



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**REVIEW APLIKASI FLUKS DALAM REDUKSI SELEKTIF BIJIH  
NIKEL LATERIT**

**IQBAL MAULANA AFFANDI  
NRP. 02511640000103**

**Dosen Pembimbing  
Sungging Plintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
Fahreza Abdul, S.T., M.T.**

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





**TUGAS AKHIR – TL 184834**

**REVIEW APLIKASI FLUKS DALAM REDUKSI  
SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT**

**IQBAL MAULANA AFFANDI**  
NRP. 02511640000103

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

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

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL 184834**

**REVIEW APPLICATION OF FLUXING AGENT IN  
SELECTIVE REDUCTION OF LATERITE NICKEL ORE**

**IQBAL MAULANA AFFANDI**  
NRP. 02511640000103

Supervisor  
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(This page is intentionally left blank)*

# **REVIEW APLIKASI FLUKS DALAM REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem


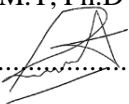
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**IQBAL MAULANA AFFANDI**

NRP 02511640000103

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sungging Pintowantoro ,S.T, M.T, Ph.D  (Pembimbing 1)
2. Fakhreza Abdul, S.T., M.T.  (Pembimbing 2)



**SURABAYA**  
**Agustus 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## REVIEW APLIKASI FLUKS DALAM REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT

**Nama** : Iqbal Maulana Affandi  
**NRP** : 0251164000103  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
**Co- Pembimbing** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

### Abstrak

*Jumlah nickel sulfida yang mendominasi produksi saat ini terus menurun jumlahnya membuat nikel laterit yang memiliki kadar Ni yang rendah harus lebih dimaksimalkan pengolahannya, maka untuk memaksimalkannya dilakukan metode berupa reduksi selektif dengan penambahan fluks. Review ini bertujuan untuk melihat bagaimana senyawa flux dapat memberikan pengaruh terhadap pertambahan kadar, recovery dan juga faktor selektivitas dari produk ferronickel. Terdapat 6 jurnal dengan 3 jenis fluks yaitu dolomite, Quicklime dan juga limestone. Dan 3 Jurnal yang direview menggunakan tambahan selective agent berupa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  review ini. akan membahas variasi berupa perbandingan massa batu bara-fluks, perbedaan waktu holding, jumlah penambahan flux dan juga variasi fluks. Metode yang digunakan secara umum adalah dengan metode reduksi langsung dengan furnace yang dilanjutkan dengan separasi magnetis pada produk dan pengujian karakterisasi sample produk dengan alat EDX. Lalu didapatkan bahwa untuk mendapatkan jumlah nikel terbaik pada sample, fluks limestone dan dolomit dengan penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan kadar dan Ni sebesar 22.93% dan faktor selektivitas terbaik didapat dengan menggunakan fluks limestone dengan nilai 20.36. secara umum jumlah fluks dapat meningkatkan recovery, kadar Ni dan Fe, dan selektivitas, penggunaan dengan jumlah yang tidak tepat dapat mengurangi kadar logam dalam produk*

**Kata Kunci:** *Fluks, Laterit, Kadar, Recovery, Selektivitas*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## REVIEW APPLICATION OF FLUX IN SELECTIVE REDUCTION OF LATERITE NICKEL ORE

**Student Name** : Iqbal Maulana Affandi  
**NRP** : 02511640000103  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Supervisor** : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
**Co-Supervisor** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

### **Abstract**

*The amount of nickel sulphide produced by the current production continues to increase resulting in nickel laterite which has a low Ni content must be maximized by processing, so to maximize it, selective reduction method using flux is used. This review is intended to see how the flux composition can contribute to increased content, recovery, and the selectivity factor of ferronickel products. There are 6 journals with 3 types of flux namely dolomite, Quicklime, and limestone. And 3 journals reviewed using additional selective agents such as  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . This review will discuss variations related to flux rock mass, differences in holding time, amount of flux addition and flux variation. The method used in general is the direct reduction method with a furnace continued with a magnetic separation on the product and testing product samples with EDX tools to get the metal grade. Then it was obtained to get the best amount of samples, limestone and dolomite flux with the addition of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  with levels and Ni of 22.93% and the best selectivity factor was obtained using limestone flux with a value of 20.36. Although the general amount of flux can increase recovery, levels of Ni and Fe, and selectivity, the use of an incorrect amount can reduce the levels of metals in the product*

**Keywords:** *Flux, Grade, laterite, Recovery, Selectivity*

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Assalamualakium Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Review Aplikasi fluks Dalam Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit”. Tugas akhir ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan studi. Dengan selesainya laporan tugas akhir ini maka, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada

1. Allah SWT berkat rahmat, barokah, pertolongan dan bimbingannya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir
2. Keluarga baik kedua orang tua maupun adik penulis yang selalu mendukung penulis dalam menjalani masa kuliah ini
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono S.T, M.Sc selaku kepala jurusan Teknik Material dan Metalurgi
4. Bapak Sungging Pintowantoro, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing dan ketua Laboratorium Teknologi pengolahan Mineral dan material yang telah banyak memberikan arahan
5. Bapak Fakhreza Abdul, S.T.M.T selaku dosen pembimbing sekaligus dosen wali penulis yang telah meluangkan waktu untuk bimbingan tugas akhir dan juga saran selama kuliah
6. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan laporan tugas Akhir ini

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca. Adapun penulis meminta maaf apabila ada kesalahan

Surabaya,9 Juni 2020

Penulis

Iqbal Maulana Affandi

02511640000103

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Nikel.....	5
2.2 Nikel Laterit.....	6
2.3 Reduksi Nikel Laterit .....	7
2.4 Reduksi Selektif.....	12
2.5 Fluks.....	14
2.5.1 Limestone.....	17
2.5.2 Dolomit .....	18
2.5.3 Quicklime.....	19
2.6 Reduktan.....	20
2.7 Penelitian Sebelumnya .....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Diagram Alir.....	25
3.2 Bahan.....	26
3.2.1 Nikel Laterit .....	26
3.2.2 Batu Bara.....	26
3.2.3 Fluks.....	27
3.2.4 <i>Selective Agent</i> .....	27
3.3 Karakterisasi Material .....	28
3.3.1 XRD.....	28

3.3.2	EDX .....	28
3.4	Metode Penelitian .....	29
3.4.1	Metode percobaan Pada Jurnal dengan penggunaan $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .....	29
3.4.2	Metode Percobaan Pada Jurnal tanpa menggunakan <i>Selective Agent</i> $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .....	30
3.5	Metode Pembahasan .....	31
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
4.1	Komposisi Material.....	35
4.2	Data Hasil Penelitian.....	42
4.2.1	Data Hasil Produk Hasil Aplikasi Fluks Terhadap <i>Recovery</i> Produk .....	42
4.2.2	Data Hasil Penambahan Fluks terhadap Kadar Produk .....	45
4.2.3	Penambahan Fluks terhadap Faktor Selektivitas Produk.....	51
4.3	Pembahasan .....	54
4.3.1	Pengaruh Penambahan Fluks terhadap <i>Recovery</i> Ni dan Fe.....	54
4.3.2	Pengaruh Fluks Terhadap kadar Ni dan Fe .....	59
4.3.3	Pengaruh penambahan fluks terhadap Faktor Selektivitas .....	65
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran .....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>73</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>81</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>		<b>93</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>95</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram kesetimbangan Fe-Ni-O .....	10
<b>Gambar 2.2</b>	Pengaruh penambahan CaO terhadap Jumlah fasa cair di dalam <i>slag</i> (Wang, et al. 2017) .....	16
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir review jurnal .....	25
<b>Gambar 3.2</b>	Bijih nikel Laterit Limonitik (A) Saprolitik (B) .....	26
<b>Gambar 3.3</b>	Batu bara <i>Bituminuous</i> (A) <i>Antrachite</i> (B) .....	26
<b>Gambar 3.4</b>	Fluks yang digunakan; Quicklime (A), Limetsone (B) Dolomit (C) .....	27
<b>Gambar 3.5</b>	Natrium Sulfat .....	27
<b>Gambar 3.6</b>	Instrumen XRD .....	28
<b>Gambar 3.7</b>	Instrumen SEM-EDX .....	29
<b>Gambar 3.8</b>	Skema peletakan briket pada <i>crucible</i> (Abdul, et al 2020) .....	30
<b>Gambar 4.1</b>	Pola XRD dari Bijih nikel laterit (Abdul, et al. 2018) .....	35
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil XRD dari <i>ore</i> laterit pada <i>paper</i> ketiga (Abdul et al, 2019) .....	38
<b>Gambar 4.3</b>	Pola XRD pada paper keempat (Widyartha, et al. 2020) .....	39
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil XRD pada paper kelima (Wang, et al. 2017) .....	41
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Recovery</i> dari Ni (A) dan Fe (B) dari paper pertama (Abdul et al. 2018) .....	43
<b>Gambar 4.6</b>	<i>Recovery</i> Ni dan Fe pada paper kedua (Abdul et al 2020) .....	43
<b>Gambar 4.7</b>	<i>Recovery</i> dan kadar dari Ni dan Fe pada paper ketiga (Tian et al. 2019) .....	44
<b>Gambar 4.8</b>	Pengaruh penambahan CaO terhadap produk (Wang, et al. 2017) .....	45
<b>Gambar 4.9</b>	Kadar Ni dan Fe produk paper pertama (Abdul et al 2018) .....	46
<b>Gambar 4.10</b>	Kadar Ni dan Fe pada produk paper kedua (Abdul. et al, 2020) .....	47

<b>Gambar 4.11</b> Kadar Ni dan Fe dengan perbedaan Variasi fluks pada paper keempat (Widyartha et al. 2020).....	49
<b>Gambar 4.12</b> Hasil XRD slag (a) 4 jam dan (b) 8 jam pada paper pertama (Abdul et al. 2018).....	57
<b>Gambar 4.13</b> Kadar Ni pada keenam (Ju, Ryom and Hong 2018).....	63

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Jurnal yang digunakan sebagai sumber data.....	31
<b>Tabel 4.1</b> Komposisi Nikel Laterit Limonit pada jurnal pertama (Abdul et al., 2018).....	35
<b>Tabel 4.2</b> Komposisi Dolomit Pada jurnal pertama (Abdul et al., 2018).....	36
<b>Tabel 4.3</b> Kebutuhan Bahan Jurnal Pertama (Abdul et al., 2018) .....	36
<b>Tabel 4.4</b> Komposisi bijih laterit jurnal kedua.....	36
<b>Tabel 4.5</b> Komposisi dolomit jurnal kedua (Abdul, et al. 2020) .....	37
<b>Tabel 4.6</b> Kebutuhan Material Jurnal kedua (Abdul, et al. 2020) .....	37
<b>Tabel 4.7</b> Komposisi bijih nikel laterit (%) pada jurnal ketiga (Tian et al., 2019) .....	37
<b>Tabel 4.8</b> Kebutuhan material pada jurnal ketiga (Tian et al., 2019) .....	39
<b>Tabel 4.9</b> Komposisi nikel laterit pada jurnal keempat (Widyartha et al., 2020).....	39
<b>Tabel 4.10</b> Komposisi fluks yang digunakan pada penelitian (Widyartha et al. 2020) .....	40
<b>Tabel 4.11</b> Jumlah material yang digunakan pada jurnal keempat (Widyartha <i>et al</i> 2020) .....	40
<b>Tabel 4.12</b> Komposisi Saproilit pada Jurnal kelima (Wang, et al. 2017 ).....	41
<b>Tabel 4.13</b> kebutuhan Material pada Jurnal kelima (Wang, et al. 2017 ).....	41
<b>Tabel 4.14</b> Komposisi limonit pada jurnal keenam (P.Ju et al. 2018).....	42
<b>Tabel 4.15</b> Kebutuhan bahan briket pada jurnal keenam.....	42
<b>Tabel 4.16</b> Kadar Ni-Fe pada jurnal pertama (Abdul et al., 2018) .....	46
<b>Tabel 4.17</b> Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal kedua (Abdul et al 2020).....	47

<b>Tabel 4.18</b> Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal ketiga (Tian et al., 2019).....	48
<b>Tabel 4.19</b> Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal keempat (Widyarttha et al 2020) .....	49
<b>Tabel 4.20</b> Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal kelima (Wang, et al. 2017) .....	50
<b>Tabel 4.21</b> Kadar Ni dan Fe pada jurnal keenam (P.Ju, et al. 2018).....	51
<b>Tabel 4.22</b> Selektivitas Pada jurnal pertama (Abdul et al, 2018).....	51
<b>Tabel 4.23</b> Faktor selektivitas dari produk pada jurnal kedua (Abdul et al., 2020).....	52
<b>Tabel 4.24</b> Faktor Selektivitas produk jurnal ketiga (Tian et al, 2019) .....	52
<b>Tabel 4.25</b> Faktor selektivitas pada produk jurnal keempat (Widyartha et al., 2020) .....	53
<b>Tabel 4.26</b> Selektivitas Produk pada jurnal kelima (Wang, et al. 2017).....	53
<b>Tabel 4.27</b> Faktor selektivitas dari produk jurnal keenam (P.Ju, et al. 2018).....	54
<b>Tabel 4.28</b> <i>Recovery</i> terbaik hasil penambahan fluks pada masing-masing penelitian.....	55
<b>Tabel 4.29</b> Kadar Ni dan Fe terbaik pada masing-masing penelitian.....	59
<b>Tabel 4.30</b> Perbandingan hasil faktor selektivitas terbaik pada masing- masing penelitian .....	66

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nickel merupakan salah satu komoditas logam yang memiliki kegunaan yang luas dalam suatu industri. Kegunaan dari nikel diantaranya adalah sebagai bahan paduan dalam pembuatan baja. Nickel dibagi menjadi dua jenis bijih yaitu bijih nikel sulfida dan juga bijih nikel oksida atau biasa disebut dengan bijih nikel laterit. Jumlah dari bijih nikel laterit adalah sekitar 70% dari cadangan yang ada di dunia namun, hanya memiliki porsi sebesar 40% dari jumlah produksi yang ada di dunia saat ini. Hal ini menyebabkan perlunya penelitian lebih lanjut untuk menyelidiki cara untuk mengoptimalkan nikel yang didapat dari bijih dengan jenis laterit. (Elliot et al, 2016)

Indonesia memiliki banyak persediaan bijih nikel laterit. Indonesia menduduki peringkat keempat sebagai negara dengan potensi nikel terbesar (12%) setelah new Caledonia, Australia dan Filipina (Van der Ant, et al. 2013). Namun bijih nikel laterit memiliki kadar nikel yang cukup rendah kadarnya rata-rata adalah berkisar pada 1.5% Ni (Setiawan, 2016). Kadar nikel yang terkandung pada bijih nikel laterit tersebut dirasa terlalu sedikit untuk bisa dimanfaatkan secara optimal.

Terdapat beberapa teknologi yang umum diaplikasikan pada proses ekstraksi nikel yang berasal dari biji nikel laterit. Biji nikel laterit memiliki kadar nikel yang rendah yaitu sekitar 1-1,6% Ni. Metode yang dapat digunakan antara lain hidrometallurgy, pirometalurgi maupun gabungan dari kedua metode tersebut. Metode hidrometallurgy yang dapat dilakukan adalah *reducing roasting-amoniac leaching*, *high pressure acid leaching* (HPAL), serta *Heap Leaching* (HL). Namun metode ini memiliki kelemahan yaitu pencemaran lingkungan yang cukup parah dan biaya produksi yang

dibutuhkan juga cukup tinggi, karena kadar MgO yang tinggi pada saprolit sehingga membutuhkan lebih banyak cairan asam untuk meng ekstrak nikel dari bijih jenis tersebut (Wang *et al.*,2017). Salah satu metode yang digunakan untuk mengolah bijih nikel laterit adalah reduksi langsung. Reduksi langsung adalah proses reaksi pemisahan antara oksigen dengan logam oksida dengan menggunakan batubara atau suatu gas sebagai reductant. (Dutta and Sah 2016). Untuk memaksimalkan hasilnya digunakan bahan tambahan berupa senyawa aditif seperti natrium sulfat. Namun tidak hanya senyawa aditifnya saja yang mengalami perkembangan tetapi banyak penunjang lain dalam menentukan bagaimana hasil dari produk, salah satunya adalah penambahan senyawa fluks. Hal yang dikembangkan pada saat ini diantaranya adalah Penambahan fluks. Penambahan fluks berguna sebagai sumber dari CO<sub>2</sub> yang digunakan untuk membuat CO yang digunakan dalam proses reduksi sebagai reduktan. Keberadaan CaO yang terdapat didalam fluks dapat meningkatkan pertumbuhan butir Fe-Ni, meningkatkan *recovery*, dan kadar dari Ni dan Fe (Wang et al 2017)

Pada review kali ini akan dibahas bagaimana pengaruh dari aplikasi dari fluks, sehingga dapat diketahui apa saja yang dapat dikembangkan dalam proses reduksi langsung jika dilakukan penambahan dari bahan-bahan dan metode yang sudah dijelaskan diatas terhadap hasil dari reduksi langsung nikel.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam review kali ini adalah;

1. Bagaimana pengaruh penambahan fluks terhadap *recovery* Ni dan Fe dari produk yang dihasilkan
2. Bagaimana pengaruh penambahan fluks terhadap kadar dari Ni dan Fe pada produk

3. Bagaimana pengaruh penambahan fluks terhadap factor selektivitas dari proses reduksi selektif

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada review kali ini yaitu;

1. Review ini hanya membahas secara umum pengaruh penambahan fluks terhadap hasil reduksi bijih nikel laterit dan hal yang perlu diperhatikan agar hasilnya maksimal
2. Jenis fluks yang dibahas hanya yang berbasis batu kapur

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun rumusan masalah pada review jurnal kali ini adalah sebagai berikut

1. Menganalisis pengaruh penambahan fluks terhadap *recovery* Ni dan Fe dari produk
2. Menganalisis pengaruh penambahan fluks terhadap kadar dari Ni dan Fe dari produk
3. Menganalisis pengaruh penambahan fluks terhadap factor selectivitas dari proses reduksi selektif

### 1.5 Manfaat Penelitian

Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan fluks terhadap proses reduksi selektif bijih nikel laterit dan jenis fluks yang memberikan penjelasan pengaruh fluks dan faktor yang mempengaruhi pada kadar Ni dan Fe, *recovery* dari Ni dan Fe dan juga factor selectivitas

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nikel

Nikel merupakan salah satu logam yang paling penting yang ada saat ini. Nikel digunakan pada banyak aplikasi dalam industry modern saat ini. Sebagian besar nikel saat ini digunakan pada industri baja tahan karat, *electroplating*, *catalis* dan industry petrokimia (Chen, et al. 2014). Secara umum nikel dapat dibagi menjadi 2 jenis bijih yaitu nikel sulfida dan nikel laterit (oksida). Secara jumlah bijih, nikel laterit memiliki jumlah persediaan yang lebih banyak jika dibandingkan nikel dengan jenis sulfida dengan perbandingan jumlah laterit berbanding sulfida adalah 60:40 (Rizov 2012). Namun jumlah bijih yang digunakan dalam jumlah produksi saat ini Sebagian besar didominasi dari bijih sulfida. Jumlah nikel yang diproduksi saat ini telah meningkat hingga 10 kali lipat jika dibandingkan dengan tahun 1950, saat itu nikel sulfida mendominasi hingga 90% jumlah produksi nikel yang ada di dunia, namun pada saat ini jumlah pemanfaatan nikel dengan jenis laterit mencapai 40% dari total pemanfaatan bijih yang digunakan dalam proses pemurnian bijih nikel (Oxley and Barcza 2013).

Nikel sulfida adalah jenis nikel yang biasanya terletak pada iklim subtropics. Nikel sulfida menguasai lebih dari 60% produksi nikel yang ada saat ini. Bijih dengan jenis sulfida dihasilkan dari lelehan magma sehingga bijih tersedia dalam bentuk sulfida. Kadar nikel yang dimiliki oleh nikel sulfida berkisar antara 1.5%-3%Ni dan Co sebesar 0.05%-0.1%. proses ekstraksi dari bijih nikel sulfida dapat dilakukan dengan cara flash smelting maupun dengan menggunakan *electric furnace* yang akan dilanjutkan hingga proses converter untuk mendapatkan hasil berupa *nickel matte* (Yildirim, et al. 2013)

Nikel laterit merupakan jenis nikel yang banyak ditemui di daerah tropis. Nikel laterit, walaupun memiliki jumlah yang lebih besar, namun lebih sulit untuk diolah karena kadar nikel yang

terdapat di dalam bijih laterit sangat kecil (Zulhan & Gibranata, 2017). Metode yang biasa digunakan dalam produksi nikel ini diantaranya adalah *Rotary kiln-Electric Furnace* (RKEF), dan juga *leaching* dengan asam. Namun penggunaan kedua jenis metode ini tidak bisa diaplikasikan pada semua jenis bijih nikel laterit, karena metode yang salah akan membuat biaya produksi dari nikel laterit akan semakin mahal (Rao, *et al.* 2013).

Menurut Badan Geologi DJMB (Direktorat Jenderal Mineral Batubara) pada tahun 2013, sumber daya laterit di Indonesia mencapai 3.565 juta ton bijih (lebih dari 3,5 milyar ton) atau setara dengan 52,2 juta ton logam Ni. Sedangkan jumlah cadangan laterit mencapai 1.168 miliar ton bijih. Sebagian besar cadangan nikel tersebut berjenis laterit yang diolah dengan metode antara Rotary Kiln Electric Blast Furnace (RKEF) atau bias juga dengan metode Mini Blast Furnace (MBF) yang digunakan secara komersil di Indonesia. Pabrik pengolahan nikel RKEF sudah berdiri di Indonesia sejak 1970 untuk mengolah nikel tipe saprolitik yang akan digunakan dalam pembuatan ferronikel atau nikel matte, sedangkan MBF digunakan untuk memproduksi nikel pig iron yang terdiri dari campuran limonit dan saprolit.

## 2.2 Nikel Laterit

Logam nikel secara umum dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu, nikel laterit dan sulfida. Nikel laterit sendiri dibagi menjadi dua jenis yaitu limonit dan saprolite. Laterit merupakan jenis nikel yang paling dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan industri baja yang meningkat pesat di China (Wang, *et al.* 2019). Bijih nikel limonit merupakan bagian paling atas dari lapisan bijih nikel laterit. Limonit merupakan jenis laterit yang terletak pada permukaan dan tersebar pada daerah subtropis maupun daerah tropis pada garis khatulistiwa. Bijih nikel limonitic merupakan jenis bijih nikel laterit dengan kadar Fe yang cukup tinggi (Zhu and Pan 2018). Lapisan limonit terdiri dari campuran yang memiliki kadar besi yang tinggi dan kadar MgO yang rendah. Salah satu kelompok dari mineral tersebut adalah limonit atau besi oksida terhidrasi

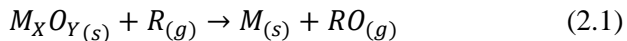
$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Lapisan ini biasanya memiliki 0.5%-1.7% kadar nikel, 40-60% Fe dan kandungan silika yang cukup rendah (<20%) (Elliot *et al.*, 2016). Nikel dengan jenis saprolit kebanyakan berada dalam bentuk garnierite ( $(\text{Mg,Fe,Ni})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ). Senyawa lain yang terdapat di dalam nikel laterit antara lain adalah CaO, MgO dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam jumlah yang cukup kecil. Nikel laterit dengan jenis saprolite memiliki kadar nikel yang sedikit lebih tinggi dengan kadar 2-5% Ni dan juga kadar Fe yang sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan nikel limonit yaitu dengan kadar dibawah 40%, namun bijih saprolite memiliki kandungan magnesium silika yang lebih tinggi sehingga lebih mudah untuk diolah dengan menggunakan proses seperti smelting, untuk memproduksi feronikel dengan kadar yang lebih tinggi. (Pickles and Anthony 2018).

Bijih nikel dengan jenis laterit ini dapat diolah dengan cara hydrometallurgy dan juga pyrometallurgy. Namun secara umum pengolahan biji nikel jenis ini lebih sulit dan mahal jika dibandingkan dengan pengolahan bijih nikel dengan jenis sulfida. Hal ini dikarenakan bijih nikel dengan jenis laterit akan lebih sulit untuk di upgrade kadarnya sebelum dilakukan proses pengolahan (Pintowantoro and Abdul 2019). Menurut survey yang dikeluarkan oleh PT Vale Indonesia biaya energi yang dibutuhkan untuk mengolah nikel laterit adalah sebesar 16.4% dari seluruh biaya produksi yang dibutuhkan (Tsang and Zhang 2012). Sedangkan kadar minimal yang dibutuhkan oleh bijih nikel laterit agar bisa menguntungkan untuk diolah secara pirometallurgy adalah sebesar 1.8%, sedangkan lebih dari 50% cadangan nikel laterit memiliki kadar dibawah 1.45% (Setiawan, et al. 2019).

### 2.3 Reduksi Nikel Laterit

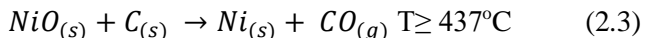
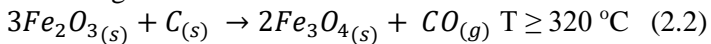
Reaksi reduksi merupakan reaksi dimana akan terjadi penurunan bilangan oksidasi melalui penangkapan electron atau pelepasan oksigen, sehingga yang akan terjadi adalah proses penurunan

an bilangan oksida. Sedangkan reaksi oksidasi merupakan reaksi yang terjadi akibat pelepasan elektron yang diikuti dengan peningkatan bilangan oksida. Bijih laterit merupakan bijih dengan jenis oksida dengan Fe yang terdapat dalam bentuk hematit ( $Fe_2O_3$ ) dan juga Ni dalam bentuk NiO. proses dari reduksi ini dilakukan dengan cara pyrometallurgy (Vignes 2011). Proses reduksi dilaksanakan oleh reduktan berupa karbon monoksida (CO) untuk membentuk logam metalik. Secara umum reaksinya dapat dilihat dibawah ini.



Karena pada bijih laterit Fe berada dalam bentuk oksida, seperti pada reaksi 2.4 sampai 2.7, reduktan CO disini akan berguna untuk mereduksi bilangan oksida. Pada bentuk awal hematit, bilangan oksida dari Fe adalah +3, lalu dari reduksi hematit menjadi magnetit, bilangan oksida dari Fe turun menjadi +8/3, berikutnya pada reduksi hematit menjadi *wustite*, bilangan oksida turun menjadi +2. Pada tahap terakhir FeO menjadi Fe bilangan oksida Fe menjadi 0 karena Fe metalik merupakan unsur. Hal yang sama terjadi pada reduksi logam Ni, dimana bilangan oksida Ni pada NiO adalah +2 ketika menjadi Ni metalik bilangan oksida akan turun menjadi 0.

Berdasarkan beberapa riset yang termodinamika merupakan salah satu aspek penting yang mempengaruhi proses reduksi nikel laterit. Dalam proses reduksi langsung laterit nikel limonitic, reaksi fasa solid berawal dari interaksi karbon dan limonit membentuk reduktan berupa karbon monoksida, sebagaimana disajikan dalam persamaan sebagai berikut.



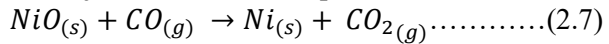
Lalu reaksi berlanjut akibat terbentuk gas intermediet sebagai produk reaksi produksi dan reaksi bouduard. Reaksi Bouduard pada Reaksi 2.8 merupakan reaksi antara feed carbon dengan karbondioksida membentuk karbon monoksida. Karbon didapatkan dari batu bara. Sedangkan  $CO_2$  didapatkan dari reaksi

dekomposisi fluks baik dolomit maupun juga limestone seperti pada reaksi 2.14 untuk fluks limestone dan juga Reaksi 2.15 pada fluks dolomit.

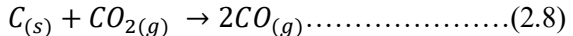
Reaksi reduksi laterit akan terbagi menjadi tiga tahap yaitu reduksi oksida besi, reduksi nikel oksida dan reaksi gasifikasi karbon. Proses reduksi komponen besi dibagi menjadi tiga tahap:

- Tahap I: Reduksi hematit menjadi magnetit,  $T \geq 25^\circ\text{C}$   
$$3\text{Fe}_2\text{O}_3(s) + \text{CO}(g) \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4(s) + \text{CO}_2(g) \dots\dots\dots(2.4)$$
- Tahap II: Reduksi magnetit menjadi *wustite*,  $T \geq 557^\circ\text{C}$   
$$\text{Fe}_3\text{O}_4(s) + \text{CO}(g) \rightarrow 3\text{FeO}(s) + \text{CO}_2(g) \dots\dots\dots(2.5)$$
- Tahap III: Reduksi *wustite* menjadi logam besi,  $T \leq 557^\circ\text{C}$   
$$\text{FeO}(s) + \text{CO}(g) \rightarrow \text{Fe}(s) + \text{CO}_2(g) \dots\dots\dots(2.6)$$

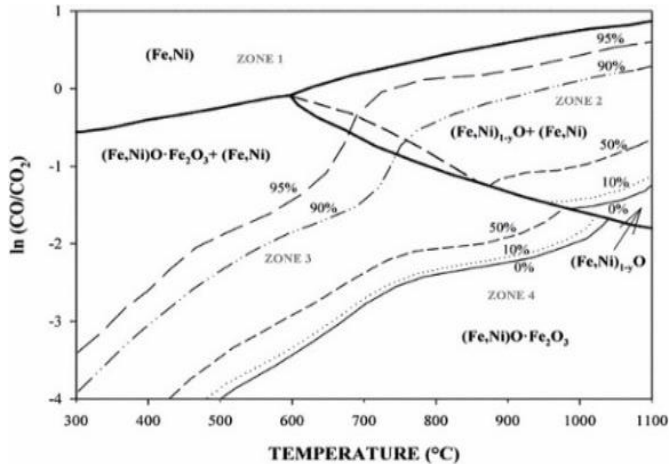
Reduksi nikel akan terjadi dalam satu tahap reaksi:  $T \geq 25^\circ\text{C}$



Gasifikasi karbon akan terjadi melalui reaksi Boudouard  $T \geq 657^\circ\text{C}$



Temperature dimana reaksi reduksi dapat terjadi adalah pada rentang  $1100\text{-}1450^\circ\text{C}$  temperature yang terlalu rendah akan menyebabkan reaksi akan berjalan terlalu lambat ( Elliot, et al 2016) Temperatur yang terlalu tinggi akan menyebabkan adanya pengotor yang ikut bergabung ke dalam kristal Fe-Ni yang akan menyebabkan kadar Ni yang terdapat didalam produk juga akan berkurang (Song, et al. 2016)



**Gambar 2.1** Diagram kesetimbangan Fe-Ni-O

Selain dipengaruhi oleh temperatur, reduksi nikel laterit juga dipengaruhi oleh rasio  $CO/CO_2$ . Semakin tinggi nilai dari  $CO/CO_2$  maka akan semakin tinggi nilai potensial reduksinya, semakin tinggi temperatur yang dibutuhkan untuk mereduksinya. Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa terdapat 4 zona yang terdapat di dalam diagram. Untuk penjelasannya akan dijelaskan dibawah ini.

1. Zona 1

Merupakan zona dimana produk yang dihasilkan adalah Fe-Ni. Dengan *recovery* Fe dan Ni secara teoritis dapat mencapai 100%. Zona ini dapat dicapai dengan meningkatkan rasio  $CO/CO_2$  dan menurunkan temperatur reduksi.

2. Zona 2

Merupakan zona dimana hasil produknya adalah Fe,  $Ni_{1-y}O + (Fe,Ni)$ . Zona ini memiliki hasil kadar Ni yang sedang dan *recovery* Ni yang tinggi sehingga zona yang paling cocok untuk reduksi selektif Ni. Zona ini didapatkan

dengan rasio CO/CO<sub>2</sub> yang sedang dan temperatur yang tinggi

3. Zona 3

Merupakan zona dimana hasil produknya adalah (Fe,Ni)O.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+(Fe,Ni). Zona ini dapat dicapai dengan cara menurunkan temperatur dan juga rasio CO/CO<sub>2</sub>. Hal ini dapat menyebabkan reduksi dari Fe akan terhambat sehingga kadar dari Ni akan lebih tinggi.

4. Zona 4

Merupakan zona yang paling dihindari karena metalisasi dari Fe dan Ni tidak akan terjadi. Zona ini terjadi karena rasio CO/CO<sub>2</sub> yang terlalu rendah dan temperatur yang juga rendah

(Pintowantoro and Abdul 2019)

Setelah logam tereduksi pada proses, Untuk menghitung pemisahan material digunakan 2 metode yaitu kadar dan *recovery*. Yang pertama adalah kadar. Kadar merupakan jumlah presentase jumlah logam berharga yang terdapat di dalam suatu sample. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$\text{Metal Grade} = \frac{C}{M} \quad (2.1)$$

Dimana

*C*= massa logam dalam sample

*M*= massa sample

Sedangkan *recovery* merupakan persentase material berharga yang dapat diperoleh di dalam produk. Jika pada suatu proses memiliki *recovery* sebesar 90%, maka artinya 90% dari massa logam yang terdapat di dalam bijih dapat diperoleh, sedangkan 10% sisanya akan bergabung di dalam *slag*. Untuk persamaannya dapat dilihat pada rumus dibawah ini

$$\text{Recovery} = \frac{C.c}{F.f} \quad (2.2)$$

Dimana

*C*= massa produk

$c$  = kadar logam pada produk

$F$  = massa feed

$f$  = kadar logam pada feed

kadar dan juga *recovery* biasanya akan terus saling berhubungan. Dengan kadar yang tinggi pada produk berarti lebih sedikit pengotor yang terkandung di dalam sample. Sedangkan semakin tinggi *recovery* maka akan semakin banyak metal yang bisa diperoleh sehingga jumlah logam yang berada di dalam *slag* akan lebih rendah, namun belum tentu dengan kadar yang tinggi akan memiliki *recovery* yang tinggi dan begitu pula sebaliknya (Wills and Finch 2015).

## 2.4 Reduksi Selektif

Reduksi selektif pada nikel bertujuan untuk mereduksi nikel yang masih dalam bentuk oksidanya menjadi nikel dengan bentuk metalik dan meminimalisir reduksi dari Fe sehingga didapatkan kadar nikel yang lebih tinggi dalam suatu produk. Hal yang mempengaruhi adalah;

1. potensial reduksi (CO/CO<sub>2</sub> ratio)

semakin tinggi potensial reduksi maka akan semakin tinggi kadar *recovery* dari nikel dan menurunkan kadar dari Ni

2. temperature reduksi

temperature yang dianjurkan untuk proses reduksi langsung bijih nikel laterit adalah 1100-1450°C. Jika temperature terlalu rendah, maka reaksi akan berjalan dengan lebih lambat, namun jika temperature reduksi terlalu tinggi maka akan menyebabkan pembentukan fasa *liquid* (Song, et al. 2016). Selain itu jika teperatur semaikin tinggi akan membuat pengotor seperti Cr dan Si akan larut dalam kristal Fe-Ni produk sehingga kadar feronikel dalam produk juga akan berkurang (Ming-Lu, et al. 2018)

3. transformasi fasa atau senyawa

Untuk mendapatkan kadar nikel yang tinggi biasanya akan digunakan senyawa tertentu yang digunakan untuk membantu menekan kadar dari Fe yang terbentuk dengan mengikat Sebagian

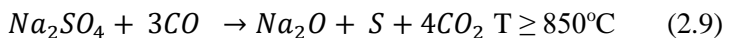
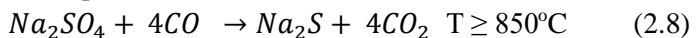


kadar Fe dari produk yang terbentuk, sehingga akan terbentuk kadar Ni yang lebih tinggi pada produk. Dalam proses reduksi dari bijih senyawa yang biasa ditambahkan adalah yang mengandung unsur natrium. senyawa tersebut diantaranya adalah  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . menurut percobaan dari Jiang *et al* (2013) unsur yang terkandung natrium meningkatkan *recovery* dari nikel sedangkan unsur S berfungsi untuk meningkatkan kadar nikel. Menurut Xueming (2018) manfaat dari penambahan senyawa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  adalah sebagai berikut

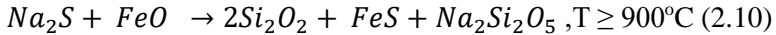
1. Menekan kadar Fe yang terbentuk karena Fe akan berikatan dengan unsur S membentuk  $\text{FeS}$  yang bersifat non magnetis
2. Meningkatkan kadar besi dan nikel dengan cara mengikat pengotornya. Hal ini disebabkan karena reaksi antara garam natrium dan silika
3. Meningkatkan pertumbuhan partikel ferronikel karena adanya pemisahan antara *slag* dan logam akibat temperatur leleh dari *slag* yang lebih rendah daripada logam

Salah satu jenis yang digunakan adalah sodium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Sodium sulfat dapat meningkatkan secara signifikan reduksi dan pemisahan antara *slag*-metal saat proses pembakaran nikel laterit (Mei & Xueming, 2018). Prinsip kerja dari penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  adalah dengan menurunkan kadar komponen yang tidak diinginkan. Unsur natrium yang terdapat pada  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  akan mengikat unsur silikat. Tidak hanya mengikat silikat, unsur natrium juga menghancurkan struktur lattice yang dimiliki oleh silika dan membebaskan unsur Ni dari mineral. Natrium yang bereaksi dengan silika dan akan menghasilkan fasa dengan titik leleh yang rendah yang akan membantu migrasi dan pertumbuhan partikel ferronikel (Yongjie *et al*, 2019). Lalu, menurut Jiang (2013) mekanisme selective reduction dari nikel terjadi dalam reaksi berikut:

Terjadi dekomposisi termal dan reduksi natrium sulfat.



Pengikatan Fe membentuk  $\text{FeS}$ ,



Unsur Sulphur yang terdapat pada sodium sulfate akan mengikat unsur Fe. Natrium silikat dan FeS merupakan komponen non-magnetic yang akan menjadi residu pada proses pemisahan magnetic. Selain itu karena titik lelehnya yang rendah maka akan melarutkan partikel logam dan membantu pertumbuhan dan pembentukan partikel logam (Elliot, *et al.*, 2017). Untuk melihat seberapa baik proses reduksi nikel, digunakan faktor selektivitas sebagai pembanding.

$$\beta = \frac{Ni (feed) \times Fe (Product)}{Fe (Feed) \times Ni (Product)} \dots \dots \dots (2.3)$$

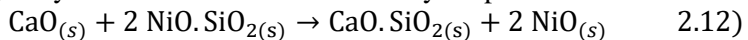
Faktor selektivitas ini merupakan perbandingan fraksi nikel dalam ferronikel terhadap fraksi massa besi yang tereduksi pada logam. Perhitungan ini digunakan untuk membandingkan hasil dari penelitian sebelumnya dengan kadar Fe dan Ni yang berbeda yang ada di dalam bijih (Elliot *et al.*, 2015). Pada dasarnya untuk meningkatkan kadar nikel yang didapat secara signifikan maka kadar Fe dalam produk harus ditekan untuk membuat kadar Ni dapat meningkat secara signifikan (Pintowantoro & Abdul, 2019).

## 2.5 Fluks

Fluks adalah merupakan metode yang paling umum dalam menyesuaikan temperature liquidus dalam berbagai macam jenis *slag* (Solar and Mostaghel 2014). fluks merupakan senyawa yang ditambahkan untuk mengikat senyawa yang tidak dibutuhkan pada saat proses *smelting* bijih untuk membentuk *slag* yang bisa dipisahkan dari logam (Gaskell 2007). fluks akan menjaga tingkat kebasahan atau basisitas dalam proses suatu reaksi. Selain itu fluks juga merupakan senyawa yang juga akan membantu dalam pertumbuhan dari butir Ni dan Fe (Guo, *et al.* 2014) dalam proses reduksi. Dengan meningkatnya tingkat basisitas dari reaksi maka akan meningkatkan *recovery* serta metal grade yang ada pada produk hasil reduksi (Tian, *et al.* 2020). Selain itu senyawa fluks

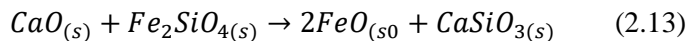
jika ditambahkan dalam proses aglomerasi bijih akan menurunkan porositas yang ada di dalam pellet dan juga meningkatkan kekuatan mekanis dari pellet (Mandal and Sinha 2015), yang mana akan mempengaruhi kualitas dari aglomerat (Dwarapudi, et al. 2014) Terdapat berbagai macam jenis fluks yang dapat digunakan dalam suatu proses reduksi metalurgis. Namun dalam perkembangannya fluks yang mengandung banyak  $\text{SiO}_2$  dan juga  $\text{MgO}$  tidak dapat digunakan dalam proses rediksi logam karena dapat mneghhiskan *slag* yang berupa asam dari  $\text{SiO}_2$  yang dapat merusak semen refraktori yang tidak terlindungi maka menyebabkan jenis yang dapat digunakan sebagai fluks dalam proses reduksi logam yang ada pada saat ini biasanya akan berasal dari batuan yang dinamakan dengan *lime*. Kandungan  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan juga  $\text{MgO}$  berperan penting dalam proses pelelhan karena dapat menurunkan titik leleh dari pengotor (Tsuji 2012). Sedangkan jumlah  $\text{MgO}$  yang berlebih dapat menghambat reduksi *ore* pada temperatur yang tinggi karena akan membentuk *olivine* yang membuat Fe maupun Ni lebih sulit untuk direduksi.

Kandungan  $\text{CaO}$  dalam limestone akan membantu untuk mengikat *slag* saat proses reduksi berlangsung. Pada reduksi Ni, senyawa  $\text{CaO}$  yang terbentuk dari proses dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  akan membantu mengikat pengotor berupa silika. Temperatur terjadinya adalah diatas  $1100^\circ\text{C}$  reaksinya dapat dilihat dibawah ini



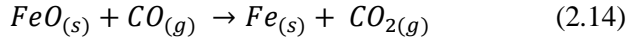
(Widyartha, et al. 2020)

fluks juga bisa membantu mereduksi Fe disaat yang sama.  $\text{CaO}$  akan berikatan dengan  $\text{SiO}_2$  yang berikatan pada *wustite*. Dengan berikatan dengan  $\text{SiO}_2$ , akan terbentuk  $\text{FeO}$  yang bisa direduksi untuk menjadi Fe metalik. Temperature terjadinya adalah diatas  $1100^\circ\text{C}$

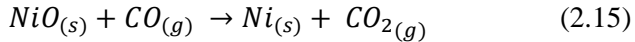


(Li, et al. 2019)

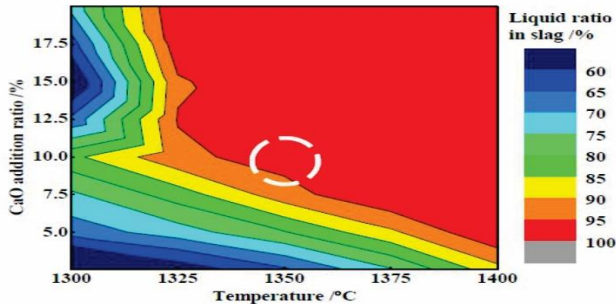
Dengan penambahan fluks akan membebaskan NiO dan juga FeO. Hal ini akan menyebabkan peningkatan jumlah Ni dan Fe melalui reduksi dengan gas CO sepeerti pada reaksi dibawah ini.



Sedangkan untuk Ni dapat dilihat pada reaksi kimia dibawah ini



Dengan meningkatnya jumlah dari NiO dan FeO yang terbebas akan menyebabkan jumlah logam yang terbentuk akan semakin banyak, dikarenakan NiO dan FeO lebih mudah direduksi mejadi logam metalik. Dengan proses reduksi logam yang lebih mudah, *recovery* dari logam akan semakin meningkat dikarenakan jumlah logam metalik bertambah dan ketika dilakukan separasi magnetis akan lebih sedikit logam yang bergabung di dalam *slag*. Penambahan fluks juga akan meningkatkan basisitas dalam sebuah reaksi pada saat yang sama jika jumlahnya terus menerus ditambahkan (Solar and Mostaghel 2014). Pengaruh lainnya adalah dengan menambahkan fluks akan menurunkan titik leleh dari *slag*, sehingga akan membuat peningkatan fasa liquid pada *slag*. Pengaruhnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.2** Pengaruh penambahan CaO terhadap Jumlah fasa cair di dalam *slag* (Wang, et al. 2017)

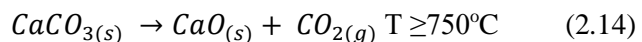
Penambahan fluks yang terlalu banyak akan mengganggu pengumpulan partikel Fe-Ni metalik sehingga dapat menurunkan kadar dan *recovery* Ni maupun Fe (Wang, et al. 2017). Sementara itu dalam reaksi reduksi langsung lime juga berfungsi sebagai salah satu penghasil CO<sub>2</sub> dalam reaksi Boudouard untuk membentuk CO yang akan digunakan sebagai gas reduktan dalam suatu proses

reduksi. Jenis dari lime yang biasanya digunakan dalam proses reduksi logam akan dijelaskan seperti di bawah ini.

### 2.5.1 Limestone

*Limestone* merupakan jenis batuan yang sebagian besar terdiri dari fraksi besar kalsium karbonat dalam bentuk mineral berupa calcite dan beberapa unsur non karbonat pengotor (Selley 2015). *Limestone* merupakan batu yang digunakan untuk menghasilkan lime (CaO) ketika dilakukan proses pemanasan (Manocha and Ponchon 2018) *Limestone* terdiri dari, butir Matriks, semen dan terkadang juga terdapat pori di dalamnya. Selain itu elemen yang terkandung di dalam *limestone* tidak hanya terdiri dari elemen penyusun kalsium namun juga terdapat beberapa elemen lain seperti kalium, silikon, sodium, potassium, alumunium dan oksigen yang kadarnya akan semakin menurun ketika suhu kalsinasi juga meningkat (Noviyanti *et al.*,2015). *Limstone* terdapat pada cekungan geologis yang berbeda, sehingga memiliki perbedaan pada struktur kristal, kandungan kimia dan juga strukturnya. Semua perbedaan ini akan mempengaruhi sifat dari *limestone* saat proses pembakaran dan juga bahkan terhadap reaktivitas *limestone* terhadap asam (Kalasova, et al. 2018).

*Limestone* sering digunakan pada proses pirometalurgi. Pada proses sintering penambahan *limestone* akan membantu untuk meningkatkan reduktibilitas dari *pellet* (Iljana, et al. 2015) Penambahan *Limestone* pada reduksi nikel laterit *Limestone* digunakan sebagai fluks yang membantu memisahkan logam dan pengotornya Lime stone memiliki beberapa pengaruh terhadap tingkat basisitas atau tingkat kebasahan karena mengandung kapur yang bersifat basa. peran penting *limestone* pada proses reduksi yang terdapat pada proses smelting. Kandungan kalsium karbonat akan terdekomposisi menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida pada suhu 750°C menurut reaksi:

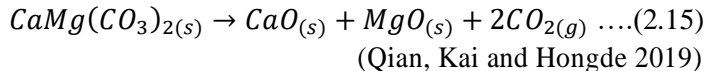


Gas karbon dioksida selanjutnya akan tereduksi menjadi karbon monoksida yang merupakan reduktan kuat untuk mereduksi bijih besi maupun nikel menjadi bentuk logamnya. Namun, untuk dapat meningkatkan kadar besi dan nikel, jumlah penambahan dari *limestone* harus diperhatikan karena jika jumlahnya terlalu besar maka fasa liquid akan melebihi batas optimum dan mengurangi kontak antara laterit dan reduktan (batu bara). Hal ini menyebabkan *recovery* produk akan lebih rendah karena proses separasi akan semakin sulit (Andika, et al. 2019). Dalam proses reduksi dari bijih nikel laterit, fungsi dari  $\text{CaCO}_3$  yang terdapat dalam *limestone* akan meningkatkan *Separation efficiency* dengan cara meningkatkan reduksi dari Fe dan juga meningkatkan pertumbuhan dari partikel Ni-Fe. Namun untuk meningkatkan kadar nikel produk, maka jumlah fluks yang akan ditambahkan dalam proses harus diperhatikan. Jika jumlah yang ditambahkan terlalu banyak maka akan menyebabkan jumlah besi oksida yang tereduksi akan semakin banyak sehingga kadar nikel yang terdapat dalam produk akan menjadi lebih sedikit (Tian, et al. 2020)

### 2.5.2 Dolomit

Dolomit adalah bahan alam berupa batu sedimen kapur yang cukup mudah untuk ditemui di Indonesia. Senyawa yang dapat ditemukan di dalam dolomite adalah  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$  (Chuan, et al. 2015). Dolomit memiliki komposisi 30.41% CaO, 21.86% MgO dan 47.73%  $\text{CO}_2$  dengan kemungkinan pengotor berupa Fe, Mn, Zn dan Pb (Gupta and De 2016). Dalam industri pemurnian logam biasanya dolomite digunakan sebagai fluks untuk mengatur tingkat kebasahan dalam suatu reaksi. Material yang mengandung CaO akan digunakan sebagai penjaga basisitas. Sedangkan jenis fluks yang digunakan untuk mengatur viskositas dari *slag* untuk mencapai tingkat kelembutan dan sifat dari lelehan yang sesuai maka fluks dengan kadar MgO seperti dolomit akan sangat dibutuhkan, kebanyakan dari dolomite digunakan dalam industri pembuatan baja. Proses memasukkan fluks dalam industri baja dilakukan berbarengan dengan pemasukan batubara via tuyer maupun

menjadi satu dengan pellet melalui proses sintering. (Chuan, et al. 2015). Dolomite akan memiliki kandungan MgO ketika mengalami dekomposisi (Broda, Kierzkowska, and Muller 2015). Dolomite akan terdekomposisi thermal dan akan membentuk CaCO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> dan juga MgO pada rentang temperatur 700°C-750°C. Dimana reaksinya adalah



Proses dekomposisi akan selesai pada temperature sekitar 950°C. Sama halnya dengan *limestone*, dolomit juga akan berperan dalam penyediaan CO<sub>2</sub>. Selain itu karena fungsinya adalah sebagai fluks maka dolomit juga berfungsi untuk mengikat pengotor yang terdapat dalam logam. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Abdul, *et al.* (2020) menyatakan bahwa dengan meningkatnya rasio antara dolomit dan batu bara akan menyebabkan *recovery* dari unsur Fe dan Ni meningkat. Hal ini disebabkan karena jumlah reduktan yang meningkat sehingga besi dan nikel oksida dapat direduksi menjadi nikel dan besi metalik, namun di sisi lain penambahan secara berlebihan masa dolomite akan menyebabkan banyak terbentuk olivine yang mengikat Sebagian Ni menjadi bagian yang non-magnetic sehingga membuat kadar logam akan turun jika jumlah dolomite yang ditambahkan berlebihan (Abdul *et al.*, 2020). Jumlah dari fluks dengan jenis dolomite disarankan tidak lebih dari 5% masa *ore* yang digunakan dalam suatu penelitian (Park, et al. 2018). Namun jumlah fluks ideal yang perlu ditambahkan masih jarang diteliti hingga saat ini terlebih dengan variasi jenis *ore* yang berbeda jumlah penambahan dolomit yang ideal akan berubah

### 2.5.3 Quicklime

*Quicklime* atau kapur (CaO) merupakan kapur yang terbuat dari hasil dekomposisi dari bahan- bahan yang ada di alam contohnya dolomit dan juga *Limestone*, namun *quicklime* sudah

melewati proses dekomposisi menjadi CaO sehingga memiliki bentuk bubuk kapur yang berwarna putih dan juga tebal (Roya, Ruiz and Raba 2016). Perbedaan utamanya adalah *quicklime* dengan *limestone* adalah lime telah melalui proses dekomposisi sehingga akan memiliki perbedaan kandungan CaO.

CaO merupakan salah satu jenis fluks lain yang digunakan dalam industri karena memiliki harga yang cukup murah. CaO merupakan jenis fluks dengan sifat alaki yang lebih kuat jika dibandingkan dengan MgO, MnO dan Na<sub>2</sub>O (Ma and Du 2018). CaO sering digunakan sebagai senyawa yang berfungsi untuk menurunkan viskositas dari feed (Li, Luo, et al. 2015) selain itu fungsi lain dari CaO pada proses pirometalurgi adalah untuk menghancurkan struktur silika yang terdapat pada *ore* sehingga dapat meningkatkan efektivitas reduksi dari baik Ni maupun Fe. Namun, penambahan dari CaO perlu diperhatikan. Penambahan CaO melebihi 10% akan menyebabkan terjadinya fasa cair *slag* yang berlebih sehingga menurunkan area kontak antara *ore* dan reduktan sehingga dalam jumlah yang berlebih dapat menurunkan kadar logam yang terdapat di dalam produk (Wang. et al, 2017).

## 2.6 Reduktan

Dalam sebuah proses reduksi logam, biasanya akan digunakan berbagai macam reductor agent. Jenis yang paling umum adalah dengan menggunakan gas CO dan Hidrogen (Ghanbari 2019). Gas CO akan dibentuk dari reaksi Boudouard. Salah satu komponen yang dibutuhkan dalam reaksi tersebut adalah carbon. Sumber carbon didapatkan dari coal maupun coke. Coal atau batu bara merupakan salah satu sumber energi yang dapat diandalkan karena jumlahnya yang banyak dan harganya yang relatif murah (Riaza, et al. 2014). Batubara memiliki hasil emisi yang tinggi namun, tetap menjadi pilihan utama karena memiliki harga yang murah. kualitas dari batubara ditentukan oleh beberapa factor, diantaranya adalah usia dari deposit, tipe vegetasi tempat



batubara tersebut dikubur, juga temperature tekanan dimana vegetasi tersebut berada. (Breeze 2015)

Batubara dapat diklasifikasikan berdasarkan kadar karbon dan air yang terkandung di dalamnya. Semakin tinggi kelas dari batu bara tersebut maka, semakin tinggi kadar karbonnya, dan kadar air yang dimiliki juga lebih rendah kelas dari batu bara antara lain

1. *Antrachite* adalah batu bara dengan kelas paing baik. Kadar karbon yang terkadaung dapat mencapai 92% dry content. *Antrachite* memiliki kadar air dan material volatile yang rendah sehingga saat dibakar akan menghasilkan tingkat polusi yang lebih rendah jika dibandingkan jenis batubara lainnya. Selain itu densitas energinya juga lebih tinggi di angka 32-33 MJ/Kg
2. *Bituminous* merupakan batu bara dengan jumlah cadangan terbanyak. Batubara jenis ini memiliki kakadar karbon sebesar 76%-86%, kadar air sebesar 8%-18%, dan material volatile sebesar 14%-46%. Batu bara jenis ini cocok untuk digunakan pada pembangkit tenaga listrik karena mudah dibakar.
3. *Sub-Bituminous* merupakan batu bara dengan kadar karbon lebih rendah jika dibandingkan dengan dua jenis batubara sebelumnya yaitu sebesar 70%-86%, kadar air sebesar 18%-30% yang merupakan kadar air paling tinggi jika dibandingkan dengan dua jenis batu bara sebelumnya. Sifatnya mudah terakar dan memiliki kadar sulfur yang reaktif lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis batubara lain
4. *Lignite* merupakan jenis batu bara dengan kadar karbon 65%-70%, dan kadar air 35%-50%. Kelas batu bara ini adalah yang terakhir yang dapat digunakan pada pembangkit.
5. *Peat* merupakan salah satu tipe dari batu bara *lignite*. Jenis batubara ini dapat ditemukan di dekat permukaan. Peat memiliki kadar karbon paling rendah dibandingkan jenis batubara lain yaitu <60% namun meiliki kadar air yang tinggi yaitu 75%

Meskipun batubara tidak memiliki energy yang sama dengan minyak bumi Karena densitas energinya juga lebih kecil biaya energy yang lebih murah membuat batubara masih menjadi pilihan utama untuk menghidupi industry yang ada di Indonesia

Jenis kedua yang banyak digunakan adalah coke. Terdapat tiga jenis coke yang digunakan berikut adalah aplikasi penggunaan coke dalam proses industri

1. *Metalurgical Coke*

Digunakan pada reduksi besi di dalam furnace untuk membuat paduan besi dengan cara mereduksi logam oksida

2. *Foundry Coke*

Digunakan sebagai bahan bakar untuk melelehkan logam pada industri pengecoran

3. *Domestic Coke*

Digunakan sebagai bahan bakar dengan kadar ash yang rendah dan kadar sulfur yang rendah

*Coke* memiliki kadar *fixed carbon* yang lebih baik jika dibandingkan dengan batubara. Berdasarkan analisis uji proksimat, secara umum *coke* mengandung 8-11% ash, 0.9-1.1% volatile matter (Babich and Senk 2019) . *Coke* merupakan bahan bakar yang paling baik digunakan dalam proses *sintering* (Cores, et al. 2013). Namun coke tetap memiliki bebrapa kelemahan, salah satunya adalah *coke* tidak terdapat pada banyak wilayah (Fernandez-Gonzales, Piñuela-Noval and Verdeja 2018)

## 2.7 Penelitian Sebelumnya

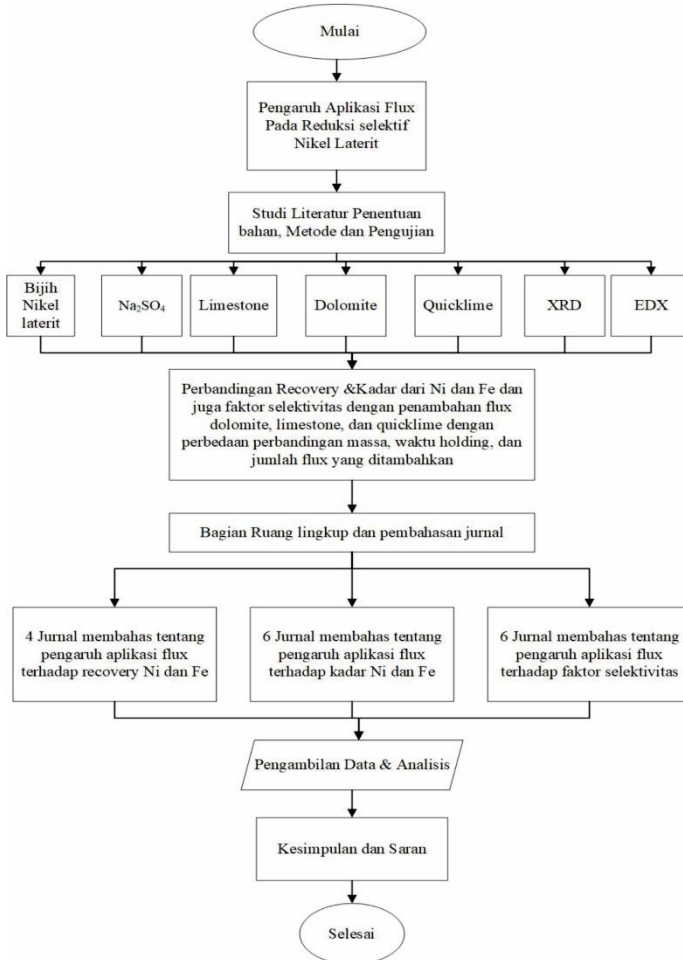
Dalam usaha untuk memperoleh kadar yang maksimal dari nikel dari jenis bijih laterit yang memiliki kadar nikel rendah, telah dilakukan berbagai cara untuk meningkatkan kadar dari nikel. Salah satu cara untuk memperoleh nikel dengan kadar setinggi mungkin adalah dengan cara menekan kadar Fe yang terdapat pada produk (Pintowantoro and Abdul 2019). Penambahan senyawa *selective agent* menjadi salah satu langkah awal untuk

mendapatkan kadar terbaik. didapat salah satunya adalah dengan penambahan *selective agent* berupa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Xueming, *et al.* (2017) menunjukkan dengan penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , hasil reduksi nikel akan berlangsung lebih baik. Dengan penambahan kadar dari sodium sulfat akan meningkatkan baik ukuran partikel dan kadar Ni dalam material magnetic mengalami peningkatan seiring dengan penambahan jumlah dari sodium sulfat. Pada saat tidak ditambahkan sodium sulfat kadar Ni yang didapat adalah 2.4% dari massa dan memiliki *recovery* sebesar 58.1%, sedangkan dengan penambahan 8% massa sodium sulfat kadar Ni yang diperoleh adalah 9.7% dan memiliki *recovery* sebesar 89.1%. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dengan penambahan dari sodium sulfat akan meningkatkan pertumbuhan partikel Fe-Ni secara signifikan. selain dengan parameter seperti *recovery* dan juga kadar dari Ni, salah satu parameter lain yang digunakan adalah dengan selektivitas Ni terhadap Fe. penelitian lain yang dilakukan oleh Elliot, *et al.* (2016) dengan menggunakan *selective agent* berupa 4% sulphur didapatkan faktor selektivitas yang lebih kecil yaitu sebesar 1.69 Pada penelitian yang dilakukan oleh Jiang et al (2013) yang menggunakan menunjukkan faktor selektivitas yang sangat tinggi, yaitu sebesar 21.8 dengan menggunakan 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan jenis bijih saprolit namun tanpa menggunakan fluks. Kadar Ni yang didapat adalah Untuk membatu meningkatkan lagi kadar Ni, ditambahkan senyawa fluks yang berguna untuk mengikat pengotor yang terdapat pada produk. Setelah itu Abdul et al (2018) melakukan penelitian reduksi langsung nikel laterit limonitic dengan menggunakan variasi temperature 1200°C, 1300°C dan 1400°C dengan fluks dolomit yang terasosiasi dalam *bed* batubara. Pada penelitian ini didapatkan bahwa dengan metode reduksi langsung dapat digunakan untuk meningkatkan kadar nikel di dalam bijih nikel laterit. Peningkatan kadar tertinggi didapatkan dengan temperature 1400°C dengan kadar Ni dan *recovery* yang didapat adalah 3.44% dan 86.75%. kemudian dengan menggunakan fluks CaO dan juga batu bara, Liu et al. (2014)

mendapatkan kadar Ni dan juga Fe sebesar 11.53% dan 84.16% serta faktor selektivitas sebesar 1.53%. Penggunaan fluks memberikan dampak terhadap peningkatan kadar logam, namun tanpa bantuan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dan aturan yang tepat maka peningkatan kadar Ni akan sulit dicapai. Oleh karena itu dengan mengkombinasikan penambahan fluks dan *selective agent* dengan jumlah yang tepat akan menjadi fokus kedepannya

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir

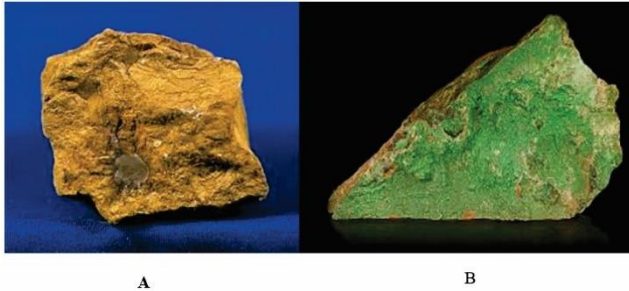


**Gambar 3.1** Diagram alir review jurnal

### 3.2 Bahan

Secara umum, bahan-bahan yang digunakan dalam review jurnal ini diantaranya adalah:

#### 3.2.1 Nikel Laterit



**Gambar 3.2** Bijih nikel Laterit Limonitik (A) Saprolitik (B)

Terdapat dua jenis bijih nikel yang digunakan dalam review jurnal kali ini yaitu Limonit (Gambar 3.2A) dan Saprolit (Gambar 3.2B)

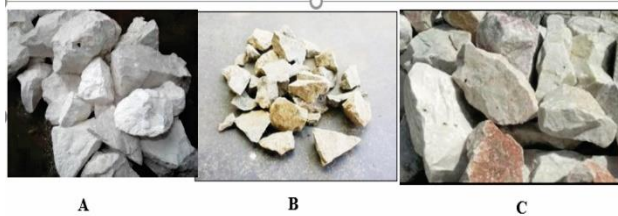
#### 3.2.2 Batu Bara



**Gambar 3.3** Batu bara *Bituminuous* (A) *Antrachite* (B)

Terdapat dua jenis batu bara yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu batu bara sub bituminuous (Gambar 3.3A) dan antrachite (Gambar 3.3B)

### 3.2.3 Fluks



**Gambar 3.4** Fluks yang digunakan; Quicklime (A), Limetsone (B) Dolomit (C)

Terdapat tiga jenis fluks yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu *Quicklime* (Gambar 3.4A), *Limestone* (Gambar 3.4B) dan Dolomit (Gambar 3.4C)

### 3.2.4 *Selective Agent*



**Gambar 3.5** Natrium Sulfat

Hanya terdapat satu jenis *selective agent* yang digunakan dalam review jurnal kali ini yaitu Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

---

### 3.3 Karakterisasi Material

#### 3.3.1 XRD

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dari sampel hasil reduksi dengan menggunakan alat XRD PAN Analytical. Karena Panjang dari gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom, maka hal tersebut menyebabkan sinar X dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Alat ini sering digunakan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terdapat di dalam sample (G. Wang 2016) Pada review kali ini tidak ada pembahasan terkait perubahan fasa pada sample. Data XRD hanya digunakan sebagai data pelengkap tentang senyawa apa saja yang ada di bijih laterit dan senyawa yang ada di *slag* pada penelitian Abdul, *et al.* (2018)



**Gambar 3.6** Instrumen XRD

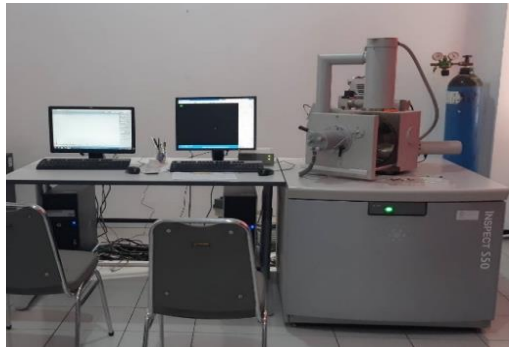
#### 3.3.2 EDX

Pada review jurnal kali ini karakterisasi yang digunakan adalah *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* atau EDX. Alat ini digunakan untuk menganalisa elemen atau karakteristik kimia dari suatu sampel. Prinsip kerja alat ini adalah dengan menembakkan electron pada permukaan sample, yang akan memancarkan X Ray. Karakteristik setiap unsur akan dapat diketahui karena setiap unsur akan memancarkan energi photon yang berbeda. Setiap perbedaan energi ini akan ditangkap oleh detector EDX (G. Wang 2016).

---



Setelah ditangkap oleh detector akan terlihat puncak-puncak dari distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi yang ditampilkan dalam grafik energi (KeV) dengan *counts*. Dari grafik tersebut dapat dilihat unsur yang terkandung beserta persentasenya. Alat yang digunakan dalam pengujian EDX dapat dilihat dalam Gambar dibawah ini



**Gambar 3.7** Instrumen SEM-EDX

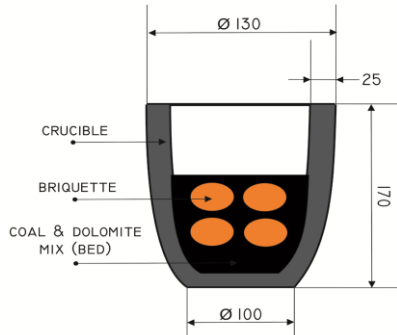
### **3.4 Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam review jurnal kali ini adalah sebagai berikut

#### **3.4.1 Metode percobaan Pada Jurnal dengan penggunaan $\text{Na}_2\text{SO}_4$**

Secara umum metode yang digunakan pada penelitian dengan menggunakan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  adalah sebagai berikut Langkah pertama yang dilakukan dalam percobaan kali ini adalah dengan menghancurkan semua bahan (*Limonite ore*, batu bara, dan dolomit) hingga mencapai ukuran 50 mesh, kemudian, tepung kanji dan juga air ditambahkan kedalam campuran hingga membentuk suatu adonan briket. Setelah itu adonan briket dicetak dengan cara ditekan dengan kekuatan tekan sebesar  $30\text{kgf/cm}^2$ . Steleah itu dikeringkan di

dalam oven dengan temperature 110°C selama 3 jam. Setelah itu briket diletakkan di dalam muffle furnace *crucible* bersama lapisan batu bara dan juga dolomit yang menutupi seluruh permukaan briket. Peletakan briket dalam *crucible* dapat dilihat dalam skema berikut ini.



**Gambar 3.8** Skema peletakan briket pada *crucible*  
(Abdul, et al 2020)

### 3.4.2 Metode Percobaan Pada Jurnal tanpa menggunakan *Selective Agent* $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Secara umum, jurnal yang tidak menggunakan *selective agent* metodenya adalah sebagai berikut Metode yang digunakan pada percobaan kali ini adalah dengan prinsip coal-based reduction yang diikuti oleh separasi secara magnetis. Pertama *ore*, *Limestone* ( $\text{CaCO}_3$ ) dan *quicklime* dan juga Bituminuous coal akan dilakukan proses crushing dengan menggunakan crusher hingga mencapai ukuran 74 $\mu\text{m}$ . Kemudian dibentuk menjadi briket. Kemudian dimasukkan ke dalam *crucible*. Setelah proses reduksi selesai akan dilakukan proses pendinginan hingga mencapai temperatur ruangan kemudian dilakukan proses

crushing dan separasi magnetis. Setelah itu dilakukan proses karakterisasi kandungan yang terdapat pada produk dengan menggunakan alat SEM-EDX untuk melihat kadar dari produk yang dihasilkan.

### 3.5 Metode Pembahasan

Jurnal yang digunakan sebagai sumber data sekunder yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

**Tabel 3.1** Jurnal yang digunakan sebagai sumber data

Penulis	Nama Jurnal	Judul
Abdul <i>et al.</i> (2018)	<i>AIP Conference Proceeding</i>	Direct Reduction Of nickel Laterite Limonitic ore Using A Coal Dolomite Mixture Bed And Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> As A Selective Agent
Abdul <i>et al.</i> (2020)	<i>Journal Of Chemical Technology And metallurgy</i>	Analysis of Holding Time Variations to Ni and Fe content and Morphology in Nickel Laterite Limonitic Reduction Process by using Coal-Dolomite bed
Tian <i>et al.</i> (2019)	<i>Journal of Material Research and Technology</i>	Improved beneficiacion of Nickel and Iron grade Saprolite by addition of Limonitic laterite Ore and CaCO <sub>3</sub>
Widyartha <i>et al.</i> (2020)	<i>Materialwiss. Werkstofftech.</i>	Effective Beneficiation of low Content Nickel Ferrous Laterite Using Fluxing Agent Through

		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Selective Reduction
Wang, <i>et al.</i> (2017)	<i>Metals, 2017</i>	Preparing Ferro-Nickel Alloy from Low-Grade Laterite Nickel Ore Based on Metallized Reduction–Magnetic Separation
P. Ju <i>et al.</i> (2018)	<i>J. Min. Metal. Sect. B-Metal</i>	Separation Of Iron Nickel-Nickel Alloy Nugget From Limonitic laterite Using Self Reduction

Metode pembahasan yang digunakan dalam review jurnal kali ini adalah dengan mempelajari bagaimana pengaruh penambahan fluks terhadap yang pertama kadar dari Ni dan juga Fe yang pertama yaitu perhitungan *recovery* dihitung dengan menggunakan data dari komposisi produk yang didapatkan pada pengujian EDX dari produk yang telah melewati separasi magnetik Setelah dilakukan perhitungan akan dilakukan pembahasan terkait hasil dari *recovery* produk yang didapatkan dan akan dibandingkan dengan data dari lain yang terdapat di dalam jurnal.

. Pada masing -masing jurnal penelitian terdapat data yang menunjukkan kadar dari produk dengan masing- masing perbedaan baik jumlah fluks yang digunakan, dan juga perbandingan jumlah fluks berbanding dengan jumlah reduktan yang digunakan.

Faktor selektivitas merupakan indicator yang menunjukkan tingkatan reduksi selektivitas terhadap nikel yang terjadi agar bisa dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Selektivitas yang dicari disini adalah selektivitas logam Ni terhadap Fe yang terkandung di dalam produk. Faktor selektivitas akan didapat

dengan membandingkan kadar Ni dan Fe yang terdapat di dalam produk dengan kadar Ni dan Fe yang terdapat di dalam *ore*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

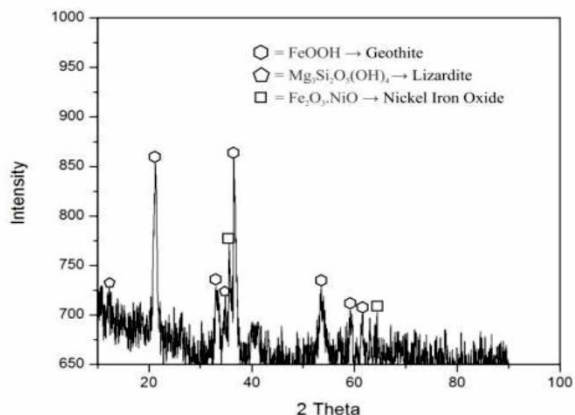
### 4.1 Komposisi Material

Pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al* (2018) meneliti tentang bagaimana pengaruh waktu tahan terhadap proses reduksi bijih nikel Laterit. Pada penelitian ini jenis bijih yang digunakan adalah jensi nikel laterit limonit. Komposisi bijih ini dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

**Tabel 4.1** Komposisi Nikel Laterit Limonit pada jurnal pertama (Abdul et al., 2018)

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	Mn	Co
Wt (%)	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	1.54	0.88	1.62

Untuk melihat senyawa apa saja yang terdapat pada bijih nikel laterit yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut ini



**Gambar 4.1** Pola XRD dari Bijih nikel laterit (Abdul, et al. 2018)

Pada hasil XRD diatas dapat dilihat bahwa peak tertinggi pada senyawa Geothite (FeOOH), lalu lizardite (Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>,

Penelitian ini menggunakan fluks dengan jenis dolomit dengan reduktan dengan jenis batu bara *Sub Bituminuous*. Hasil komposisi dolomit yang didapat adalah sebagai berikut

**Tabel 4.2** Komposisi Dolomit Pada jurnal pertama (Abdul et al., 2018)

Unsur	Ca	Mg	C	O
%Wt	18.015	13.30	12.621	55.063

Pada jurnal ini terdapat tiga variasi waktu tahan yaitu yang pertama 4 jam, 6 jam dan yang terakhir adalah 8 jam. Untuk jumlah bahan yang digunakan dapat dilihat pada tabel dibawah ini

**Tabel 4.3** Kebutuhan Bahan Jurnal Pertama (Abdul et al., 2018)

Jurnal	<i> Holding Time (jam)</i>	<i> Ore (g)</i>	<i> Coal (g)</i>	<i> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (g)</i>	<i> Tapioca (g)</i>	<i> Dolomit (g)</i>
Abdul	4	100	67.56	17.23	5.54	42.42
<i> et al.</i>	6	100	67.56	17.23	5.54	42.42
(2018)	8	100	67.56	17.23	5.54	42.42

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Abdul *et al.* (2020) yang meneliti tentang variasi massa antara reduktan dan massa fluks pada reduksi selektif bijih nikel laterit limonitik. Kandungan dari bijih dapat dilihat pada table dibawah ini

**Tabel 4.4** Komposisi bijih laterit jurnal kedua

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	Mn	Co
Wt (%)	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	1.54	0.88	1.62

Pada penelitian ini jenis fluks yang digunakan adalah dolomite sedangkan reduktan yang digunakan adalah batu bara dengan jenis *Sub Bituminuous*. Komposisi dolomite diuji dengan menggunakan alat uji EDX. Dolomite akan berguna sebagai fluks dalam percobaan ini. Hasilnya dapat dilihat sebagai berikut



**Tabel 4.5** Komposisi dolomit jurnal kedua (Abdul, et al. 2020)

Unsur	Ca	Mg	C	O
%Wt	18.015	13.30	12.621	55.063

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi perbandingan massa antara reduktan berbanding dengan fluks yaitu dengan perbandingan 1.19:1, 1.48:1 dan yang terakhir adalah 2.09:1. Lalu untuk masing- masing jumlah bahan yang digunakan dapat dilihat pada tabel dibawah ini

**Tabel 4.6** Kebutuhan Material Jurnal kedua (Abdul, et al. 2020)

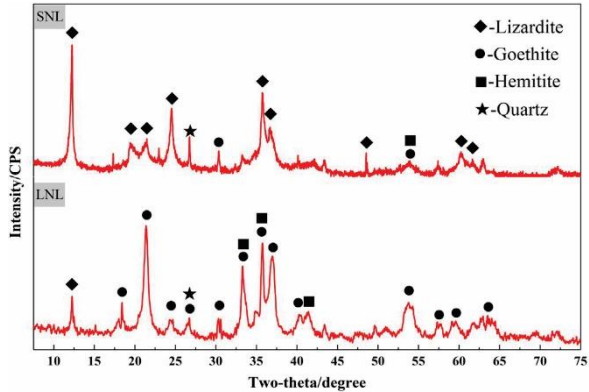
Sumber	Variasi	Ore (g)	Coal (g)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g)	Tapioca (g)	Dolomit (g)
Abdul <i>et al.</i> (2020)	1.19:1	100	27.07	14.42	4.24	22.84
	1.48:1	100	68.36	14.42	4.24	46.20
	2.09:1	100	47.71	14.42	4.24	22.84

Pada penelitian ketiga yang dilakukan oleh Tian *et al.* (2019). Bijih Nikel laterit yang digunakan merupakan perpaduan dari jenis limonit dan juga saprolit. Proporsi yang digunakan adalah dengan menggunakan sebanyak 20% Limonit dan juga 80% limoit Hasil dari karakterisasi bijih dapat dilihat pada Gambar dan tabel dibawah ini.

**Tabel 4.7** Komposisi bijih nikel laterit (%) pada jurnal ketiga (Tian et al., 2019)

Unsur	SiO <sub>2</sub> (%)	Ni (%)	Fe (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	S (%)
Saprolit	32.38	1.29	16.31	6.29	0.34	0.36	2.83	0.003
Limonit	8.2	0.86	45.09	5.58	0.12	2.36	0.81	0.002

Pada gambar dibawah ini dapat dilihat pada hasil uji XRD dari limonit dan saprolit dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini.



**Gambar 4.2** Hasil XRD dari *ore* laterit pada jurnal ketiga (Abdul et al, 2019)

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa fasa yang dominan pada penelitian kali ini adalah lizardite dan goethite pada limonit, goethite adalah fasa yang lebih dominan sedangkan pada saprolit lizardit adalah fasa yang dominan dan goethite dalam jumlah yang lebih sedikit. Lalu keduanya juga mengandung hematite dan quartz.

Pada penelitian kali ini jenis fluks yang digunakan adalah fluks dengan jenis *Limestone* ( $\text{CaCO}_3$ ). Namun, Pada penelitian ini tidak dicantumkan berapa jumlah secara pasti dari bijih yang digunakan, komposisi kimia dari fluks dan juga jumlahnya. Namun parameter yang digunakan adalah perhitungan tingkat basisitas yang jika nilainya semakin meningkat, maka jumlah fluks yang ditambahkan akan semakin meningkat. data kebutuhan material dapat dilihat pada Tabel 4.8 Terdapat dua data yang digunakan yaitu pada basisitas sebesar 0.01 yang merupakan basisitas alami dari *ore* dan tanpa penambahan fluks dan juga pada basisitas sebesar 0.25.

**Tabel 4.8** Kebutuhan material pada jurnal ketiga (Tian et al., 2019)

Jurnal	Saprolit (%)	Limonit (%)	Bituminuous (%)	Basisistas
Tian (2019)	80	20	12	0.01
	80	20	12	0.25

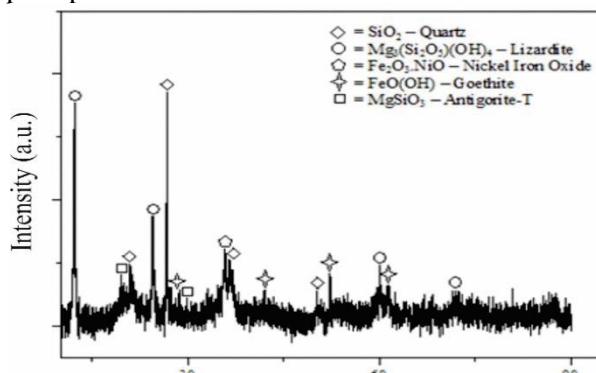
Yang berdasarkan penelitian ini yang merupakan basisitas optimum yang ditemukan dalam penelitian untuk memaksimalkan perolehan baik kadar maupun *recovery* dari Ni dan Fe.

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Widyartha *et al.* (2020) membahas tentang pengaruh berbagai macam jenis fluks dalam reduksi selektif bijih nikel laterit. Untuk komposisi bijih nikel laterit dapat dilihat pada tabel dibawah ini

**Tabel 4.9** Komposisi nikel laterit pada jurnal keempat (Widyartha et al., 2020)

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	O	Co
Wt (%)	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	1.54	31.49	1.62

Lalu untuk melihat fasa apa saja yang terdapat di dalam bijih dilihat pada pola XRD di bawah ini



**Gambar 4.3** Pola XRD pada jurnal keempat (Widyartha, et al. 2020)

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa senyawa yang terdapat di dalam *ore* diantaranya adalah Geothite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), Lizardite ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), Nickel iron oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{NiO}$ ) dan Quartz ( $\text{SiO}_2$ ). Penelitian ini menggunakan tiga jenis fluks yaitu dolomite, *limestone* dan juga *quicklime*. Komposisi dari masing-masing fluks dapat dilihat pada tabel dibawah ini

**Tabel 4.10** Komposisi fluks yang digunakan pada penelitian (Widyartha et al. 2020)

Unsur	Dolomite (%)	<i>Limestone</i> (%)	<i>Quicklime</i> (%)
Ca	18.015	65.37	59.143
Mg	14.30	-	-
C	12.6215	0.81	2.86
O	55.0635	22.44	28.417
Al	-	0.513	0.793
Si	-	0.42	0.536

Kemudian untuk mengetahui kebutuhan dari material yang digunakan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

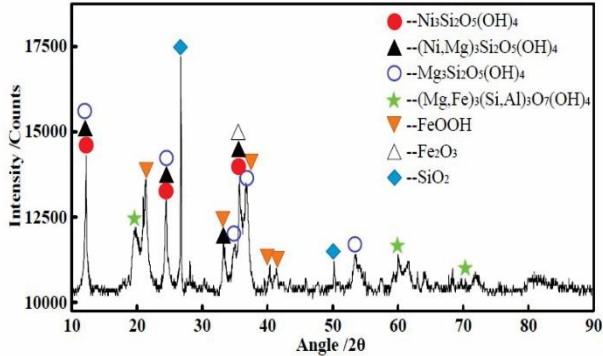
**Tabel 4.11** Jumlah material yang digunakan pada jurnal keempat (Widyartha et al 2020)

Jurnal	Fluks	<i>Ore</i> (g)	Coal (g)	Jumlah fluks (g)	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (g)	Tapioca (g)
Widyartha et al (2020)	Dolomit	100	60	44.92	19.835	6.85
	<i>Limestone</i>	100	60	48.722	19.835	6.85
	<i>Quicklime</i>	100	60	27.284	19.835	6.85

Perbedaan hanya terletak pada jumlah fluks yang digunakan yaitu dengan fluks dolomit jumlah yang digunakan adalah 44.923 gram, lalu fluks *quicklime* dengan jumlah 27.284 gram dan yang terakhir *limestone* yang digunakan adalah 48.722 gram.

Pada penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Wang et al. (2017) menggunakan variasi perbedaan penambahan CaO dengan

jumlah 5%, hingga 15%. *Ore* yang digunakan adalah nikel laterit dengan jenis saprolit



**Gambar 4.4** Hasil XRD pada jurnal kelima (Wang, et al. 2017)

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa kadar Ni yang terdapat adalah 1.82% dan terdapat di dalam beberapa fasa. Nikel terdapat pada fasa Cholorite ( $\text{Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) dan Garnierite  $(\text{Ni},\text{Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ . Kadar Fe yang terdapat didalam bijih adalah sebanyak Cgrystolite  $(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_7(\text{OH})_4$ , goethite (FeOOH) dan hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Reduktan yang digunakan adalah batu bara sebagai reduktor. Kandungan dari saprolit dapat dilihat pada tabel dibawah ini

**Tabel 4.12** Komposisi Saprolit pada Jurnal kelima (Wang, et al. 2017 )

Unsur	SiO <sub>2</sub> (%)	Ni (%)	Fe (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Saprolit	37.48	1.82	19.78	12.98	0.09	1.40	4.00

Untuk kebutuhan dari materialnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.13** kebutuhan Material pada Jurnal kelima (Wang, et al. 2017 )

Sumber	Fluks	Reduktan	<i>Ore</i>	Jumlah campuran

---

Wang et al  
(2017)      Quicklime    Batu Bara      Saprolit      7 gram

---

Penelitian berikutnya dilakukan oleh P.Ju *et al.* (2018). Penelitian ini meneliti bijih nikel laterit limonitik dengan menggunakan fluks berupa *quicklime* dengan variasi penambahan 6%, 7%, 8%, 9% dan 10% dan dua rasio C/O yaitu 0.6 dan 0.7. data yang dicantumkan hanya data terbaik dari penelitian. Data ini akan digunakan sebagai penunjang di dalam pembahasan Kadar Nikel limonit dapat dilihat pada tabel 4.14 dibawah ini

**Tabel 4.14** Komposisi limonit pada jurnal keenam (P.Ju et al. 2018)

Unsur	TFe (%)	Ni (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
Wt(%)	35.32	1.63	6.23	18.11	0.12	7.92	10.94

Kemudian untuk melihat bahan penyusun briket dapat dilihat pada tabel 4.15 dibawah ini

**Tabel 4.15** Kebutuhan bahan briket pada jurnal keenam

Sumber	Fluks	Reduktan	Ore
P.Ju <i>et al.</i> (2018)	Quicklime	Batu Bara	Limonit

Penelitian ini lebih berfokus kepada kadar nikel yang terbentuk di dalam produk dan menggunakan dua rasio C/O yaitu 0.6 dan 0.7. dan variasi dari penambahan CaO sebesar 6% sampai 10%.

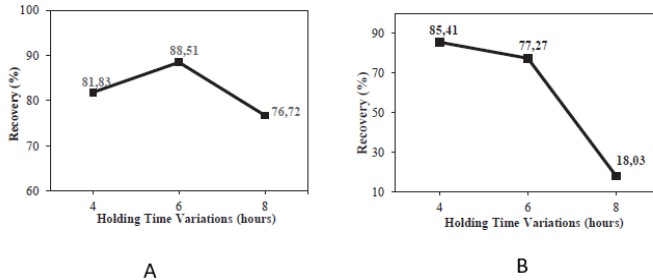
## 4.2 Data Hasil Penelitian

### 4.2.1 Data Hasil Produk Hasil Aplikasi Fluks Terhadap Recovery Produk

Pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al.* (2018) menggunakan fluks dolomit dengan massa sebesar 42.42 gram setiap 100 gram bijih nikel laterit yang digunakan sebagai feed pada proses reduksi langsung selektif dari bijih nikel. Namun yang

---

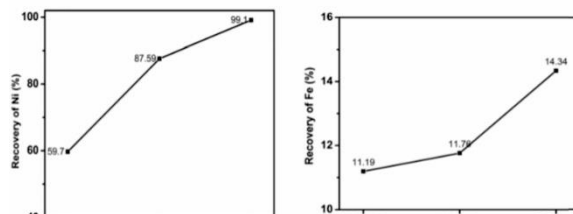
menjadi pembeda pada penelitian kali ini adalah digunakannya beberapa variasi waktu holding selama 4,6 dan 8 jam dengan temperature reduksi sebesar 1400 °C. setelah dilakukan percobaan didapatkan hasil sebagai berikut



**Gambar 4.5** Recovery dari Ni (A) dan Fe (B) dari jurnal pertama (Abdul et al. 2018)

Berdasarkan variasi dari waktu tahan atau *holding time* dapat dilihat bahwa nilai *recovery* dari Ni dengan waktu tahan sebesar 4 jam lebih kecil jika dibandingkan dengan waktu tahan selama 6 jam yang didapatkan data *recovery* Ni sebesar 88.51% dan *recovery* Fe sebesar 77,27%. Sedangkan data dengan waktu tahan yang paling lama yaitu selama 8 jam *recovery* Fe paling rendah sebesar 18.03%.

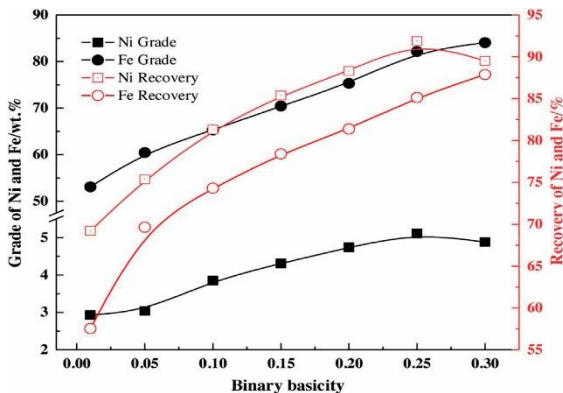
Pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al.* (2020) membandingkan antara 3 rasio komposisi batu bara dan dolomit yang pertama sebesar 1.19:1, lalu 1.48:1, dan yang terakhir 2.09:1. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan data sebagai berikut.



**Gambar 4.6** Recovery Ni dan Fe pada jurnal kedua (Abdul et al 2020)

Untuk *recovery* akan meningkat seiring dengan perbandingan batu bara dan dolomit yang lebih tinggi. Untuk hasil yang didapat pada variable terakhir didapatkan hasil *recovery* yang paling tinggi jika dibandingkan dengan variable lainnya yaitu *recovery* pada Unsur Ni dan Fe sebesar 99.1% dan 14.34%.

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Tian (2019) dengan komposisi 20% limonit dan juga 80% saprolit. fluks *limestone* yang digunakan tidak jelas seberapa banyak, namun langsung berupa perhitungan basisitas yang berbeda antar variasi yang ada pada sample. Semakin tinggi nilai basisitas akan semakin tinggi pula jumlah *limestone* yang ditambahkan. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah ini

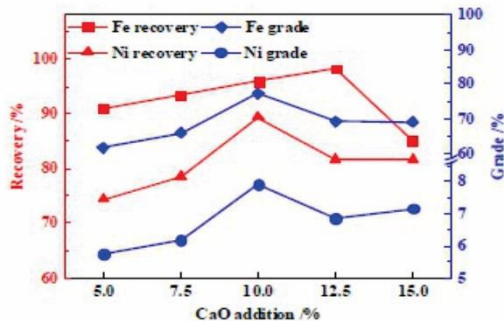


**Gambar 4.7** Recovery dan kadar dari Ni dan Fe pada jurnal ketiga (Tian et al. 2019)

Berdasarkan tabel dapat dilihat bahwa *recovery* dari produk Namun di dalam jurnal penelitian tersebut *recovery* yang dituliskan secara pasti adalah pada titik dimana basisitasnya 0.01 yang merupakan basisitas alami dari *ore* dan juga pada titik 0.25 yang merupakan titik optimum yang dicapai dalam penelitian pada titik 0.01, *recovery* yang didapat lebih rendah jika dibandingkan dengan pada titik optimal yaitu pada basisitas sebesar 0.25 *recovery* Ni dan



juga Fe yang didapatkan adalah sebesar 91.89% dan 85.15%. Pada penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Wang et al. (2017) dengan variasi masa *quicklime* 5% sampai dengan 15%. Data angka pasti *recovery* didapat pada 5%, 10% dan 15% kecuali pada *recovery* Fe yang memiliki hasil terbaik pada 12.5% didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.8 dibawah ini

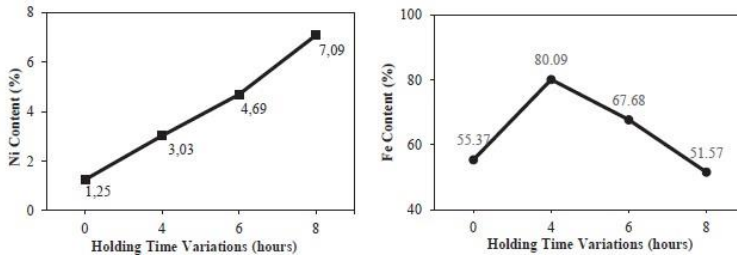


**Gambar 4.8** Pengaruh penambahan CaO terhadap produk (Wang, et al. 2017)

Dengan penambahan *quicklime* didapatkan kenaikan *recovery* Ni maupun Fe hingga mencapai angka penambahan *quicklime* hingga 12.5% untuk Fe dengan *recovery* sebesar 98.23% dan penambahan *quicklime* hingga 10% untuk Ni dengan *recovery* sebesar 89.36%. Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa penambahan fluks hingga 15% dapat menurunkan *recovery* dari produk

#### 4.2.2 Data Hasil Penambahan Fluks terhadap Kadar Produk

Untuk hasil dari kadar produk akibat ditambahkan fluks pada penelitian pada jurnal pertama oleh Abdul *et al* (2018)



**Gambar 4.9** Kadar Ni dan Fe produk jurnal pertama (Abdul et al 2018)

Pada Tabel 4.16 berikut ini dapat dilihat bagaimana kenaikan kadar dari baik Ni maupun Fe yang terjadi jika dibandingkan dengan kadar yang terdapat di dalam bijih pengaruh dari proses reduksi dan juga pengaruh dari perbedaan waktu tahan.

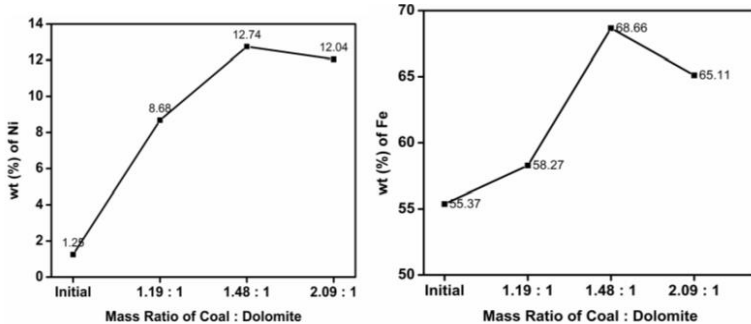
**Tabel 4.16** Kadar Ni-Fe pada jurnal pertama (Abdul et al., 2018)

Jurnal	Fluks	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Abdul <i>et al.</i> (2018)	-	Kadar Bijih	1.25	55.37
	Dolomit	4 jam	3.03	80.09
	Dolomit	6 jam	4.69	67.68
	Dolomit	8 jam	7.09	51.57

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa kadar nikel semakin meningkat dengan adanya penambahan lamanya waktu reduksi, namun untuk kadar Fe dari produk maka nilai tertinggi terdapat pada waktu holding selama 4 jam dengan nilai sebesar 80.9% sedangkan kadar Ni sebesar 3.03%. sedangkan kadar produk terendah didapatkan pada variasi waktu tahan selama 8 jam kadar Ni tertinggi sebesar 7.09%, Walaupun memiliki waktu holding yang berbeda, namun semua variabel penelitian memiliki

jumlah dolomit yang sama yaitu 42.42 gram per 100 gram *ore* limonit yang digunakan sebagai feed.

Jurnal kedua yang diteliti oleh Abdul *et al* (2020) membandingkan pengaruh perbedaan massa reduktan dan juga massa fluks yang digunakan dalam penelitian hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Tabel berikut ini



**Gambar 4.10** Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal kedua (Abdul. *et al*, 2020)

Pada Tabel 4.16 berikut ini dapat dilihat bagaimana kenaikan kadar dari baik Ni maupun Fe yang terjadi hasil dari proses reduksi dan juga variasi massa batu bara dan dolomit jika dibandingkan dengan kadar yang terdapat di dalam bijih setelah diuji oleh alat EDX

**Tabel 4.17** Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal kedua (Abdul *et al* 2020)

Jurnal	Fluks	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Abdul <i>et al</i> (2020)	-	Kadar Bijih	1.25	55.37
	Dolomit	1.19:1	8.66	58.27
	Dolomit	1.48:1	12.74	68.66
	Dolomit	2.09:1	12.04	65.11

untuk kadar dapat dilihat bahwa dengan penambahan rasio antara dolomit berbanding dengan reduktan dapat dilihat bahwa

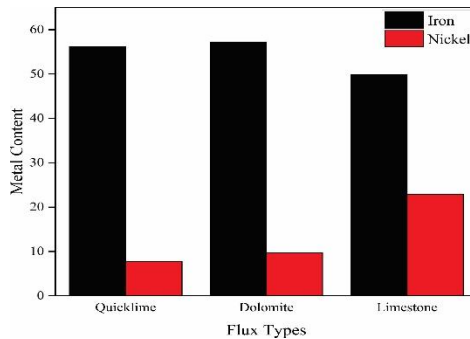
dengan perbandingan massa batu bara yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan dolomit akan menghasilkan peningkatan kadar Ni dan Fe yang lebih tinggi. Hasil terbaik didapatkan pada perbandingan massa batubara:dolomit sebesar 1.48:1 dengan kadar Fe dan Ni sebesar 12.74% dan 68.66%. Namun ketika massa batu bara kembali ditingkatkan dengan perbandingan massa 2.09:1, kadar dari Fe maupun Ni akan mengalami penurunan.

Pada penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Tian *et al* (2019) yang menggunakan fluks berupa *limestone* ( $\text{CaCO}_3$ ) data mengenai trend penambahan kadar Fe-Ni dapat dilihat pada Gambar 4.6. dapat dilihat bahwa kadar dari produk hanya dapat dilihat adanya trend kenaikan untuk baik *recovery* Ni maupun Fe. Untuk melihat perbandingan kenaikan kadar setelah melalui proses dan keadaan sebelum melalui proses dapat dilihat pada tabel 4.17 dibawah ini.

**Tabel 4.18** Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal ketiga (Tian *et al.*, 2019)

Jurnal	Fluks	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Tian <i>et al.</i> , (2019)	-	Kadar Bijih	1.29	16.31
	-	Basisitas 0.01	2.93	57.53
	<i>Limestone</i>	Basisitas 0.25	5.11	85.15

Namun di dalam jurnal penelitian tersebut *recovery* yang dituliskan secara pasti adalah pada titik dimana basisitasnya 0.01 yang merupakan basisitas alami dari *ore* dan juga pada titik 0.25. pada titik 0.01 kadar Fe dan juga Ni akan lebih rendah jika dibandingkan dengan pada titik optimal yaitu pada basisitas sebesar 0.25 kadar Ni dan juga Fe yang didapatkan adalah sebesar 5.11% dan 85.15%.



**Gambar 4.11** Kadar Ni dan Fe dengan perbedaan Variasi fluks pada jurnal keempat (Widyartha et al. 2020)

Kemudian untuk melihat perbandingan antara peningkatan terhadap kadar pada produk yang sudah melalui proses reduksi dengan perbedaan jenis fluks yang digunakan dibandingkan dengan kadar yang terdapat di dalam bijih dapat dilihat pada tabel dibawah ini Hasil kadar baik dalam bijih maupun produk

**Tabel 4.19** Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal keempat (Widyarththa et al 2020)

Jurnal	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Widyartha et al (2020)	Kadar Bijih	1.25	55.37
	<i>Limestone</i>	22.93	49.88
	Quickime	7.75	56.18
	Dolomit	9.65	57.27

Berdasarkan data penelitian yang dilakukan oleh Widyartha et al (2020) dapat dilihat bahwa fluks dengan jenis *limestone* dapat menghasilkan kadar Ni paling tinggi yaitu 22.93% sedangkan

kadar Fe tertinggi didapatkan dengan fluks dolomit dengan kadar 57.27%

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Wang et al. (2017), mendapatkan hasil trend peningkatan pada kadar baik dari Ni maupun Fe yang didapat. Dengan penambahan hingga sebesar 10% CaO akan didapatkan peningkatan kadar namun jika melebihi jumlah tersebut akan terjadi penurunan. Untuk melihat perbandingan antara kadar pada bijih dan perbandingan kadar pada produk hasil akhir dengan berbagai macam variasi jumlah penambahan fluks *quicklime* dapat dilihat pada tabel dibawah ini

**Tabel 4.20** Kadar Ni dan Fe pada produk jurnal kelima (Wang, et al. 2017)

Jurnal	Fluks	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Wang, <i>et al.</i> (2017)	-	Kadar bijih	1.82	19.57
	<i>Quicklime</i>	5 % <i>Quicklime</i>	5.76	61.79
	<i>Quicklime</i>	10% <i>quicklime</i>	7.90	77.32
	<i>Quicklime</i>	15% <i>Quicklime</i>	7.16	69.11

Pada tabel 4.20 diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan 10% fluks *quicklime* akan didapatkan peningkatan kadar baik Ni maupun Fe, namun diatas jumlah tersebut dapat dilihat bahwa akan terjadi penurunan kadar yang diakibatkan naiknya jumlah fluks yang ditambahkan hingga penambahan 15% fluks *quicklime*.

Pada penelitian yang berikutnya dilakukan oleh P.Ju et al. (2018). Melakukan penelitian terhadap pengaruh fluks *quicklime* terhadap proses reduksi langsung bijih nikel laterit. Bijih nikel yang digunakan adalah bijih nikel laterit limonitik penambahan

dimulai dengan 6% *quicklime* hingga 10% *quicklime*. Hanya terdapat satu data yang dilampirkan secara tertulis beserta grafik dari trend kadar pada unsur Ni saja seperti pada Gambar 4.13 sedangkan untuk melihat kadarnya dengan menggunakan karakterisasi EDX dapat dilihat pada tabel 4.21 dibawah ini

**Tabel 4.21** Kadar Ni dan Fe pada jurnal keenam (P.Ju, et al. 2018)

Jurnal	Fluks	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
	-	Kadar bijih	1.81	17.87
P.Ju <i>et al.</i> (2018)	<i>Quicklime</i>	8% <i>quicklime</i>	4.75	89.51

Pada penelitian ini hanya terlampir satu data terbaik saja. Namun jika berdasarkan Gambar 4.13 maka kadar Ni dengan jumlah penambahan lebih dari 8% maupun kurang dari 8% akan mendapatkan kadar Ni yang lebih rendah

#### 4.2.3 Penambahan Fluks terhadap Faktor Selektivitas Produk

Penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al.* (2018) menggunakan jumlah dolomit yang sama yaitu 42 gram untuk setiap 100 gram limonit yang digunakan pada semua variasi waktu tahan pada proses reduksi mendapatkan nilai selektivitas sebagai berikut

**Tabel 4.22** Selektivitas Pada jurnal pertama (Abdul et al, 2018)

Jurnal	Fluks	Aditif	<i>Holding Time</i>	Selektivitas
	Dolomit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4 jam	1.67
Abdul <i>et al.</i> (2020)	Dolomit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6 jam	3.07
	Dolomit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8 jam	6.8

Semakin lama waktu holding dari proses reduksi semakin baik juga faktor selektivitas dari proses. Seperti pada tabel dapat dilihat bahwa dengan melakukan *holding time* yang lebih lama akan membuat selektivitas akan meningkat dikarenakan kenaikan kadar Ni dan juga penurunan kadar Fe. Pada waktu holding selama 8 jam akan didapatkan selektivitas terbaik dengan nilai 6.80.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al.* (2020) juga memperhatikan bagaimana faktor selektivitas yang memperlihatkan seberapa baik reduksi nikel yang terjadi pada proses reduksi (Pintowantoro and Abdul 2019), data mengenai faktor selektivitas dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.23** Faktor selektivitas dari produk pada jurnal kedua (Abdul *et al.*, 2020)

Jurnal	Fluks	Rasio massa Coal: Dolomit	Selektivitas
Abdul <i>et al</i> (2020)	Dolomit	1.19:1	6.598
	Dolomit	1.48:1	8.219
	Dolomit	2.09:1	8.191

Nilai selektivitas terbaik didapatkan pada variabel dengan perbandingan massa antara batu bara dan juga dolomit sebesar 1.48:1 dengan nilai selektivitas sebesar 8.219%. Pada table diatas dapat dilihat bahwa dengan pertambahan massa batubara terhadap dolomit yang lebih rendah maka selektivitas yang didapatkan akan lebih rendah juga.

**Tabel 4.24** Faktor Selektivitas produk jurnal ketiga (Tian *et al.*, 2019)

Jurnal	Fluks	Aditif	Basisitas	Selektivitas
Tian, <i>et al.</i> (2019)	<i>Limestone</i>	-	0.01	0.697
	<i>Limestone</i>	-	0.25	0.786



Lalu pada penelitian terakhir yang dilakukan oleh Widyartha et al (2020) didapatkan bahwa hasil selektivitas terbaik didapatkan pada fluks dengan jenis *limestone*. Hasilnya secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.25 dibawah ini.

**Tabel 4.25** Faktor selektivitas pada produk jurnal keempat (Widyartha et al., 2020)

Jurnal	Ore	Aditif	Fluks	Faktor Selektivitas
Widyartha <i>et al.</i> (2020)	Limonit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	<i>Limestone</i>	20.36
	Limonit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Dolomit	7.463
	Limonit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	<i>Quicklime</i>	6.11

Faktor selektivitas yang didapat dengan fluks *limestone* sebesar 20.36. lebih tinggi jika dibandingkan dengan dolomit dan *quicklime* yang masing-masing mendapatkan selektivitas sebesar 7.436 dan 6.11

Pada hasil dari selektivitas pada penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Wang et al. (2017) didapatkan bahwa selektivitas terbaik didapatkan dengan menggunakan penambahan 10 % *quicklime*. Hasilnya secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.26 dibawah ini

**Tabel 4.26** Selektivitas Produk pada jurnal kelima (Wang, et al. 2017)

Jurnal	Fluks	Aditif	Variasi	Selektivitas
Wang <i>et al.</i> (2017)	<i>Quicklime</i>	-	5%	1.002
	<i>Quicklime</i>	-	10%	1.098
	<i>Quicklime</i>	-	15%	1.01

Perbedaan selektivitas antar variasi penambahan *quicklime* tidak terlalu besar. Variasi penambahan 10% mendapatkan selektivitas sebesar 1.098. Pada table dapat dilihat bahwa dengan

penambahan fluks dibawah dan diatas titik optimal yaitu 10%, maka akan terjadi penurunan selektivitas walaupun tidak signifikan

Penelitian terakhir dilakukan oleh P. Ju et al (2018) dengan data kadar yang tersedia hanya pada titik optimal dari penambahan 8% *quicklime*. Jika melihat pada Gambar 4.19 maka dapat dilihat bahwa dengan penambahan diatas dari 8% dan dibawahnya maka kadar dari Ni akan menurun begitu juga dengan nilai selektivitas terhadap Ni. Untuk melihat hasilnya maka dapat dilihat pada tabel dibawah ini

**Tabel 4.27** Faktor selektivitas dari produk jurnal keenam (P.Ju, et al. 2018)

Jurnal	Fluks	Aditif	Variasi	Selektivitas
P.Ju <i>et al.</i> (2017)	<i>Quicklime</i>	-	8%	1.149

Perhitungan selektivitas disini bertujuan sebagai data penunjang pada pembahasan. Hasil selektivitas yang didapatkan berasal dari kadar produk akhir paling optimal pada 4.75% Ni dan 89.51% Ni. Sehingga didapatkan factor selektivitas sebesar 1.149

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Pengaruh Penambahan Fluks terhadap *Recovery* Ni dan Fe

Penambahan fluks berdampak pada *recovery* dari produk yang dihasilkan karena adanya senyawa CaO yang dihasilkan dari proses dekomposisi dari fluks akan membantu meningkatkan *recovery* dari Fe maupun Ni (Bello, Restrepo and Pinilla 2016)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Abdul (2020) menyatakan bahwa dengan ditingkatkannya massa dari coal terhadap dolomit yang digunakan dapat meningkatkan *recovery* dari Fe dan Ni.

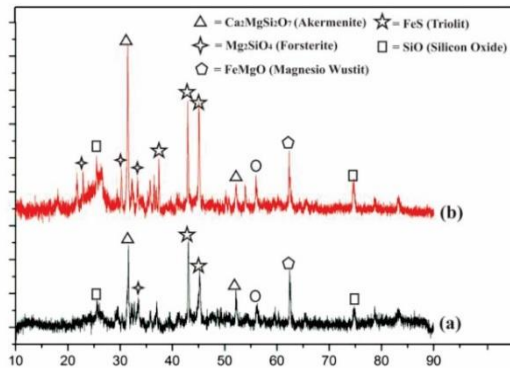
**Tabel 4.28** *Recovery* terbaik hasil penambahan fluks pada masing-masing penelitian

Jurnal	Ore	Fluks	Aditif	<i>Recovery</i> Ni (%)	<i>Recovery</i> Fe (%)
Abdul <i>et al.</i> (2020)	Limonit	Dolomit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	99.1	14.34
Tian <i>et al.</i> (2019)	Limonit+ Saprolit	<i>Limestone</i>	-	91.89	82.15
Abdul, <i>et al.</i> (2018)	Limonit	Dolomit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	88.51	85.41
Wang et al (2017)	Saprolit	<i>Quicklime</i>	-	89.36	98.23

Berdasarkan data pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa *recovery* dari produk akan meningkat seiring dengan naiknya perbandingan massa batu bara dan dolomit. Hal ini disebabkan reaksi boudouard yang dapat berlangsung dengan lebih baik karena CO akan mereduksi nikel dan besi oksida menjadi bentuk metalik. Lalu dengan perbandingan antara batu bara dan dolomit yang lebih rendah akan meningkatkan pembentukan dari *olivine* ((Mg,Ni)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>). *Olivine* dapat terbentuk dari reaksi antara MgO dan SiO<sub>2</sub>. Senyawa MgO dapat terbentuk dari proses dekomposisi dolomit. Namun, pada saat terbentuknya *olivine*, sebagian Ni akan ikut bergabung dalam matriks silika sehingga dapat membuat adanya sejumlah Ni yang akan bergabung menjadi bagian yang bersifat non-magnetic (Rodrigues, et al. 2017). Hal ini membuat nilai dari *recovery* dari Ni akan lebih rendah jika dibandingkan dengan rasio perbandingan batu bara berbanding dolomit yang lebih tinggi (Abdul, et al. 2020). Sedangkan untuk *recovery* Fe akan berkurang akibat adanya *selective agent* seperti Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang membuat sebagian Fe tergabung di dalam *slag* dalam bentuk FeS.

*Recovery* Ni pada perbandingan 2.09:1 lebih tinggi jika dibandingkan dengan pada perbandingan 1.19:1 maupun 1.48:1. Hal ini dikarenakan jumlah yang rendah pada batu bara maupun fluks pada perbandingan 1.19:1 dan jumlah yang tinggi pada dolomit akan menghasilkan MgO yang akan menjebak Ni dalam bentuk *olivine*. Untuk *recovery* Fe dengan perbandingan 1.19:1 akan menghasilkan *recovery* yang lebih rendah karena jumlah dolomit dan batu bara lebih sedikit, sehingga jumlah gas CO lebih sedikit. Pada perbandingan 1.48:1 walaupun memiliki perbandingan CO/CO<sub>2</sub> yang paling tinggi, tetapi karena jumlah fluks yang digunakan lebih banyak sehingga terbentuk lebih banyak fasa *slag* cair yang lebih banyak dapat mengganggu kontak *ore* dan reduktor (Wang, et al. 2017).

Abdul *et al.* (2018) melakukan penelitian dengan menambahkan 42 gram fluks dengan jenis dolomit. Sedangkan untuk batu bara jumlah yang ditambahkan sebesar 67.56 gram. Berdasarkan Gambar 4.5, *recovery* Fe tertinggi didapatkan pada waktu holding selama 4 jam dengan *recovery* sebesar 85.41%, sedangkan *recovery* Ni yang paling tinggi didapatkan pada waktu holding selama 6 jam dengan *recovery* sebesar 88. 51%. Dengan waktu reduksi yang lebih lama akan membuat reaksi boudouard yang terbentuk dari reaksi karbon yang berasal dari batu bara dan CO<sub>2</sub> dari dekomposisi fluks akan berjalan lebih lama, sehingga *recovery* logam meningkat karena bijih akan bereaksi dengan CO dalam waktu yang lebih lama (Abdul et al. 2018). namun pada Fe, hasil *recovery* Fe akan menurun karena waktu reduksi yang lama akan untuk *recovery* Fe akan berkurang karena reaksi dengan *selective agent* yang digunakan seperti Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang membuat sebagian Fe tergabung di dalam *slag* dalam bentuk FeS (Li, et al. 2012). Untuk melihat fasa yang terbentuk di dalam *slag* maka dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.12** Hasil XRD slag (a) 4 jam dan (b) 8 jam pada jurnal pertama (Abdul et al. 2018)

berdasarkan Gambar 4.12 diatas dapat dilihat adanya fasa FeS yang terbentuk akibat penekanan kadar Fe pada sample dengan penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Lalu dengan penambahan dolomit yang menghasilkan CaO dan MgO akan mengikat silika masuk ke dalam pengotor membentuk forsterite ( $\text{MgSiO}_4$ ) dan juga Akermenite ( $\text{CaMgSiO}_7$ ). Dengan pengikatan pengotor silika ke dalam *slag* akan membantu peningkatan perolehan logam.

Hasil *recovery* Ni pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul et al (2018) yang didapat memang belum mencapai hasil *recovery* dari perbandingan batu bara-Dolomit sebesar 2.09:1 karena perbandingan dolomit yang lebih tinggi akan menyebabkan terbentuknya *olivine* yang membuat Sebagian komponen logam Ni menjadi komponen non-magnetic sehingga *recovery* dari Ni akan semakin menurun (Rodrigues, et al. 2017)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Tian *et al* (2019) untuk menunjukkan seberapa banyak fluks *limestone* yang digunakan digunakan indikator berupa nilai basisitas. Basisitas merupakan ukuran seberapa banyak fluks berupa *limestone* yang digunakan pada saat proses. Semakin tinggi nilainya maka akan

semakin banyak  $\text{CaCO}_3$  yang digunakan di dalam sample (Li, Luo, et al. 2015). *Limestone* ( $\text{CaCO}_3$ ) akan mengikat  $\text{SiO}_2$  setelah melalui proses dekomposisi menjadi  $\text{CaO}$  dan membebaskan  $\text{FeO}$  dan  $\text{NiO}$ . Setelah  $\text{FeO}$  dan  $\text{NiO}$  dibebaskan, maka reduksi dengan gas  $\text{CO}$  untuk menjadi  $\text{Fe}$  dan  $\text{Ni}$  akan berjalan lebih mudah (Tian, et al. 2020). Hal ini menyebabkan peningkatan dari *recovery* produk. Berdasarkan data pada Gambar 4.7 pada basisitas sebesar 0.01 menjadi 0.25 nilai *recovery*  $\text{Ni}$  maupun  $\text{Fe}$  mengalami peningkatan  $\text{Ni}$  meningkat dari 69.21% menjadi 91.89. Setelah basisitas dinaikkan hingga 0.3 maka *recovery* dari  $\text{Ni}$  akan mengalami penurunan. Hal yang sama terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Wang et al (2017). Seperti pada Gambar 4.8, dengan penambahan jumlah fluks *quicklime* hingga mencapai 10%, akan membuat *recovery* dari  $\text{Ni}$  akan meningkat hingga 89.36% meningkat jika dibandingkan variasi 5% *quicklime* namun mengalami penurunan lagi pada penambahan 15% *quicklime*. Untuk *recovery* dari unsur  $\text{Fe}$ , akan terjadi peningkatan nilai *recovery* jika jumlah *quicklime* ditambahkan hingga pada titik optimum pada penambahan 12.5% *quicklime* dengan *recovery* sebesar 98.23%. Apabila jumlah penambahan *quicklime* ditingkatkan hingga 15%, akan terjadi penurunan nilai *recovery*. Hal ini disebabkan penambahan fluks berlebih yang dapat meningkatkan fasa cair pada *slag*. Jumlah fasa cair yang berlebih ini bisa menurunkan area kontak antara *ore* dan reduktor, sehingga *recovery* logam akan turun (Wang, et al. 2017). Pada logam  $\text{Ni}$ , *recovery* dan kadar akan sangat bergantung pada kemampuan partikel  $\text{Ni}$  metalik untuk berkumpul (Ju, Ryom and Hong 2018). Hal ini disebabkan karena jumlah  $\text{Ni}$  yang lebih sedikit di dalam *ore*, jika pembentukan butir terganggu akan membuat sebagian  $\text{Ni}$  akan bergabung ke dalam *slag* sehingga perolehan nikel akan menurun.

Secara umum, dengan penambahan Fluks yang berlebih maka akan menyebabkan terlalu banyak *slag* cair yang akan menghalangi kontak antara *ore* dan juga reduktor sehingga *recovery*  $\text{Ni}$  dan  $\text{Fe}$  akan menurun (Wang, et al. 2017). Jadi

pengaruh fluks dalam hal *recovery* Fe-Ni adalah karena fluks membantu pembentukan dari gas CO melalui reaksi boudouard dengan cara membantu suplai dari CO<sub>2</sub>, dekomposisi dari fluks akan menghasilkan senyawa berupa CaO. Penambahan unsur CaO akan meningkatkan *recovery* dan juga kadar dari Ni (Yang, et al. 2013). CaO akan membantu untuk membebaskan FeO dan NiO yang lebih mudah direduksi (Monchon, et al. 2014). Namun berdasarkan penelitian untuk mendapatkan nilai *recovery* Fe dan Ni yang lebih baik, perbandingan dari jumlah penambahan batu bara dan fluks masih harus diteliti lebih lanjut.

#### 4.3.2 Pengaruh Fluks Terhadap kadar Ni dan Fe

Fluks biasa digunakan untuk memisahkan logam dengan *slag* pada saat proses reduksi, biasanya di dalam bijih laterit terdapat kandungan pengotor berupa silika. Kandungan silika yang tinggi dapat membuat proses pemisahan antara pengotor dan juga *slag* nya akan lebih sulit untuk dilakukan (Yang, et al. 2013). Selain untuk mengikat pengotornya penambahan fluks juga dimaksudkan untuk membantu pembentukan gas reduktan berupa CO dari reaksi boudouard untuk membantu menciptakan kondisi ideal untuk memulai proses reduksi. (Bello, Restrepo and Pinilla 2016).

**Tabel 4.29** Kadar Ni dan Fe terbaik pada masing-masing penelitian

Jurnal	Ore	Fluks	Aditif	Ni (%)	Fe (%)
Abdul et al (2020)	Limonit	Dolomit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12.74	68.86
Abdul et al (2018)	Limonit	Dolomit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7.09	80.09

---

Tian <i>et al</i> (2019)	Liminit+ Saprolit	<i>Limestone</i>	-	5.11	85.15
Widyarta <i>et al</i> (2020)	Liminit	<i>Limestone</i> (Ni), Dolomit (Fe)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	22.93	57.27
Wang <i>et al</i> (2017)	Saprolit	<i>Quicklime</i>	-	7.90	77.32
P.Ju <i>et al</i> (2018)	Liminit	<i>Quicklime</i>	-	4.75	89.51

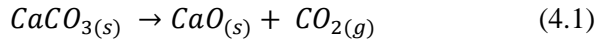
---

Penelitian ini dilaksanakan dalam metode yang kurang lebih sama, namun ada perbedaan pada variasi *holding time* pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al* (2018) dan juga variasi perbandingan batu bara dan dolomit pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al.* (2020).

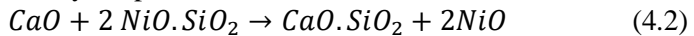
Kadar dari produk yang dihasilkan cenderung mengalami kenaikan jika perbandingan massa fluks yang ditambahkan memiliki perbandingan yang lebih rendah. Hasil terbaik didapat pada perbandingan massa dolomit yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan massa batu bara. Hasil yang terbaik pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al* (2020) berdasarkan data pada Gambar 4.12 dan Tabel 4.17, didapatkan pada perbandingan 1.48:1 dengan kadar Ni dan Fe sebesar 12.74% dan juga 68.86%. Nilai kadar ini salah satunya dipengaruhi oleh penambahan fluks. Dengan penambahan fluks, akan ada pelepasan senyawa CaO pada saat proses dekomposisi dari fluks. Reaksi dari dekomposisi fluks dapat dilihat pada reaksi di bawah ini.

---



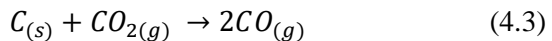


Pembentukan dari CaO memegang peranan penting dalam memulai proses reduksi nikel. CaO akan berikatan dengan SiO<sub>2</sub> yang akan membantu dalam proses pemisahan nikel oksida atau NiO. Reaksinya dapat dilihat dibawah ini.



Sedangkan pada kadar Fe, Peningkatan dari kadar akibat penambahan fluks diakibatkan oleh baik perbandingan CO/CO<sub>2</sub> dan juga adanya kandungan dari CaO. Kandungan adari CaO akan meningkatkan agregasi dari Fe-Ni sehingga kadar dari Ni dan juga Fe akan meningkat (Tian, et al. 2020)

Dengan perbandingan batu bara- dolomit yang lebih tinggi kadar dari masing- masing logam baik Ni maupun Fe yang didapat lebih rendah apabila dibandingkan dengan hasil produk dengan rasio dolomit yang lebih rendah jika dibandingkan dengan batu bara. Hal ini disebabkan karena nikel akan tereduksi oleh gas CO. Gas reduktan ini terbentuk dari reaksi bouduard yang terbentuk dari karbon yang terdapat pada batu bara, dan juga CO<sub>2</sub> yang terdapat pada *limestone*.



Karbon monoksida yang dihasilkan dari reaksi bouduard tersebut akan mereduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan juga NiO menjadi Fe dan juga Ni metalik. menunjukkan bahwa sample B dengan perbandingan massa dolomit:batu bara sebesar 1.48:1 memiliki rasio CO/CO<sub>2</sub> sebesar 2.23 lebih tinggi jika dibandingkan dengan sample A dan C yang masing masing memiliki rasio sebesar 0.88 dan juga 1.56,

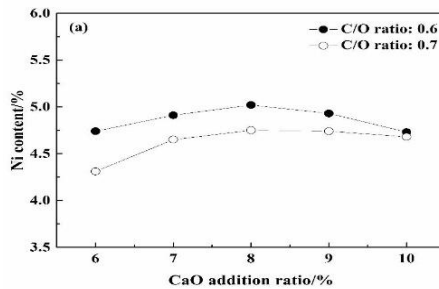
Jika dilihat berdasarkan hasil rasio CO/CO<sub>2</sub>, dan dimasukkan ke dalam diagram stabilitas Fe-Ni, semuanya memiliki hasil pada zona 2 yang memiliki hasil berupa *recovery* dari Ni dan Fe yang tinggi dan kadar Ni yang sedang. Kadar Ni dan Fe yang terdapat pada sample B lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar Fe pada sample A dan C, hal ini dikarenakan perbandingan CO/CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kedua sample lainnya. Begitu juga dengan kadar Ni yang terkandung Semakin tinggi perbandingan CO/CO<sub>2</sub> membuat kondisi atmosfer semakin

---

reduktif sehingga semakin banyak oksida besi dan Nikel oksida tereduksi menjadi Fe dan Ni metalik (Pintowantoro and Abdul 2019). Namun, dengan adanya  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , penambahan kadar Fe bisa lebih ditekan. Pada penelitian Abdul, *et al.* (2018), walaupun menggunakan jenis fluks dolomit dan juga dengan perbandingan yang sama dengan waktu reduksi lama kemungkinan akan menyebabkan pembentukan jumlah *Fayalite* yang terbentuk dari reaksi antara FeO dan  $\text{SiO}_2$  yang akan mengurangi kadar Fe yang terdapat di dalam produk. *Fayalite* merupakan senyawa Fe kompleks yang lebih susah untuk tereduksi jika dibandingkan dengan *wustite*. Berdasarkan data pada Gambar 4.10 dan juga Tabel 4.17, dengan 8 jam *holding time* walaupun ada senyawa CaO dari penguraian dolomit yang mengikat  $\text{SiO}_2$ , pembentukan faylite masih dapat terjadi. Dengan adanya penurunan kadar Fe, maka kadar Ni yang didapatkan juga meningkat dengan kadar 7.09%. semakin lama waktu tahan dengan penambahan fluks maka akan reaksi boudouard akan berlangsung lebih lama dan meningkatkan kadar Ni dan Fe akan tetapi keberadaan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{SiO}_2$  dapat mengurangi kadar Fe dalam produk.

Beberapa penelitian yang dilakukan dalam review jurnal kali ini juga tidak menggunakan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebagai *selective agent*. Untuk melihat bagaimana pengaruh dari jumlah penambahan senyawa CaO dalam proses reduksi, Wang et al. (2017) memvariasikan jumlah penambahan fluks mulai dari 5% hingga 15%. Berdasarkan data pada Gambar 4.8 dan juga pada Tabel 4.20, hasil yang didapatkan mengalami peningkatan seiring penambahan dari CaO namun jika penambahan telah melewati titik optimum hasil yang didapatkan akan mengalami penurunan sedangkan pada 10% *quicklime* hasil yang didapatkan untuk kadar dari Ni dan Fe adalah 7.90% dan 77.32%. penurunan kadar Kembali terjadi setelah penambahan 15% CaO. Penelitian lain yang dilakukan oleh P.Ju *et al.* (2018) berdasarkan data pada Tabel 4.21 juga menghasilkan kecenderungan hasil produk yang sama. Penelitian ini berfokus pada proses reduksi nikel dari bijih limonit. Dengan menggunakan fluks berupa *quicklime*, penelitian ini

memvariasikan penambahan fluks dari jumlah 6% hingga 10%. Namun hasil yang ditampilkan hanyalah pada variasi penambahan fluks optimal pada 8% dengan dua rasio C/O yaitu 0.7 dan 0.6. Penelitian ini berfokus pada kadar Nikel akhir yang diperoleh, tidak ada kadar Fe yang dilampirkan di dalam grafik. Pada parameter yang paling optimal yaitu penambahan 8% fluks yang mendapatkan hasil berupa 4.75% Ni dan 89.51% Fe. Jika jumlah fluks diatas 8% dapat dilihat akan terjadi penurunan kadar. Hasil trend pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut ini.



**Gambar 4.13** Kadar Ni pada jurnal keenam (Ju, Ryom and Hong 2018)

Penambahan fluks yang berlebih pada penelitian ini membuat adanya fasa cair yang berlebih sehingga mengganggu kontak antara *ore* dan reduktan sehingga kadar yang terkandung lebih rendah karena proses reduksi yang terganggu. jika Penelitian yang dilakukan oleh Tian *et al* (2019) juga menghasilkan, dengan penambahan fluks, akan ada penambahan kadar baik Ni maupun juga Fe. Indikator yang digunakan untuk Untuk Ni dengan nilai basisitas sebesar 0.01 didapatkan kadar Ni dan Fe sebesar 2.93% dan 57.53% ketika pemberian fluks ditingkatkan maka kadar juga mengalami peningkatan hingga nilai basisitas mencapai 0.25 kadar Ni dan Fe mengalami peningkatan mejadi 5.11% dan 85.11%. Namun ketika nilai basisitas ditambahkan menjadi 0.3 maka, akan sedikit terjadi penurunan kadar nikel. Hal ini disebabkan tanpa adanya *selective agent* yang menekan kadar Fe, penambahan  $\text{CaCO}_3$  akan sangat membantu reduksi dari Fe dengan cara

menyediakan CaO mengikat pengotor seperti SiO<sub>2</sub> yang akhirnya membebaskan FeO yang lebih mudah untuk direduksi. Semakin banyak kadar Fe di dalam produk akan membuat kadar Ni dalam produk akan semakin kecil jika tanpa ada *selective agent* untuk menekan kadar dengan cara mengikat FeO menjadi FeS maka kadar Fe akan banyak dalam produk dan membuat adanya penurunan kadar Ni jika penambahan CaCO<sub>3</sub> berlebihan.

Jumlah penambahan fluks yang berlebih juga menjadi penyebab turunnya kadar Ni karena dengan peningkatan jumlah fluks, jumlah Fe yang direduksi akan sedikit meningkat sebelum akhirnya turun jika benar-benar berlebih. Namun pada Ni kadar akan sangat bergantung pada kemampuan partikel Ni metalik untuk berkumpul (Ju, Ryom and Hong 2018). Hal ini disebabkan karena jumlah kadar Ni yang lebih sedikit, jika pembentukan butir terganggu akan membuat sebagian Ni akan bergabung ke dalam *slag*.

Pada Gambar 2.2 diatas dapat dilihat bagaimana dengan meningkatnya penambahan fluks yang diikuti dengan peningkatan temperatur akan membuat lebih banyak *slag* cair yang akan terbentuk. Hal ini bisa mengganggu pengumpulan partikel Fe-Ni Penelitian yang dilakukan oleh Widyartha *et al* (2020) fluks *limestone* menghasilkan Ni yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan fluks *quicklime* dan dolomite dengan kadar 22.93% Jumlah *quicklime* yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan *limestone* maupun dolomit membuat jumlah CO<sub>2</sub> lebih kecil sehingga mengganggu proses reduksi Ni maupun Fe karena jumlah pembentukan dari CO juga akan berbeda. Penyebab fluks dengan jenis dolomit dapat menghasilkan Ni yang lebih rendah jika dibandingkan *limestone* adalah adanya MgO yang mengganggu proses metalisasi nikel karena menghambat substitusi logam nikel dengan membentuk *olivine* ((Mg,Ni)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) yang membuat sebagian Ni masuk ke dalam bagian yang bersifat non magnetis (Abdul *et al.*, 2020) . Sedangkan kadar Fe pada *limestone* justru lebih rendah dikarenakan kadar Ni yang lebih tinggi dan adanya pengaruh dari *selective agent*.

Namun, secara umum penambahan fluks akan membantu penambahan kadar melalui senyawa CaO yang dihasilkan dari dekomposisi CaCO<sub>3</sub> akan mengikat SiO<sub>2</sub>. CaO yang berikatan dengan SiO<sub>2</sub> akan membantu kondisi yang ideal untuk reduksi dan membebaskan FeO. (Li, et al. 2019). Perbedaan mengenai penggunaan fluks berupa *limestone* dan juga dolomit adalah pada kandungan MgO yang terkandung dan jumlah CaO yang terdapat didalamnya. Dengan jumlah kandungan MgO yang lebih banyak pada dolomit, penggunaan dalam proses reduksi langsung untuk mendapatkan nikel harus diperhatikan jumlah penambahannya. Berdasarkan sumber dari data sekunder, untuk meningkatkan kadar maka waktu reduksi tidak lebih dari 6 jam untuk mendapatkan kadar Fe-Ni yang paling baik, serta untuk meningkatkan kadar Ni maka jenis fluks *limestone*, jumlah perbandingan antara reduktor dan fluks harus diperhatikan agar proses reduksi berjalan lebih baik

#### **4.3.3 Pengaruh penambahan fluks terhadap Faktor Selektivitas**

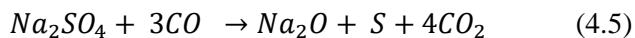
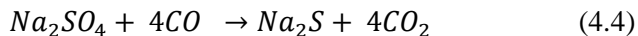
Faktor selektivitas menunjukkan seberapa efektif proses reduksi nikel yang terdapat di dalam bijih laterit. Pada dasarnya untuk membuat proses reduksi nikel berjalan dengan lebih baik, maka dapat dilakukan dengan cara sedikit menekan keberadaan Fe dalam produk. Maka digunakanlah beberapa *selective agent* seperti Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dapat membantu untuk mengurangi kadar Fe yang terbentuk dalam produk dan meningkatkan kadar Ni. Hal ini disebabkan karena sulfur dan juga sulfat akan membantu untuk mengikat Fe dalam bentuk FeS yang bersifat non-magnetic. Selain karena keberadaan unsur sulphur, keberadaan Na<sub>2</sub>O yang berasal dari dekomposisi Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> akan membantu meningkatkan kadar nikel karena Na<sub>2</sub>O akan bereaksi dengan Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> yang menghasilkan FeO. Kemudian Fe yang terbentuk akan bereaksi dengan S membentuk FeS yang magnetik seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Senyawa Na<sub>2</sub>O disini memiliki peran yang mirip dengan apa yang dilakukan oleh CaO dari hasil dekomposisi

fluks, yaitu membantu pengikatan pengotor dengan bereaksi dengan silika. Penelitian yang tidak menggunakan *selective agent* sama sekali akan menghasilkan faktor selektivitas yang lebih rendah. hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.20 di bawah ini.

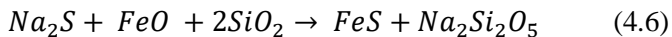
**Tabel 4.30** Perbandingan hasil faktor selektivitas terbaik pada masing- masing penelitian

Jurnal	fluks	Variasi	Aditif	Selektivitas
(Abdul et al., 2018)	Dolomit	8 jam <i>holding time</i>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.80
(Abdul et al., 2020)	Dolomit	Rasio 1.48:1	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8.21
(Tian et al., 2019)	<i>Limestone</i>	Basisitas 0.25	-	0.78
(Widyarta et al., 2020)	<i>Limestone</i>	fluks <i>Limestone</i>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20.4
Wang, et al. (2017)	<i>Quicklime</i>	10% <i>Quicklime</i>	-	1.098
P.Ju et al. (2018)	<i>Quicklime</i>	8% <i>Quicklime</i>	-	1.149

Adapun cara kerja dari Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam membantu meningkatkan kadar nikel yang terdapat di dalam reaksi dibawah ini



Pengikatan Fe membentuk FeS,



Unsur Sulphur yang terdapat pada sodium sulfat akan mengikat unsur Fe dan membentuk FeS. Natrium silikat yang terbentuk sama halnya dengan FeS, merupakan komponen non-magnetic yang tidak dapat lolos dari separasi magnetic dan terpisah

menjadi residu karena kedua komponen tersebut bersifat non magnetis (Yongjie, et al. 2019). Dengan adanya sebagian dari Fe yang termasuk kedalam komponen yang non magnetis akan membuat kadar Ni dalam produk akan meningkat. Penambahan fluks akan membatu pembentukan gas CO melalui reaksi Boudouard Namun, untuk logam membuat kadar logam dari Ni meningkat secara signifikan dan factor selektivitasnya meningkat secara drastic maka perlu ditambahkan *selective agent*. Pada penelitian yang dilakukan Abdul et al. (2020) factor selektivitas tertinggi berdasarkan data pada Tabel 4.24 yang didapatkan adalah 8.219 pada perbandingan massa 1.48:1, fluks yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah dolomit. Hasil faktor selektifitas dari produk yang menggunakan rasio fluks dolomit yang lebih tinggi menunjukkan hasil factor selektivitas Ni yang lebih rendah. Dengan jumlah dolomit yang lebih tinggi, akan meningkatkan jumlah *olivine* karena banyaknya jumlah MgO yang dihasilkan dari proses dekomposisi dolomit yang membuat adanya Sebagian dari Ni akan bersifat non magnetis dan akan menurunkan kadar dari Ni karena proses reduksi Ni akan berjalan lebih sulit (Pintowantoro & Abdul, 2019) yang menyebabkan factor selektifitasnya juga lebih rendah karena kadar Ni yang juga lebih rendah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul *et al* (2018). Berdasarkan data pada Tabel 4.23 mendapatkan hasil factor selektivitas yang sedikit lebih rendah dengan hasil terbaik sebesar 6.80 yang dilakukan dengan waktu holding selama 8 jam, hal ini disebabkan karena kadar Ni yang terbentuk merupakan yang terbaik jika dibandingkan dengan variasi lainnya dan kadar Fe yang terbentuk merupakan yang terendah. Akibat waktu reduksi yang terlalu lama yang yang membentuk fasa forsterite hal lain yang bisa terjadi adalah menyebabkan Fe akan berikatan dengan SiO<sub>2</sub> membentuk *Fayalite* yang susah untuk direduksi (Jiangan, Tichang and Qi 2014). Selain pengaruh waktu reduksi yang lebih lama, hal lain yang mempengaruhi adalah tentu penambahan *selective agent* yang membantu menekan sebagian kadar Fe yang ada menjadi FeS

yang bersifat non magnetis yang akan bergabung di dalam *slag* (Li, et al. 2012).

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Widyartha *et al* (2020) menggunakan perbandingan 3 jenis fluks dengan penambahan 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Berdasarkan data produk pada Tabel 4.26, factor selektivitas tertinggi didapatkan oleh fluks dengan jenis *Limestone* dengan faktor selektivitas sebesar 20.36. *Limestone* mendapatkan faktor selektivitas yang paling baik karena kadar Ni yang didapat paling tinggi jika dibandingkan fluks lain dan adanya penambahan dari *selective agent* menyebabkan adanya sebagian Fe yang menjadi FeS dan bergabung dalam *slag* sehingga selektivitas Ni meningkat secara signifikan.

Untuk penelitian yang tidak menggunakan *selective agent* untuk membantu menekan kadar Fe mengalami sedikit peningkatan nilai faktor selektivitas seiring dengan jumlah fluks yang ditambahkan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fluks mampu meningkatkan kadar Nikel. Pada penelitian yang dilakukan oleh Wang et al. (2017). Sesuai dengan data pada Tabel 4.27 dengan penambahan 10% yang merupakan titik optimum faktor selektivitas yang didapatkan sebesar 1.11. Pada penambahan 5% dan juga 15% tidak terjadi perbedaan yang signifikan pada factor selektivitas. Tidak terlalu bertambahnya faktor selektivitas disini disebabkan karena tanpa adanya  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang menekan kadar Ni kedalam FeS membuat tidak hanya Ni saja yang mengalami peningkatan reduksi akibat penambahan fluks, namun Fe mengalami hal yang sama. Selain itu jika jumlah penambahannya berlebih, hal yang dapat terjadi lagi adalah peningkatan jumlah fasa cair yang menghalangi pengumpulan partikel Fe-Ni dan juga terbentuknya fasa cair yang berlebih di dalam *slag*, sehingga kontak antara *ore* dan reduktan menurun sehingga proses reduksi logam akan berjalan lebih sulit.

Pada penelitian berikutnya, hal yang sama terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh P.Ju et al (2018). Sesuai dengan data pada Tabel 4.28, hasil penelitian menyatakan bahwa penambahan 8% *quicklime* merupakan titik optimum dimana kadar



nikel yang terbentuk paling maksimal, sehingga faktor selektivitas pada variasi dengan penambahan *quicklime* lebih tinggi dan lebih rendah akan menghasilkan kadar Ni yang lebih rendah sehingga factor selektivitas juga pasti menurun. Untuk penelitian dengan menggunakan fluks dengan jenis *limestone* yang dilakukan oleh Tian *et al* (2019) tidak digunakan *selective agent* berupa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  seperti pada penelitian yang sebelumnya sehingga factor selektivitas yang didapatkan tidak akan terlalu tinggi karena tidak ada mekanisme untuk menekan Fe yang terbentuk oleh sulfur. Hal ini menyebabkan factor selektivitas yang terbentuk hanya bergantung pada seberapa besar Fe dan Ni dalam sebuah produk.

Semakin tinggi kadar Ni yang dapat terbentuk maka nilai factor faktor selektivitas akan bertambah besar juga. Penelitian tersebut menghasilkan factor selektivitas sebesar 0.786 pada basisitas 0.25, lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanpa penambahan fluks. Jika basisitas ditambahkan hingga mencapai 0.3 akan ada penurunan kadar Ni. Hanya saja nilai pastinya tidak dapat diketahui secara pasti karena data angka tidak tercantum di dalam jurnal namun pada Gambar 4.6 dapat dilihat dengan naiknya nilai basisitas maka akan semakin turun kadar Ni, namun kadar Fe meningkat, sehingga faktor selektivitas juga pasti mengalami penurunan karena meningkatnya kadar Fe namun disaat yang sama penurunan kadar Ni juga terjadi akibat penambahan  $\text{CaCO}_3$  yang berlebihan Hal ini sama dengan hasil yang didapat dari penelitian yang dilakukan oleh penambahan fluks akan membuat titik leleh dari *slag* akan menurun, hal ini akan membantu dalam pembentukan logam karena lebih mudah memisahkannya dari *slag* (Liu, et al. 2014) Namun, dengan penambahan fluks yang berlebihan akan membuat kadar dari logam akan sedikit menurun. Nilai faktor selektivitas ini mengalami sedikit penurunan karena jika jumlah fluks yang ditambahkan menyebabkan terlalu banyak fasa cair dari *slag* yang mengalami penurunan titik leleh. Jika *slag* yang meleleh ini terbentuk terlalu banyak akan menyebabkan penurunan area contact antara *ore* dan reduktan (Andika, 2019) sehingga ada sedikit penurunan pada kadar Ni maupun Fe di dalam

---

produk dan jika Ni mengalami penurunan kadar maka nilai faktor selektivitas juga akan turun.

---

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Penambahan fluks dapat meningkatkan baik kadar Ni maupun Fe. Karena penguraian fluks akan menghasilkan CaO yang mengikat pengotor seperti SiO<sub>2</sub>. Namun, jumlah penambahan fluks akan mempengaruhi pembentukan fasa liquid dari *slag* dapat menekan reduksi Ni dan Fe. Hal kedua yang perlu dipertimbangkan adalah perbandingan dengan reduktan karena rasio CO/CO<sub>2</sub> sangat menentukan *recovery* dari proses
2. Penambahan fluks dapat meningkatkan kadar dari produk karena selain mensuplai CaO untuk mengikat pengotor, fluks juga mensuplai CO<sub>2</sub> yang mengakomodir terbentuknya gas reduktan CO melalui reaksi boudard. Penambahan fluks akan meningkatkan kadar Ni secara signifikan jika dikombinasikan dengan *selective agent* seperti Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang bisa menekan kadar Fe. Namun agar hasil maksimal jumlah fluks harus sesuai kebutuhan untuk mencegah pembentukan *slag* cair yang berlebih
3. Dengan kemampuannya meningkatkan baik kadar Ni maupun Fe dalam produk, maka fluks dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan faktor selektivitas Ni dalam produk. Jika dipadukan dengan penambahan *Selective agent* berupa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kadar Ni dan faktor selektivitas dapat naik secara signifikan namun, jumlah penggunaannya harus diperhatikan dan terlalu banyak fasa cair akibat menurunnya titik leleh *slag* yang mengganggu kontak antara *ore* dan reduktan sehingga selektivitas akan beresiko menurun.

---

**5.2 Saran**

1. Melakukan penelitian dengan menentukan jumlah penambahan fluks dengan massa yang sama namun jenis fluks yang berbeda agar bisa ditentukan kondisi ideal agar fluks bisa berdampak secara maksimal
2. Melakukan penelitian tentang parameter terbaik dengan menggunakan *Selective agent* dan fluks untuk meningkatkan faktor selektivitas Ni

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, Fakhreza, Sungging Pintowantoro, dan Anisya Purnamasari. "Direct Reducction of Nickel Ore Using A Coal-Dolomite Mixture bed and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  as selective Agent ." **Journal Of Chemical Technology And metallurgy**, 2020: hal 103-110.
- Abdul, Fakhreza, Sungging Pintowantoro, dan Ridwan Bagus Yuwandono. "Analysis of Holding Time Variations to Ni and Fe Content and Morphology in Nickel Laterite Limonitic Reduction Process by Using Coal-Dolomite Bed." **AIP Conference Proceeding**, 2018: hal 1-9.
- Ahmed, Hesham, Par Semberg, Charlotte Andersson, dan Bo Bjorkman. "Effect of Added Olivine on Iron Ore Agglomerate During Induration." **ISIJ International**, 2018: 446-452.
- Andika, R., W. Astuti, W. Syafriadi, dan F. Nurjaman. "Effect of flux Addition and Reductant Type in Smelting Process of Indonesian Limonite Ore in Electric Arc Furnace." **IOP Conference Series: Material Science Engineering 478**. Bristol: IOP Publisher, 2019. hal 1-7.
- Babich, A., dan D. Senk. "**Coke In the Iron and Steel industry.**" Dalam **New Trends in Coal Conversion: Combustion, Gasification and Coking**, oleh Isabel Suarez-Ruiz, Maria Antonia Diez dan Fernando Rubiera, 367-404. Woodhead Publishing, 2019.
- Bello, Sandra C., Oscar Restrepo, dan Alvaro H. Pinilla. "Effect of the CaO Addition in the Fusion Process of Nickeliferous Laterites for Ferronickel Production:." **Advances in Molten Slags, Fluxes, and Salts: Proceedings of The 10th International**, 2016: hal 79-86.
- Breeze, P. "**An Introduction to Coal-Fired Power Generation.**" *Coal Fired Generation*, 1-7, 2015.
- Broda, M., A.M. Kierzkowska, , dan C.R Muller. "Synthetic Calcium Oxide-Based Carbon Dioxide Srbents For

- Calcium Looping Processes.” **Calcium and Chemical Looping Technology for Power Generation and Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Capture**, 2015: hal 51-73.
- Chen, Song, Shu-qiang Guo, Lan Jiang, Yu-Ling Xu, dan Weizhong Ding. “Thermodynamic of selective reduction of laterite ore by reducing gases.” **Trans. Nonferrous Met. Soc. China**, 2014: hal 3133-3138.
- Chuan, Wang, He Zhinjun, Alsayed, Lena Sundqvist, dan Wikstorm Jan-Olof. “Value-in-use Analysis of Using Olivine Flux for Agglomerate-and Iron-making Processes.” **Conference Paper** ., 2015: hal 1-7.
- Cores, Alejandro, Luis Felipe Verdeja, Serafin Ferreira, Inigo-Ruiz Buztina, dan Javier Mochon. “Iron Sintering: Part 1. Theory and Parctice of Sintering Process.” **Dyna, year 80**, 2013: 152-174.
- Dutta, Sujay Kumar, dan Rameswar Sah. “**Direct Reduced Iron: Production.**” 2016.
- Dwarapudi, Srivinas, et al. “Effect of Fluxing Agents On the Swelling Behavior of Hematite Pellets.” **International Journal of Mineral Processing**, 2014: hal 76-89.
- Elliot, R., C.A Pickles, dan Forster,J. “Thermodynamics of the Reduction Roasting of Nickeliferous Laterite Ores.” **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, 2016: hal 320-346.
- Elliot, R., C.A. Pickles, dan J. Peacey. “Ferronickel Particle Formation During the Carbothermic Reduction of a Limonitic Laterite Ore.” **Minerals Engineering 100**, 2017: hal 166-176.
- Elliot, R., F. Rodrigues, C.A. Pickles, dan J. Peacey. “A Two-Stage Thermal Upgrading Process for Nickeliferous Limonitic Laterite Ores.” **Canadian Metallurgical Quarterly**, 2015: hal 1-11.
- Fernandez-Gonzales, Daniel, Juan Piñuela-Noval, dan Luis Felipe Verdeja. **Iron ore Agglomeration Technologies**. Oviedo,

- Asturias: Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Oviedo,, 2018.
- Gaskell, David R. “The Determination of Phase Diagrams For Metal Slag Systems.” Dalam **Methods for Phase Diagram Determination**, oleh Zhao, J.C, 442-458. London: Elsevier Science, 2007.
- Ghanbari, Hamid. “Polygeneration Systems in Iron and Steelmaking.” **Polygeneration with Polystorage**, 2019: 287-326.
- Guo, Enguang, Mei Lu, Cheng Pan, Qiugang Yuan, dan LV Xuwei. “Sintering Process for Limonitic Nickel Laterite.” **The Minerals, Metals & Material Society**, 2014: hal 623-630.
- Gupta, Prithviraj, dan Arnab De. “The Effect Of Composition On The Decomposition Behaviour Of Dolomite Nuggets.” **Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)**, 2016: 321-324.
- Humaad, Aber M, Ankit Kothari, John L. Provis, dan Andrej Cwirzen. “The Effect of Blast Furnace Slag/Fly Ash Ratio on Setting, Strength, and Shrinkage of Alkali-Activated Pastes and Concretes.” **Origin in Materials Vol 6**, 2019: hal 1-10.
- Iljana, Mikko, Antti Kemppainen, Timo Paanen, Matilla Olli, dan Erki Pisila. “Effect of Adding *Limestone* on the Metallurgical Properties of Iron ore Pellets.” **International Jurnal of Mineral Processing**, 2015: hal 34-43.
- Jiang, M., T. Sun, Z. Liu, J. Kou, dan S. Zhang. “Mechanism of Sodium Sulfate in Promoting Selective Reduction of Nickel Laterite Ore During Reduction Roasting Process.” **International Journal of Mineral Processing 123**, 2013: 32-38.
- Jiangan, Chen, Sun Tichang, dan Lu Qi. “Study of the Mechanism of the Direct Reduction Roasting of the Limonite in

- Jiangxi.” **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, 2014, 6(3), 2014: hal 671-678.
- Ju, P., K. Ryom, dan K. Hong. “Separation Of Iron Nickel-Nickel Alloy Nugget From Limonitic laterite Using Self Reduction.” **J. Min. Metall. Sect. B-Metall**, 2018: 385-392.
- Kalasova, Dominika, Karel Dvorak, Marek Slobodnik, Dalibor Vsiansky, Tomas Zikmund, dan Jiri Dluhos. “Characterization of Inner Structure of Limestone by X-ray Computed Sub-Micron Tomography.” **Construction and Building Materials**, 2018: hal 693-700.
- Li, Guanghui, Jun Luo, Zwanbo Peng, Yuanbo Zhang, Mingjun Rao, dan Tao Jiang. “Effect of qurtenary Basicity on Melting Behaviour and Ferronickel Particles Growth of Saprolitic Laterite Ores in Krupp-Renn Process.” **ISIJ International vol 55**, 2015: hal 1828-1833.
- Li, Guanghui, Tangming Shi, Mingjun Rao, Tao Jiang, dan Yuanbo Zhang. “Beneficiation of Nickeliferous Laterite by Reduction Roasting in the Presence of Sodium Sulfate.” **Minerals Engineering**, 2012: hal 19-26.
- Li, Xiao-Ming, Zhen-yu Wen, Yi Li, Hai-bo Yang, dan Xiang-dong Xing. “Improvement of Carbothermic Reduction of Nickel sSag by Addition of CaCO<sub>3</sub>.” **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, 2019: 2658-2666.
- Liu, Mei, Xuewei LV, Enguang Guo, Pan Chen, dan Qiungang Yuan. “Novel Process of Ferronickel Nugget Production from Nickel Laterite by Semi-molten State Reduction.” **ISIJ International vol 54**, 2014: hal 1749-1754.
- Ma, Yongbo, dan Xueyuan Du. “Effect of CaO Addition on the iron Recycling from Nickel Slags by Oxidation-Magnetic Separation.” **Metals**, 2018: hal 1-12.
- Mandal, A.K., dan O.P. Sinha. “Characterization of Fluxed Iron Ore Pellets as Compared to Feed Material for Blast Furnace.” **Journal of Progressive Research in Chemistry**, 2015: 74-83.



- 
- Manocha, Sanjeev, dan Francois Ponchon. "Management of Lime in Steel." **Journals of Metals**, **8,686**, 2018: 1-16.
- Ming-Lu, Xue, Mei Lu, Zhi Xiong-You, Xue Wei-Lu, dan Chen Guang Bai. "Preparation of ferronickel from nickel laterite via coal-based reduction By Magnetic Separation." **Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**, 2018: hal 744.
- Monchon, Javier, Alejandro Cores, Inigo Ruiz, Luis Filipe Verdeja, Jose Ignacio Robla, dan Fernando Garcia Garcia. "Iron Ore Sintering Part 2. Quality Indices and Productivity." **Dyna year 81**, 2014: hal 168-177.
- Oxley, Anne, dan Nic Barcza. "Hydro-pyro integration in the processing of nickel laterites." **Mineral engineering**, 2013: 1-10.
- Park, Hyunsik, IL Sohn, Tsaplatis, John, dan Veena, Sahajwala. *Metallurgical and Material Transaction*, 2018: hal 1-10.
- Pickles, C.A., dan W. Anthony. "Thermodynamic modelling of the reduction of a saprolitic laterite ore by Methane." **Mineral engineering 120**, 2018: hal 47-59.
- Pickless, C.A., J. Forster, and R. Elliot. "Thermodynamic Analysis of The Carbothermic Reduction Roasting of a Nickeliferous Limonitic Laterite Ore." **Materials Engineering**, 2016: 33-40.
- Pintowantoro, Sungging, dan Fakhreza Abdul. "Selective Reduction of Laterite and Nickel ore." **Material Transactions, Vol 60**, 2019: 2245-2254.
- Qian, Huang, Wei Kai, dan Xia Hongde. "A Novel Perspective Of Dolomite Decomposition: Elementary Reactions Analysis by Thermogravimetric Mass Spectrometry." **Therochimia Acta**, 2019: 47-51.
- Rao, Mingjun, Guanghui Li, Tao Jiang, Jun Luo, Yuanbo Zhang, dan Xiaohui Fan. "Carbothermic Reduction of Nickeliferous Laterite Ores for Nickel Pig Iron Production in China: A Review." **JOM, Vol. 65, No. 11, 2013**, 2013: hal 1574-1583.
-

- 
- Riaza, Juan, et al. "Single particle ignition and combustion of anthracite, semi-anthracite and bituminous coals in air and simulated oxy-fuel conditions." **Combustion and Flame** **161**, 2014: 1096-1108.
- Rizov, B. "Phase Transformations From Geothite to hematite and Thermal Decomposition in Various Nickleiferous laterite Ores." **Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy**, 2012: hal 207-210.
- Rodrigues, Filipe, Christopher A. Pickles, John Peacey, Richard Elliot, dan John Forster. "Factors Affecting the Upgrading of a Nickeliferous Limonitic Laterite Ore by Reduction Roasting, Thermal Growth and Magnetic Separation." **Minerals** **2017**, *7*, 176.; 2017: hal 1-21.
- Roya, M.R., J.H. Bautista Ruiz, dan A.M. Raba. "Quicklime As An Alternative in the Photodegradation." **Journal of Physics: Conference Series** **687**, 2016: hal 1-4.
- Selley, Richard C. *ENCYCLOPEDIA OF Geology: Limestone*. London: Imperial Collage, 2015.
- Setiawan, I, E. Febrina, A.B. Prasetyo, R. Subagja, dan F. Firdiyono. "The Effect of Iron Content on the Reduction of Nickel Laterite by Direct Reduction Method." **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering** **541**, 2019: hal 2-10.
- Setiawan, Iwan. "Pengolahan Nikel Laterit Secara Pirometalurgi." **Seminar Sains dan Teknologi**, 2016: hal 1-7.
- Setiawan, Iwan. "**Pengolahan Nikel Laterit Secara Pirometalurgi: Kini dan Penelitian Kedepan.**" 2016: 1-7.
- Solar, Maurice Y., dan Sina Mostaghel. "Smelting of Difficult Laterite Ores." **Mineral Processing and Extractive Metalurgy**, 2014: hal 35-46.
- Song, Bing, LV Xuewei, Hubert Huijun, Kexi Han, Kai Zhang, dan Run Huang. "Effect of  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  Addition on Carbothermic Reduction of Ilmenite Concentrate." **Isij International** **Vol 56**, **2016**: hal 2140-2146.
-

- 
- Tian, Hongyu, Jian Pan, Deqing Zhu, Congcong Yang, Zhengqi Guo, dan Yuxiao Xue. "Improved Beneficiation of Nickel and Iron From a Low-Grade Saprolite Laterite By Addition of Limonitic Laterite Ore And  $\text{CaCO}_3$ ." **Journal of Material Research and Technology**, 2020: 2578-2589.
- Tsang, Brian K., dan Yale Zhang. "Energy Challenges for a Nickel Laterite Mining and Smelting Facility." **IFAC Workshop on Automation in the Mining, Mineral and Metal Industries**, 2012: hal 7-13.
- Tsuji, Hitoshi. "Behavior of Reduction and Growth of Metal in Smelting of Saprolite Ni-ore in a Rotary Kiln for Production of Ferro-nickel Alloy." **ISIJ International**, Vol 52, 2012: hal 1000-1009.
- Van der Ant, A., A.J.M. Baker, M.M.J Van balgooy, dan A. Tjoa. "Ultramafic Nickel Laterites in Indonesia (Sulawesi, Halmahera): Mining, Nickel Hyperaccumulators and Opportunities for Phytomining." **Journal of Geochemical Exploration**, 2013: Vol 128, hal 72-79.
- Vignes, Alain. *Extractive Metallurgy 2; Metallurgical Reaction Processes*. London: John Wiley&Sons, Inc, 2011.
- Wang, G.C. "Slag Processing." Dalam **Utilization of Slag in Civil Infrastructure**, oleh G.C Wang, 87-113. Elsevier, 2016.
- Wang, Xiaoping, Tichang Sun, Shichao Wu, Chao Chen, Jue Kou, dan Chengyan Xu. "A novel utilization of Bayer red mud through co-reduction with a limonitic laterite ore to prepare ferronickel." **Journal of Cleaner Production**, 2019: hal 33-41.
- Wang, Zhihao, Mansheng Chu, Zhenggen Liu, Hongtao Wang, dan Lihua Gao. "Preparing Ferro-Nickel Alloy from Low-Grade Laterite Nickel Ore Based on Metallized Reduction–Magnetic Separation." **Metals** 2017, 2017: hal 1-14.
- Widyartha, B., Y. Setiorini, F. Abdul, T.J Subakti, dan Sungging Pintowantoro. "Effective Beneficiation of low Content Nickel Ferrous Laterite Using Fluxing Agent Through
-

- 
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selective Reduction.” **Materialwiss. Werkstofftech.**, **2020**: hal 750-757.
- Wills, Barry A., dan James A. Finch. **Wills’ Mineral Processing Technology; An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery**. Montreal: Elsevier, 2015.
- Xueming, LV, LV Wei, Zhixiong YOU, dan BAI Chenguang. “Effect of Sodium Sulfate on Preparation of Ferronickel from Nickel Laterite by Carbothermal Reduction.” 2018: hal 799-807.
- Yang, Weijiao, Chengyan Wang, Baozhong Ma, Fei Yin, dan Yongqiang Chen. “Study on the Influence of CaO on Reduction Smelting for the Laterite Ore.” **Advanced Materials Research Vols. 634-638**, 2013: hal 3260-3264.
- Yildirim, Halil, Hakan Morcali, Ahmet Turan, dan Onuralp Yucel. “Nickel Pig Iron Production From Lateritic Nickel Ore.” **Ferronickel Production and Operation**, 2013: hal 237-244.
- Yongjie, Liu, Lv Xueming, Zhixiong You, dan Lv Xuewei. “Kinetics study on non-isothermal carbothermic reduction of nickel laterite ore in presence of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.” **Powder Technology**, 2019: 3-22.
- Zhu, De-Qing, dan Jian Pan. “Utilization of Limonitic Nickel laterites to Produce Ferronickel Concentrate by The selective reduction-magnetic Separation Process.” **advanche Powder Technology**, 2018: 1771-1777.
- Zulhan, Zulfiandi, dan Ian Gibranata. “Direct Reduction of Low Grade Nickel Laterite ore to Produce Ferronickel Using Isothermal Temperature Gradient.” **AIP Conference Proceedings 1805**, **2017**: hal 1-10.
-

## LAMPIRAN

### A. Jurnal yang direview

Adapun jurnal yang dijadikan sebagai sumber dari data sekunder yang digunakan di dalam review adalah sebagai berikut

#### 1. Jurnal Pertama (Abdul et al, 2020)

---

*Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 55, 1, 2020, 103-110

---

#### DIRECT REDUCTION OF NICKEL LATERITE LIMONITIC ORE USING A COAL-DOLOMITE MIXTURE BED AND $\text{Na}_2\text{SO}_4$ AS A SELECTIVE AGENT

Fakhriza Abdul, Sungging Pintowantoro, Anisya Purnamasari

Department of Materials Engineering, Faculty of Industrial Technology,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Arief Rahman Hakim Street 60177, Surabaya, Indonesia  
E-mail: fakhrizaabdul@gmail.com

Received 28 May 2018  
Accepted 31 October 2019

---

#### ABSTRACT

*Nickel finds a wide industrial application. It is obtained through extraction from nickel-containing ores. The metal extraction using a lateritic nickel ore becomes an important alternative because of nickel sulphide ore reserves decrease. This study aims to determine the coal to dolomite mass ratio that can produce ferronickel products of high nickel recovery, content, and selectivity. The extraction process studied refers to a direct reduction using a coal/dolomite bed and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  as a selective agent. It takes place in a SiC crucible within 6 h at a temperature of  $1300^\circ\text{C}$ . The best coal to dolomite mass ratio refers to 1:2.09. It provides the highest Ni content of 12.04 %, the highest selectivity factor of 8.191 and nickel recovery of 99.1 %.*

*Keywords:* lateritic nickel ore, coal-dolomite bed, direct reduction, selectivity factor.

---

#### INTRODUCTION

Nickel is an important alloying metal with a wide range of applications in the industry [1]. The nickel alloys have high strength and tenacity. They are characterized by high corrosion thermal resistance. The nickel laterite type ore presents about 70 % of the nickel reserve. However, only 40 % of it is processed for further application [2]. This is due to the difficulty of nickel laterite ore processing when compared to that containing nickel sulphide. It is attributed to metallic nickel uniform distribution which in turn excludes the possibility of applying flotation and gravity separation [3].

Limonitic and saprolitic types of the nickel laterite ore are present. The first one is a low nickel grade of Ni content ranging from 1.1 wt. % to 1.8 wt. % [4]. It can be processed following a hydrometallurgy route such as that of high-pressure acid leaching (HPAL) [5 - 7]. Several hydrometallurgy processes have been applied aiming limonitic nickel ore extraction but the productivity level achieved is low, while the operational costs are

too high [6 - 9]. However, the nickel recovery is about 80 % and which is why the process is not economically viable [7].

Hence, many researchers have examined new methods for treating laterite nickel ore including a pyro process at a lower operating temperature, i.e. a direct reduction [10-14]. But the latter product has a low content of Ni because of the high Fe presence in the ore. Furthermore, the bond between oxygen and iron is only slightly stronger than that between oxygen and nickel, which means that FeO is reduced almost as readily as NiO [15]. So, the challenges are how to reduce selectively the Ni content of the nickel limonite ore leaving the ferrous oxide unchanged. Until now, many researchers have used several Ni selective reduction procedures. Some of them have applied  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  as an additive [16, 17]. The investigation reported is focused on using a bed of a mixture of coal and dolomite and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  as a selective agent varying the coal to dolomite mass ratio because of its effect on CO to  $\text{CO}_2$  mole ratios obtained in the course of the coal and the dolomite heating.

103

---

## 2. Jurnal Kedua (Abdul et al 2018)

### Analysis of Holding Time Variations to Ni and Fe Content and Morphology in Nickel Laterite Limonitic Reduction Process by Using Coal-Dolomite Bed

Fakhreza Abdul<sup>1,a)</sup>, Sungging Pintowantoro<sup>1)</sup>, Ridwan Bagus Yuwandono<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Materials Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.

<sup>a)</sup> Corresponding author: fakhrezaabdul@gmail.com

**Abstract.** With the depletion of nickel sulfide ore resources, the nickel laterite processing become an attention to fulfill nickel world demands. Reducing laterite nickel by using a low cost carbonaceous reductant has proved produces high grade ferromical alloy. In this research, reduction was carried out to low grade laterite nickel (limonite) with 1.25% nickel content by using CO gas reductant formed by reaction between coal and dolomite. Reduction process preceded by forming bricks mixture from limonite ore, coal, and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, then the bricks placed inside crucible bed together with dolomite and reduced at temperature 1400 °C with holding time variations 4, 6, and 8 hours. EDX, XRD, and SEM test were carried out to find out the Ni and nickel grade after reduced, the phases that formed, and the morphology bricks after reduced. The reduction results shows that the highest increase on nickel grade was obtained by 8 hours holding time increasing 5.84 % from initial grade, and the highest recovery was obtained by 6 hours holding time with recovery 88.51 %. While the highest increase on Fe grade was obtained by 4 hours holding time, and the highest recovery Fe was obtained by 4 hours holding time with recovery 85.41%.

**Keywords :** Nickel Limonitic, Reduction, Holding time, Crucible Bed

#### INTRODUCTION

According to the trend in recent years, demand for stainless steel have been increasing continuously and predicted will increase continuously for next following years. With the increasing of stainless steel demand will be effect in nickel demand since nickel is stainless steel's raw material. To fulfill the nickel demand for stainless steel, production of nickel metal from nickel ore has to be increased. Basically nickel metal was being produced from two types of ore namely laterite ore and sulphide ore. The world's nickel ore reserves of about 70% are laterite nickel ore while 30% of them are sulphide ores. With the continuous depletion of high grade nickel ore (sulphides) such as millerite and niccolite, laterite nickel ore will be a major source for the production of nickel metal [1]. As a tropical country, the potential of nickel ore in Indonesia is quite large in the world as it is listed as the third country which has laterite reserves after New Caledonia and Philippines. Indicated reserves of 1.58 million tons of laterite from a total of 25 million tons of resources are concentrated on the islands of Sulawesi, Maluku and Papua. It represent an opportunity for Indonesia to become the world's nickel producer. In general, laterite nickel ore is divided into two namely limonite and saprolite [2]. The limonite nickel ore occurs in the upper layers of the laterite deposit and mainly composed of goethite [FeO (OH)]. This layer typically has 0.5% - 1.7% nickel, 40% - 60% iron and low silica (<20%) and magnesium (<10%). While on the saprolitic ore is found in the lowest laterite layers which has a higher nickel content (1.5% to 3%), low iron content (<30%) and the content of magnesium silicate significantly higher [1,2].

In the laterite nickel extraction process is now widely used saprolite laterite ore because of its higher nickel content. With the large use of saprolite laterite nickel ore, it causes an abundance of unprocessed limonite nickel ore reserves, which causes relatively low prices. However, due to the low nickel content, the process of raising the limonite ore content becomes difficult and uneconomical. Various studies were conducted to find an economical process for processing limonite laterite nickel. One way of treating limonite ores is currently done by hydrometallurgical processes, particularly High Pressure Acid Leaching (HPAL) [4,5]. A number of these processes have been developed on an industrial scale, but still failed to achieve satisfactory production levels and high operating costs [5,6].

The direct reduction process is one way to increase the Ni mineral content of limonite laterite nickel ore by reduced the ore so that chemical reactions occur and there have been some reduction reactions in the ore such as iron oxide reduction to iron and reduction of NiO to Ni. Then magnetic separation was carried out so as to cause Ni

### 3. Jurnal Ketiga (Tian et al, 2019)



#### Original Article

### Improved beneficiation of nickel and iron from a low-grade saprolite laterite by addition of limonitic laterite ore and $\text{CaCO}_3$



Hongyu Tian, Jian Pan\*, Deqing Zhu, Congcong Yang, Zhengqi Guo, Yuxiao Xue

School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China

#### ARTICLE INFO

Article history:  
Received 25 September 2019  
Accepted 28 December 2019  
Available online 10 January 2020

Keywords:  
Nickel laterite ore  
Co-reduction  
Basicity  
Phase transformation  
Particle growth  
Fe-Ni alloy

#### ABSTRACT

As is well known, the process of direct reduction and magnetic separation is effective route to deal with low-grade saprolite laterite, but generally limited by the reduction of nickel (iron)-bearing minerals and growth of Fe-Ni alloy particles in the reduction process, causing the low recovery of nickel and iron. To improve beneficiation of nickel and iron from low-grade saprolite laterite with 1.29 wt.%Ni and 16.31 wt.%Fe, co-reduction with limonitic laterite ore and basicity optimization were adopted as strengthening measures in this paper with better economic efficiency than before. The enhancing mechanism was investigated via the thermodynamics analysis and mineralogical study. The phase transformation and growth behaviors of metallic alloy particles during reduction process were revealed as well. The results indicated that co-reduction with limonitic laterite ore is capable of promoting phase transformation from  $\text{Ni}_3\text{SiO}_4$  in saprolite laterite to  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .  $\text{CaCO}_3$  can not only destroy the structure of magnesium silicate to release nickel(iron)-bearing phase, but also enhance the reduction of  $\text{Fe}_3\text{SiO}_4$  to form efficiently iron-based eutectoid with nickel and liquid phases to accelerate the growth of Fe-Ni fine particles larger than  $40\ \mu\text{m}$ . A superior crude alloy was obtained with 5.11 wt.%Ni and 82.15 wt.%Fe with corresponding recovery rates of 91.89% and 85.15% respectively.

© 2019 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

#### 1. Introduction

The increasing consumption of stainless steel immensely promotes the demand of nickel [1]. As sulfide nickel ore has been depleted gradually, the effective utilization of laterite nickel

ore, accounting for approximately 72 percent of global nickel resources, becomes extremely urgent [2]. Based on consideration of the economic efficiency and environmental factors, two commercial processing routes of nickel laterite, namely pyrometallurgical and hydrometallurgical processes, have been developed and applied worldwide [3]. Pyrometallurgical processes include rotary kiln-electric furnace process (RKEF) [4], sintering-blast furnace process [5] and direct reduction-magnetic separation process [6], while hydrometallurgical processes include chemical leaching [7], flotation [8] and Carbon

\* Corresponding author.

E-mail: [pjcsu@csu.edu.cn](mailto:pjcsu@csu.edu.cn) (J. Pan).

<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.088>

2238-7854/© 2019 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 4. Jurnal keempat (Widyartha et al, 2020)

750

Materialwiss. Werkstofftech. 2020, 51, 750–757

DOI 10.1002/mawe.202000007

**Effective beneficiation of low content nickel ferrous laterite using fluxing agent through  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  selective reduction****Effektive Aufbereitung von eisenhaltigem Laterit mit niedrigem Nickelgehalt unter Verwendung eines Flussmittels durch selektive Reduktion von  $\text{Na}_2\text{SO}_4$** B. Widyartha<sup>1</sup>, Y. Setiyorini<sup>1</sup>, F. Abdul<sup>1</sup>, T.J. Subakti<sup>1</sup>, S. Pintawantoro<sup>1</sup>

To address the issue of high energy employment and un-green processing in limonitic laterites extraction, selective reduction using  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  additive with the introduction of different fluxes including quicklime, dolomite, and limestone followed by magnetic separation was studied. The objective of the research was to find out the influence of fluxes in optimizing ferronickel product of reduction. The reduction process was carried out at 1400 °C for 6 hours and the obtained product was characterized by scanning electron microscopy (SEM), emission dispersive x-ray (EDX), and x-ray diffraction (XRD) to image the morphology, determine the composition, and examine the mineralogical structure. Result showed that the employment of fluxes exhibited positive effect in improving the product. The highest nickel grade was 21.68 % using limestone flux, while the most promising recovery was 93.73 % utilizing dolomite flux. Meanwhile, mineralogical assessment also proved that the ascending of nickel content is due to the formation of troilite (FeS) as the result of synergy between  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  additives and carbonate minerals from fluxes. This result exhibits a notable performance of fluxes for improving the product of selective reduction.

**Keywords:** Selective reduction / laterites / flux / sodium sulphate / ferronickel**Schlüsselwörter:** Selektive Reduktion / Laterit / Flussmittel / Natriumsulfat / Eisennickel**1 Introduction**

Nickel, a broadly utilized metal for household and manufacturing applications, exhibits a constant increment in demand reaching 2 million tons annual consumption which continuously shows prompt enhancement since 1940s [1]. The primary source of nickel ores is deposited as laterites (about 70 %)

and another type is buried as sulphides (about 30 %). However, an astonishing fact arises since United States Geological Survey revealed that only 40 % of global production comes from laterites, whereas the other 60 % is extracted from sulphide [2]. The paradox occurs due to several natural reasons such as low nickel content of ores (1 %–2.5 %), intricate mineralogy and complicated proc-

<sup>1</sup> Sepuluh Nopember Institute of Technology, Department of Materials and Metallurgical Engineering, Jalan Raya ITS, 60111, SURABAYA, REPUBLIC OF INDONESIA

Corresponding author: S. Pintawantoro, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Department of Materials and Metallurgical Engineering, Jalan Raya ITS, 60111, SURABAYA, REPUBLIC OF INDONESIA, E-Mail: sungging@mat-eng.its.ac.id




## 5. Jurnal kelima (Wang, et al. 2017)



Article

### Preparing Ferro-Nickel Alloy from Low-Grade Laterite Nickel Ore Based on Metallized Reduction–Magnetic Separation

Zhihao Wang , Mansheng Chu \*, Zhenggen Liu, Hongtao Wang, Wei Zhao and Lihua Gao

School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China; wangzhihao361@163.com (Z.W.); liuzg@smm.neu.edu.cn (Z.L.); wanghongtao0212@126.com (H.W.); zhaowei\_neu@163.com (W.Z.); gaolihua19890815@163.com (L.G.)

\* Correspondence: chums@smm.neu.edu.cn; Tel.: +86-139-4049-5628

Received: 9 July 2017; Accepted: 12 August 2017; Published: 16 August 2017

**Abstract:** Nickel, a valued metal, mainly exists as nickel oxide in laterite nickel ore. Furthermore, a large part of the laterite nickel ore is low-grade saprolitic ore. In this paper, a research on preparing ferro-nickel alloy from low-grade saprolitic laterite nickel ore using metallized reduction-magnetic separation was studied. In the research, the carbothermic reductions of iron oxide and nickel oxide were analyzed in terms of thermodynamics. The influences of reduction temperature, reduction time, carbon ratio, and CaO addition on the recoveries and grades of iron and nickel were experimentally investigated. To analyze and clarify the related mechanism, the microstructure of ferro-nickel alloy was observed by optical microscope (OM) and scanning electron microscope/energy dispersive spectrometer (SEM/EDS). Accordingly, the results showed that, increasing reduction temperature can improve the grades and recoveries of nickel and iron; appropriate reduction time, carbon ratio and CaO addition can favor aggregation and growing up of the ferro-nickel particles, improving the grades and recoveries of nickel and iron. The optimal process parameters obtained were a reduction temperature of 1350 °C, reduction time of 2 h, carbon ratio of 1.2, and CaO addition of 10%. In this case, the ferro-nickel alloy with nickel grade 7.90% and iron grade 77.32% was prepared successfully from the low-grade saprolitic ore with nickel content 1.82%. The nickel and iron recoveries were 89.36% and 95.87% respectively, which achieved the highly efficient recovery and utilization of iron and nickel of low-grade laterite nickel ore.

**Keywords:** low-grade laterite nickel ore; metallized reduction; magnetic separation; ferro-nickel alloy

#### 1. Introduction

Nickel, an important strategic metal resource with the properties of anticorrosion, antiabrasion, and thermostability, has been widely used in stainless steel, special alloy steel, and other areas [1,2]. Nickel ore is divided into 30% nickel sulfide ore and 70% nickel oxide ore (most is laterite nickel ore), but almost 60% of nickel products come from nickel sulfide ore at present [3–6]. With the shortage of sulfide ore, the increasing demand for nickel, and the great progress in metallurgical technology, the development and utilization of laterite nickel ore has been attracted great attention [7]. Laterite nickel ore, generated during laterization (the weathering process by which soil and rock are changed to laterite in hot and wet tropical areas) [8,9], is chemically and physically divided into two distinct types, namely limonitic laterite nickel ore and saprolitic laterite nickel ore [10]. However, the two different type ores are always found together, with the limonitic portion generally overlaying the saprolitic. In limonitic laterite nickel ore, the contents of iron and cobalt are high, while that of silicon, magnesium, and nickel are low, which is appropriately benefited by hydrometallurgical processes, such as reducing roasting-ammoniac leaching, high pressure acid leaching (HPAL), and heap leaching

## 6. Jurnal Keenam (P.Ju, et al. 2018)

*J. Min. Metall. Sect. B-Metall. 54 (3) B (2018) 385 - 392*

Journal of Mining and Metallurgy,  
Section B: Metallurgy

SEPARATION OF IRON-NICKEL ALLOY NUGGET FROM LIMONITIC  
LATERITE ORE USING SELF-REDUCTION

P. Ju\*, K. Ryom, K. Hong

\* Kim Chaek University of Technology, Department of Metallurgical Engineering, Pyongyang, Democratic People's Republic of Korea

(Received 09 July 2018; accepted 30 November 2018)

**Abstract**

To efficiently extract nickel from low grade limonitic laterite ore, a separation method of iron-nickel alloy nugget by self-reduction of coal composite limonitic laterite ore briquette was investigated. In this investigation, in order to decrease the separation temperature of iron-nickel alloy nugget, the selective reduction by control of C/O ratio was introduced and reductant added in the briquette was inadequate for the reduction of nickel and iron. Nickel was preferentially reduced in the reduction process, while iron was partially reduced due to the lack of reductant. After reduction, a certain amount of FeO existed in the reduced product. This residual FeO had a great role in the formation of low melting point slag, which could promote the formation and the separation of iron-nickel alloy nugget at relatively low temperature. In this investigation, the reduction experiments were all conducted at 1300°C. To evaluate the formation and the separation of iron-nickel alloy nugget in the reduction process, we observed the patterns of reduced products under different C/O ratio, CaO addition ratio and holding time conditions. And then the effect of C/O ratio and CaO addition ratio on nickel content of nugget and nickel recovery ratio were investigated. The results showed that 0.7 of C/O ratio, 8% of CaO addition ratio and 40min of holding time were suitable for the separation of iron-nickel alloy nugget from limonitic laterite ore. Nickel and iron content of the nugget and the nickel recovery ratio were 4.75%, 89.51% and 85%, respectively. Nuggets were easily separated from slag by crushing and screening. This separation method could be applied to any limonitic laterite ore by adjusting C/O ratio and CaO addition ratio.

**Keywords:** Limonitic laterite ore; Iron-nickel alloy nugget; Selective reduction; Self-reduction

**1. Introduction**

Two types of nickel ores such as nickel sulfide ore and nickel laterite ore are widely used in nickel production. Nickel sulfide ores are typically derived from volcanic or hydrothermal processes, while laterite ores are formed near the surface following extensive weathering of ultramafic rocks and they occur abundantly in tropical climates around the equator [1]. With the increasing demand of nickel, the decreasing reserve of nickel sulfide resources and the advantages of exploring nickel laterite, much attention has been paid to the efficient utilization of laterite ores [2].

Nickel laterite ores generally consist of three main layers [3]. The layer close to the surface is the limonitic ore body, the layer near to the bottom of the ore body is the saprolitic ore body, and the limonitic ore can be separated from the saprolitic ore by a transition zone. Because of the low nickel content and variable distribution in nickel laterite ores, these ores cannot be easily concentrated by current technologies [4].

Limonitic laterite ores with high iron content are usually used in hydrometallurgical process such as high pressure acid leaching [5], while saprolitic laterite ores containing small amount of iron, and higher levels of nickel, silica and magnesium are generally subjected by pyrometallurgical process, including reduction-smelting process to produce ferronickel alloy. The main pyrometallurgical process is rotary kiln-electric furnace (RKEF) process. However, the energy consumption of this process is high due to the high ratio of slag to metal. Therefore, many processes with low energy consumption have been researched.

Recently, considerable research efforts are being directed at developing new techniques for extracting nickel from the nickel laterite ores. The widely used method of concentrating the nickel content of these laterite ores is the selective reduction of the contained metal oxides at moderate temperature to form a metallic phase, which may then be separated from the gangue by magnetic separation. Several previous studies have explored this selective reduction method and the effects of temperature, time, reductant type

\*Corresponding author: zhu197121@163.com

DOI: 10.2298/JMMB180709028J



## B. Perhitungan Selektivitas

Selektivitas merupakan indeks yang digunakan untuk menentukan seberapa baik proses reduksi Ni terhadap Fe. Hal ini didasari bahwa salah satu cara untuk membuat kadar Ni menjadi sedikit lebih tinggi adalah dengan cara menekan kadar Fe yang terbentuk adapun untuk menghitung selektivitas Ni terhadap Fe dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$\beta = \frac{X_{Fe} (feed) \times Y_{Fe} (Product)}{X_{Ni} (Feed) \times Y_{Ni} (Product)}$$

Dimana

X= kadar Ni

Y= kadar Fe

Untuk melihat perhitungan dari selektivitas Ni terhadap Fe pada setiap jurnal yang di review dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.

### a. Perhitungan Selektivitas jurnal Pertama

Penelitian pertama dilakukan oleh Abdul et al. (2018) untuk melihat hasil uji EDX terhadap bijih nikel limonit dapat dilihat sebagai berikut ini.

Tabel 1. Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	Mn	Co
Wt (%)	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	1.54	0.88	1.62

Sedangkan untuk melihat hasil EDX terhadap produk dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 2. Hasil EDX pada produk

Jurnal	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Abdul <i>et al.</i> (2018)	Kadar Bijih	1.25	55.37
	4 jam	3.03	80.09
	6 jam	4.69	67.68
	8 jam	7.09	51.57

Maka untuk perhitungan selektivitasnya dapat dilihat sebagai berikut

1. Holding 4 jam =  $\frac{55.37\% \times 3.03\%}{1.29\% \times 80.09\%} = 1.68$
2. Holding 6 jam =  $\frac{55.37\% \times 4.69\%}{1.29\% \times 67.68\%} = 3.07$
3. Holding 8 jam =  $\frac{55.37\% \times 7.09\%}{1.25\% \times 51.57\%} = 6.80$

### b. Perhitungan Nilai selektivitas pada Jurnal kedua

Penelitian pertama dilakukan oleh Abdul et al. (2018) untuk melihat hasil uji EDX terhadap bijih nikel limonit dapat dilihat sebagai berikut ini.

Tabel 3. Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	Mn	Co
Wt (%)	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	1.54	0.88	1.62

Sedangkan untuk melihat hasil EDX terhadap produk dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4. Hasil EDX pada produk

Jurnal	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Abdul <i>et al</i> (2020)	Kadar Bijih	1.25	55.37
	1.19:1	8.66	58.27
	1.48:1	12.74	68.66
	2.09:1	12.04	65.11

Maka untuk perhitungan selektivitasnya dapat dilihat sebagai berikut

1. Perbandingan massa 1.19:1 =  $\frac{55.37\% \times 8.66\%}{1.25\% \times 58.27\%} = 6.596$
2. Perbandingan Massa 1.48:1 =  $\frac{55.37\% \times 12.74\%}{1.25\% \times 68.66\%} = 8.219$

$$3. \text{ Perbandingan massa } 2.09:1 = \frac{55.37\% \times 12.04\%}{1.25\% \times 65.11\%} = 8.191$$

### c. Perhitungan nilai Selektivitas pada jurnal ketiga

Penelitian pertama dilakukan oleh Tian, *et al.* (2019) untuk melihat hasil uji EDX terhadap bijih nikel limonit dapat dilihat sebagai berikut ini.

Tabel 5. Hasil EDS Nikel Laterit

Unsur	SiO <sub>2</sub> (%)	Ni (%)	Fe (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	S (%)
Saprolit	32.38	1.29	16.31	6.29	0.34	0.36	2.83	0.003
Limonit	8.2	0.86	45.09	5.58	0.12	2.36	0.81	0.002

Sedangkan untuk melihat hasil EDX terhadap produk dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 6. Hasil EDS dari Produk

Jurnal	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Tian <i>et al.</i> , (2019)	Kadar Bijih	1.29	16.31
	Basisitas 0.01	2.93	57.53
	Basisitas 0.25	5.11	85.15

Pada penelitian yang dilakukan oleh Tian et al (2019) tidak dimiliki data berupa selektivitas oleh karena itu nilai selektivitas didapat dengan perhitungan sebagai berikut

$$1. \text{ Basisitas } 0.01 = \frac{16.31\% \times 2.93\%}{1.29\% \times 82.15\%} = 0.6987$$

$$2. \text{ Basisitas } 0.25 = \frac{16.31\% \times 5.11\%}{1.29\% \times 82.15\%} = 0.7864$$

**d. Perhitungan selektivitas pada jurnal keempat**

Penelitian pertama dilakukan oleh Widyartha *et al* (2020) untuk melihat hasil uji EDX terhadap bijih nikel limonit dapat dilihat sebagai berikut ini

Tabel 7. Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	Mn	Co
Wt (%)	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	1.54	0.88	1.62

Sedangkan untuk melihat hasil EDX terhadap produk dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 8. Hasil EDS terhadap produk

Jurnal	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Widyartha <i>et al</i> (2020)	Kadar Bijih	1.25	55.37
	Flux Limestone	22.93	49.88
	Flux Quicklime	7.75	56.18
	Flux Dolomit	9.65	57.27

Pada penelitian yang dilakukan oleh Widyartha *et al* (2020) tidak memiliki data selektivitas produk. Maka perhitungannya dapat dilihat dibawah ini

$$1. \text{ Quicklime} = \frac{55.37\% \times 22.93\%}{1.25\% \times 49.88\%} = 6.11$$

$$2. \text{ Dolomite} = \frac{55.37\% \times 9.65\%}{1.25\% \times 53.10\%} = 7.463$$

$$3. \text{ Limestone} = \frac{55.37\% \times 22.93\%}{1.25\% \times 49.88\%} = 20.36$$

### e. Perhitungan jurnal kelima

Penelitian pertama dilakukan oleh Wang et al (2017) untuk melihat hasil uji EDX terhadap bijih nikel saprolit dapat dilihat sebagai berikut ini

Tabel 9. Hasil EDS Nicke Saprolit

Unsur	SiO <sub>2</sub> (%)	Ni (%)	Fe (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Saprolit	37.48	1.82	19.78	12.98	0.09	1.40	4.00

Sedangkan untuk melihat hasil EDX terhadap produk dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 10. Hasil EDS pada produk

Jurnal	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
Wang, <i>et al.</i> (2017)	Kadar bijih	1.82	19.57
	5 % Quicklime	5.76	61.79
	10% quicklime	7.90	77.32
	15% Quicklime	7.16	69.11

Maka berdasarkan data diatas baik kadar Ni maupun Fe, untuk perhitungan selektivitas dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini

$$1. \quad 5\% \text{ Quicklime} = \frac{19.57\% \times 5.76\%}{1.82\% \times 61.79\%} = 1.002$$

$$2. \quad 10\% \text{ Quicklime} = \frac{19.57\% \times 7.90\%}{1.82\% \times 77.32\%} = 1.098$$

$$3. \quad 15\% \text{ Quicklime} = \frac{19.57\% \times 22.93\%}{1.82\% \times 69.11\%} = 1.01$$

## f. Perhitungan Selektivitas Jurnal keenam

Penelitian pertama dilakukan oleh P.Ju untuk melihat hasil uji kadar terhadap bijih nikel limonit dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 11. Komposisi kimia Bijih Limonit

Unsur	TFe (%)	Ni (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
Wt(%)	35.32	1.63	6.23	18.11	0.12	7.92	10.94

Sedangkan untuk melihat hasil EDX terhadap produk dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 12. Komposisi kimia pada produk

Jurnal	Flux	Variasi	Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)
	-	Kadar bijih	1.81	17.87
P.Ju <i>et al.</i> (2018)	Quicklime	8% quicklime	4.75	89.51

Maka berdasarkan data diatas baik kadar Ni maupun Fe, untuk perhitungan selektivitas dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini data hanya terdapat satu saja yang dituliskan secara angka di dalam jurnal sehingga hanya satu perhitungan selektivitas yang dilakukan

$$1. \text{ 8\% Quicklime} = \frac{35.32\% \times 4.75\%}{1.63\% \times 89.51\%} = 1.149$$



## UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Ucapan terimakasih saya ucapkan sebagai bentuk tanda terimakasih kepada seluruh pihak yang membantu dalam proses pengerjaan laporan tugas akhir dengan judul Review aplikasi Flux Dalam Reduksi Selektif Bijih Nikel laterit. Ucapan Terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Allah SWT berkat rahmat, barokah, pertolongan dan bimbingannya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir
2. Keluarga baik kedua orang tua maupun adik penulis yang selalu mendukung penulis dalam menjalani masa kuliah ini
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.T, M.Sc selaku kepala jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember
4. Bapak Sungging Pintowantoro, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing dan ketua Laboratorium Teknologi pengolahan Mineral dan material yang telah banyak memberikan arahan dalam menyelesaikan Tugas akhir
5. Bapak Fakhreza Abdul, S.T. M.T selaku dosen pembimbing sekaligus dosen wali penulis yang telah meluangkan waktu untuk bimbingan, ilmu dan juga masukan mengenai baik dalam hal tugas akhir ataupun hal lainnya
6. Anggota Lab ekstraksi Satrio, Vito, Mas Berryl, Henokh, Safira, Tetty, Erick, Mahanaim, Naufal, Amri, Rachnanta, Naufal Firdaus, Afni, Kevin, Fadel, Rizki, Najib dan Radite yang telah banyak membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir
7. Teman semasa SMA Dika, Ambang, Yayak, dan Tata yang memberikan banyak hiburan serta canda tawa dikala masa sulit saat pengerjaan tugas akhir ataupun di masa kuliah selama ini
8. Teman-teman angkatan MT 18 terutama anggota kontrakannya mbambed, Rafli, Afrizal, Arfan, Putra, Cici, Edwin, Handis, Fadhel, Nabil, arif rahman, Wardhana, Mirfa, Yoga Pradipta,

- dan Daniel yang sudah membantu selama masa pengerjaan laporan tugas akhir ataupun selama masa kuliah ini
9. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan laporan tugas Akhir ini

Surabaya, 9 Juni 2020  
Penulis

Iqbal Maulana Affandi  
02511640000103

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta 1 April 1998, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SDN Cipinang Melayu 03 Pagi, Jakarta, lalu dilanjutkan ke SDN Jemurwonosari I Surabaya. Kemudian lanjut ke jenjang menengah di SMPN 1 Surabaya dan lanjut ke Pendidikan jenjang atas di SMAN 2 Surabaya. Lalu Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Selama menempuh aktivitas perkuliahan penulis pernah aktif di berbagai organisasi mahasiswa. Penulis tercatat sebagai staff BSO KWU HMMT FTI-ITS 17/18 dan Staff NACE Student Chapter ITS. Kemudian penulis juga mengemban amanah sebagai Direktur BSO KWU HMMT FTI-ITS 18/19. Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan yang ada di tingkat kampus, dan berbagai pelatihan yang diadakan oleh pihak fakultas. Penulis pernah tercatat sebagai pemandu GERIGI ITS 18/19. Selain itu Penulis juga mengikuti kerja praktek di PT Vale Indonesia pada periode Juli-Agustus 2019 dengan judul *“Analisis Kebocoran Pada Tangki Berbahan Mild Steel ASTM A36 Berisi Bahan Bakar Solar di Pelabuhan Balintang Milik P.T Vale Indonesia TBK”*. Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang metalurgi ekstraksi dengan judul *“Review Aplikasi Flux Dalam Reduksi Selektif Nikel Laterit”*. Penulis dapat dihubungi melalui email: [iqbal.m.affandi@gmail.com](mailto:iqbal.m.affandi@gmail.com).