### 3.3.6 *Thermocouple*

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



**Gambar 3.15** *Thermocouple*

### 3.3.7 *Blower*

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



**Gambar 3.16** *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 3.17 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 pengujian 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. Kanji 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 kanji 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.

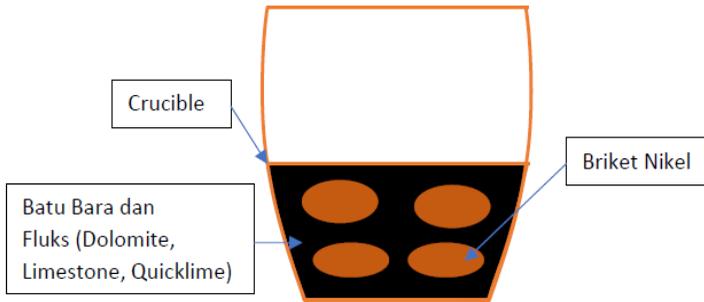
#### 3.4.2 Proses Reduksi Karbotermik

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses reduksi karbotermik 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.
3. Pemanasan awal di Muffle Furnace dilakukan hingga temperatur 700oC dengan heat rate 10oC/menit, kemudian dilakukan holding pada temperatur 700oC selama 2 jam.
4. Pemanasan selanjutnya dilakukan hingga temperatur 1400oC dengan heat rate 10oC/menit, kemudian dilakukan holding pada temperatur 1400oC 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.



**Gambar 3.18** Skematik Posisi Briket dan Bed Batu Bara Dolomit

### 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 3.19** XRD PAN Analytica

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

Alat :

1. Oven Pengering

Prosedur :

1. Mengeringkan sampel dalam pengering selama 15 menit hingga 30 menit dan ditimbang. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.



2. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan (104oC – 110oC). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengering. 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)

**a. Volatile Matter**

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

Alat :

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

Prosedur :

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



Perhitungan :

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

(3.2)

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen volatile matter dihitung

$$\text{Volatile Matter, \%} = C - D$$

(3.3)

Dimana,

C = *Weight Loss* (%)

D = *Moisture* (%)

**b. 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 :

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

(3.4)

Dimana,

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

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)



C = berat sampel yang digunakan (gr)

c. ***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 3.20 SEM-EDX***



**a. 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 Reduksi</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	100	Persen (%)
	$\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$	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 . Diperoleh perbandingan komposisi ore : batu bara: Natrium Sulfat : kanji adalah sebesar 100 : 60 : 19,835 : 6,85. Perbandingan komposisi masing masing bahan pada setiap variabel dihitung sesuai Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Perbandingan Komposisi Briket

Variabel Fluks	Bijih Nikel (gram )	Batu Bara (gram)	Fluks (gram)	Na <sub>2</sub> S O <sub>4</sub> (gram)	Kanji (gram)	Massa Total (gram)
Fluks Dolomit	100	60	44, 923	19,835	6,85	231,6 08
Fluks Limestone	100	60	48, 722 4	19,835	6,85	235,4 074
Fluks Quicklime	100	60	27, 284	19,835	6,85	213,9 69

Jika melalui perhitungan prosentase massa bijih tiap variasi briket dengan kadar Fe 69,3 % 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 3.3** Kadar Fe dan Ni pada Briket

Variabel Fluks	Massa Campuran Briket	Fe		Ni	
		Massa (gram)	%	Massa (gram)	%
Fluks Dolomit	179,835	55,37	30,78	1,25	0,70
Fluks Limestone	179,835	55,37	30,78	1,25	0,70
Fluks Quicklime	179,835	55,37	30,78	1,25	0,70



**Tabel 3.4 Rancangan Penelitian**

Perbandingan Komposisi Bahan dengan Jenis Fluks		Hasil Pengujian		
Jenis Fluks	Rasio Komposisi*	XRD	SEM	EDX
Dolomite	100 : 60 : 45 : 19,835 : 6,85	Y	Y	Y
Limestone	100 : 60 : 49 : 19,835 : 6,85	Y	Y	Y
Quicklime	100 : 60 : 28 : 19,835 : 6,85	Y	Y	Y

\*Komposisi Bahan : Ore : Batu Bara : Fluks :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : Kanji

### 3.5 Jadwal 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 3.5** Jadwal Penelitian

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

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 1.1 Karakterisasi Bahan

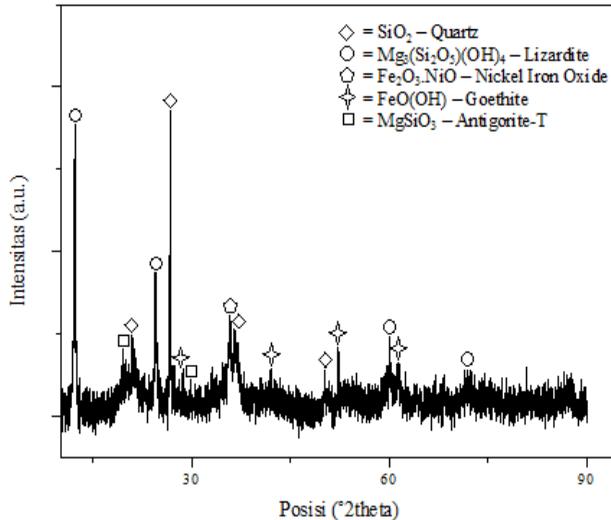
#### 1.1.1 Bijih Nikel Lateritik Limonitik

Bijih Nikel Lateritik yang digunakan berupa limonit yang berasal dari Sulawesi Tenggara. Untuk mengkarakterisasi bijih nikel lateritic limonitic terlebih dahulu dilakukan preparasi sampel dengan ayakan 50 mesh atau 300  $\mu\text{m}$ . Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi / kadar bijih nikel laterit. Sehingga didapatkan data komposisi bijih nikel laterit 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
%	1,2	55,3	31,4	0,4	5,0	1,9	0,	0,6	0,4	1,5	1,6
wt	5	7	9	2	4	4	2	7	6	4	2

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* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{NiO}$ ).

#### 4.1.2 Batubara

Batubara berperan penting menyediakan karbon dalam bertindak sebagai reduktor (gas CO hasil gasifikasi batubara) yang 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. Batu bara ini memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7204 kal/gr dan kadar karbon 42,35 %.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara

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

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 fluks, batu bara, Natrium Sulfat dan kanji untuk proses aglomerasi.

#### 4.1.3 Dolomit

Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terdapat pada dolomit. Sehingga, didapatkan data komposisi batu kapur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

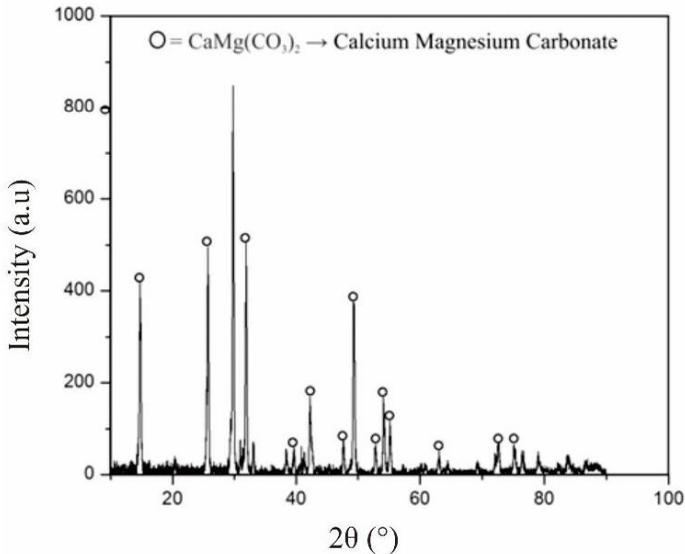


Tabel 4.3 Hasil Pengujian XRF Dolomit

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 XRF 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 seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.8.

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari 100 sampai 900 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 batu kapur dapat dilihat pada Gambar 4.2



**Gambar 4.2** Hasil Pengujian XRD Dolomit

Pengujian XRD dari batu kapur menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada batu kapur. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada batu kapur tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada batu kapur adalah *Calcium Magnesium Carbonate* ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

#### 4.1.4 Limestone

Limestone merupakan salah satu jenis fluks yang digunakan pada penelitian ini. Untuk mengetahui komposisi dari limestone maka dilakukan pengujian EDX. Sehingga, didapatkan data komposisi limestone seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

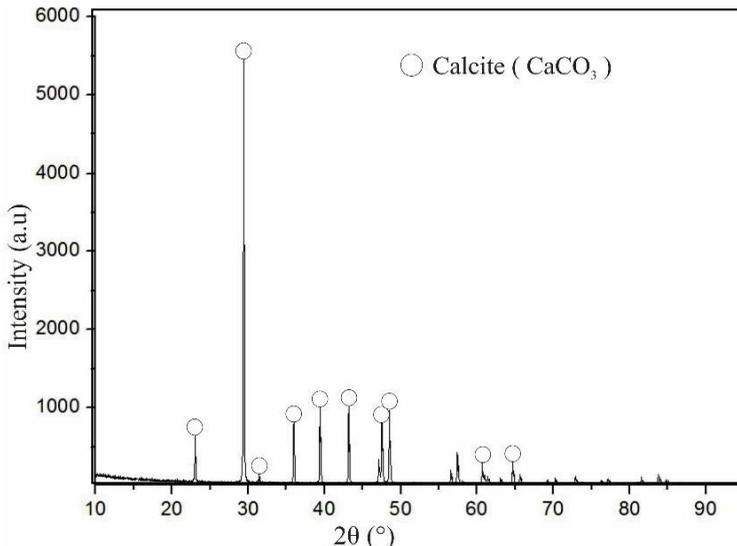


Tabel 4.4 Hasil Pengujian EDX Limestone

No	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1	Karbon	C	0,81
2	Oksigen	O	22,44
3	Aluminium	Al	0,513
4	Silika	Si	0,427
5	Iridium	Ir	2,337
6	Kalsium	Ca	65,367
7	Ytterbium	Yb	8,117

Dari pengujian EDX di atas tampak bahwa limestone memiliki kandungan Ca yang cukup tinggi, yaitu 65,36 %. Dari kandungan Ca tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *limestone* bukan *dolostone* atau dolomit. Dari segi proses aglomerasi, Ca yang membentuk senyawa  $\text{CaCO}_3$  akan membantu proses dengan cara menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.8.

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari 100 sampai 900 dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Batu kapur yang digunakan berupa limestone yang berasal dari Tuban. limestone telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau  $300 \mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari limestone dapat dilihat pada Gambar 4.3



**Gambar 4.3** Hasil Pengujian XRD *Limestone*

Pengujian XRD dari batu kapur menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *JCPDS Card*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada batu kapur. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada batu kapur tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada limestone adalah *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ).

#### 4.1.5 Karakteristik Quicklime

Quicklime merupakan salah satu jenis fluks yang digunakan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$ . Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi dari quicklime. Sehingga, didapatkan data komposisi quicklime seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

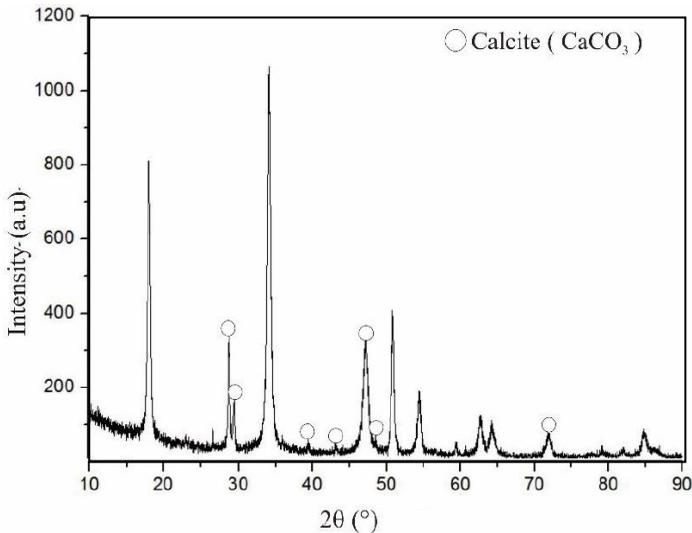


Tabel 4.5 Hasil Pengujian EDX Quicklime

No	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1	Karbon	C	2,86
2	Oksigen	O	28,417
3	Aluminium	Al	0,793
4	Silika	Si	0,536
5	Iridium	Ir	1,713
6	Kalsium	Ca	59,143
7	Ytterbium	Yb	6,54

Dari pengujian EDX di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Ca yang cukup tinggi, yaitu 59,143 %. Dari kandungan Ca tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *quicklime* bukan *limestone*. Dari segi proses aglomerasi, Ca yang membentuk senyawa CaO akan membantu proses dengan cara menyediakan gas CO<sub>2</sub> untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.8.

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi 2 $\theta$  dari 100 sampai 900 dan menggunakan panjang gelombang CuK $\alpha$  sebesar 1,54056 Å. Batu kapur yang digunakan berupa *quicklime* yang berasal dari Tuban. *Quicklime* telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau 300  $\mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari *quicklime* dapat dilihat pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Hasil Pengujian XRD *Quicklime*

Pengujian XRD dari *quicklime* menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *JCPDS Card* dari aplikasi Match!2 96-900-0096. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada *quicklime*. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada *quicklime* tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada *quicklime* adalah *Calcite* (CaCO<sub>3</sub>).

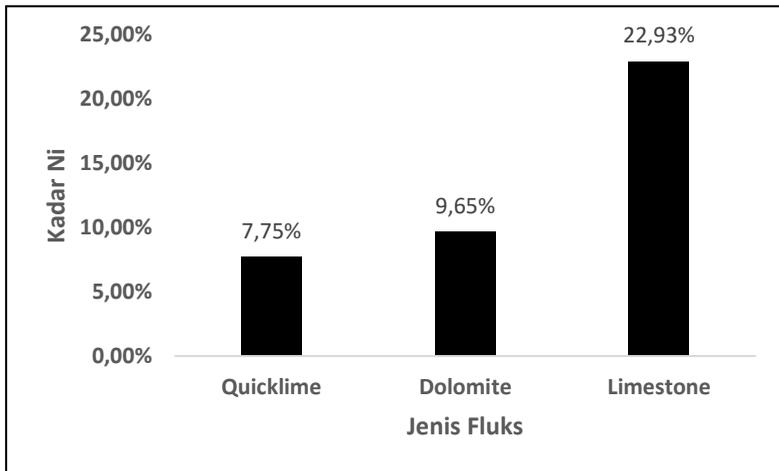
#### 4.2 Pengaruh Jenis Fluks Terhadap Kadar Fe dan Ni Produk

Variasi Jenis Fluks pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Fe dan Ni pada produk hasil proses reduksi. Dimana reaksi reduksi keduanya terjadi secara berurutan dan kemudian menghasilkan produk berupa logam.



#### 4.2.1 Pengaruh Jenis Fluks Terhadap Kadar Unsur Ni pada Produk Hasil Reduksi

Variasi jenis fluks pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Ni pada produk logam hasil proses reduksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.3



**Gambar 4.5.** Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Unsur Ni pada Produk Logam Hasil Proses Reduksi

Hasil Pengujian EDX menunjukkan bahwa kadar awal unsur bijih nikel lateritic limontik adalah 1,25%, setelah dilakukan proses reduksi pada temperature 1400°C dengan jenis fluks quicklime diperoleh kadar unsur Ni pada produk hasil reduksi sebesar 7,75% dengan peningkatan sebesar 6,5%. Peningkatan kadar Ni dengan fluks dolomite sebesar 8,4% dengan kadar unsur Ni produk hasil reduksi sebesar 9,65%. Peningkatan kadar unsur Ni dengan fluks dolomite lebih tinggi dibandingkan dengan fluks quicklime. Selanjutnya, peningkatan kadar unsur Ni tertinggi yaitu



dengan fluks limestone sebesar 21,68% dengan kadar unsur Ni produk hasil reduksi sebesar 22,93%.

Peningkatan kadar unsur Ni terjadi karena adanya dekomposisi goethite ((Fe,Ni)OOH) akibat reaksi dehidroksilasi pada temperatur 300<sup>o</sup>C yang merupakan perubahan struktural yang terjadi karena rusaknya struktur OH atau hilangnya mineral kristalin yang mengikat air. Hal tersebut terjadi secara alami pada proses reduksi sebagai efek dari pemanasan. Adanya reaksi dehidroksilasi menyebabkan terlepasnya senyawa NiO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada goethite ((Fe,Ni)OOH) (F.O.Connor, 2006).

Selain itu, dengan semakin meningkatnya temperatur menyebabkan terjadinya reaksi boudouard, yang menghasilkan gas CO sebagai akibat reaksi dari karbon (C) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) (Li, 2013). Gas CO yang terbentuk ini kemudian akan mereduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan NiO yang masih berikatan menjadi Fe dan Ni. Dilihat dari diagram ellingham, reaksi reduksi NiO oleh gas CO mulai terjadi pada temperatur 440<sup>o</sup>C. Sedangkan reaksi reduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan gas CO terjadi pada temperatur 650<sup>o</sup>C. Namun kedua reaksi reduksi tersebut belum akan terjadi pada temperatur tersebut oleh gas CO dikarenakan reaksi boudouard baru akan terjadi pada temperatur diatas 900<sup>o</sup>C.

Dikarenakan ore nikel yang kompleks menyebabkan reaksi reduksi terjadi secara simultan dimulai dari NiO menjadi Ni kemudian Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan selanjutnya tereduksi menjadi Fe. Namun, Ni yang terbentuk dari reaksi reduksi NiO tadi tidak berada dalam bentuk logam bebas melainkan berada dalam bentuk solid solution bersamaan dengan Fe membentuk FeNi (Olli,1995).

Peningkatan kadar unsur Ni dengan fluks Limestone menghasilkan peningkatan kadar tertinggi karena tersedianya massa fluks paling banyak yang diperoleh dari perhitungan neraca massa dengan asumsi jumlah mol CO<sub>2</sub> konstant untuk semua fluks. Jumlah massa fluks limestone yang banyak akan menghasilkan volume gas CO<sub>2</sub> yang besar sehingga menghasilkan volume gas



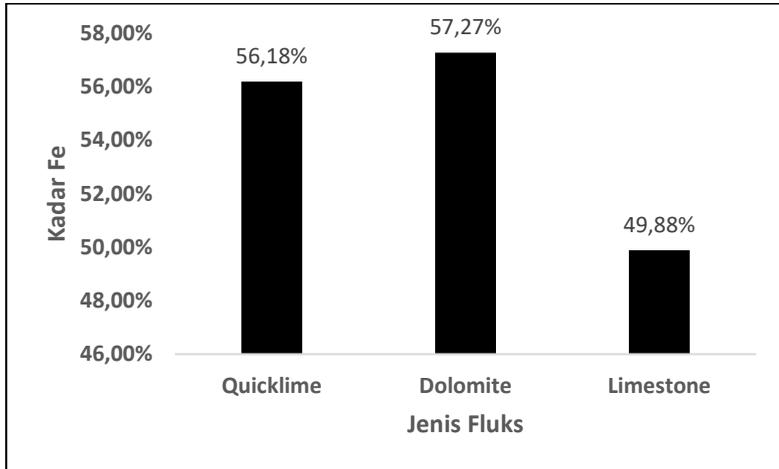
CO yang besar juga yang selanjutnya akan mereduksi senyawa NiO secara maksimum. Temperatur minimal untuk dekomposisi Limestone sekitar 800<sup>0</sup>C dengan semakin meningkatnya temperature maka waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan CO<sub>2</sub> semakin singkat (P,Engler dkk 1998). Temperatur pemanasan yang tinggi didukung dengan ukuran partikel yang kecil atau luas permukaan yang besar akan meningkatkan kemampuan reduksi.

Peningkatan kadar unsur Ni tertinggi setelah limestone ialah dolomite dikarenakan massa fluks dolomite tersedia dengan jumlah yang banyak juga (lebih banyak daripada quicklime, tetapi lebih sedikit daripada limestone). Temperatur dekomposisi yang optimal untuk dolomite adalah 900<sup>0</sup>C sehingga senyawa dolomite berubah menjadi CaO dan MgO dengan melepaskan CO<sub>2</sub>. Adanya MgO yang terbentuk dapat menghambat substitusi atom Ni terhadap atom Fe ke dalam Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ,sehingga adanya MgO dapat menurunkan kadar Ni (Fan, et al.2010)

Peningkatan kadar unsur Ni terendah diperoleh dengan fluks quicklime. Jumlah massa fluks yang paling rendah menyebabkan volume CO<sub>2</sub> yang dihasilkan paling rendah pula, sehingga menghasilkan kemampuan reduksi yang tidak optimal. Quicklime memiliki melting temperature yang sangat tinggi sehingga sulit terdekomposisi pada temperature tinggi (Mohamad Hassibi, 2002). Adapun factor lain yang mempengaruhi kenaikan kadar Ni pada briket dengan fluks limestone dan quicklime karena adanya CaO yang cukup banyak hasil dari dekomposisi termal senyawa CaCO<sub>3</sub> pada limestone dan quicklime. Dengan meningkatnya CaO maka akan meningkatkan reaksi reduksi dari NiO pada nikel laterit dengan cara meningkatkan energi aktivasinya. CaO berperan mengikat SiO<sub>2</sub> yang berikatan dengan NiO ( $\text{CaO} + 2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{NiO}$ ). NiO yang telah terputus ikatannya dengan SiO akan tereduksi menjadi Ni yang nantinya akan bersubstitusi dengan atom Fe kedalam Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> maupun calcium ferrite (Ca<sub>2</sub>(Ni,Fe)<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (Rodrigues, 2013).

### 4.2.2 Pengaruh Jenis Fluks Terhadap Kadar Unsur Fe pada Produk Hasil Reduksi

Variasi jenis fluks pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Fe pada produk logam hasil proses reduksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.6



**Gambar 4.6.** Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Unsur Fe pada Produk Logam Hasil Proses Reduksi

Hasil Pengujian EDX menunjukkan bahwa kadar awal unsur bijih Fe lateritik limontik adalah 55,37%, setelah dilakukan proses reduksi pada temperature 1400<sup>o</sup>C dengan jenis fluks quicklime diperoleh kadar unsur Fe pada produk hasil reduksi sebesar 56,18% dengan peningkatan sebesar 0,81%. Peningkatan kadar Fe tertinggi diperoleh dengan fluks dolomite sebesar 1,9% dengan kadar unsur Fe produk hasil reduksi sebesar 57,27%. Selanjutnya, terjadi penurunan kadar unsur Fe yaitu dengan fluks limestone sebesar 5,49% dengan kadar unsur Fe produk hasil reduksi sebesar 49,88%.

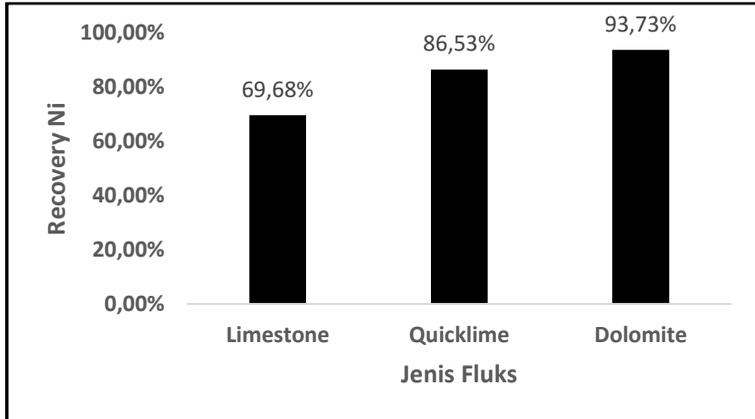


Peningkatan kadar Fe terjadi karena kandungan moisture dan volatile matter dalam batu bara dan nikel laterit hilang. Volatile Matter yang hilang pada nikel laterit umumnya disebut loss on ignition, zat yang hilang yaitu berupa gugus OH pada reaksi dekomposisi Geothite menjadi hematit yang terjadi pada temperature 700°C. (Tyroler & Landolt,1998). Kadar Fe bila dirutkan dari terendah ke tertinggi ialah limestone, quicklime, dan dolomite, Hal ini disebabkan oleh jumlah massa fluks limestone merupakan terbesar, selanjutnya disusul oleh massa fluks dolomite dan massa fluks terkecil ialah quicklime yang telah didapatkan melalui perhitungan neraca massa dengan asumsi mol CO<sub>2</sub> konstant. Jumlah massa fluks akan mempengaruhi kemampuan reduksi disebabkan berbedanya volume gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Semakin banyak massa fluks maka akan menghasilkan gas CO<sub>2</sub> semakin banyak. Peningkatan kadar Ni yang tinggi pada fluks limestone menyebabkan terjadinya penurunan kadar Fe.

Penurunan ini dikarenakan dengan adanya Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang ditambahkan sebagai selective agent akan terdekomposisi menjadi natrium yang dapat mengikat silikat dan S bereaksi dengan Fe membentuk FeS sesuai reaksi ( $\text{Na}_2\text{S} + \text{FeO} \rightarrow 2\text{SiO}_2 + \text{FeS} + \text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ). FeS merupakan komponen bukan magnet dan pengotor yang terpisah dari hasil reduksi mengalami pemisahan magnetic sehingga menurunkan kadar Fe pada hasil reduksi. Dengan adanya Fe Sini juga akan meningkatkan selektivitas Ni sehingga kadar Ni pada konsentrat akan bertambah (Guang Li,2012)



### 4.3 Pengaruh Jenis Fluks Terhadap Recovery Fe dan Ni Produk



**Gambar 4.7** Recovery Ni Produk Hasil Reduksi

Untuk mengetahui perolehan (*recovery*) nikel dilakukan dengan membandingkan massa nikel awal dengan massa nikel hasil proses reduksi. Massa Ni hasil proses reduksi yang dihitung adalah dari hasil metal dan serbuk, perhitungan massa Ni dilakukan dengan mengalikan kadar Ni dengan total massa perolehan hasil reduksi (metal dan serbuk). Perhitungan massa Ni hasil reduksi ditampilkan pada tabel 4.8., sedangkan perhitungan *recovery* Ni ditunjukkan pada persamaan 4.1.

**Tabel 4.6** Perhitungan Massa dan *Recovery* Ni Hasil Reduksi

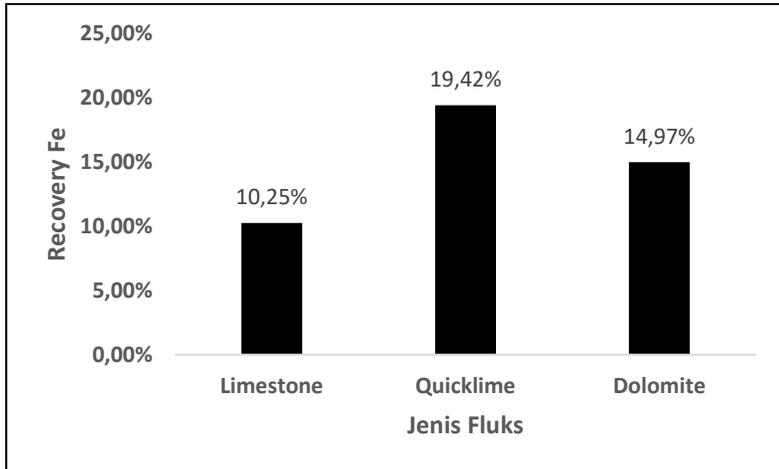
Fluks	Wt Serbuk total (gr)	Wt Metal Total (gr)	% Ni Metal	% Ni Serbuk
Limestone	8	0,2	22,93%	5,96%
Quicklime	20	2	7,75%	2,47%
Dolomite	20	2	9,65%	2,55%



Dari gambar 4.5 Grafik Recovery Ni setelah proses reduksi diperoleh bahwa Recovery Ni tertinggi adalah fluks dolomite sebesar 93,73%. Selanjutnya Recovery Ni terbesar setelah dolomite ialah dengan menggunakan fluks Quicklime dengan recovery sebesar 86,53% dan Recovery terkecil didapatkan dengan fluks Limestone sebesar 69,68%.

Recovery Ni tertinggi didapatkan dari jumlah massa logam produk hasil reduksi yang besar diikuti dengan peningkatan kadar Ni pada logam produk hasil reduksi. Jenis fluks dolomite menghasilkan Recovery Ni tertinggi karena optimalnya peran  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebagai agen selektivitas yang mampu meningkatkan perolehan Ni sebagai akibat dari penurunan perolehan Fe yang berikatan dengan S membentuk FeS yang merupakan senyawa pengotor, hal ini ditunjukkan oleh gambar 4.13 hasil dari slag fluks dolomite yang banyak mengandung FeS.

Selain itu, unsur pengotor seperti Aluminium silika lebih sedikit ditemukan dibandingkan jenis fluks limestone dan quicklime sehingga unsur Ni tidak banyak berikatan unsur pengotor yang ditunjukkan pada gambar 4.10 produk logam hasil reduksi. Ditemukannya Fasa Retgersite ( $\text{NiO} \cdot 10\text{S}$ ) pada fluks limestone dan quicklime menyebabkan turunnya recovery Ni karena adanya Ni yang berikatan dengan unsur selain Fe. Untuk memisahkan Ni dari Fasa Retgersite sangat sulit karena Ni relative soluble dalam regersite (Clifford Ffrondel and Charles Palache).



**Gambar 4.8** Recovery Fe Produk Hasil Reduksi

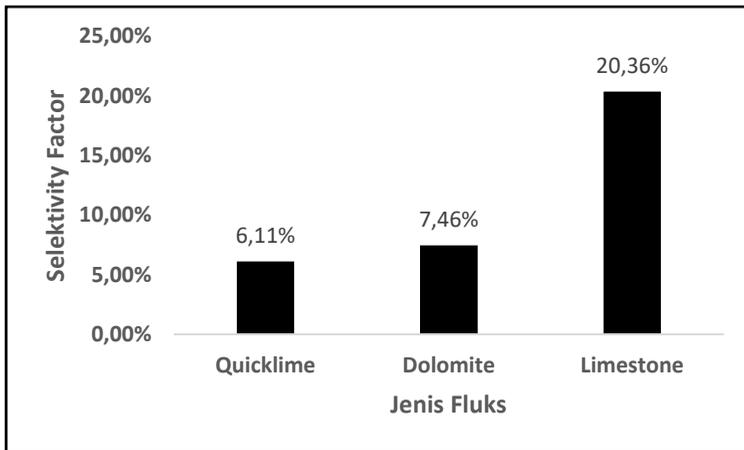
Dari gambar 4.6 Grafik Recovery Fe setelah proses reduksi diperoleh bahwa Recovery Fe tertinggi adalah fluks Quicklime sebesar 19,42%. Selanjutnya, Recovery Fe terbesar setelah quicklime ialah jenis fluks dolomite dengan recovery sebesar 14,97% dan recovery Fe terkecil diperoleh dengan fluks limestone sebesar 10,25%. Recovery yang kecil untuk Fe disebabkan adanya agen selektivitas yang menurunkan perolehan Fe karena berikatan dengan S membentuk FeS yang merupakan senyawa pengotor. (Guang Li, 2012). Adanya senyawa MgO pada fluks dolomite akan mengikat Fe membentuk FeMgO yang merupakan unsur pengotor.

Dengan semakin banyaknya MgO yang diberikan, akan semakin meningkatkan pembentukan fasa magnetit dikarenakan MgO bereaksi dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  membentuk  $(\text{Fe},\text{Mg})_3\text{O}_4$  (El-Hussiny, et 2016). Pada fluks limestone seiring meningkatnya temperature maka kandungan gas CO dalam atmosfer reduksi semakin berkurang, hal ini menyebabkan Fe yang telah tereduksi akan



kembali teroksidasi menjadi besi oksida. Besi oksida ini dapat bereaksi dengan magnesium silikat yang membentuk fasa *forsterite* ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ ) sehingga Fe terjebak dalam fasanya dan sulit untuk direduksi kembali, sehingga perolehan Fe hasil reduksi menurun (Rudy dkk.,2016). Oleh karena itu recovery Fe dengan fluks quicklime lebih baik dibandingkan fluks dolomite dan limestone.

#### 4.4 Pengaruh Jenis Fluks Seletivity Factor



**Gambar 4.9** Nilai Selectivity Factor

Dalam proses reduksi bijih nikel laterit peningkatan kadar Ni dan Fe saling berpengaruh, artinya dengan meningkatnya kadar Fe akan menurunkan kadar Ni begitu pula sebaliknya, sehingga dalam upaya mendapatkan kadar Ni peningkatan kadar Fe harus dibatasi. Dalam proses reduksi bijih nikel lateri faktor selektivitas ini dipengaruhi oleh atmosfer reduksi dimana menurut semakin rendah atmosfer reduksi akan semakin meningkatkan faktor selektivitas (Pickles dkk.,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 direpresentasikan dengan kadar Ni dan Fe hasil reduksi. Nilai faktor selektivitas yang dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya ditampilkan pada Tabel 4.10., sedangkan faktor selektivitas pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4.7.

$$\text{Selektivitas} = \frac{\% \text{ Fe awal} \times \% \text{ Ni akhir}}{\% \text{ Ni awal} \times \% \text{ Fe akhir}}$$

**Tabel 4.7** Perbandingan Selektivitas factor Beberapa Penelitian

Nama Peneliti	Reduktan	Aditif	Waktu Reduksi	Temperatur Reduksi	Selektivitas factor
Zulfiandi(2016)	Batu-bara	-	1 jam	1400	1,6
Rudi dkk(2016)	Batu-bara	Na <sub>2</sub> S O <sub>4</sub>	1 jam	1000	1,87
R Elliot dkk (2016)	Batu-bara	Sulfur	1 jam	1000	1,69
Shiwei dkk (2015)	Batu-bara	NaCl	30 min	1200	1,25

Nilai selektivitas terendah didapatkan pada fluks quicklime sebesar 6,11. Fluks dolomite memiliki nilai selektivitas lebih tinggi dari quicklime sebesar 7,46 namun nilai selektivitas factor tertinggi diperoleh dengan fluks limestone sebesar 20,36 hal ini ditunjukkan dengan kadar Ni produk hasil reduksi yang tinggi sedangkan kadar Fe mengalami penurunan akibat Fe berikatan dengan unsur S membentuk FeS (Guan Li,2012). Pada jenis fluks quicklime dan dolomite terjadi peningkatan kadar Ni tetapi tidak sebesar fluks limestone, kadar Fe pada fluks quicklime dan dolomite masih cukup tinggi sehingga nilai selectivity factorynya tidak terlalu tinggi.

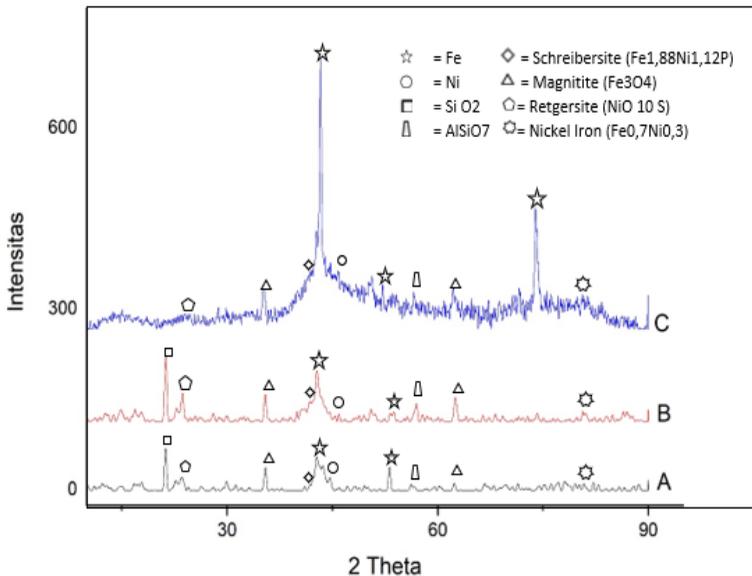


## 4.5 Pengaruh Jenis Fluks Terhadap Senyawa Produk Hasil Reduksi

Untuk mengetahui fasa apa saja yang terbentuk pada Produk Hasil Reduksi maka dilakukan karakterisasi XRD. Produk hasil reduksi terdiri dari dua yaitu logam dan slag.

### 4.5.1 Logam Hasil Proses Reduksi

Karakterisasi XRD untuk produk logam hasil proses reduksi dapat dilihat pada gambar 4.8 dimana label A (berwarna hitam) ialah quicklime, label B (berwarna merah) adalah Limestone dan label C (berwarna biru) adalah Dolomite.



**Gambar 4.10** Hasil Pengujian XRD pada Metal Hasil Proses Reduksi dengan Variasi Jenis Fluks



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

**Tabel 4.8** Identifikasi Fasa pada Metal Hasil Proses Reduksi

No	Fasa	Rumus Kimia
1	Silikia oksida	SiO <sub>2</sub>
2	Aluminium Silica	AlSiO <sub>7</sub>
3	Retgersite	NiO 10S
4	Magnetite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
5	Schreibersite	Fe <sub>1,88</sub> Ni <sub>1,12</sub> P
6	Fe	Fe
7	Ni	Ni
8	Nickel Iron	Fe <sub>0,7</sub> Ni <sub>0,3</sub>

Hasil proses reduksi variasi jenis fluks quicklime(A) menghasilkan logam hasil proses reduksi. Pada Gambar 4.8 (A) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak 2 $\theta$  21,26 ialah aluminium silica yang intensitasnya paling tinggi, fasa ini merupakan pengotor yang belum tereduksi oleh gas CO sehingga masih terikat pada metal hasil reduksi. Selanjutnya pada puncak 2 $\theta$  26,30 terdapat fasa Retgersite dimana unsur Ni berikatan dengan unsur pengotor S. Pada puncak 2 $\theta$  35,43 dan 62,52 terdapat fasa magnetite mengindikasikan telah terjadinya reduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan gas CO hasil reaksi boudard. Fasa Scheribersite yang merupakan nickel iron ditemukan pada peak 2 $\theta$  41,22. Fasa logam Fe banyak ditemukan pada peak 2 $\theta$  42,79 , 50,03 dan 73,25. Fasa Ni ditemukan pada puncak 2 $\theta$  43,58. Hal ini menunjukkan bahwa proses reduksi langsung telah terjadi dimana Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mengalami rangkaian reaksi reduksi seperti reaksi 2.3 menghasilkan Fe dan NiO tereduksi menghasilkan fasa Ni seperti reaksi 2.6. Fasa Nickel Iron juga ditemukan pada puncak 2 $\theta$  76,16 dimana unsur Fe berikatan dengan Ni membentuk FeNi.



Pada gambar hasil pengujian XRD hasil reduksi dengan variasi jenis fluks Limestone (B) , puncak tertinggi adalah fasa *Nickel Iron* ( $\text{Fe}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$ ), hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi reduksi dengan adanya penyedia  $\text{CO}_2$  dari limestone 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 NiO mejadi Fe dan Ni.

Kemudian Fe dan Ni yang telah tereduksi kemudian akan bergabung membentuk *solid solution* besi nikel metalik seperti pada persamaan (2.3) dan (2.6) (Olli 1995). Kemudian besi dan nikel metalik yang telah terbentuk secara bertahap berkumpul dan membentuk partikel logam yang lebih besar. Pada Gambar 4.8 (B) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak  $2\theta$  76,16 merupakan fasa *Nickel Iron*, selain itu terdapat fasa Aluminium Silicate ( $\text{AlSiO}_2$ ) pada puncak  $2\theta$  yang merupakan unsur pengotor. Fasa retgersite juga ditemukan dengan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan fluks quicklime pada puncak  $2\theta$  26,30. Fasa Fe sebagai produk hasil reduksi ditemukan pada puncak  $2\theta$  42,80 , 49,51, 72,82 dan fasa Ni pada puncak  $2\theta$  43,58.

Pada gambar hasil pengujian XRD hasil reduksi dengan variasi jenis fluks dolomite (C), puncak tertinggi adalah fasa *Nickel Iron* ( $\text{Fe}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$ ), hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi reduksi dengan adanya penyedia  $\text{CO}_2$  dan karbon yang berperan dalam reaksi boduard untuk menghasilkan reduktor gas CO sehingga  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tereduksi menjadi Fe dan NiO tereduksi menjadi Ni, Fe dan Ni yang telah tereduksi kemudian bergabung membentuk *solid solution* besi nikel metalik seperti pada persamaan (2.24) dan (2.26). Puncak Nickel Iron pada fluks dolomite merupakan puncak nickel iron tertinggi dibandingkan fluks limestone dan quicklime. Pada fluks dolomite tidak ditemukannya intensitas unsur pengtor  $\text{SiO}_2$  yang begitu tinggi hal ini menunjukkan bahwa Ni banyak terikat pada fasa Fe. Fasa logam Fe banyak ditemukan pada peak  $2\theta$  42,79 , 50,03 dan 73,25. Fasa Ni ditemukan pada puncak  $2\theta$  43,58. Hal ini menunjukkan bahwa



proses reduksi langsung telah terjadi. Fasa Nickel Iron juga ditemukan pada puncak  $2\theta$  76,16.

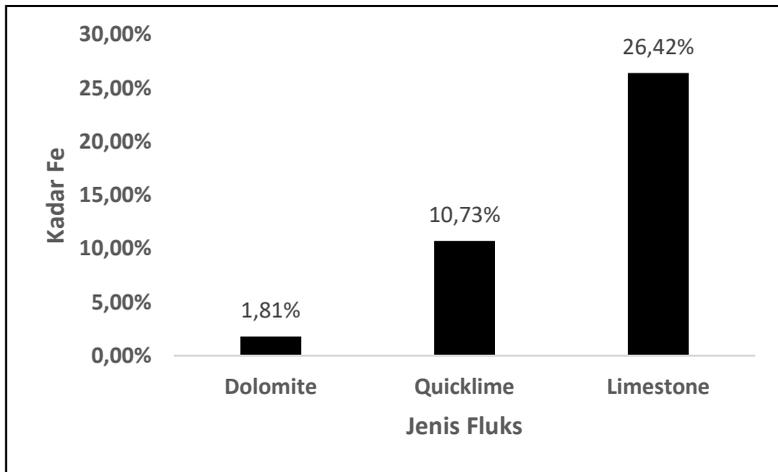
Peningkatan intensitas fasa *Nickel Iron* menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kandungannya, hal ini menunjukkan bahwa jumlah *Nickel Iron* yang terbentuk dengan jenis fluks dolomite lebih besar dibanding dengan fluks quicklime dan limestone.

Pada puncak  $2\theta$  42,81 yang merupakan fasa Fe yang terjadi pelebaran bentuk puncak. Pelebaran puncak hasil XRD menunjukkan bahwa terjadinya bentuk kristal amorfus yang mempunyai struktur kristal tidak beraturan. Menurut Inoue (1995), padatan amorfus sering terjadi pada paduan karena beberapa faktor, salah satunya adalah dikarenakan pendinginan yang terlalu cepat sehingga struktur kristalin belum sempat terbentuk dan terkunci pada keadaan *glassy* sehingga disebut *glassy* metal atau amorfus metal.

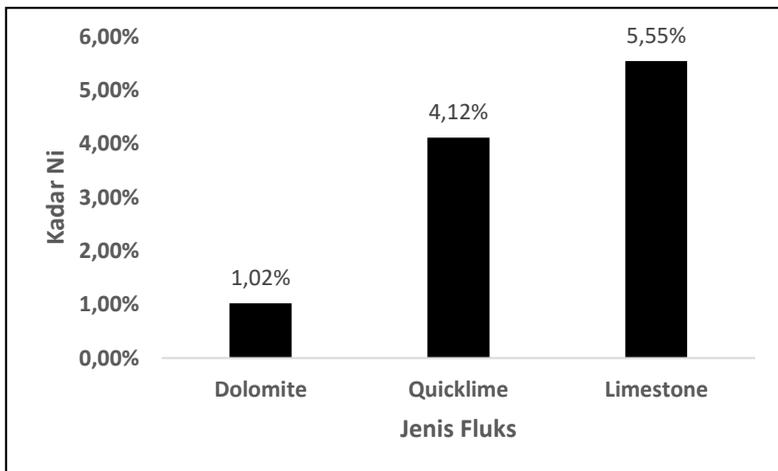
#### 4.5.1 Slag Hasil Proses Reduksi

Slag merupakan hasil produk reduksi yang dibuang dan bersifat non magnetik. Pengujian EDX dilakukan untuk melihat kadar Fe dan Ni pada slag hasil proses reduksi. Unsur Fe dan Ni yang terikat pada slag akan menjadi hasil yang dibuang pada proses reduksi. Pada gambar 4.11 dan 4.12 dapat dilihat kadar Fe dan Ni pada slag.

Pada slag didapatkan kadar Fe tertinggi pada fluks limestone sebesar 26,42% . Pada jenis fluks quicklime diperoleh kadar Fe sebesar 10,73% dan kadar Fe terendah sebesar 1,81% ditemukan pada fluks Dolomite. Kadar Fe yang tinggi pada slag hasil fluks limestone menyebabkan recovery Fe nya paling kecil. Kadar Fe yang rendah pada slag fluks dolomite menunjukan bahwa Fe sedikit terikat ke dalam slag sehingga diperoleh recovery Fe tertinggi pada fluks dolomite.



**Gambar 4.11** Kadar Fe dalam Slag Hasil Reduksi

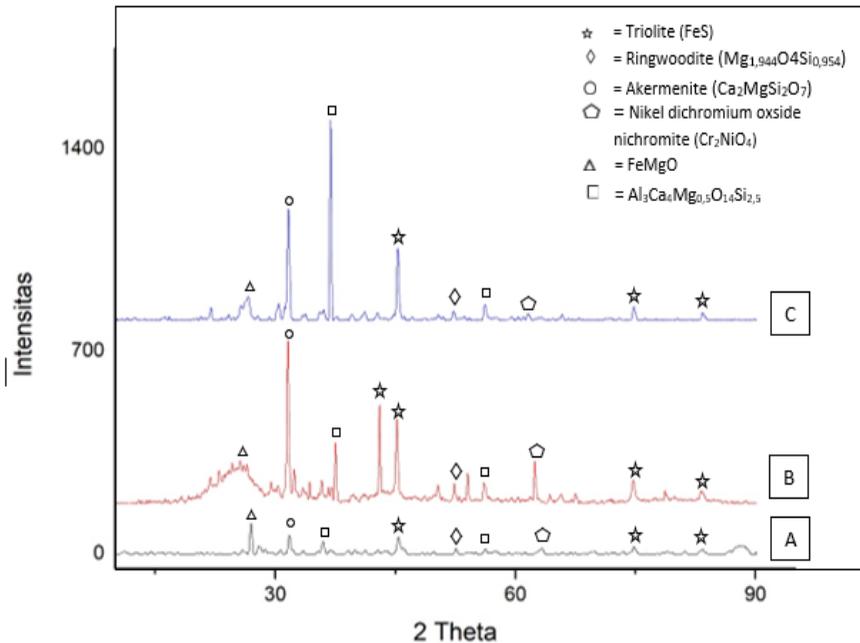


**Gambar 4.12** Kadar Ni dalam Slag Hasil Reduksi



Pada slag didapatkan kadar Ni tertinggi pada fluks limestone sebesar 5,55% . Pada jenis fluks quicklime diperoleh kadar Ni sebesar 4,12% dan kadar Ni terendah sebesar 1,02% ditemukan pada fluks Dolomite. Kadar Ni yang rendah pada slag fluks dolomite menunjukkan bahwan Ni sedikit terikat ke dalam slag sehingga diperoleh recovery Ni tertinggi pada fluks dolomite

Karakterisasi XRD untuk slag hasil proses reduksi dapat dilihat pada gambar 4.13 dimana label A (berwarna hitam) ialah quicklime, label B (berwarna merah) adalah Dolomite dan label C (berwarna biru) adalah Limestone.



**Gambar 4.13** Hasil pengujian XRD pada slag hasil proses reduksi

Fasa fasa yang teridentifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.9

**Tabel 4.9** Identifikasi Fasa Pada Slag Hasil Reduksi

No	Fasa	Senyawa kimia
1	Feromangan oksida	FeMgO
2	Akermenite	Ca <sub>2</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
3	AlCaMgSiO	AlCaMgSiO
4	Triolite	FeS
5	Ringwoodite	MgOSi
6	Nickel dichromium oksida	Cr <sub>2</sub> NiO <sub>4</sub>

Hasil proses reduksi variasi jenis fluks quicklime(A) menghasilkan slag hasil proses reduksi. Pada Gambar 4.8 (A) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak 2θ 25,9 ialah FeMgO yang memiliki intensitas paling tinggi dimana unsur Fe berikatan dengan MgO yang membawa Fe terikut dalam slag. Selanjutnya pada puncak 2θ ialah akermenite yang menunjukkan unsur Ca berikatan dengan unsur pengotor. Unsur Ni berikatan dengan chromium membentuk Nickel dichromium oksida pada puncak 2θ 65,91. Fasa trolite (FeS) ditemukan pada puncak 2θ 45,17 , 76,00 , 83,59 yang menunjukkan reaksi dari agen selektivitas dimana unsur S akan berikatan dengan Fe membentuk FeS (Guan Li,2012).

Pada gambar hasil pengujian XRD slag hasil reduksi dengan variasi jenis fluks Dolomite (B) terlihat pada puncak 2θ 25,01 didapatkan fasa FeMgO terlihat mengalami pelebaran hasil puncak. Pelebaran puncak hasil XRD menunjukkan bahwa terjadinya bentuk kristal amorfus yang mempunyai struktur kristal tidak beraturan Inoue (1995). Fasa akermenite pada puncak 2θ 31,58 merupakan unsur pengotor yang memiliki intensitas paling tinggi. Adanya Ni yang membentuk nickel dichromium oksida juga ditemukan pada puncak 2θ 65,91. Fasa Triolite ditemukan paling

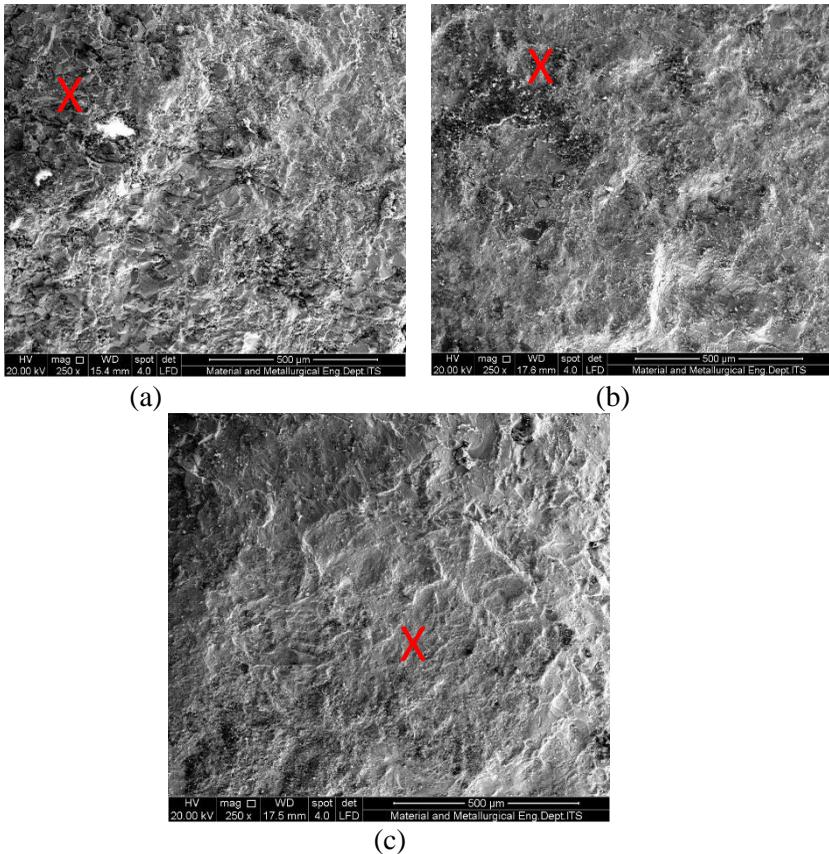


banyak pada puncak  $2\theta$  45,17 , 45,28 , 76,01 , 83,60 yang terbentuk akibat Fe berikatan dengan unsur S dari agen selektivitas  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Pada gambar hasil pengujian XRD slag hasil reduksi dengan variasi jenis fluks Limestone (C) ditemukan fasa  $\text{AlCaMgSiO}$  yang memiliki intensitas paling tinggi pada puncak  $2\theta$  34,29. Pada puncak  $2\theta$  25,9 ditemukan fasa  $\text{FeMgO}$  yang menyebabkan adanya Fe yang hilang akibat berikatan dengan unsur pengotor. Fasa trolite ( $\text{FeS}$ ) ditemukan tersebar pada puncak  $2\theta$  45,28 , 76,00 , dan 83,59. Unsur pengotor yang lain seperti fasa Ringwoodite ditemukan pada puncak  $2\theta$  59,57.

#### **4.6 Pengaruh Jenis Fluks Terhadap Morfologi Produk Hasil Reduksi**

Hasil Proses Reduksi Langsung dengan variasi jenis fluks dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui morfologi dan perilaku pembentukan logam setelah proses reduksi. Pengujian SEM dilakukan dengan perbesaran 250x untuk mengetahui apakah hasil reduksi benar benar telah membentuk metal.



**Gambar 4.14** Gambar Morfologi Hasil Proses Reduksi dengan Variasi Jenis Fluks (a) quicklime, (b) Dolomite, (c) Limestone

Terlihat beberapa perbedaan morfologi hasil proses reduksi dengan variasi jenis fluks. Pada gambar (a) fluks quicklime terlihat belum meratanya aglomerat yang terbentuk. Aglomerat dapat dilihat sebagai bentuk bulat yang bergabung. Aglomerat saling bergabung membentuk partikel yang lebih besar namun, masih terlihat daerah batas antara 2 aglomerat yang menempel, hal ini menunjukkan bahwa aglomerat masih belum menyatu dengan



sempurna. Aglomerat ini sudah berupa metal yang yang telah tereduksi ditunjukkan dengan kandungan unsur pada uji EDX di beberapa spot dimana hasilnya menunjukkan kandungan Fe yang tinggi.

Pada gambar (b) fluks dolomite terlihat permukaan yang lebih merata dibandingkan fluks quicklime, aglomerat mulai menyatu tetapi masih terdapat daerah batas antar 2 aglomerat yang menempel namun daerah batas tidak sebesar fluks quicklime. Dari gambar dapat terlihat bahwa masih terdapat sisa-sisa aglomerat kecil yang menempel pada hasil reduksi, namun aglomerat terlihat menempel dengan ketat hal ini menandakan bahwa aglomerat mulai bergabung dan menyatu.

Pada gambar (c) fluks limestone terlihat permukaan yang sudah merata untuk semua daerah. Terlihat pada gambar bahwa permukaannya lebih solid dan daerah batas antar aglomerat telah menyatu sehingga membentuk suatu aglomerat yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan jenis fluks dolomite aglomerat – aglomerat hasil reduksi telah menyatu dengan baik sehingga telah terbentuk suatu aglomerat baru yang lebih besar yang bisa disebut dengan partikel metal.

Dari uji dengan EDX di beberapa spot terlihat bahwa rata-rata kadar Ni meningkat sedangkan kadar Fe menurun pada fluks limestone dibanding dengan variabel fluks lain hal ini karena adanya  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang mampu meningkatkan selektivitas reduksi Ni dengan menurunkan kadar Fe, dimana Fe akan terikat oleh sulfur yang berasal dari dekomposisi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sehingga membentuk senyawa FeS. Senyawa FeS merupakan pengotor sehingga tidak akan bermigrasi dan bergabung dengan aglomerat lainnya sehingga kadar Fe pada partikel metal menurun.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisa data dan pembahasan dari hasil simulasi maka kesimpulan yang diperoleh, yaitu:

1. Penggunaan variasi jenis fluks dapat mempengaruhi kadar Ni dan Fe dalam pada hasil proses reduksi. Peningkatan kadar Ni tertinggi didapatkan saat briket direduksi dengan jenis fluks limestone sebesar 21,68 %. Peningkatan kadar Fe tertinggi didapatkan saat briket direduksi dengan jenis fluks dolomite sebesar 1,79 %.
2. Penggunaan variasi jenis fluks mempengaruhi *recovery* Ni dan Fe pada hasil proses reduksi. *Recovery* Ni paling tinggi didapat dengan jenis fluks dolomite yaitu sebesar 93,73%, sedangkan *recovery* Fe paling tinggi didapatkan dengan jenis fluks quicklime yaitu sebesar 19,42%.
3. Dilihat dari morfologi hasil reduksi dengan variasi jenis fluks limestone mempunyai bentuk morfologi paling baik dengan terbentuknya aglomerat metal yang *solid* dan lebih besar
4. Dilihat dari segi peningkatan kadar Ni yang paling tinggi, *recovery* logam Ni dan Fe dan morfologi hasil reduksi yang paling baik, maka jenis fluks yang paling optimal adalah reduksi dengan jenis fluks dolomite.

#### **5.2. Saran**

Saran untuk riset selanjutnya dari penelitian ini agar diperoleh analisis yang lebih akurat, adalah:

1. Melakukan penelitian reduksi bijih nikel laterit limonit dengan perbandingan gas CO/CO<sub>2</sub> dalam atmosfer reduksi.
2. Melakukan penelitian tentang mekanisme pembentukan logam selama proses reduksi



3. Mempelajari tentang mekanisme pemisahan Fe dan Ni selama proses reduksi
4. Memperhatikan kehomogenitas temperature pemanasan agar diperoleh hasil proses reduksi yang optimum.

## 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., The Metallurgical Society, 117th TMS Annual Meeting, Phoenix, Arizona, TMS 1988
- Crundwell, Frank K. "*Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals*." Amsterdam: Elsevier Ltd, 2011.
- Dalvi, Ashok D, W Gordon Bacon, and Robert C Osborne. 2004. "The Past and The Future of Nickel Laterites." **International Convention**. 1-7.
- Eko Sulistiyono, dkk . "Pengaruh Ukuran Butiran Terhadap Struktur Kristal Pada Proses Kalsinasi Parsial Dolomit".Tangerang Selatan.LIPI,2015
- Elliot, A., Fletcher, H., Li, J., Watling, H. and Robinson, D. J., 2009, "Heap leaching of nickel laterites-A challenge

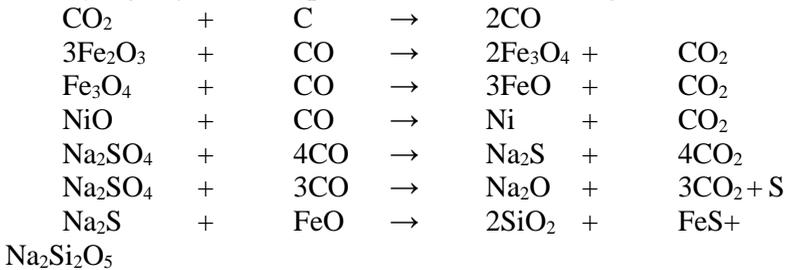
- and an opportunity”, *Hydrometallurgy of Nickel and Cobalt 2009, Proceeding of the 39th Annual Hydrometallurgy Meeting held in the conjunction with the 48th Annual Conference of Metallurgists of CIM*, 537-549.
- G.M. Mudd. 2009. “Nickel Sulfide Versus Laterite : The Hard Sustainability Challenge Remains”, *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
- Hassibi, Mohamad. 2015. “Factor Affecting the Quality of Quicklime”. Chemco Systems, L.P.
- 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.
- 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, Shoubao. "Study of Nickeliferous Laterite Reduction." 1999: 1-8
- Michishita, Haruyasu., Tanaka, Hidetoshi. 2010. “Prospects for Coal-based Direct Reduction Process”: 1-2.
- 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.

- P. Engler, et al. "Non-isothermal. In Situ XRD. Analysis of Dolomite Decomposition". *The Rigaku. Journal*, vol. 5/No. 2, 1988.
- Rodrigues, Filipe Manuel. **"Investigation Into The Thermal Upgrading of Nickeliferous Laterite Ore."** *Material Science*, 2013: 1-10.
- Rudi Subagja, Agus Budi. P., Wahyu MS. (2016). **Peningkatan Kadar Nikel Dalam Laterit Jenis Limonit Dengan Cara Peletasi, Pemanggang 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, **"Minerals Yearbook"**, United States Geological Survey, USA, Years 2007 to 2012 (URL:<http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/myb.html>).
- Tyroler, G.P, and C.A Landolt. *Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt*. New York: The Metallurgical Society, 1998.
- Yildirim, Halil, Hakan Morcali, Ahmet Turan, and Onuralp Yucel. 2013. **"Nickel Pig Iron Production from Lateritic Nickel Ores ."** *Ferronickel Production and Operation: 237*
- 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

### A. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Tanpa Fluks

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

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

- Hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- 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

$$\begin{aligned}\% \text{Wt } \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3}{2 \text{ Ar Fe}} \times \% \text{Wt Fe} \\ &= \frac{159,69}{2 \times 55,847} \times 55,37\% = 79,163 \%\end{aligned}$$

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

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 791,630 \text{ gram}$$

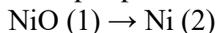
$$\text{NiO} = 15,906 \text{ gram}$$

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

$$\begin{aligned}\text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa } \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{791,639}{159,69} \\ &= 4,95 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{NiO} &= \frac{\text{massa NiO}}{\text{Mr NiO}} \\ &= \frac{15,906}{74,7094} \\ &= 0,0212 \text{ mol}\end{aligned}$$

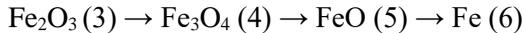
Dalam penelitian ini reduksi nikel oksida dan besi oksida pada laterit bertahap seperti berikut.





TUGAS AKHIR  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

---



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

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

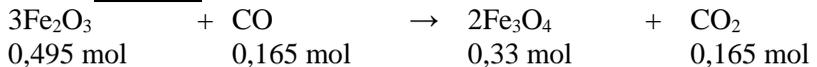
reduksi  $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} = 100\%$

reduksi  $\text{NiO} \rightarrow \text{Ni} = 100\%$

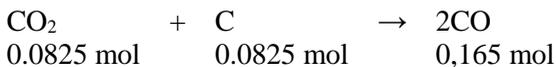
Natrium sulfat ditambahkan sebesar 10% dari massa total briket untuk meningkatkan agregasi dari Fe-Ni.

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



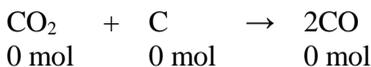
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara



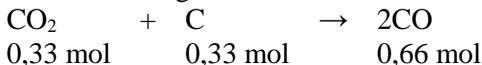
**b. Reaksi 2**



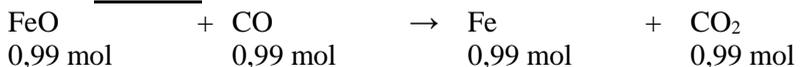
Reaksi Boduard



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

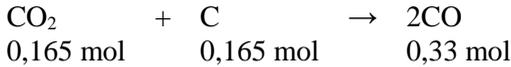


**c. Reaksi 3**

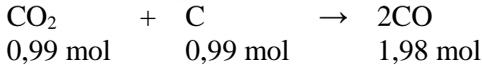




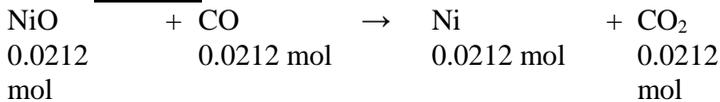
Reaksi Boduard



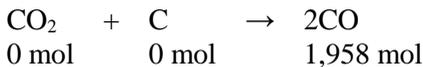
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 3 dengan C batu bara



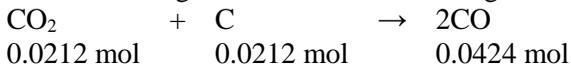
**d. Reaksi 4**



Reaksi Boduard

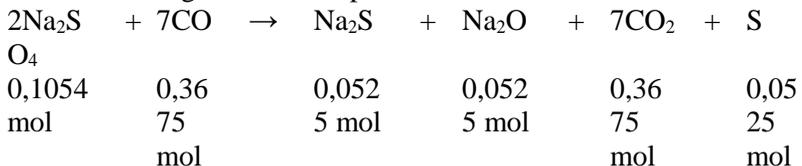


Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 3 dengan C batu bara

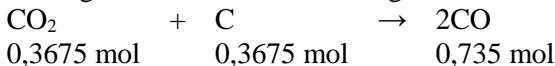


**e. Reaksi 5**

Semisal diketahui kebutuhan Natrium sulfat sebesar 10% berat briket 14,973 gram, maka diperoleh sebesar 0,1054 mol.



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



**Perhitungan Kebutuhan Batubara**

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0.0825 + 0,165 + 0 + 0,33 + 0,165 + 0,99 + \\ &0.0212 + 0.3675 = 2,1212 \text{ mol} \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

---

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 2,1212 \text{ mol} \times 12,01115 = 25,478 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 25,478 \\ &= 60,160 \text{ gram} \end{aligned}$$

Pembulatan jumlah batu bara dijadikan sebesar 60 gram.

#### Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat

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

Massa total briket tanpa fluks = massa ore + massa batu bara + massa limestone

$$\begin{aligned} &= (100 + 49,63 + 48,72) \text{ gram} \\ &= 198,3567 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka, massa natrium sulfat yang ditambahkan sebesar 19,835 gram

#### Perhitungan Kebutuhan Kanji

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 100 gram, batu bara 60 gram, natrium sulfat 19,835 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 6,85 gram

***Sehingga rasio perbandingan pembuatan briket komposisi ore : batu bara :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 100 : 60 : 19,835 : 6,85***

### **B. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Fluks Dolomite Batu Kapur**

Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur.

---



Hasil EDX Batu Kapur

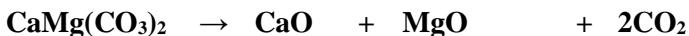
No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium Oksida	CaO	25.21
2.	Magnesium Oksida	MgO	24.23

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) Mempertimbangkan kebutuhan gas  $\text{CO}_2$  untuk reaksi boduard. Batu kapur berperan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$  untuk reaksi boduard yang akan menghasilkan gas reduktor  $\text{CO}$ , maka  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan dari dekomposisi termal pada dolomit perlu direaksikan dengan C pada batu bara sehingga akan diberi penambahan batu bara pada briket variasi fluks dolomit.

Perhitungan jumlah gas  $\text{CO}_2$

$$\begin{aligned}\text{Total mol CO}_2 &= 0,0826+0+0,1652+0,2393 \\ &= 0,4872\end{aligned}$$

Reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada dolomit yaitu :



$$\begin{aligned}\text{Massa dolomit yang dibutuhkan} &= \text{mol} \times \text{Mr CaMg}(\text{CO}_3)_2 \\ &= 0,2436 \times 184,405 \\ &= 44,923 \text{ gram}\end{aligned}$$

Karena safety factor dolomite dijadikan sebesar 45 gram



TUGAS AKHIR  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

---

**C. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Fluks Limestone**  
Limestone

Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam limestone yang diperoleh dari Tuban, Jawa Timur.

Hasil EDX Limestone

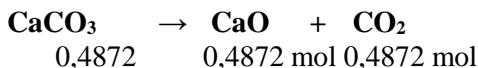
No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium Oksida	CaO	91,4508

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ )

Perhitungan jumlah gas  $\text{CO}_2$

$$\begin{aligned}\text{Total mol CO}_2 &= 0,0826 + 0,1652 + 0,2393 \\ &= 0,4872\end{aligned}$$

Reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada limestone yaitu :



Limestone berperan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$  untuk reaksi Boduard yang akan menghasilkan gas reduktor CO, maka  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan dari dekomposisi termal pada limestone perlu direaksikan dengan C pada batu bara, sehingga akan diberi penambahan batu bara pada briket variasi fluks fluks limestone.

$$\begin{aligned}\text{Massa limestone yang dibutuhkan} &= \text{mol} \times \text{Mr CaCO}_3 \\ &= 0,4872 \times 100 \\ &= 48,72 \text{ gram}\end{aligned}$$



Karena safety factor maka limestone dijadikan sebesar 49 gram.

### D. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Fluks Quicklime

Quicklime atau calcium oksida terbentuk dari limestone yang telah dikalsinasi pada range temperatur 850°C. Massa Quicklime yang dibutuhkan = mol x Mr CaO

$$= 0,4872 \times 56$$

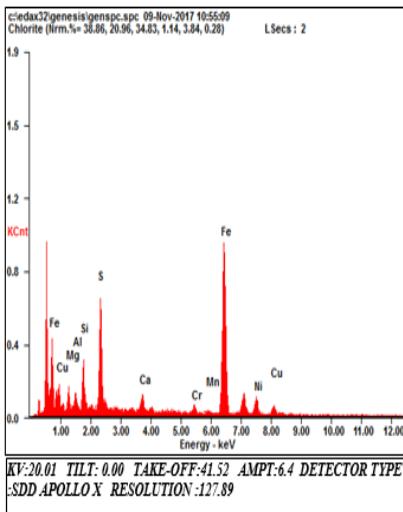
$$= 27,284 \text{ gram}$$

Karena safety factor maka limestone dijadikan sebesar 38 gram.

### Hasil Pengujian EDX

#### 1. Hasil EDX Logam dengan fluks Dolomite

Hasil EDX dengan fuks menunjukkan kadar Ni sebesar 3,73% dan Fe sebesar 46,73 %.



Element	Wt %	At %
MgK	03.29	06.32
AlK	02.11	03.66
SiK	05.12	08.51
S K	11.02	16.05
CaK	02.32	02.71
CrK	01.71	01.53
MnK	00.65	00.55
FeK	57.27	47.92
NiK	09.65	07.68
CuK	06.88	05.06

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

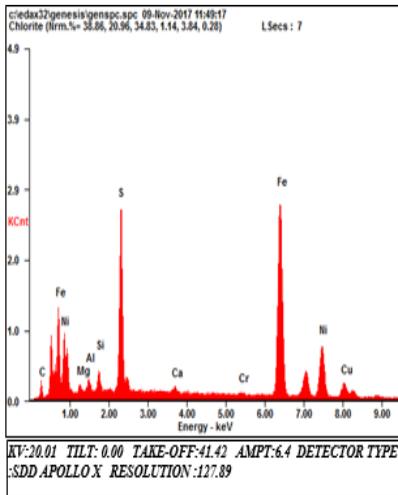


TUGAS AKHIR  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

---

## 2. Hasil Pengujian EDX Logam dengan fluks Limestone

Hasil EDX dengan fluks limestone menunjukkan kadar Ni sebesar 22,45% dan kadar Fe sebesar 49,42%.



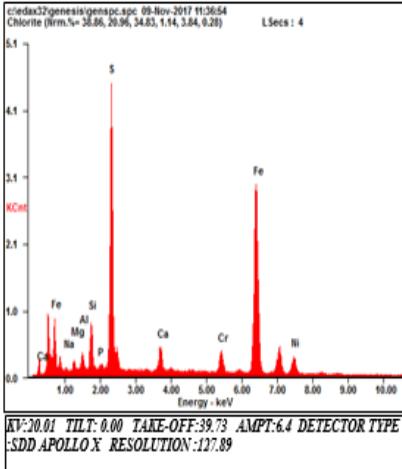
Element	Wt %	At %
C K	03.15	11.92
Mg K	00.99	01.85
Al K	01.27	02.13
Si K	01.53	02.47
S K	12.26	17.36
Ca K	00.60	00.68
Cr K	00.60	00.53
Fe K	49.42	40.18
Ni K	22.45	17.36
Cu K	07.72	05.52

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

## 3. Hasil Pengujian EDX logam dengan fluks Quicklime

Hasil EDX dengan fluks Quicklime menunjukkan kadar Ni sebesar 7,75% dan kadar Fe sebesar 56,18%.

TUGAS AKHIR  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

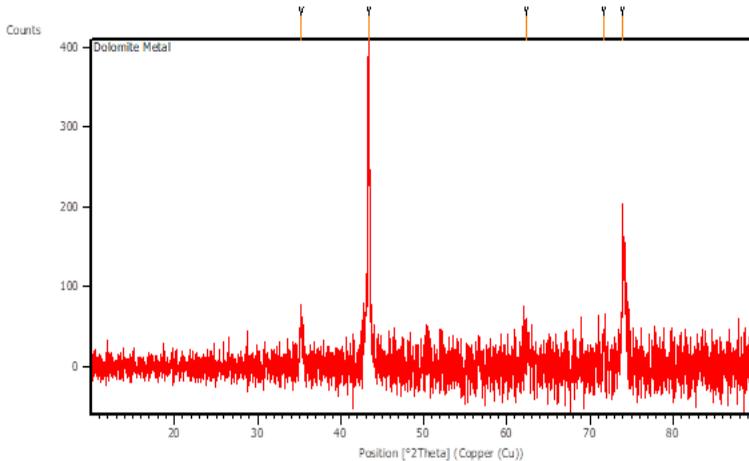


Element	Wt %	At %
NaK	00.47	00.90
MgK	01.19	02.18
AlK	01.70	02.82
SiK	04.08	06.48
PK	00.41	00.59
SK	21.05	29.32
CaK	02.78	03.09
CrK	04.40	03.78
FeK	56.18	44.93
NiK	07.75	05.90

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

## Hasil Pengujian XRD

### 1. Hasil Pengujian XRD logam dengan fluks Dolomite





TUGAS AKHIR  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

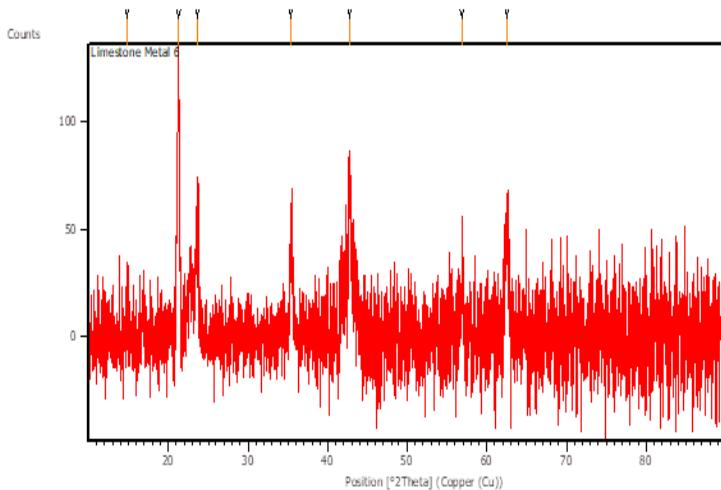
---

**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
35.2678	41.65	0.2342	2.54490	10.12
43.3304	411.39	0.0669	2.08823	100.00
62.3352	31.39	0.4015	1.48961	7.63
71.7107	30.51	0.3346	1.31617	7.42
73.9442	161.42	0.1338	1.28185	39.24

---

## 2. Hasil XRD Logam dengan Fluks Limestone

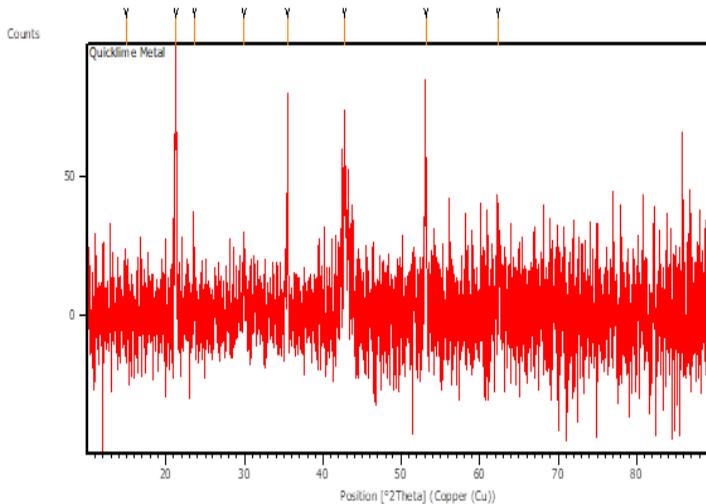




**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
14.7975	16.78	0.6691	5.98677	13.09
21.2957	128.15	0.2007	4.17236	100.00
23.7016	69.95	0.1004	3.75400	54.59
35.3776	52.39	0.3346	2.53725	40.88
42.7680	73.50	0.2676	2.11437	57.35
56.9025	29.94	0.4015	1.61822	23.36
62.5446	49.15	0.4684	1.48512	38.35

**3. Hasil XRD Logam dengan Fluks Quicklime**





**TUGAS AKHIR**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL**

---

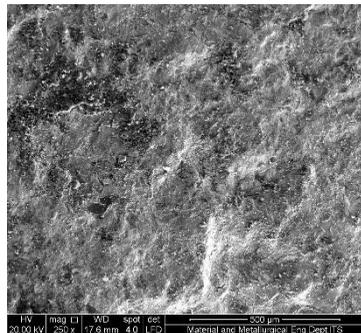
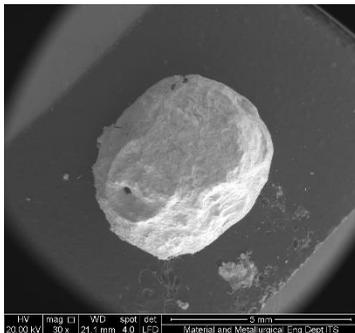
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	Left	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.9579	11.75	0.8029		5.92290	13.16
21.2865	89.30	0.2342		4.17415	100.00
23.6551	21.54	0.5353		3.76127	24.12
29.9740	15.61	0.4015		2.98120	17.48
35.4672	58.03	0.1338		2.53105	64.99
42.7476	50.85	0.2676		2.11534	56.94
53.1408	49.16	0.2676		1.72355	55.05
62.3355	18.67	0.4015		1.48960	20.91

---

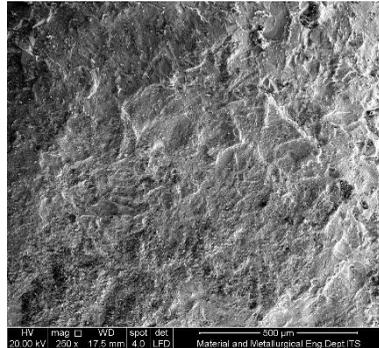
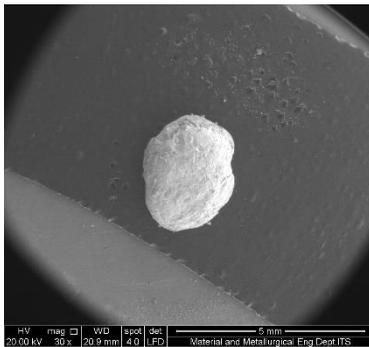
## Hasil Pengujian SEM

### 1. Hasil Pengujian SEM logam dengan fluks dolomite

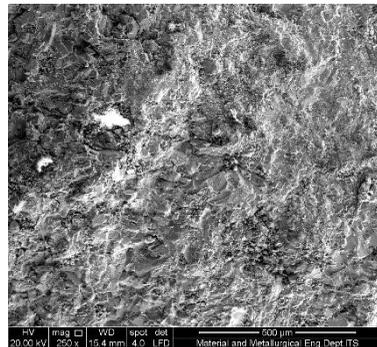
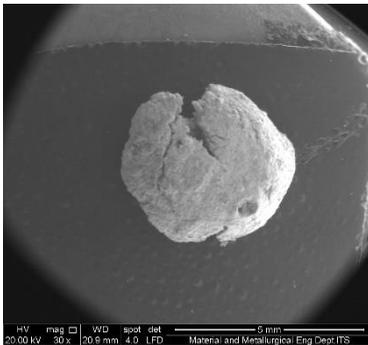




## 2. Hasil Pengujian SEM logam dengan fluks Limestone



## 3. Hasil Pengujian SEM logam dengan fluks Quicklime





TUGAS AKHIR  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

---

Foto Dokumentasi



---

L A M P I R A N

TUGAS AKHIR  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL



LAMPIRAN

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pematangsiantar, 22 Nopember 1996, merupakan anak pertama dari 5 bersaudara. Penulis merupakan putra dari pasangan Herman Surbakti dan Luksia Simamora. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kartika 122 Pematangsiantar, SD RK Budi Mulia 1 Pematangsiantar, SMP SW RK Bintang Timur Pematangsiantar, SMAN 2 Balige (YASOP). Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SBMPTN di Jurusan Teknik

Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 2714100093. 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 Kesejahteraan Mahasiswa dan di luar organisasi himpunan ialah Ketua Alumni SMAN 2 Balige . Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. PERTAMINA RU V Balikpapan ditempatkan di departemen *Statue dan Staionary Inspection Engineering*. Penulis dapat dihubungi di 081219231604 atau email ke [tommijaya@gmail.com](mailto:tommijaya@gmail.com)