



**TUGAS AKHIR – TL184834**

**REVIEW : PROSES PEMURNIAN BIJIH NIKEL LATERIT  
SECARA PIROMETALURGI**

**M. NAUFAL FIRDAUS S.  
NRP. 02511640000147**

**Dosen Pembimbing  
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph.D.Eng**

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





**TUGAS AKHIR – TL 184834**

**REVIEW : PROSES PEMURNIAN BIJIH NIKEL  
LATERIT SECARA PIROMETALURGI**

M. NAUFAL FIRDAUS S.  
NRP. 02511640000147

Dosen Pembimbing  
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph.D.Eng

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 : PYROMETALLURGICAL  
REFINING PROCESS OF LATERITE NICKEL ORE**

M. NAUFAL FIRDAUS S.  
NRP. 02511640000147

Supervisor  
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph.D.Eng

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 : PROSES PEMURNIAN BIJIH NIKEL  
LATERIT SECARA PIROMETALURGI**

**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:

**M. NAUFAL FIRDAUS S.**

NRP 02511640000147

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph.D.Eng ..... (Pembimbing II)



**SURABAYA  
Juli 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## REVIEW : PROSES PEMURNIAN BIJIH NIKEL LATERIT SECARA PIROMETALURGI

**Nama** : M. Naufal Firdaus S.  
**NRP** : 0251164000147  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
**Pembimbing II** : Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph.D.Eng

### **Abstrak**

*Nikel merupakan logam yang sangat penting dan banyak diaplikasikan pada dunia industri, terutama industri stainless steel. Seiring berkembangnya industri, membuat kebutuhan terhadap logam nikel semakin banyak. Namun, cadangan nikel berupa bijih nikel sulfida yang biasa digunakan pada produksi nikel semakin menipis sehingga penggunaan bijih nikel laterit lebih digencarkan. Berbeda dengan bijih nikel sulfida, bijih nikel laterit memiliki kadar nikel yang lebih rendah dan perlu pengolahan lebih lanjut untuk dapat diaplikasikan dalam dunia industri. Bijih Nikel Laterit yang dibahas kali ini adalah berjenis saprolitik dan dilakukan proses ekstraksi secara pirometalurgi. Proses ekstraksi diawali dengan proses smelting yang akan menghasilkan ferronikel, kemudian proses ekstraksi tersebut dilanjutkan dengan rangkaian proses pemurnian ferronikel yang diawali dengan tahap desulfurisasi yaitu penghilangan unsur pengotor berupa sulfur dan dilanjutkan dengan tahap oksidasi dengan memanfaatkan afinitas unsur impurities terhadap oksigen untuk mengoksidasi impurities yang ada.. Selain itu, pada penelitian jurnal review kali ini akan dibahas juga mengenai laju aliran oksigen pada proses oksidasi dan penambahan flux pada proses desulfurisasi*

**Kata Kunci:** *bijih nikel laterit, ferronikel, pemurnian, oksidasi, desulfurisasi*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **REVIEW : PYROMETALLURGICAL REFINING PROCESS OF LATERITE NICKEL ORE**

**Student Name** : M. Naufal Firdaus  
**NRP** : 02511640000147  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Supervisor** : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.  
**Co-Supervisor** : Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph. D.Eng

### **Abstract**

*Nickel is a very important metal and widely applied to the industrial world, especially the stainless steel industry. As the industry develops, the need for nickel is getting higher. However, nickel reserves in the form of nickel sulfide ore commonly used in nickel production are running low so that the use of laterite nickel ore is more intense. Unlike nickel sulfide ore, laterite nickel ore has lower nickel content and needs further processing to be applied in the industrial world. The laterite nickel ore discussed here is a saprolitic type and the extraction process is pyrometallurgy. The extraction process begins with a smelting process that will produce ferronickel, then the extraction process is continued by the ferronickel refining processes that begin with the desulfurization stage that removing impurities in the form of sulfur and followed by an oxidation stage by utilizing the affinity of impurities to oxygen to oxidize existing impurities. In addition, in this review journal research will also discuss the oxygen flow rate in the oxidation process and the addition of flux in the desulfurization process.*

**Keywords:** *laterite nickel ore, ferronickel, refining, oxidation, desulphurization*

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir *Paper Review* yang berjudul “Review: Pemurnian Bijih Nikel Laterit secara Pirometalurgi”. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang ini. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan studi yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Dengan terbentuknya laporan tugas akhir, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada

1. 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 dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ibu Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph.D.Eng. selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis selama proses menyusun Tugas Akhir
3. Bapak Fakhreza Abdul, S.T. M.T yang telah menuangkan segala bimbingan, ilmu dan gemblengan mengenai Tugas akhir dan kehidupan.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono., S.Si., M.Si., Ph.D. selaku ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
5. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.. selaku dosen wali yang senantiasa memberi arahan selama perkuliahan.

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

Surabaya, 14 April 2020  
Penulis

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'M' followed by a series of loops and a long horizontal stroke extending to the right.

M. Naufal Firdaus S.

## 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.....	3
1.3 Batasan Review.....	3
1.4 Tujuan Review.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Nikel.....	5
2.2 Pengolahan Bahan Galian.....	9
2.3 Bijih Nikel Laterit.....	14
2.3.1 Bijih Nikel Laterit Saprolitik.....	16
2.3.2 Bijih Nikel Laterit Limonitik.....	18
2.4 Pengolahan Bijih Nikel Laterit.....	19
2.4.1 Ferronikel.....	19
2.5 Proses Pemurnian Ferronikel.....	21
2.5.1 Proses Desulfurisasi.....	21
2.5.2 Proses Oksidasi.....	24
2.5.3 Alat Pemurnian Ferronickel.....	30
2.5.4 <i>Flux</i> .....	34
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	37
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	<b>41</b>
3.1 Diagram Alir.....	41
3.2 Metode Review.....	42
3.3 Metode Pembahasan Review.....	43
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	<b>45</b>
4.1 Proses Desulfurisasi.....	45

4.2	Proses Oksidasi .....	53
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>57</b>
5.1	Kesimpulan .....	57
5.2	Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>67</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>		<b>71</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>		<b>73</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses ekstraksi bijih nikel (Crundwell 2011).....	6
Gambar 2.2 Proses <i>Liberation</i> bijih nikel.....	10
Gambar 2.3 <i>Gyratory Crusher</i> .....	11
Gambar 2.4 <i>Cone Crusher</i> .....	12
Gambar 2.5 Proses <i>Floth Flotation</i> .....	13
Gambar 2.6 Profil Laterit (Dalvi 2004).....	14
Gambar 2.7 Proses ekstraksi bijih nikel laterit (Rodrigues 2013).....	15
Gambar 2.8 Proses pengolahan bijih nikel laterit berjenis saprolitik (Crundwell 2011) .....	16
Gambar 2.9 Proses <i>Rotary Kiln Electric Furnace</i> (RKEF) untuk mengolah bijih nikel saprolitik (Liu 2016).....	17
Gambar 2.10 Proses pengolahan bijih nikel laterit berjenis limonitik (Seetharaman 2014) .....	18
Gambar 2.11 Proses <i>High Pressure Acid Leach</i> (HPAL) untuk mengolah bijih nikel saprolitik (Ang, 2017).....	19
Gambar 2.12 Diagram Ellingham .....	25
Gambar 2.13 Daerah reaksi di dalam converter .....	27
Gambar 2.14 Grafik penambahan <i>flux</i> terhadap kadar fosfor .....	29
Gambar 2.15 <i>Ladle Furnace</i> (Antam, 2013).....	31
Gambar 2.16 Skema <i>Ladle Furnace</i> .....	31
Gambar 2.17 <i>LD Converter</i> .....	33
Gambar 2.18 Skema <i>LD Converter</i> .....	34
Gambar 2.19 Persentase Unsur S terhadap penambahan $\text{Ca}_2$ .....	37
Gambar 2.20 Grafik pengurangan sulfur terhadap waktu .....	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Review Jurnal.....	42
Gambar 4.1 Hasil <i>element mapping</i> , Lapisan CaS yang terbentuk di sekitar partikel CaO pada permukaan sampel.....	46

Gambar 4.2 Hasil <i>element mapping</i> , Lapisan CaS yang terbentuk pada permukaan sampel dimana karbida tidak bereaksi .....	47
Gambar 4.3 Grafik ketebalan lapisan CaS yang terbentuk terhadap fungsi waktu reaksi pada masing masing reagen .....	48
Gambar 4.4 Grafik kadar sulfur terhadap penambahan kuantitas reagen desulfurisasi .....	49
Gambar 4.5 Hasil <i>element mapping</i> , Lapisan CaS yang terbentuk pada permukaan sampel dimana karbida tidak bereaksi .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Negara Negara Yang Memiliki Sumber Daya Nikel Sulfida Dan <i>Laterite</i> (Prasetyo 2016) .....	8
Tabel 2.2 Parameter Operasi <i>Crusher</i> .....	12
Tabel 2.3 Komposisi Ferronikel (Vale 2015).....	20
Tabel 2.4 Sifat Ferronikel.....	21
Tabel 2.5 Reaksi Oksidasi pada <i>Converter</i> .....	24
Tabel 3.1 Metode pemurnian ferronikel (A. Warner 2006) .....	43

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Nikel merupakan salah satu logam yang sangatlah penting dan diaplikasikan secara luas, terutama pada dunia industri saat ini. Jenis bijih nikel di dunia diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu bijih nikel laterit dan bijih nikel sulfida. Jumlah cadangan dari bijih nikel laterit mendominasi sekitar 70% dari keseluruhan cadangan bijih nikel di dunia. Bijih nikel laterit tersebar luas di berbagai daerah daerah tropis seperti Indonesia, Filipina, Kuba dan Kaledonia baru. Berbanding terbalik dengan jumlah cadangan bijih nikel sulfida yang hanya 30% dari jumlah keseluruhan cadangan bijih nikel di dunia dan tersebar pada daerah subtropis seperti Siberia Utara dan Kanada. Walaupun bijih nikel laterit memiliki jumlah cadangan yang lebih melimpah dibanding bijih nikel sulfida, namun kadar nikel yang lebih rendah pada bijih nikel laterit yang hanya sekitar 1-2,5%, membuat produksi nikel di dunia lebih banyak menggunakan bijih nikel sulfida sebagai bahan baku produksinya yang memiliki kadar nikel yang lebih tinggi. (Crundwell 2011)

Perlu diketahui bahwa Indonesia memiliki cadangan bijih nikel laterit yang berlimpah. Hal ini dibuktikan dari data yang dikutip dari US *Geological Survey* pada tahun 2016, yang menyebutkan bahwa Indonesia menempati urutan ke 6 sebagai produsen nikel terbesar di dunia dengan produksi nikel sebesar 168.500 metric ton. (ITPC 2017) Tentunya dengan melimpahnya cadangan bijih nikel tersebut dapat membuat Indonesia berpotensi menjadi sebagai salah satu produsen nikel terbesar di dunia. Hal ini didorong oleh tingginya permintaan terhadap nikel di dunia industri sehingga memungkinkan Indonesia menjadi *keymaker* dalam hal komoditas nikel secara global.

Penerbitan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 11 Tahun 2019 yang menyebutkan bahwa mulai pada tanggal 1 Januari 2020, dilakukan pelarangan ekspor

terhadap bijih nikel mentah sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut terlebih dahulu untuk meningkatkan nilai nikel tersebut. Penerbitan peraturan tersebut tentunya dapat mendorong industri pengolahan nikel, terutama industri lokal untuk dapat terlibat aktif mengolah cadangan nikel nasional. Selain itu, dengan adanya aturan tersebut mendorong pihak asing untuk berlomba-lomba membangun industri pengolahan nikel di Indonesia, ataupun hanya sekedar melakukan investasi dalam hal pembangunan fasilitas pengolahan bijih nikel yang berlimpah tersebut.

Mengingat produksi nikel mayoritas menggunakan bijih nikel sulfida sebagai bahan bakunya, sedangkan di Indonesia sendiri cadangan bijih nikel laterit lebih melimpah. Sehingga perlu dilakukan pemrosesan lebih lanjut dari bijih nikel laterit tersebut agar dapat digunakan sebagai bahan baku produksi nikel. Dalam hal ini, pengolahan nikel dari bijih berkadar rendah seperti laterit limonitik dan saprolitik. Salah satu produk umum hasil pengolahan bijih laterit yaitu feronikel. Logam ini didominasi oleh besi dan nikel dalam kandungannya, dimana besi menjadi kandungan paling tinggi. Pada tahun 2019 sebanyak 1,1 juta ton nikel dalam feronikel diproduksi di Indonesia, dimana angka ini meningkat hampir dua kali lipat dibanding tahun 2018 yang tercatat sebanyak 573 ribu ton. Peningkatan ini tentu tidak lepas dari tingginya permintaan terhadap produk ini yang umumnya digunakan sebagai bahan baku baja tahan karat. Dengan semakin tinggi kadar nikel dari feronikel tersebut, maka harga feronikel pun akan semakin mahal. Oleh karena itu, tahap pemurnian yang ada pada proses produksi feronikel merupakan hal yang tidak kalah penting dengan tahapan lainnya, karena dapat menaikkan kadar nikel terkandung dan tentunya dapat menaikkan harga dari feronikel tersebut.

Pada penelitian *review jurnal* kali ini, akan diteliti proses apa saja yang dilakukan untuk memurnikan *crude ferronickel* hasil proses smelting agar unsur-unsur pengotor yang ada dapat dihilangkan dan mencapai standar komposisi yang dibutuhkan untuk diaplikasikan pada dunia industri.

---

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan Masalah pada penelitian *review* jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses yang dilakukan untuk memurnikan bijih nikel laterit secara pirometalurgi?
2. Apa saja hal yang perlu diperhatikan dalam memurnikan bijih nikel laterit secara pirometalurgi?

## 1.3 Batasan Review

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

1. Jenis bijih nikel laterit yang digunakan pada proses pemurnian adalah bijih nikel laterit saprolitik.
2. Bijih nikel laterit yang dimurnikan secara pirometalurgi sudah dalam bentuk produk berupa ferronikel.
3. Komposisi awal dari *crude ferronickel* yang dimurnikan dianggap homogen.

## 1.4 Tujuan Review

Tujuan dilakukannya penelitian *review* jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis proses yang dilakukan untuk memurnikan bijih nikel laterit secara pirometalurgi
2. Menganalisis hal hal yang perlu diperhatikan dalam memurnikan bijih nikel laterit secara pirometalurgi.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

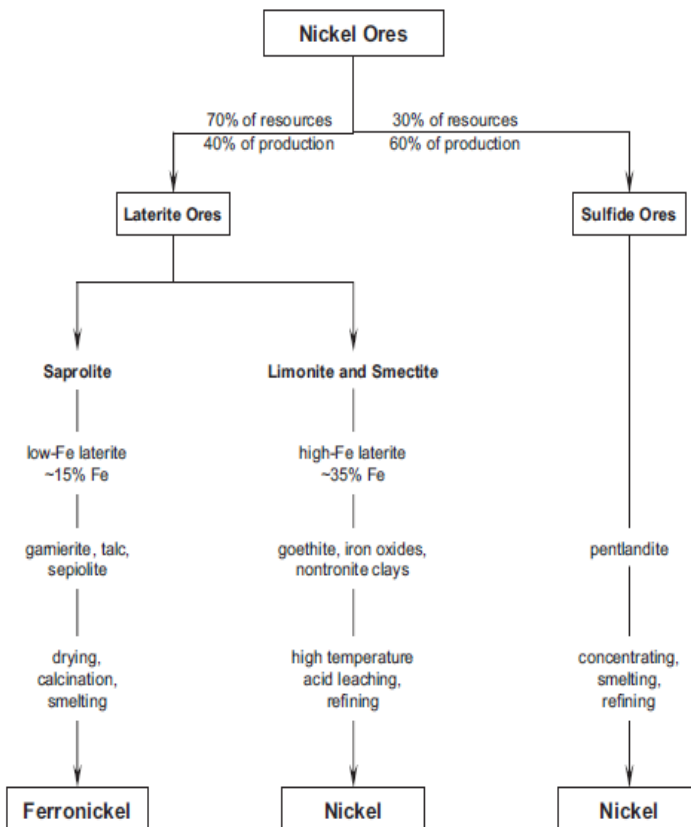
### 2.1 Nikel

Nikel dikenal sebagai unsur yang memiliki warna yang mengkilap dan merupakan unsur paduan utama yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan *Stainless Steel*. (Young, 2019) Selain itu, nikel dianggap sebagai salah satu logam yang sangatlah penting dan diaplikasikan secara luas pada dunia industri antara lain pada industri *Stainless Steel* sebagai unsur paduan utamanya, dan industri lainnya yang menggunakan nikel sebagai unsur paduan seperti industri baja paduan, *nickel-based alloys*, *superalloy*, dan sebagainya. Kemudian pada industri pengecoran logam dan baja, pelapisan *electroplating*, katalis, dan bahan baku untuk katoda baterai. (Mudd 2009)

Pada tabel periodik unsur kimia, nikel termasuk ke dalam golongan VIIB. Unsur yang memiliki nomor atom 28 dan nomor massa 58,7 memiliki sifat yang cenderung mirip dengan Besi dan juga Kobalt sehingga ketiga unsur ini dikenal dengan sebutan *Trident* atau *Tiga Serangkai* Beberapa sifat fisis utama yang dimiliki nikel adalah Titik Lebur sebesar  $1455^{\circ}\text{C}$ , Titik Leleh Sebesar  $2915^{\circ}\text{C}$ , dan densitas sebesar  $8,92 \text{ g/cm}^3$  (Gasik 2013) Nikel memiliki sifat yang khas dan ketika dipadukan dengan unsur lainnya dan meningkatkan kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan korosi dari unsur paduan tersebut. Secara normal, nikel memiliki susunan kristal *Face Centered Cubic* (FCC) dan memiliki sifat ferromagnetik dibawah titik curie  $357^{\circ}\text{C}$  serta dapat berubah menjadi berbentuk heksagonal yang tidak memiliki sifat ferromagnetik. (Habashi 1997)

Apabila dibagi berdasarkan jenis produk dari pengolahannya, nikel terbagi menjadi beberapa kategori antara lain adalah Nikel Kelas 1, Nikel Kelas 2, dan juga Nikel berbentuk produk kimiawi. Nikel Kelas 1 merupakan produk pengolahan yang memiliki kandungan nikel diatas 99%, contoh dari nikel kelas 1 ini adalah nikel elektrilitik, nikel berbentuk briket, pellet, dan juga

berbentuk serbuk. Kemudian nikel kelas 2 merupakan produk pengolahan yang memiliki kandungan nikel dibawah 99%, *Nickel Pig Iron (NPI)*, *Nickel Oxide Sinter*, dan *Ferronickel* termasuk ke dalam nikel kelas 2 ini. Selain kedua kelas produk pengolahan berdasarkan persentase kandungan nikel tersebut, ada juga produk pengolahan nikel yang berbentuk produk kimiawi seperti Nikel Sulfat, Nikel Karbonat, Nikel Klorida, Nikel Asetat, Nikel hidroksida, Nikel Oksida, dan lainnya. (INSG 2015)



Gambar 2.1 Proses ekstraksi bijih nikel (Crundwell 2011)

Pada dasarnya, nikel yang ditambang terdiri atas dua jenis bijih, yaitu bijih nikel sulfida dan bijih nikel laterit. Nikel Sulfida merupakan bijih nikel yang terbentuk atas pencampuran antara nikel dan sulfur. Hal ini terjadi dikarenakan proses tektonik yang mengakibatkan keluarnya magma cair dari mantel ke kerak bumi dan juga adanya pembentukan dari logam yang kaya akan bijih sulfida secara hidrotermal. Sedangkan bijih nikel laterit sendiri terbentuk di dekat permukaan tanah yang disebabkan oleh proses pelapukan yang terjadi didasar samudra yang kemudian terdorong ke atas akibat adanya tekanan tektonik yang terjadi. Bijih ini memiliki kandungan nikel yang lebih rendah dibanding bijih nikel sulfida. (Crundwell 2011)

Sumber daya nikel diketahui didominasi oleh cadangan bijih nikel laterit sebesar 70% . Namun berbanding terbalik untuk proses produksi nikel, dimana produksi lebih banyak menggunakan bijih nikel sulfida. Alasannya adalah bijih sulfida memiliki nilai kandungan nikel yang lebih tinggi dibanding bijih nikel laterit. Selain itu, proses produksi nikel dari bijih laterit membutuhkan perlakuan yang luas dan kompleks untuk mengekstraksi nikel.

Perbedaan utama antara pemrosesan laterit dan sulfida adalah bahwa bijih sulfida dapat dilakukan proses benefikasi yang bertujuan untuk menghasilkan kadar nikel tinggi (10 hingga 26% Ni). Sehingga dapat mengurangi penggunaan fasilitas pemrosesan (terutama fasilitas pemrosesan front-end) dan biaya pemrosesan keseluruhan untuk sulfida. Namun berbeda dengan bijih laterit yang hanya dapat dilakukan peningkatan secara terbatas (dengan faktor <3, tetapi sebagian besar <2). Hal ini menyebabkan lebih banyak *feed* yang di proses dan lebih banyak pula *slag* yang dibuang. Sehingga proyek laterit umumnya memiliki biaya modal yang tinggi dan *smelter* laterit memiliki biaya energi yang tinggi. (Dalvi 2004)

Secara umum, produksi nikel dari bijih sulfida dilakukan pada penambangan terbuka atau tambang tertutup (*underground*), yang kemudian dilanjutkan dengan tahap *concentration* dengan flotasi, tahap *smelting* yang menghasilkan *nickel matte*, dan tahap

pemurnian untuk didapatkannya logam murni. Tambang, *smelter*, dan *refineries* pada umumnya berada di lokasi yang berbeda, tergantung pada faktor geografis setempat. Sebaliknya, produksi nikel dari bijih laterit relatif kompleks. Tambang laterit semuanya merupakan tambang terbuka karena memiliki area yang luas dan umumnya hanya menerapkan benefikasi dasar untuk bijih sebelum diproses. (Mudd 2009)

Sumber daya nikel dunia saat ini diperkirakan hampir 300 juta ton. Australia, Indonesia, Afrika Selatan, Rusia, dan Kanada menyumbang lebih dari 50% sumber daya nikel global. Pada umumnya nikel sulfida berada dibelahan bumi subtropis seperti Afrika Selatan, Siberia, dan Kanada. Sedangkan laterit berada dikhatulistiwa atau daerah tropis seperti Indonesia, Kuba, Brasil, Filipina dan Kaledonia Baru. Australia memiliki cadangan sumber daya nikel terbesar dengan memiliki cadangan bijih nikel sulfida dan bijih nikel laterit secara bersamaan. (Nickel Institute 2016)

Indonesia sempat menempati posisi kedua sebagai negara yang memiliki sumber daya nikel terbanyak di dunia. Hal tersebut berdasarkan data yang dirilis pada tahun 1988 mengenai persebaran sumber daya alam bijih nikel seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Negara Negara Yang Memiliki Sumber Daya Nikel Sulfida Dan *Laterite* (Prasetyo 2016)

Negara	% Total Ni
Kaledonia Baru (Laterit)	27
Indonesia (Laterit)	13
Kanada (Sulfida)	11
Kuba (Laterit)	8
Uni Soviet (Sulfida)	7
Lainnya	34
Total	66

Cadangan bijih nikel laterit yang berada di indonesia tersebut tersebar di beberapa daerah yang terdapat pada Kawasan Timur

---

Indonesia (KTI) seperti Halmahera Utara, Sulawesi Tenggara, Pulau Gag Papua, dan beberapa daerah lainnya. (Prasetyo 2016)

## 2.2 Pengolahan Bahan Galian

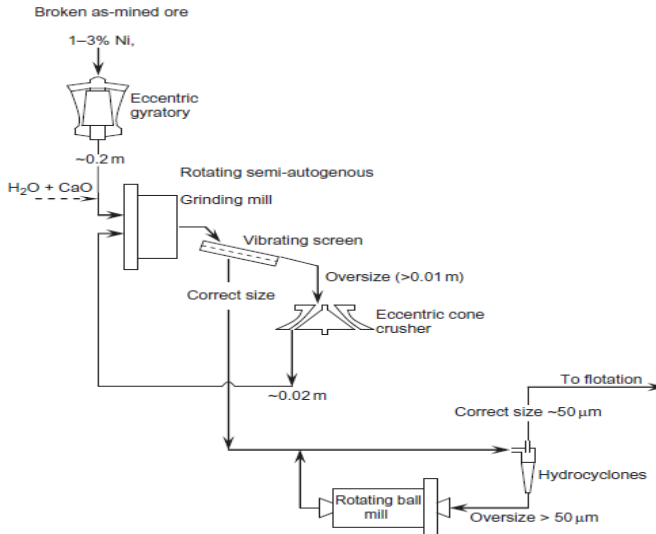
Seperti yang telah disebutkan diatas bahwa produksi nikel lebih banyak menggunakan bijih sulfida, dikarenakan pengolahan bijih laterit lebih sulit dan memakan biaya yang lebih mahal. Karena alasan tersebut pula, jumlah bijih nikel laterit yang diproses lebih sedikit dibanding pengolahan bijih nikel sulfida. Bijih nikel laterit membutuhkan perlakuan yang kompleks untuk mengekstraksi logam Ni, hal ini diakibatkan oleh kandungan Ni dari bijih nikel laterit lebih sulit untuk ditingkatkan. Tidak seperti bijih nikel sulfida, distribusi logam nikel dalam laterit nikel didistribusikan secara seragam dan bertindak sebagai kondisi interstisial dalam kisi-kisi molekul partikel. Itu membuat proses konsentrasi nikel melalui flotasi dan pemisahan gravitasi tidak bisa diterapkan. Berdasarkan alasan ini, hampir semua bijih laterit nikel dari tambang harus dimasukkan ke dalam keseluruhan proses. (Norgate 2011)

Oleh karena hal tersebut, bijih nikel laterit hanya dapat ditingkatkan dengan menggunakan salah satu tahap dari proses *ore dressing*, dalam hal ini adalah kominusi atau *liberation* dengan proses seperti *crushing* atau *grinding*, kemudian dilanjutkan dengan proses pemisahan atau *separation* partikel partikel kecil, lunak, dan kaya akan kandungan nikel dari partikel yang besar, keras, dan memiliki kandungan nikel sedikit. (Seetharaman 2014)

Berbeda dengan bijih nikel laterit, proses peningkatan bijih nikel sulfida dapat dilakukan dengan dua tahap dari proses *ore dressing* yaitu *liberation* dan *concentration*.. Tahap pertama yaitu proses kominusi atau *liberation* yang bertujuan untuk membebaskan (*liberate*) mineral yang mengandung nikel dari mineral lainnya pada bijih.. Setelah itu dilanjutkan pada tahap *concentration*. Tahap *concentration* ini diperlukan karena kadar nikel yang terdapat pada bijih nikel sulfida terlalu rendah untuk langsung dilakukan proses *smelting* walaupun sudah dilakukan

---

*liberation*. Oleh karena itu dilakukan proses *concentration* untuk menghasilkan konsentrat yang memiliki kadar nikel lebih tinggi. Konsentrat hasil proses *ore dressing* ini kemudian dilanjutkan pada proses *smelting* untuk proses lanjutan (Crundwell 2011)



Gambar 2.2 Proses *Liberation* bijih nikel

Adapun proses proses pada tahap *liberation* atau kominusi yang terdapat pada gambar diatas adalah sebagai berikut Pertama adalah tahap *crushing*, Proses *crushing* secara sederhana dapat diartikan sebagai penghancuran batuan besar menjadi ukuran yang lebih kecil. Gaya yang terjadi pada proses ini adalah berupa gaya kompresi dan *impact*. Untuk menghancurkan berbagai jenis batuan menjadi ukuran yang lebih kecil, proses ini harus memiliki efek yang cukup keras karena partikel yang lebih besar membutuhkan lebih banyak energi untuk dapat hancur (Bernotat 2000). Sehingga, harus dipastikan unit *crusher* memiliki struktur yang kokoh untuk digunakan dalam proses ini. Terdapat beberapa jenis *crusher* yang digunakan pada proses kominusi bijih nikel, yaitu *Gyratory Crusher* dan *Cone Crusher*

*Gyratory Crusher* termasuk ke dalam *Crusher* primer, yang berfungsi untuk menghancurkan *as-mined ore* yang berukuran besar menjadi ukuran yang lebih kecil untuk dilanjutkan ke proses *crushing* selanjutnya.

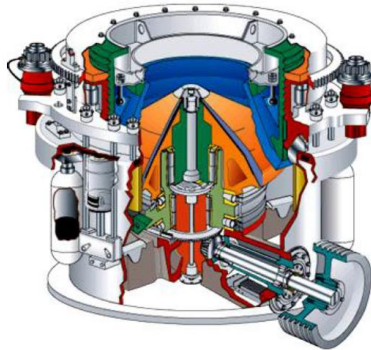


Gambar 2.3 *Gyratory Crusher*

*Crusher* jenis ini terdiri atas kulit di bagian luar yang terbuat dari paduan mangan atau baja serta poros spindel asimetris yang terbuat dari logam berpaduan baja, diletakkan di lubang bagian dalam dan dikelilingi oleh mantel. Poros ini digerakkan oleh penggerak yang terdapat pada bagian bawah dan ditahan oleh cekungan pada bagian atas. (Michaud 2016) *Gyratory crusher* memiliki kisaran kecepatan rotasi umum antara 150-400 rpm [20]. *Feed* dimasukkan dari celah yang terbuka antara mantel dengan poros yang berputar, perputaran dari poros asimetris tersebut mengakibatkan perubahan gap antara poros dengan mantel dan memberi tekanan pada *feed* berupa bijih berukuran besar sehingga bijih tersebut akan hancur dan menghasilkan bijih dengan ukuran kecil yaitu sekitar 0,2 m yang kemudian akan dilanjutkan ke proses berikutnya.

Selain itu ada *cone crusher* yang memiliki ukuran yang lebih kecil dibanding *gyratory crusher* namun berkonsep sama di mana gerakan eksentrik diterapkan pada poros utama dari bagian bawah

dan juga perputaran dari *cone* independen tanpa adanya pengikatan stasioner dari atas. Namun, *crusher* jenis ini tidak dapat digunakan untuk menghancurkan *feed* berukuran besar karena diameter pembuangan lebih besar daripada lubang masuk *feed*. (Telsmith Inc. 2014)



Gambar 2.4 *Cone Crusher*

*Cone crusher* memberikan pukulan yang lebih kuat serta lebih cepat dibanding *gryatory crusher*, sehingga dapat menghasilkan bentuk partikel kubik dengan ukuran yang lebih seragam. (Bernotat 2000) Berikut merupakan parameter operasi dari *Cone crusher* dan *Gryatory Crusher*

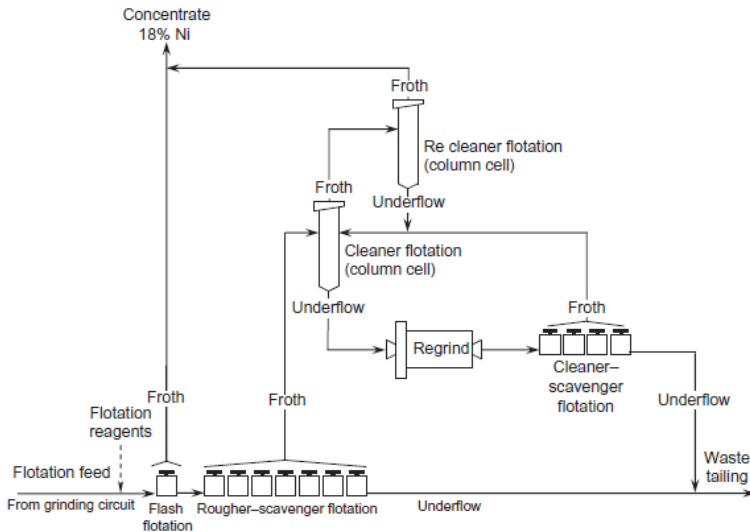
Tabel 2.2 Parameter Operasi *Crusher*

Parameter	Gryatory Crusher	Cone Crusher
Ukuran Feed (mm)	150-1800	25-300
Ukuran Produk (mm)	25-250	5-40
Daya Spesifik (kW)	0,15-0,5	0,4-2,2
Jenis Gaya	Tekanan	Tekanan/ <i>impact</i>

Kemudian, bijih hasil dari proses *crushing* akan dilakukan proses selanjutnya yaitu *grinding* atau penggilingan. Tahap ini merupakan tahap akhir dari proses *liberation*. Proses *grinding* umumnya dilakukan dalam keadaan basah (*wet grinding*) karena tidak memakan banyak daya dan juga tempat dibanding pada



keadaan kering. Proses yang bertujuan untuk mengurangi ukuran material dari tahap *crushing* ini menggunakan prinsip gabungan antara tumbukan dengan abrasi. Hasil dari tahap ini akan berupa *slurry* yang mana akan diproses pada tahap selanjutnya yaitu *concentration* untuk menghasilkan konsentrat. (Wills 2016) Proses grinding yang umum digunakan pada rangkaian *ore dressing* bijih nikel adalah *ball mills*



Gambar 2.5 Proses *Froth Flotation*

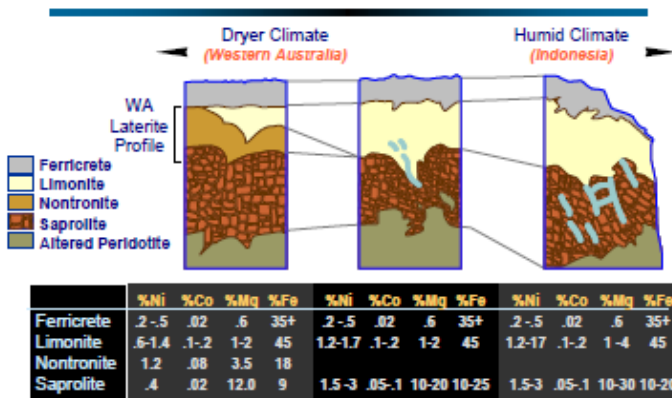
Setelah tahap *liberation*, kemudian dilanjutkan dengan tahap *concentration* dari bijih sulfida dengan menggunakan proses *flotation* dan akan menghasilkan produk berupa konsentrat yang kaya akan nikel. Berikut merupakan prinsip-prinsip dari proses *froth flotation*:

1. Mineral sulfida dalam *slurry* biasanya bersifat hidrofilik tetapi mineral tertentu dapat secara selektif bereaksi dengan reagen dan menjadikannya hidrofobik
2. Perlakuan kimia yang dilakukan secara selektif dapat membuat partikel berifat hidrofilik atau hidrofobik

3. Tumbukan antara gelembung udara dengan diameter 1 mm dan partikel hidrofobik menyebabkan penempelan partikel tersebut ke gelembung yang naik
4. Partikel-partikel batu yang tidak berharga (*gangue rock*) dan pirhotit tidak melekat pada gelembung yang naik karena permukaannya hidrofilik

### 2.3 Bijih Nikel Laterit

Nikel laterit terbentuk dari batuan batuan ultrabasa yang mengalami pelakukan dalam waktu yang cukup lama. Batuan ultrabasa ini mengandung mineral silikat dan magnesium yang kemudian digantikan secara perlahan oleh unsur nikel hingga membentuk deposit mineral dengan berbagai macam pengotor dan juga persentase kandungan nikel yang beragam. (Chang 2016)

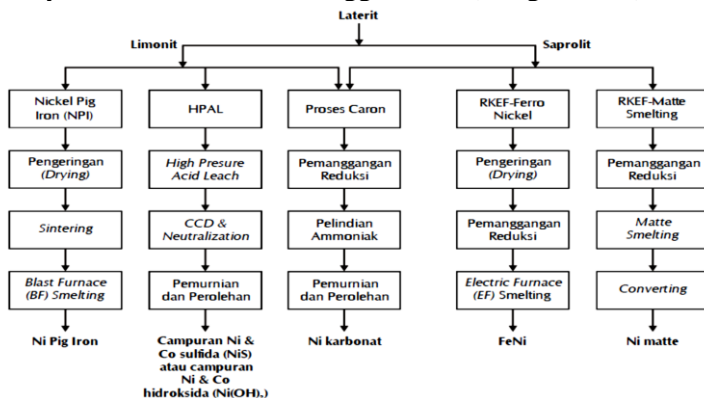


Gambar 2.6 Profil Laterit (Dalvi 2004)

Pada Gambar 2.1 diatas, ditunjukkan profil susunan nikel laterit yang berada pada iklim yang berbeda, yaitu pada iklim kering, dalam hal ini dicontohkan di Australia bagian barat, dan pada iklim lembab, yang dicontohkan di Indonesia. Pada keadaan iklim kering dan lembab susunan laterit bisa dikatakan hampir sama, yaitu terdapat lapisan *Ferricrete*, kemudian dibawahnya terdapat lapisan *Limonite* yang memiliki kadar besi yang tinggi

namun kadar MgO yang rendah. Setelah itu terdapat lapisan *Saprolite*. Berbeda dengan lapisan di atasnya, lapisan ini memiliki kadar besi yang rendah namun kadar MgO yang tinggi, hal ini dikarenakan letaknya yang jauh dari permukaan tanah sehingga jarang mengalami pelapukan dibanding lapisan *Limonite*. (Crundwell 2011) Walaupun susunan lapisan nikel laterit pada keadaan dua iklim yang berbeda hampir sama, namun tetap memiliki perbedaan pada kandungan unsur-unsur yang berada di dalamnya. Selain itu ada lapisan nontronit yang merupakan lapisan mineral dominan diantara *Limonite* dan *Saprolite* pada iklim kering, lapisan ini disebut juga sebagai *dry laterite* dikarenakan kandungan air yang rendah. (Dalvi 2004)

Sehingga dapat diketahui bahwa bijih nikel laterit terbagi menjadi dua, yaitu bijih nikel laterit limonitik dan bijih nikel laterit saprolitik. Kedua jenis bijih nikel laterit tersebut memiliki kandungan nikel yang berbeda, bijih nikel laterit saprolitik memiliki kandungan nikel sekitar 2% atau lebih, hal ini lebih besar dibanding kandungan nikel yang dimiliki oleh biji nikel limonitik yang hanya berkisar antara 1,1 hingga 1,8%. (Jiangan 2014)

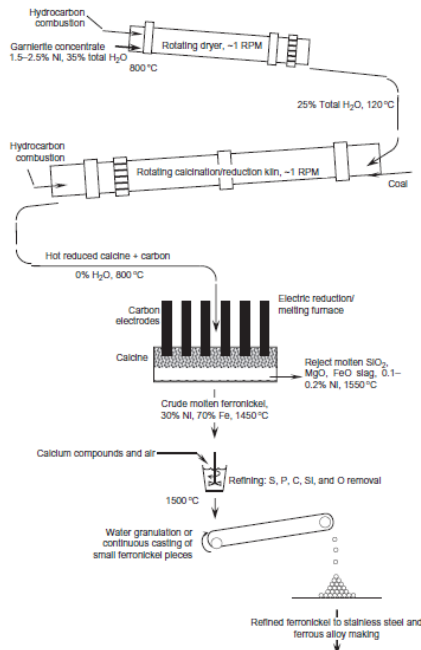


Gambar 2.7 Proses ekstraksi bijih nikel laterit (Rodrigues 2013)

Untuk mengekstrak nikel dari bijih nikel laterit, dapat menggunakan dua jenis proses, yaitu proses secara Pirometalurgi

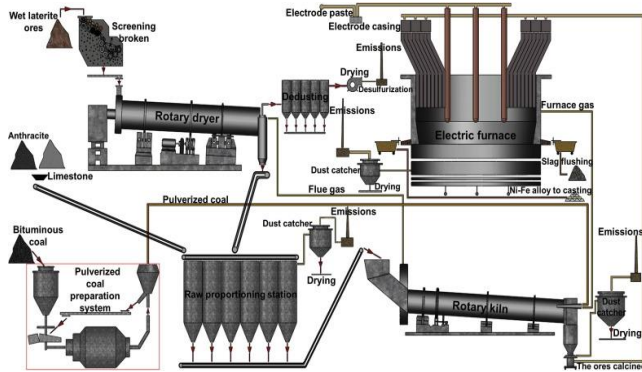
dan proses secara Hidrometalurgi. Masing masing proses ekstraksi nikel tersebut digunakan untuk dua jenis bijih nikel yang berbeda, yaitu proses ekstraksi secara pirometalurgi digunakan untuk mengekstrak nikel dari bijih nikel laterit berjenis saprolitik, sedangkan proses ekstraksi secara hidrometalurgi digunakan untuk mengekstrak bijih nikel laterit berjenis limonitik. (Wang 2011)

### 2.3.1 Bijih Nikel Laterit Saprolitik



Gambar 2.8 Proses pengolahan bijih nikel laterit berjenis saprolitik (Crundwell 2011)

Dalam reaksi kimiawi, bijih nikel laterit berjenis saprolitik disebut sebagai garnierit yang memiliki rumus kimia  $(\text{Mg}[\text{Ni},\text{Co}]_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ . Apabila dipanaskan hingga temperatur  $700^\circ\text{C}$ , mineral garnierit ini akan terdekomposisi (Crundwell 2011)



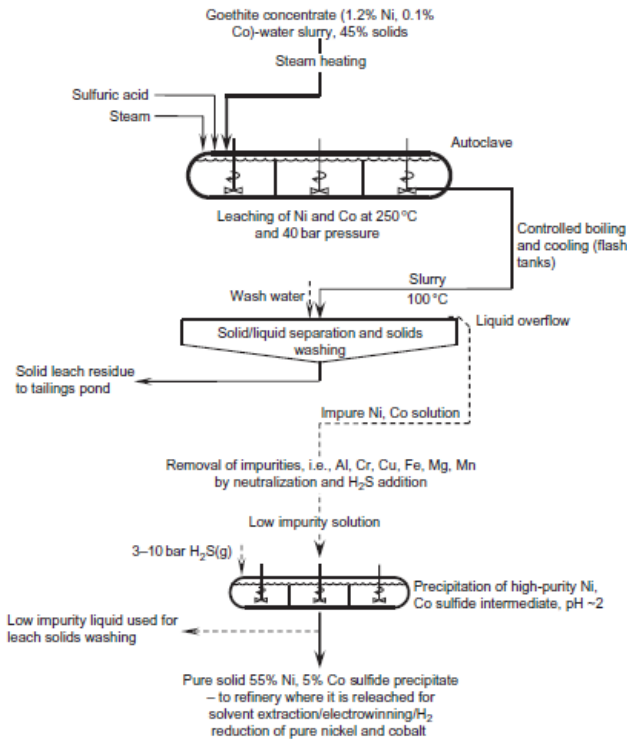
Gambar 2.9 Proses *Rotary Kiln Electric Furnace* (RKEF) untuk mengolah bijih nikel saprolitik (Liu 2016)

Proses yang digunakan dalam ekstraksi bijih nikel laterit berjenis saprolitik ini adalah proses secara pirometalurgi dengan metode yang dinamakan *Rotary Kiln Electric Furnace* (RKEF). Metode ekstraksi pirometalurgi ini diawali dengan proses *pretreatment* yang bertujuan untuk mengurangi kandungan *moisture* pada bijih hingga 45%, yang kemudian dilanjutkan dengan pengeringan di *rotary dryer* menggunakan temperatur hingga 250°C, proses ini akan menghasilkan bijih dengan kandungan *moisture* sebesar 15% hingga 20%. Setelah itu ada tahap yang dinamakan kalsinasi pada temperatur sekitar 800-900°C, pada tahap ini air dievaporasi, mineral yang ada diubah menjadi oksidanya dan uap air, dan adanya proses reduksi. Hasil dari tahap kalsinasi tadi dipindahkan ke dalam *Electric Arc Furnace* untuk dilakukan proses peleburan dengan temperatur sekitar 1500-1600°C. Hasilnya adalah produk berupa *molten ferronickel* yang terpisah dengan *slag*-nya yang berupa leburan FeO, MgO dan SiO<sub>2</sub>. Walaupun produk hasil proses *Rotary Kiln Electric Furnace* ini sudah berbentuk ferronikel, namun kadar nikel yang dimilikinya masih terbilang rendah, oleh karena itu perlu proses lanjutan seperti *refining* untuk menghasilkan produk

ferronikel yang memiliki kandungan nikel yang tinggi. (Setiawan 2016)

### 2.3.2 Bijih Nikel Laterit Limonitik

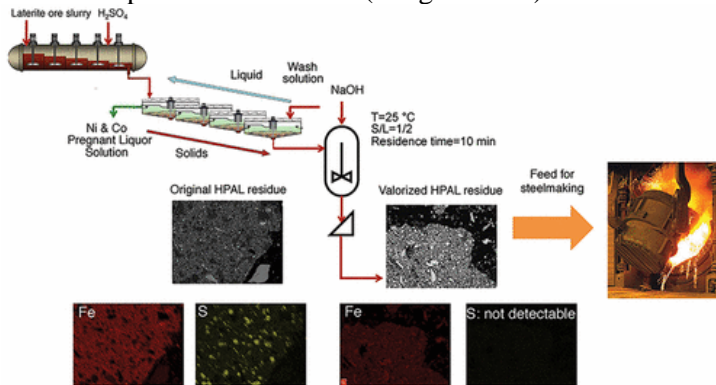
Bijih nikel laterit berjenis limonitik disebut juga sebagai *goethite* dengan rumus kimia  $(\text{Fe},\text{Ni})\text{OOH}$ . Bijih nikel limonitik ini dan kaya akan kandungan kromium dan kobalt. (Landers 2007)



Gambar 2.10 Proses pengolahan bijih nikel laterit berjenis limonitik (Seetharaman 2014)

Berbeda dengan bijih nikel laterit berjenis saprolitik, bijih nikel limonitik ini diproses ekstraksi secara hidrometalurgi dengan menggunakan metode *Leaching* yang dinamakan *High Pressure Acid Leach* (HPAL). Metode ini dilakukan pada sebuah tank

*autoclave*, bijih nikel yang sudah dipreparasi hingga berbentuk *slurry* dipanaskan secara bersamaan dengan asam kuat pada temperatur 250°C dan tekanan sekitar 4 Mpa. Setelah proses *leaching*, nikel akan terlarut dan terpisahkan dengan padatan residu yang akan dibuang. Kemudian nikel dalam bentuk larutan akan dilakukan proses *solvent extraction* untuk mengurangi kadar pengotor yang ada didalamnya dan didapatkan nikel berbentuk sulfida, setelah itu perlu dilakukan proses lanjutan seperti *refining* untuk mendapatkan nikel murni. (Norgate 2011)



Gambar 2.11 Proses *High Pressure Acid Leach* (HPAL) untuk mengolah bijih nikel saprolitik (Ang, 2017)

## 2.4 Pengolahan Bijih Nikel Laterit

### 2.4.1 Ferronikel

Ferronikel adalah produk hasil dari proses ekstraksi bijih nikel laterit secara pirometalurgi merupakan bahan baku alternatif yang lebih murah dari nikel elektrolisis pada pembuatan stainless steel yang banyak digunakan pada industri terutama industri manufaktur. Terdapat beberapa metode dalam ekstraksi bijih nikel laterit secara pirometalurgi yang menghasilkan produk berupa ferronikel, antara lain adalah *Krupp-Renn Process*, *Blast Furnace (BF) smelting process*, dan *Rotary Kiln Electric furnace (RKEF) smelting process*. Diantara beberapa metode ekstraksi secara

pirometalurgi tersebut, yang banyak digunakan dalam produksi ferronikel adalah *Rotary Kiln Electric Furnace* (RKEF) yang menggunakan bahan baku bijih nikel saprolitik dan menghasilkan produk berupa *crude ferronickel* (LI 2015)

Produk yang dihasilkan dari proses ekstraksi bijih nikel saprolit ini memiliki fisik yang berwarna perak metalik, dan merupakan suatu paduan antara besi sebagai unsur utama dengan unsur paduannya berupa nikel, dan memiliki sifat tahan korosi seperti produk nikel lainnya. (Elliott 2017)

Menurut data yang ada pada *Safety Data Sheet* yang dimiliki oleh Vale. Disebutkan bahwa Ferronikel merupakan material *Ferromagnetic* yang memiliki standar komposisi seperti yang dituliskan pada tabel dibawah ini

Tabel 2.3 Komposisi Ferronikel (Vale 2015)

Unsur	Persentase Komposisi (%)
Nickel (Ni)	21-45
Cobalt (Co)	0,6-1,1
Silikon (Si)	≤ 0,06
Copper (Cu)	≤ 0,20
Chromium (Cr)	≤ 0,05
Phosphorus (P)	≤ 0,03
Sulphur (S)	≤ 0,06
Carbon (C)	≤ 0,06
Iron (Fe)	Menyesuaikan

Berdasarkan kadar nikel didalamnya, ferronikel diklasifikasikan menjadi dua jenis. Pertama adalah *High Grade Ferronickel* yang memiliki kadar nikel yang tinggi dan tingkat *recovery* besi yang rendah. Pengurangan potensial reduksi yang digunakan pada proses *smelting* menghasilkan kadar nikel yang tinggi dan besi yang rendah. Kedua adalah *Low Grade Ferronickel*, dimana kadar nikel nya lebih rendah namun memiliki kadar besi yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingginya potensial reduksi pada proses pengolahannya. (Solar 2008) Aplikasi dari feronikel tentu tidak terlepas dari sifat-sifat yang dimiliki oleh logam ini.



Selain ketahanan korosi dan kekuatan yang baik, terdapat beberapa sifat umum lainnya dari logam feronikel seperti yang ditunjukkan dalam tabel dibawah ini

Tabel 2.4 Sifat Ferronikel

Sifat	Keterangan
Titik Leleh	1455 <sup>o</sup> C
Titik Didih	2730 <sup>o</sup> C
<i>Relative Density</i>	8,9 g/cm <sup>3</sup> pada 25 <sup>o</sup> C
<i>Vapour Pressure</i>	1 mmHg pada 1810 <sup>o</sup> C
Sifat Magnetik	Ferromagnetik
Sifat mampu ledak	<i>Non Explosive</i>
Sifat mudah terbakar	<i>Non Flammable</i>
<i>Granulometry</i>	<i>Particle size distribution 98% 3-80mm</i>

## 2.5 Proses Pemurnian Ferronikel

### 2.5.1 Proses Desulfurisasi

Desulfurisasi merupakan salah satu tahap yang berada proses pemurnian. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan unsur pengotor berupa Sulfur. Keberadaan sulfur dalam Crude Feronikel disebabkan karena terjadinya reduksi langsung selama proses smelting oleh Limestone (Bergman 2003) Dari semua unsur pengotor yang terdapat pada *crude ferronickel*, unsur sulfurlah yang memiliki dampak buruk terhadap produk karena dapat menurunkan kekuatan, menimbulkan korosi, dan tentunya mempengaruhi kualitas dari produk kedepannya.

Proses desulfurisasi yang bertujuan untuk menghilangkan sulfur ini pada *crude ferronickel* ini dilakukan di *ladle furnace* setelah itu dilakukan proses oksidasi untuk menghilangkan unsur pengotor lain seperti Silikon, Karbon, Fosfor dan yang lainnya. (Hernandez 2013)

Beberapa jenis proses desulfurisasi dilakukan pengadukan dengan cara meniupkan argon melalui sumbat berpori bawah yang menghasilkan pengadukan logam kontinu Teknologi peniupan

argon pada *ladle furnace* ini dapat secara efektif menyamakan temperatur dan komposisi dari *molten metal* hingga meningkatkan kualitas dari logam itu sendiri. Adapun alasan dipilihnya argon pada teknologi ini adalah jenis argon yang merupakan gas inert, yang kelarutannya dalam logam hampir nol, sehingga tidak akan bereaksi dengan unsur lain pada logam. Prinsip tiupan argon adalah gas argon dengan transmisi tekanan tertentu dapat tertiuap ke *molten metal* melalui bata permeabel yang menghasilkan gelembung udara yang memiliki daya apung dan akan menghasilkan aliran di wilayah gas-cairan sehingga terjadi sirkulasi siklus aliran. Dalam proses sirkulasi ini, unsur pengotor yang tercampur pada bagian bawah *molten metal* akan berpindah ke dalam *slag*, sehingga mempercepat perpindahan unsur antara *molten metal* dengan *slag* tersebut. (Zhou 2015)

Berbeda dengan yang reaksi lainnya, desulfurisasi merupakan reaksi reduksi. Desulfurisasi bisa diartikan sebagai presipitasi atau pengendapan ketika elemen yang memiliki afinitas tinggi terhadap sulfur ditambahkan. Elemen yang memiliki afinitas yang paling stabil terhadap sulfur tersebut disebut dengan *desulphurizing agent* atau *flux* desulfurisasi, salah satunya adalah kalsium karbida ( $\text{CaC}_2$ ). Meskipun logam alkali tanah dan logam tanah jarang membentuk sulfida yang relatif stabil, oksidanya jauh lebih stabil. Sulfida terbentuk hanya jika oksigen terlarut telah hilang (Habashi 1997) Kalsium karbida ( $\text{CaC}_2$ ) ditambahkan ke dalam *crude ferronickel* cair dan membentuk *slag* kalsium sulfida yang terbentuk pada atas *molten*. Selain Kalsium karbida, terdapat *flux* desulfurisasi lainnya yang dapat ditambahkan seperti  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , *fluospar* yang berbentuk bubuk dan dimasukkan melalui *injection lance* dan berbentuk *cored wire* yang dimasukkan dengan cara *wire feeding*

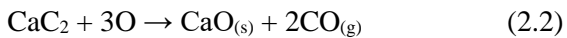
*Flux* Kalsium Karbida ( $\text{CaC}_2$ ) yang pada proses desulfurisasi akan mengikat sulfur dan membentuk *slag* berupa Kalsium Sulfida ( $\text{CaS}$ ) yang berada di atas *molten metal* tersebut (Warner 2006) Pada proses desulfurisasi, penambahan *flux* berupa kalsium karbida ( $\text{CaC}_2$ ) juga disertai dengan penambahan *flux* lainnya

seperti soda ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dan juga flouspar. *Flux* tersebut akan bereaksi dengan sulfur yang kemudian membentuk *slag* seperti yang ditunjukkan pada reaksi berikut:

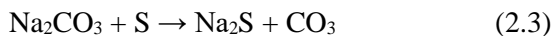
*Flux* kalsium karbida mengikat sulfur dan akan membentuk slag berupa CaS dan Karbon



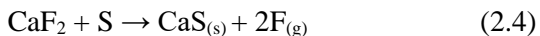
Selain itu, *flux* kalsium karbida juga bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan CaO dan gas karbon monoksida CO



Soda ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) bereaksi dengan sulfur dan akan menghasilkan Natrium Sulfida ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) dan karbon trioksida ( $\text{CO}_3$ )



Dan Floudspar ( $\text{CaF}_2$ ) akan bereaksi dengan sulfur dan menghasilkan CaS dan F



Dengan digunakannya Kalsium Karbida sebagai *flux* untuk mengikat unsur sulfur pada proses desulfurisasi, maka perlu dilakukan perhitungan akan kebutuhan penggunaan *flux* kalsium karbida ( $\text{CaC}_2$ ) agar *flux* tersebut dapat digunakan secara efektif dan efisien terutama dalam skala besar.

Selain itu, temperatur *crude ferronickel* harus diperhatikan agar memenuhi ketentuan untuk dapat dilakukannya proses desulfurisasi. Apabila temperatur *crude ferronickel* lebih rendah dari ketentuan, yaitu dibawah titik lelehnya, ada kemungkinan pengadukan akan berlangsung secara tidak sempurna akibat adanya sebagian logam cair yang telah membeku karena seperti yang kita ketahui bahwa reaksi pencampuran *crude ferronickel* dengan calcium carbide merupakan reaksi endotermis sehingga

kita harus tetap menjaga *molten metal* ini agar tidak membeku sampai proses desulfurisasi selesai.

### 2.5.2 Proses Oksidasi

Proses oksidasi merupakan salah satu tahap yang terdapat pada serangkaian proses pemurnian *crude ferronickel* hasil dari proses *smelting* dan dilakukan setelah proses desulfurisasi yang bertujuan untuk menghilangkan unsur sulfur pada *molten metal*. Tujuan dari proses oksidasi ini adalah untuk menghilangkan unsur unsur pengotor yang terdapat pada *crude ferronickel* agar sesuai dengan standar spesifikasi produk yang diinginkan oleh pasar. Proses ini dilakukan dengan menggunakan *LD Converter* atau *Basic Oxygen Furnace* (BOF) dengan cara menembakkan oksigen ke *molten metal* yang berada didalamnya agar terjadi reaksi oksidasi dari unsur unsur yang terdapat pada *molten metal* tersebut. Berikut merupakan gambaran mengenai *LD Converter* yang digunakan pada tahap oksidasi ini.

Proses ini melibatkan reaksi selektif oksidatif yang mana mengikat unsur unsur pengotor yang ada pada *crude ferronickel* menjadi oksida. Sehingga unsur pengotor tersebut akan mengalami reaksi oksidasi dan menjadi gas buang atau membentuk *slag*. Reaksi reaksi yang terjadi di *converter* selama proses oksidasi tersebut akan berlangsung sesuai dengan tingkat afinitas terhadap oksigen yang tercantum dalam diagram ellingham. Berikut adalah data mengenai reaksi reaksi oksidasi yang terjadi

Tabel 2.5 Reaksi Oksidasi pada *Converter*

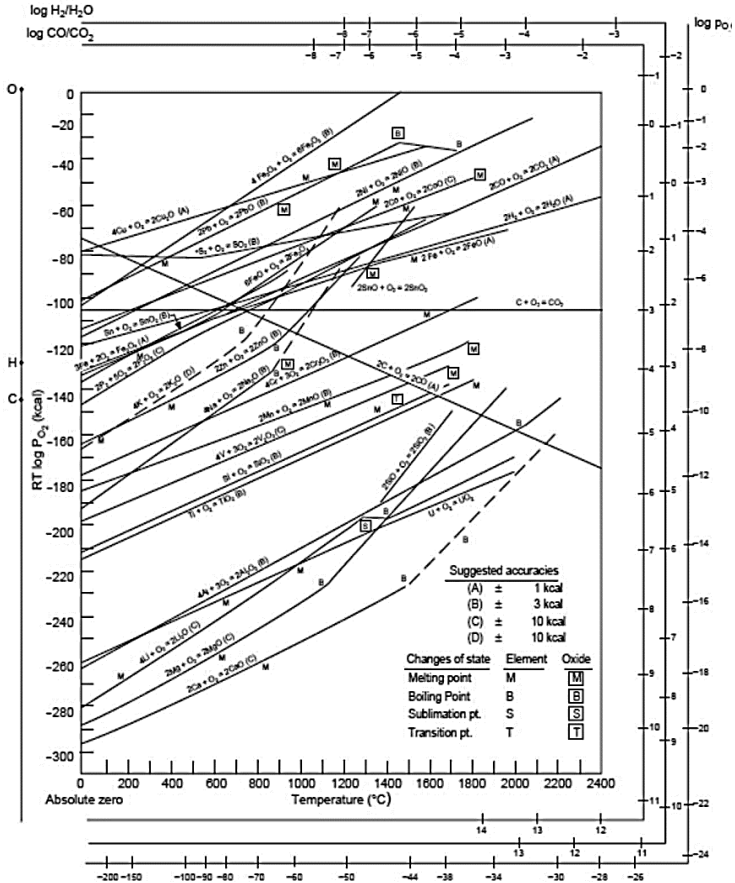
No	Reaksi	$\Delta G^\circ$ (KJoule/mol)
1	$\text{Si} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$	-902, 3 + 172, 9 T
2	$2 \text{Mn} + \text{O}_2 = 2 \text{MnO}$	-813 + 175, 8 T
3	$4 \text{P} + 5 \text{O}_2 = 2 \text{P}_2\text{O}_5$	-3,155 + 1, 10 T
4	$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$	228, 8 - 171, 6T
5	$2 \text{Fe} + \text{O}_2 = 2 \text{FeO}$	-451 + 82, 6 T

Diagram Ellingham terbentuk dari plot  $\Delta G^\circ$  terhadap temperatur dengan  $\Delta G^\circ$  sebagai *Gibbs Free Energy*,  $\Delta H^\circ$  adalah

entalpi,  $\Delta S^\circ$  adalah standar perubahan entropi dan K adalah konstanta ekuilibrium. Sehingga didapat persamaan sebagai berikut

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (2.5)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (2.6)$$



Gambar 2.12 Diagram Ellingham

Pada termodinamika, apabila  $\Delta G^\circ$  negatif maka reaksi akan berjalan secara spontan tanpa memerlukan energi dari luar, mudah

dioksidasi, dan cenderung stabil. Sedangkan apabila  $\Delta G^0$  positif, reaksi tidak akan terjadi secara spontan sehingga membutuhkan energi dari luar dan lebih mudah direduksi (Jeffes, 2001).

Berikut adalah kegunaan dari Diagram Ellingham secara umum :

1. Menentukan tekanan parsial oksigen yang mungkin pada suatu temperatur dimana logam oksida tereduksi
2. Menentukan mudah atau tidaknya suatu logam oksida tereduksi menjadi logam
3. Menentukan dapat tereduksinya logam oksida dengan menggunakan rasio hidrogen dan karbon dioksida pada suatu temperatur tertentu
4. Menentukan dapat tereduksinya logam oksida dengan menggunakan rasio karbon monoksida dan karbon dioksida pada suatu temperatur tertentu (Stratton 2013)

Dengan menggunakan Diagram Ellingham dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan untuk terjadinya suatu reaksi. Seperti misalnya pada proses *refining crude ferronickel* dapat dilihat pada diagram ellingham bahwa dengan afinitas oksigen yang lebih rendah dibanding pengotor pengotornya seperti silika, sulfur, dan besi membuat nikel cenderung lebih sulit dioksidasi. Sehingga reaksi oksidasi dapat dilakukan untuk menghilangkan kadar pengotor yang ada pada *crude ferronickel* tersebut.

Berdasarkan kepada diagram ellingham diatas, unsur yang akan mengalami reaksi oksidasi terlebih dahulu adalah silikon, hal ini dikarenakan unsur silikon memiliki afinitas yang tinggi terhadap oksigen (Crundwell 2011) Sehingga pada saat gas oksigen ditiupkan kepada *crude ferronickel*, akan terjadi reaksi oksidasi dimana unsur silikon akan berikatan dengan oksigen dan ditunjukkan dengan reaksi berikut

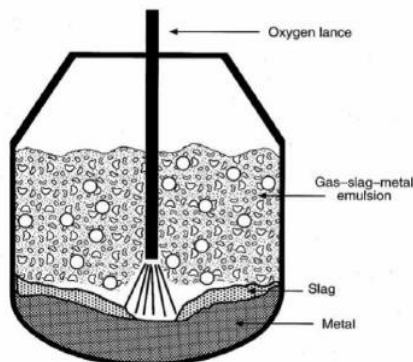


Kemudian, dilakukan penambahan *flux* berupa *quicklime* (CaO) yang bertujuan untuk mengikat silika dan membentuk *slag*



Dengan tingginya afinitas oksigen dari unsur silikon menyebabkan hampir semua unsur silikon teroksidasi saat dilakukan peniupan oksigen sehingga reaksi oksidasi berlangsung sangat cepat. Dikarenakan reaksi oksidasi dari silikon ini merupakan reaksi eksotermik, yang berarti menghasilkan panas, maka temperatur dari *crude ferronickel* akan terus meningkat hingga pada melewati titik leleh dari unsur silikon pada temperatur 1400°C sehingga kadar unsur silikon pada *molten meta* semakin sedikit dan laju desilikonisasi akan berkurang (Blanco 1993) Kemudian setelah melewati temperatur 1400°C tersebut, nilai energi bebas gibbs dari reaksi oksidasi karbon lebih rendah dibanding nilai yang dimiliki oleh reaksi oksidasi fosfor sehingga proses dekarburisasi dilakukan terlebih dahulu.

Setelah unsur silikon habis teroksidasi oleh gas oksigen yang ditiupkan ke *molten metal*, dilakukan proses karburisasi yang bertujuan untuk mengurangi kadar karbon terlarut yang ada pada *crude ferronickel* dengan cara meniupkan oksigen ke *molten metal* dan terjadi reaksi oksidasi unsur karbon oleh gas oksigen tersebut.



Gambar 2.13 Daerah reaksi di dalam converter

Pada proses dekarburisasi, di dalam converter terbagi menjadi dua daerah kontak antara gas, cairan logam dan slag. Pertama daerah cairan yang berada dibagian bawah konverter berisi logam

cair dan slag serta gas-gas terlarut dan kedua daerah emulsi yang berada di atasnya yang berisi campuran slag, butiran logam cair, slag dan gas CO, CO<sub>2</sub> yang membentuk emulsi. (Miller 1988) Sehingga terjadi reaksi sebagai berikut:



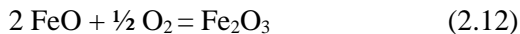
Kemudian gas karbon monoksida akan bereaksi dengan gas oksigen dan teroksidasi menjadi karbon dioksida



Pada saat karbon pada *crude ferronickel* teroksidasi hingga kadarnya lebih kecil dari 0,3%, laju dekarburisasi menurun dan gas oksigen ikut mengoksidasi sebagian unsur Fe



Reaksi oksidasi tersebut akan membentuk *slag* berupa Oksida dari besi dan nikel namun dalam jumlah yang sedikit, sehingga penurunan kadar dari kedua unsur tersebut tidak sebanyak unsur lainnya. (Jamali 2014) Selain itu juga terjadi reaksi oksidasi pada slag yang berlangsung pada zona emulsi



*Slag* berupa oksida besi tersebut akan bereaksi dengan oksigen sehingga mengalami reaksi oksidasi dan membentuk senyawa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Schurmann 1985)

Selanjutnya dilakukan proses defosforisasi yang bertujuan untuk menghilangkan fosfor yang terkandung dalam *crude ferronickel*. Keberadaan unsur fosfor bisa diakibatkan oleh beberapa hal seperti, kandungan dari bijih itu sendiri, ataupun dari batu bara yang digunakan pada proses smelting dan sebagai reduktor pada proses reduksi. Sama dengan proses lainnya pada

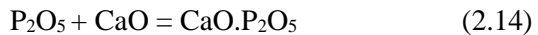


tahap oksidasi, penghilangan unsur fosfor dilakukan dengan cara peniupan oksigen pada *molten metal*.

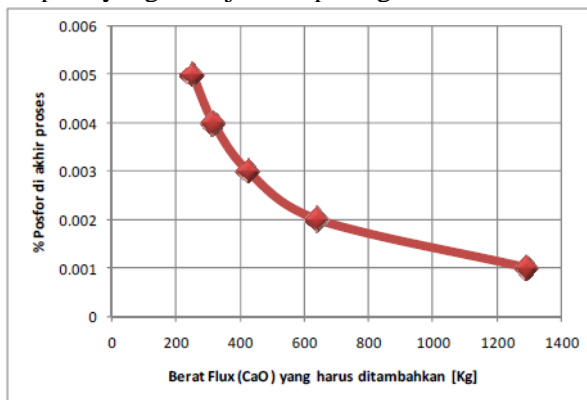
Oksigen yang ditiupkan tersebut akan mengikat unsur fosfor yang ada dan akan terjadi reaksi oksidasi dari fosfor sebagai berikut



Dilakukan penambahan *flux* berupa *quicklime* (CaO) yang bertujuan untuk mengikat fosfor yang teroksidasi dan kemudian akan membentuk *slag*



Penambahan *flux* CaO berbanding lurus dengan laju defosforisasi. Semakin banyak *flux* yang digunakan maka senyawa difosfor pentoksia ( $P_2O_5$ ) yang diikat menjadi *slag* semakin banyak. Seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 2.14 Grafik penambahan *flux* terhadap kadar fosfor

Menurut Zulhan pada tahun 2011, proses defosforisasi pada produksi *High-Carbon Ferronickel* hanya dilakukan apabila kadar fosfor dari *crude ferronickel* lebih dari 0,3%. Sebagai informasi, bahwa pada proses produksi *High-Carbon Ferronickel* tidak

dilakukan tahap oksidasi. Ferronikel yang telah melewati tahap desulfurisasi langsung menuju proses casting untuk dibentuk menjadi produk. Apabila ferronikel memiliki kadar fosfor lebih dari 0,3% dilakukan proses defosforisasi yang terpisah tanpa melewati tahap oksidasi seperti proses produksi *Low-Carbon Ferronickel* (Zulhan 2011)

### 2.5.3 Alat Pemurnian Ferronickel

#### 2.5.3.1 Ladle Furnace

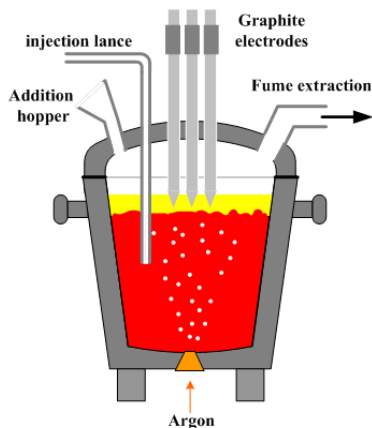
Pada tahun 1960 di Swedia, dibangun cikal bakal dari *Ladle Furnace* dan digunakan pada proses ASEA-SKF. Pada proses ini *ladle* diberi perlakuan vakum dan juga dipanaskan dengan menggunakan tiga elektroda. Kemudian penemuan ini terus dikembangkan hingga ditemukannya pengadukan induktif dalam *ladle*, dengan ketentuan tidak dapat digunakannya bahan ferromagnetik seperti baja karbon sebagai bahan dari *ladle* agar daya induktif dapat digunakan.

Penemuan inilah yang kini disebut sebagai *ladle furnace*, dengan pengaduk elektromagnetik dan juga daya listrik yang tidak terlalu besar (jika dibandingkan dengan *Electric Arc Furnace*) yang akan menghasilkan tingkat pemanasan sampai 5°C / menit. Energi panas yang dibutuhkan tidak hanya tergantung pada kenaikan suhu yang diinginkan tetapi juga pada jumlah dan sifat termal (panas spesifik) dari paduan yang ditambahkan dalam *ladle*. Sehingga bisa dikatakan jika *ladle furnace* merupakan tempat yang tepat untuk dilakukannya proses desulfurisasi dan proses pencampuran atau pemisahan lainnya. (Seetharaman 2014)



Gambar 2.15 *Ladle Furnace* (Antam, 2013)

Dalam proses pembuatan baja, setelah *molten metal* dibuat dalam *Arc furnace*, *induction furnace*, atau *furnace* lainnya, *molten metal* tersebut ditransfer ke *ladle* untuk pemurnian lebih lanjut. Semua perlakuan ini dilakukan di *ladle*. Panas tambahan diperlukan untuk melakukan operasi ini. Oleh karena itu *ladle* dilengkapi dengan sumber panas berupa elektroda yang akan menghasilkan busur listrik yang berfungsi untuk memanaskan logam cair dan mengkompensasi kehilangan panas (Electrotherm Steel Ltd. 2018)



Gambar 2.16 Skema *Ladle Furnace*

Pada *ladle furnace* terdapat tiga elektroda grafit yang memungkinkan untuk terjadinya perlakuan terhadap *molten metal* di dalam *furnace*. *Molten metal* yang diberi perlakuan di *ladle furnace* ditutupi oleh *slag* yang terbentuk selama proses, dan melindungi lapisan dari *ladle furnace* dari panas berlebih yang dihasilkan oleh busur listrik. Busur listrik dari elektroda grafit tersebut mampu memanaskan baja pada tingkat sekitar  $5^\circ \text{F} / \text{mnt}$  ( $3^\circ \text{C} / \text{mnt}$ ). (D. D. Kopeliovich 2012)

### 2.5.3.2 Converter

Reaksi reaksi oksidasi yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang ada pada *crude ferronickel* terjadi di *converter*. Proses *Converting* sendiri pada dasarnya berkonsep pada penelitian yang dilakukan oleh Sir Henry Bessemer pada tahun 1856 yang kemudian coba diaplikasikan pada konversi *pig iron* menjadi baja dengan oksidasi karbon dan silikon. Proses ini berkembang dan digunakan pada peleburan tembaga hingga akhirnya digunakan pada proses ekstraksi nikel.

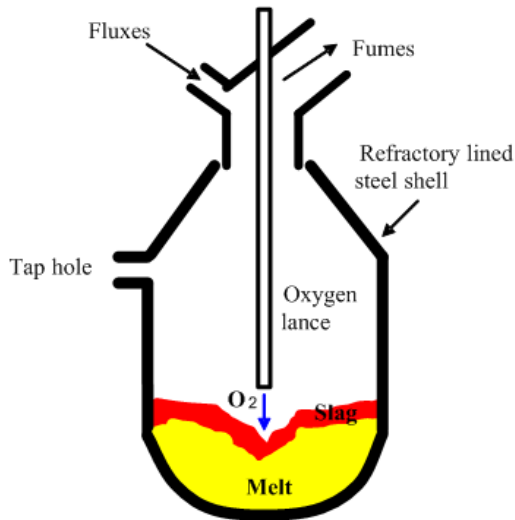
Setelah era Bessemer, penggunaan oksigen pada proses *steelmaking* semakin marak. Hal ini ditandai dengan banyaknya produksi oksigen berskala besar sekitar tahun 1920 sampai tahun 1930. Perkembangan mengenai teknologi *bessemer converter* dengan menggunakan peniupan oksigen terus berkembang hingga pada akhirnya ditemukan metode *top-blowing oxygen* menggunakan *water-cooled lance* pada tahun 1940 oleh Robert Duerer di Austria, yang kemudian diperkenalkan secara industri di kota Linz pada tahun 1952. Penemuan ini kemudian dikenal sebagai *Linz-Donawitz Converter (LD Converter)* atau biasa disebut sebagai *Basic Oxygen Furnace*. (Seetharaman 2014)



Gambar 2.17 LD Converter

Pada proses pengolahan bijih nikel laterit berjenis saprolitik, *LD Converter* digunakan pada tahap pemurnian dengan menembakkan oksigen pada *crude ferronickel* hasil proses *smelting* menggunakan *lance* yang akan mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi dari unsur unsur pengotor di dalamnya, unsur tersebut antara lain adalah Silikon, Sulfur, Fosfor dan Karbon. Sehingga dihasilkan produk akhir dari proses menggunakan *LD Converter* ini adalah *refined ferronickel*.

*LD Converter* atau *Basic Oxygen Furnace (BOF)* merupakan *vessel* vertikal yang dilapisi dengan lapisan refraktori yang tahan api. Pada *vessel* ini terdapat *supporting ring* yang dilengkapi dengan trunnion sehingga posisi *vessel* ini tetap stabil pada saat proses peniupan oksigen dan memungkinkan *converter* untuk dilakukannya rotasi sumbu horizontal pada trunnion yang digerakkan oleh motor listrik. Rotasi ini (memiringkan) bertujuan untuk mengisi bahan baku berupa *crude ferronickel*, mengambil sampel lelehan dan menuangkan *molten metal* dari *converter*. (Kopeliovich, 2012)



Gambar 2.18 Skema LD Converter

Pada *LD Converter*, lapisan refraktori tahan api terbuat dari *magnesia carbon brick* atau campuran dari Magnesia berikat resin dan terdapat pula peralatan tambahan pada *converter* seperti *hopper* untuk memasukkan *flux*, *lance* yang digunakan untuk meniupkan oksigen murni dan juga *fume* untuk tempat keluarnya gas buang hasil proses. Oksigen murni diinjeksikan sebagai jet berkecepatan tinggi terhadap permukaan *molten metal* dan oksigen bereaksi langsung dengan unsur unsur pengotor dalam *crude ferronickel* untuk terjadinya proses oksidasi (JFE 2003)

## 2.5.4 Flux

### 2.5.4.1 Dolomit

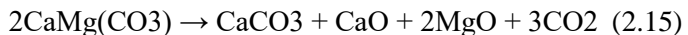
Dolomit merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Dolomit merupakan salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui (Noviyanti 2015) Senyawa yang ada pada dolomit

yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

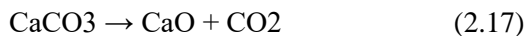


Gambar 2.19 Dolomit

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



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



Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperatur 780 – 785 oC serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur 950 – 960 oC (Engler 1988). Dolomit berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor.

#### 2.5.4.2 Quicklime (CaO)

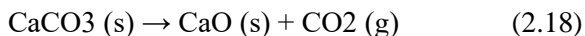
Kalsium oksida (CaO), umumnya dikenal sebagai kapur atau dibakar kapur, adalah senyawa kimia secara luas digunakan. Ini adalah putih, kaustik, basa, kristal padat pada suhu kamar. Untuk umum digunakan istilah "kapur" berkonotasi bahan anorganik yang mengandung kalsium, di mana karbonat, oksida dan hidroksida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

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



Gambar 2.20 *Quicklime*

Kalsium oksida biasanya dibuat oleh dekomposisi termal dari bahan, seperti batu kapur atau kerang, yang mengandung kalsium karbonat (CaCO<sub>2</sub>; kalsit mineral) dalam kiln kapur. Hal ini dilakukan dengan memanaskan material di atas 825 °C (1517 °F), proses yang disebut kalsinasi atau kapur pembakaran, untuk membebaskan molekul karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), meninggalkan kapur.



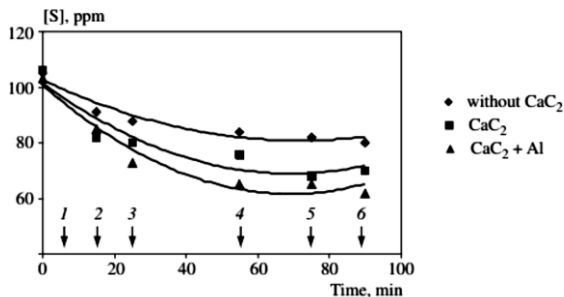


kapur tidak stabil dan, ketika didinginkan, secara spontan akan bereaksi dengan CO<sub>2</sub> dari udara sampai, setelah cukup waktu, itu akan benar-benar diubah kembali ke kalsium karbonat kecuali dipuaskan dengan air untuk ditetapkan sebagai plester kapur atau kapur mortar.

Produksi di seluruh dunia tahunan kapur adalah sekitar 283 juta ton. China adalah jauh produsen terbesar di dunia, dengan total sekitar 170 juta ton per tahun. Amerika Serikat adalah terbesar berikutnya, dengan sekitar 20 juta ton per tahun. Sekitar 1,8 t batu kapur diperlukan per 1,0 t kapur. (Yu 2011)

## 2.6 Penelitian Sebelumnya

Pada tahun 2004 dilakukan penelitian mengenai desulfurisasi menggunakan *flux* CaC<sub>2</sub> oleh svyazhin. Pada penelitian ini, semua *pig iron* yang diproduksi oleh pabrik EKO-Stahl dilakukan proses desulfurisasi. Kandungan sulfur logam sebelum *tapping* adalah 100-120 ppm. Tingkat desulfurisasi baja sangat bergantung pada isinya FeO dan MnO di terak. penambahan CaC<sub>2</sub> ke dalam *ladle* selama *tapping molten metal* memungkinkan untuk meningkatkan derajat desulfurisasi dan perlakuan *out-of-furnace* berikutnya dari rata-rata 23% (tanpa CaC<sub>2</sub>) menjadi 40%. Di sini, sebagian besar desulfurisasi terjadi selama *tapping* (50% dari pengikatan sulfur terjadi dalam operasi ini) dan hanya 17% terjadi selama perawatan pada tungku-tungku.



Gambar 2.21 Persentase Unsur S terhadap penambahan CaC<sub>2</sub>

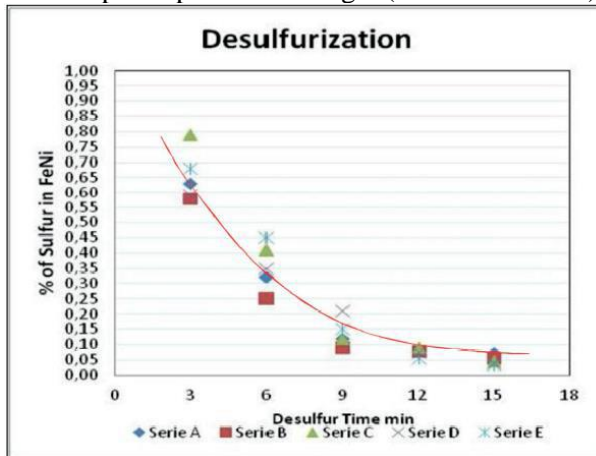
Desulfurisasi terbesar dicapai ketika CaC<sub>2</sub> ditambahkan bersama dengan mesh aluminium. Dengan penurunan kandungan terak FeO + MnO menjadi 1%, tingkat total desulfurisasi selama *tapping* dan out-of-furnace treatment adalah 68% dan kandungan sulfur baja adalah 35 ppm. Tingkat desulfurisasi yang terjadi selama *tapping* cenderung menurun dengan peningkatan durasi operasi *tapping*. Ini juga disertai oleh peningkatan penyebaran data dari satu panas ke panas berikutnya. Telah ditunjukkan sebelumnya bahwa memperpendek operasi *tapping* meningkatkan pencampuran baja dalam *ladle* dengan aliran yang masuk dan tampaknya mempercepat pembentukan *slag*. Selama proses *treatment* baja pada *furnace*, laju desulfurisasi juga dipengaruhi oleh intensitas pukulan bawah dengan argon. Dalam kedua kasus, penambahan CaC<sub>2</sub> meningkatkan laju dan tingkat desulfurisasi. (Svyazhin 2004)

Penelitian selanjutnya adalah mengenai proses *refining* ferronikel yang dilakukan oleh Redl pada tahun 2013. Pada penelitian ini, proses *refining* atau pemurnian dilakukan dengan menggunakan *ladle furnace* dari awal *tapping* hingga akhir proses. Peniupan oksigen dilakukan bersamaan dengan proses *tapping molten metal* hasil *smelting* dari *electric furnace*, setelah itu dilakukan *deslagging* untuk menghilangkan *slag* yang terbentuk saat oksidasi, dan dilanjutkan dengan *ladle furnace treatment* yang didalamnya terjadi proses desulfurisasi dan deoksidasi hingga akhirnya dilakukan tahap granulasi yang merupakan tahap akhir sebelum ferronikel memasuki proses *casting*. (Redl 2013)

Adapun penelitian mengenai desulfurisasi lainnya yang dilakukan oleh Hernandez pada tahun 2013 dengan menggunakan *flux* berupa campuran dari *quicklime*, *dolomite* dan *fluospar* dan proses berlangsung selama sekitar 15 menit, hingga didapat persentase unsur sulfur sebesar 0,06% seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.20

Dikarenakan persentase kadar unsur sulfur belum mencapai spesifikasi target sebesar 0,03%., dilakukan penambahan *flux* desulfurisasi berupa CaSi dengan cara *wire feeding* dengan

mempertahankan *mass balance* dari proses ini. Sehingga setelah dilakukannya penambahan CaSi, didapatkan penurunan kadar sulfur hingga mencapai 0,03 % yang mana sesuai dengan persentase sulfur pada spesifikasi target (Hernandez 2013)



Gambar 2.22 Grafik pengurangan sulfur terhadap waktu

Penggunaan Kalsium Karbida sebagai *flux* lebih umum dibanding lainnya, sehingga dilakukan penelitian oleh Syamsul Fahmi dan dituliskan pada paper berjudul “Studi Desulfurisasi Menggunakan *Flux* pada Proses Pemurnian Ferronikel” pada tahun 2017. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan cara pengambilan data secara langsung di pabrik pengolahan nikel laterit dan laboratorium instrumentasi. Sehingga didapat beberapa data berupa data pengamatan, data massa, data kadar unsur, dan data spesifikasi unsur yang digunakan. Proses pengambilan data dilakukan dengan cara menganalisis sampel sebanyak jumlah *tapping* yang dilakukan. Jumlah *tapping* yang dilakukan pada perusahaan tempat penelitian dilakukan adalah 6 kali, dimana sekali *tapping* berdurasi 4 jam. Kemudian sampel dikarakterisasi hingga didapatkan hasil berupa kadar dari tiap unsur pada sampel. Terdapat 3 jenis sampel yang dianalisis yaitu, Sampel pertama (*Crude Fe-Ni*) yang masih berupa *Crude Ferronickel*, Sampel

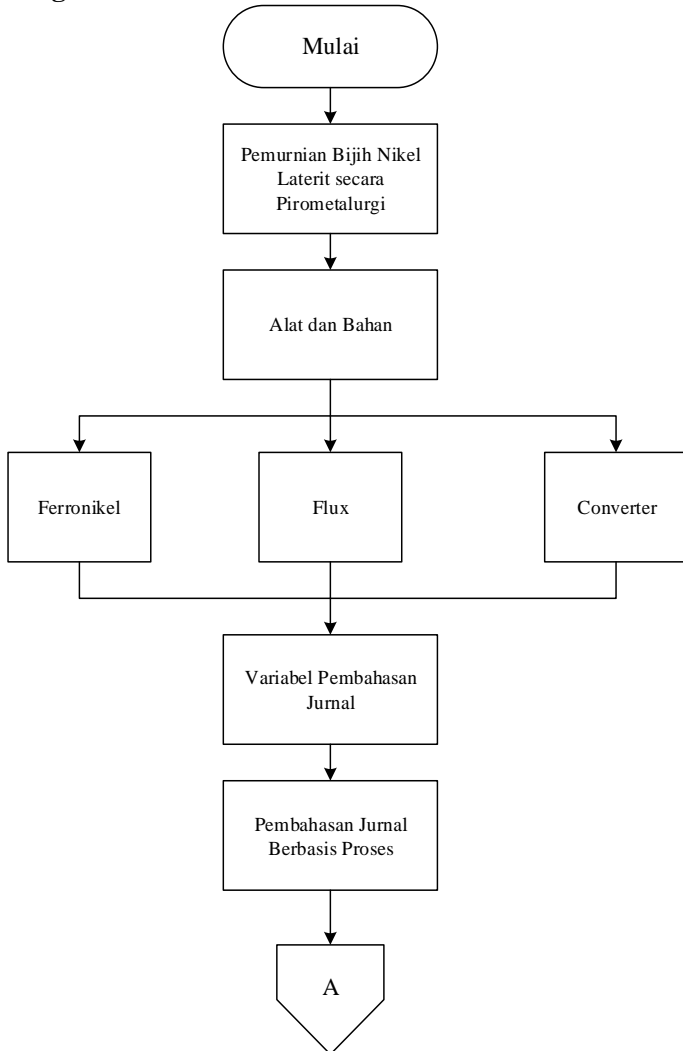
kedua (De-S) merupakan sampel yang telah melewati proses desulfurisasi, dan sampel ketiga (Produk) yang merupakan produk akhir dari proses ini.

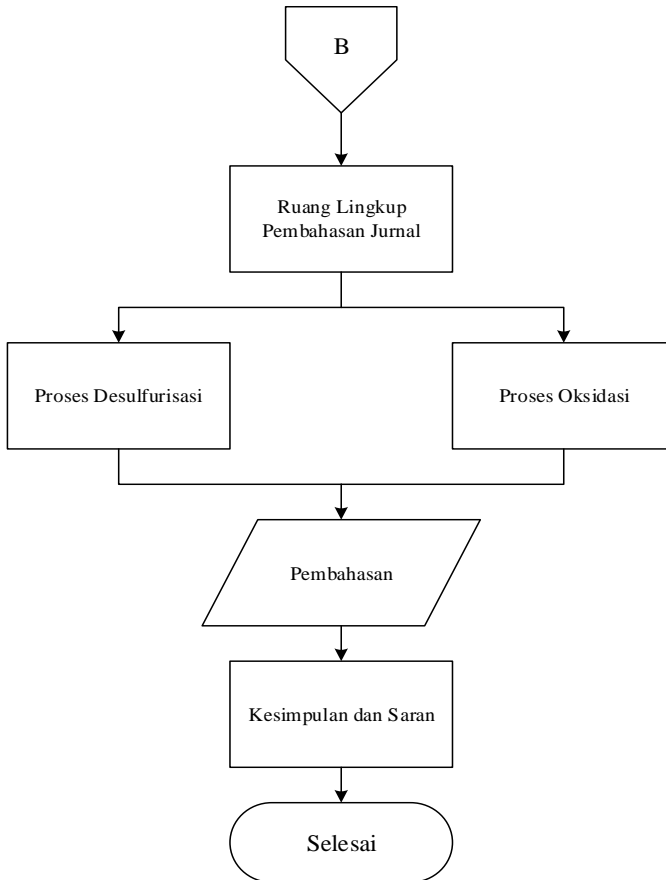
Dapat dilihat perbedaan kadar unsur yang sangat besar jika dibandingkan antara sampel sebelum (*Crude Fe-Ni*) dan sesudah (De-S) dilakukannya proses desulfurisasi menggunakan *flux*  $\text{CaC}_2$ . Namun, kadar sulfur yang dimiliki oleh sampel kedua (De-S) masih belum mencapai target maksimum kadar unsur sulfur menurut jurnal ini, yaitu kurang dari 0,03%. Sehingga perlu dilakukan proses pemanasan akhir yang akan menghasilkan produk. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa, nilai kadar dari unsur sulfur produk (Sampel 3) adalah 0,002% yang mana hasil akhir dari produk ferronickel memenuhi target kadar sulfur maksimum (Fahmi 2017)

Adapun beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan pada Laboraturium Pengolahan Mineral dan Material di Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang membahas mengenai proses pengolahan nikel laterit. Penelitian tersebut antara lain adalah penelitian mengenai proses reduksi langsung bijih nikel laterit yang dilakukan oleh Pintowantoro dan Abdul pada tahun 2019. Penelitian pada tahun 2020 oleh Widyartha, *et al.* tentang penggunaan *flux*  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  terhadap efektivitas proses reduksi selektif bijih nikel laterit. Kemudian penelitian yang memiliki topik serupa dengan penelitian kali ini dilakukan oleh Oktaviandra pada tahun 2019, penelitian tersebut memahas mengenai pengaruh variasi laju oksigen pada proses pemurnian dari *crude ferronickel* hasil proses *smelting* pada *Mini Blast Furnace*. Hasilnya diketahui bahwa laju alir oksigen paling tinggi yang digunakan, yaitu 3,5 liter/min, menghasilkan nilai *yield* nikel tertinggi. (Oktaviandra 2019)

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Review Jurnal

### 3.2 Metode Review

Pada penelitian *paper review* ini, akan dibahas mengenai proses proses yang dilakukan untuk memurnikan bijih nikel laterit yang telah diolah secara pirometalurgi menjadi ferronikel. Berikut merupakan tabel mengenai rangkaian proses pemurnian ferronikel pada beberapa pabrik pengolahan bijih nikel laterit yang dikutip dari JOM Smelter Survey pada tahun 2006:

Tabel 3.1 Metode pemurnian ferronikel (A. Warner 2006)

Pabrik	Proses	Alat	Reagent	Produk
1 Antam	Desulfurisasi, Desilikonisasi, Dekarburisasi	Ladle + Stirer, LD Converter	CaC <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , CaO	FeNi Ingot & Shot
2 Falconbridge	Defosforisasi, Deoksidasi, Desulfurisasi	ASEA SKF	Basic Oxidation, Reduction, FeSi	Ferro- cones
3 Hyuga	Desulfurisasi, Dekarburisasi & Desilikonisasi	Induction Furnace, LD Converter	CaC <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	FeNi Shot
4 Codemin SA	Defosforisasi, Desulfurisasi	Tapping Ladle, Refining EF	CaO, O <sub>2</sub>	FeNi Shot

Dari tabel diatas, terlihat bahwa setiap pabrik pengolahan bijih nikel laterit memiliki metode masing masing dalam memurnikan ferronikel, metode pemurnian yang dilakukan tersebut menggunakan proses, peralatan, dan reagent yang berbeda beda selama proses berlangsung.

### 3.3 Metode Pembahasan Review

Oleh karena itu, pembahasan yang akan dilakukan pada penelitian *paper review* berikut adalah untuk mengetahui proses, reagent, dan peralatan pada proses pemurnian ferronikel. Serta membahas apa saja hal yang dibutuhkan untuk memurnikan bijih nikel laterit yang telah diolah menjadi ferronikel agar memiliki kadar nikel yang lebih tinggi dan memiliki standar pengotor yang diinginkan pasar. Selain itu juga dapat diketahui apa saja hal yang perlu diperhatikan selama proses pemurnian berlangsung.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB IV PEMBAHASAN**

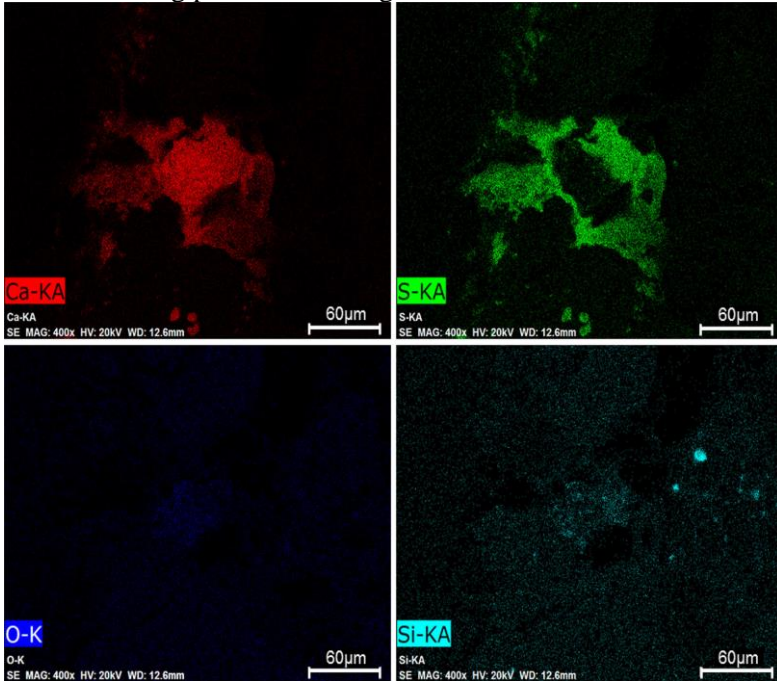
Secara umum proses produksi ferronikel mirip dengan proses *steelmaking*, terutama pada proses pemurnian (*refining*) dimana proses produksi ferronikel dan *steelmaking* sama sama melakukan penghilangan sulfur dan menggunakan prinsip oksidasi untuk menghilangkan unsur unsur pengotor didalamnya. Terlebih karena komposisi keduanya terbilang mirip, sehingga proses produksi ferronikel mengadopsi proses *steelmaking* yang lebih dahulu digunakan. Perbedaan mengenai kedua proses ini lebih kepada pelaksanaan teknis yang menyangkut beberapa parameter proses seperti temperatur titik leleh *molten metal*, dan hal lainnya.

### **4.1 Proses Desulfurisasi**

Pada tahun 2015, Lindstorm melakukan penelitian mengenai kinetika Desulfurisasi menggunakan dua *Desulfurization Agent* yang umum digunakan, yaitu *Quicklime* (CaO) dan Kalsium Karbida (CaC<sub>2</sub>) dengan tujuan untuk mengetahui efektifitas kedua *agent* tersebut dalam proses desulfurisasi. Penelitian dilakukan dengan melakukan proses desulfurisasi pada *molten metal* yang memiliki kadar sulfur tinggi dan menggunakan *Desulfurization Agent* berupa kalsium karbida dan *fluidized lime* (campuran CaO dengan elemen lain seperti SiO<sub>2</sub>) dalam bentuk serbuk. Pada penelitian ini, agent diredam di dalam *molten metal*, sambil dilakukan pengadukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan *slag* yang terbentuk selama proses dan juga *degree of deulfurization*. Pada penelitian ini digunakan peralatan karakterisasi berupa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) untuk dilakukannya *element mapping* atau mengetahui persebaran unsur yang terdapat pada sampel yang dianalisis. Sampel pertama yang digunakan adalah sampel *molten metal* yang dilakukan proses desulfurisasi dengan penambahan *agent* berupa CaO. Dapat dilihat pada saat partikel dari CaO bereaksi dengan unsur sulfur yang terdapat pada

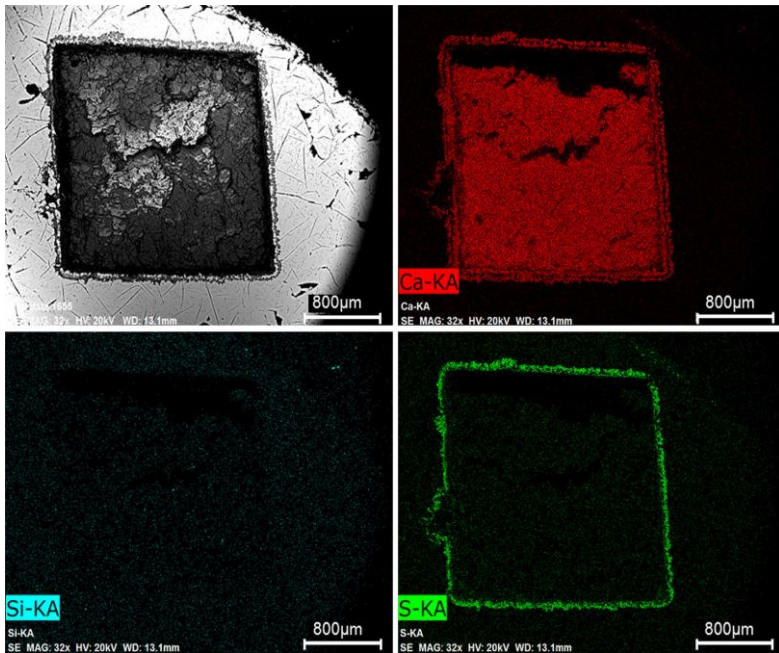
*molten metal* selama 30 detik, terbentuk lapisan CaS (Kalsium Sulfida) pada permukaan *molten metal* dengan ukuran yang lebih kecil dibanding partikel dari reagen desulfurisasi.



Gambar 4.1 Hasil *element mapping*, Lapisan CaS yang terbentuk di sekitar partikel CaO pada permukaan sampel

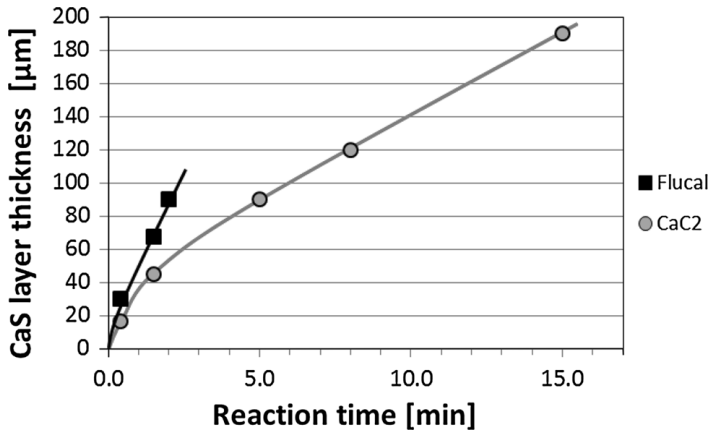
Selanjutnya adalah sampel kedua yang merupakan percobaan desulfurisasi dari *molten metal* yang ditambahkan dengan *desulphurization agent* berupa kalsium karbida ( $\text{CaC}_2$ ). Pada 25 detik reaksi kalsium karbida dengan kandungan sulfur yang terdapat pada *molten metal*, lapisan berupa kalsium sulfida (CaS) yang terbentuk pada permukaan sampel, dimana karbida dari *desulphurizing agent* tidak ikut bereaksi dengan sulfur dan membentuk lapisan karbida tersendiri di antara layer CaS dengan  $\text{CaC}_2$ . Seperti yang ditunjukkan pada gambar hasil *element*

*mapping* dari sampel desulfurisasi menggunakan kalsium karbida berikut.



Gambar 4.2 Hasil *element mapping*, Lapisan CaS yang terbentuk pada permukaan sampel dimana karbida tidak bereaksi

Dapat dilihat bahwa terdapat bagian dimana partikel kalsium karbida yang berbentuk kubus tidak terlapisi oleh lapisan CaS, bagian tersebut merupakan lapisan karbida yang terbentuk akibat tidak bereaksinya karbida dari reagen dengan unsur sulfur yang terkandung pada *molten metal*. Ketebalan dari lapisan Kalsium Sulfida yang terbentuk dari hasil reaksi unsur sulfur pada *molten metal* dengan *desulphurizing agent* berupa CaO dan kalsium karbida ( $\text{CaC}_2$ ) seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.3 yang merupakan grafik ketebalan lapisan Kalsium Sulfida terhadap fungsi waktu pada penelitian ini.



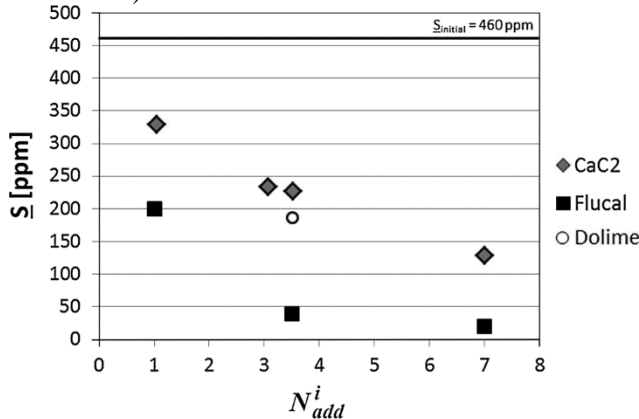
Gambar 4.3 Grafik ketebalan lapisan CaS yang terbentuk terhadap fungsi waktu reaksi pada masing masing reagen

Untuk mengetahui laju desulfurisasi dari tiap *desulfurization agent*, dapat mengacu pada gambar 4.3 diatas yang merupakan grafik ketebalan lapisan kalsium sulfida terhadap fungsi waktu dan dihitung menggunakan rumus dibawah

$$dx/dt = K/x \quad (4.1)$$

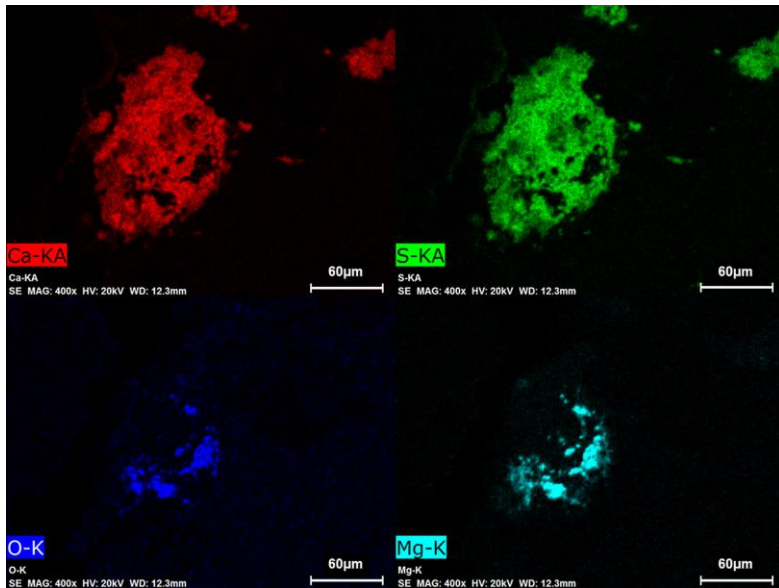
Dimana  $x$  adalah ketebalan dari lapisan CaS, dan  $K$  adalah konstanta laju desulfurisasi. Sehingga didapatkan bahwa nilai laju desulfurisasi untuk CaO adalah sebesar  $5 \times 10^{-7}$  cm/s sedangkan untuk kalsium karbida adalah sebesar  $2,9 \times 10^{-7}$  cm/s yang membuktikan efisiensi dari penambahan *desulphurization agent* pada sampel. Dengan nilai konstanta laju desulfurisasi milik CaO hampir dua kali lipat lebih besar dibanding milik kalsium karbida, maka reagen CaO memiliki efisiensi yang lebih tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah mengenai grafik konsentrasi sulfur yang terkandung dalam sampel terhadap penambahan kuantitas reagen yang menyatakan penggunaan reagen CaO lebih efisien dibanding penggunaan kalsium karbida. Di gambar tersebut, pada penambahan  $N_{add}^i$  reagen sebesar 1, didapat kandungan sulfur berkurang hingga mencapai 330 ppm untuk  $CaC_2$  dan 200 ppm untuk penambahan CaO dari kadar

semula yaitu sebesar 406 ppm. Sedangkan untuk penambahan reagen lebih banyak, semakin banyak kadar sulfur yang berkurang. (Lindstorm 2015)



Gambar 4.4 Grafik kadar sulfur terhadap penambahan kuantitas reagen desulfurisasi

Selain itu, dilakukan penelitian serupa yang merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya dengan *desuphurizing agent* berupa dolomit ( $\text{CaO.MgO}$ ) dalam bentuk serbuk. Setelah dilakukan penambahan *desulfurization agent* berupa dolomit dengan ukuran partikel sebesar 30-200 mm sebanyak 3,51  $N^i_{add}$ , didapatkan kadar unsur berkurang hingga 280 ppm. Untuk mengetahui mekanisme reaksi desulfurisasi yang terjadi terhadap sampel *molten metal* setelah ditambahkan reagen dolomit, dilakukan analisis *element mapping* menggunakan alat karakterisasi berupa SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) seperti pada penelitian sebelumnya. Hasil dari analisis *element mapping* ditunjukkan pada gambar 4.5 dan dapat dilihat persebaran unsur yang terjadi pada reaksi antara reagen dengan unsur sulfur yang terkandung pada sampel.

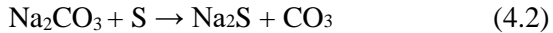


Gambar 4.5 Hasil *element mapping*, Lapisan CaS yang terbentuk pada permukaan sampel dimana karbida tidak bereaksi

Pada 5 menit reaksi yang terjadi setelah penambahan reagen dolomit, dimana seluruh CaO dari dolomit sudah bereaksi dengan sulfur yang terdapat pada sampel dan berubah membentuk lapisan CaS, sedangkan MgO masih terdapat pada reagen dolomit dan tidak bereaksi dengan sulfur untuk membentuk lapisan MgS. Dari penelitian diatas dapat diketahui bahwa penurunan kadar sulfur pada sampel setelah ditamhakkannya *desulphurization agent* berupa dolomit tidak sebesar penurunan kadar sulfur yang dilakukan oleh CaO, namun lebih baik dibanding pengurangan sulfur oleh kalsium karbida. (D. Lindstorm 2015)

Selain beberapa penelitian diatas, terdapat juga beberapa *desulphurization agent* lainnya yang dapat digunakan pada proses desulfurisasi pada umumnya, seperti  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan juga  $\text{CaF}_2$ . Beberapa proses desulfurisasi menggunakan soda ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) sebagai *desulfurization agent* dibanding yang lainnya, karena

dikenal *melting pointnya* yang rendah dibanding reagen lainnya, sehingga pada saat dimasukkan pada *ladle* akan langsung melebur dan bereaksi dengan *molten metal*. Reaksi yang terjadi saat penggunaan soda ash pada proses desulfurisasi adalah sebagai berikut



Karbonat yang terbentuk pada reaksi soda ash dengan sulfur memiliki dampak buruk dengan lingkungan dan kesehatan apabila terdapat dalam jumlah yang banyak, sehingga penggunaan soda ash sebagai *desulfurization agent* lebih baik digunakan sebagai reagen tambahan untuk membantu mempercepat proses pengikatan sulfur, mengingat rendahnya *melting point* yang dimiliki oleh soda ash.

Kemudian terdapat reagen selanjutnya yang diteliti oleh Simeonov, dimana menggunakan reagen berupa  $\text{CaF}_2$  untuk menggantikan  $\text{CaO}$  pada proses desulfurisasi yang hasilnya didapatkan bahwa nilai *sulphide capacity* pada proses lebih rendah daripada sebelumnya, yaitu saat menggunakan  $\text{CaO}$  sebagai reagen. (Simeonov 1996) *Sulphide Capacity* sendiri merupakan kemampuan reagen untuk mengikat sulfur dan membentuk *slag*, perhitungan dari *sulphide capacity* sendiri dilakukan dengan cara permodelan menggunakan koefisien pemisahan sulfur. (Ma 2016)

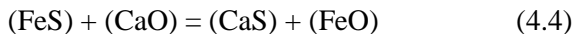
Sehingga apabila melihat dari penelitian penelitian diatas, bahwa *desulphurization agent* menggunakan  $\text{CaO}$  lebih efektif dibanding yang lainnya. Kalsium karbida sebenarnya memiliki kemampuan yang sama baiknya dalam mengikat sulfur dengan  $\text{CaO}$ , namun terbentuknya lapisan karbida pada *slag* pada saat penggunaan kalsium karbida yang diakibatkan tidak bereaksinya karbida dengan unsur sulfur yang terkandung dalam *molten metal* dapat memperlambat terjadinya proses desulfurisasi. Namun pada saat temperatur dari proses desulfurisasi tinggi, silika yang terkandung pada *molten metal* akan bereaksi dengan  $\text{CaO}$  dan kemudian akan membentuk lapisan berupa kalsium silikat yang juga memperlambat terjadinya proses desulfurisasi. Adapun *desulphurization agent* lainnya, karena kemampuan mengikat

sulfurnya lebih rendah dibanding CaO dan CaC<sub>2</sub>, serta zat buang yang dihasilkan apabila dalam jumlah banyak akan mencemari lingkungan. Makam dapat digunakan sebagai reagen tambahan yang bertujuan untuk mempercepat pengikatan sulfur yang terdapat pada *molten metal*.

Selanjutnya dilakukan penelitian mengenai desulfurisasi oleh Ibrahim pada tahun 2019. Dimana proses desulfurisasi dilakukan pada LD Converter bersamaan dengan proses peniupan oksigen untuk proses penghilangan elemen pengotor pada *crude ferronickel* dengan cara oksidasi. Selama proses pemurnian pada converter, Sulfur yang terkandung pada *molten metal* berikatan dengan unsur besi dan membentuk molekul FeS. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut



Kemudian, selama proses dilakukan penambahan reagen berupa CaO yang bertujuan untuk mengikat sulfur yang terdapat pada molekul FeS di *molten metal*.

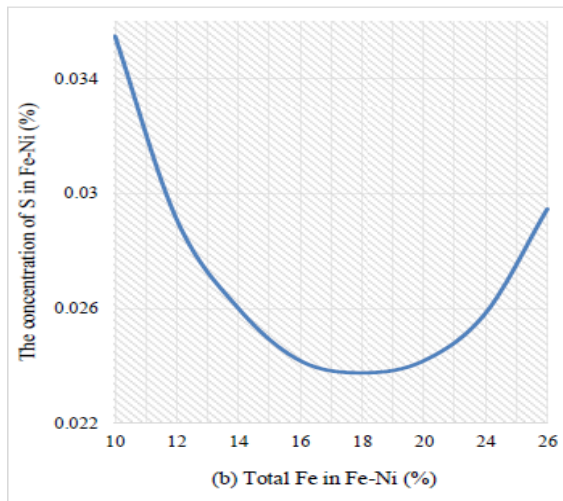


Namun, reaksi ini berkaitan dengan *sulphide capacity* dari reagen, yang mana ditentukan oleh rumus berikut

$$C_S = \frac{(s)}{[S]} = f\left[\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}, T, \frac{1}{\text{FeO}}\right] \quad (4.5)$$

Dimana kandungan unsur Fe yang terkandung di *slag* dapat mempengaruhi efektifitas dari proses penghilangan sulfur pada *molten metal*, dimana penambahan reagen CaO untuk mengikat sulfur di molekul FeS akan membentuk *slag* yang mengandung unsur Fe, yaitu berupa FeO. Pada gambar 4.6 terdapat grafik yang menunjukkan kadar S terhadap kadar Fe pada *crude ferronickel*. Keberadaan unsur Fe di dalam *slag* FeO, dapat meningkatkan pengikatan dari unsur S dalam *molten metal*, namun apabila kadar Fe yang terkandung dalam *slag* yang terbentuk pada proses desulfurisasi mencapai 18% atau batas jenuh kadar Fe pada *slag*, maka efektifitas proses akan berkurang dan tidak akan terjadi pengurangan kadar unsur sulfur yang terdapat pada *crude ferronickel*. (Ibrahim 2020)





Gambar 4.6 Kadar sulfur terhadap kandungan Fe pada proses desulfurisasi

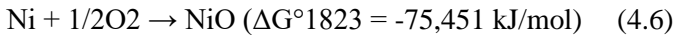
Sehingga untuk meningkatkan efektivitas proses desulfurisasi, proses desulfurisasi lebih baik dilakukan di luar *converter* sehingga tidak bersamaan dengan proses penghilangan unsur pengotor lainnya yang terdapat pada *crude ferronickel*. Hal ini dilakukan agar proses desulfurisasi tidak terganggu dengan proses oksidasi dari unsur unsur lain, begitu juga sebaliknya, yang dapat membuat proses penghilangan unsur tidak berjalan secara efektif. Selain itu dengan melakukan proses desulfurisasi terpisah dengan proses oksidasi, memungkinkan untuk dilakukannya penambahan *desulphurizing agent* lainnya yang dapat membantu mengikat unsur sulfur dan mempercepat proses desulfurisasi.

## 4.2 Proses Oksidasi

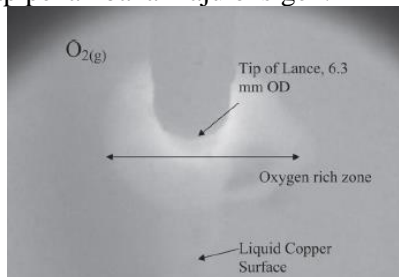
Laju oksidasi yang terjadi dalam proses pemurnian bergantung pada laju aliran oksigen yang digunakan. Dengan Meningkatkan laju aliran oksigen, maka laju penyerapan oksigen oleh *crude ferronickel* akan meningkat dan laju oksidasi ikut meningkat. Apabila pada proses pemurnian laju alir oksigen yang diberikan

kecil, maka belum ada peningkatan pada kadar nikel karena belum cukupnya oksigen untuk mengikat unsur pengotor yang terdapat pada crude ferronickel yang sesuai dengan perhitungan stoikiometri pada mass balance. (Marin 2005)

Hal ini merujuk kepada Diagram Ellingham dimana Nikel memiliki afinitas yang kecil terhadap oksigen daripada Besi menyebabkan nikel termasuk ke dalam salah satu logam yang sulit membentuk oksida. (Kellog 1987) Seperti yang ditunjukkan pada reaksi di bawah ini:

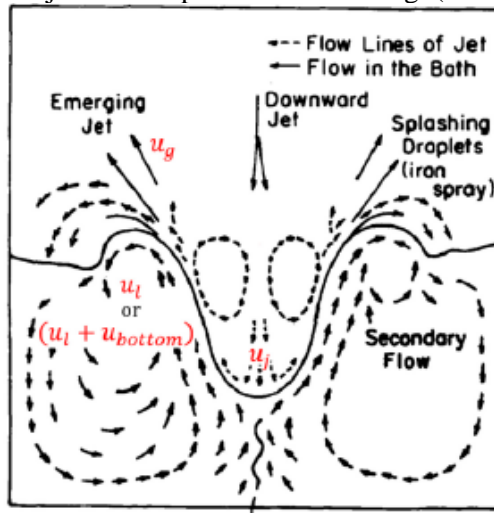


Seperti yang telah dijelaskan pada teori bahwa Logam dengan sifat reaktif tinggi memiliki energi bebas Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ) lebih negatif. Logam tersebut membentuk oksida yang terletak pada bagian paling bawah diagram. Sebaliknya, logam yang kurang reaktif memiliki energi bebas positif dan membentuk oksida dengan posisi bagian atas pada diagram. Besar nilai energi bebas ( $\Delta G^\circ$ ) untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen (Stratton 2013). Semakin negatif nilai  $\Delta G$  suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida. Dan semakin positif nilai  $\Delta G$  suatu logam makin sukar membentuk oksida. Proses oksidasi ini adalah proses yang bertujuan untuk mengoksidasi impurities dan memanfaatkan afinitas oksigen dengan logam sehingga Nikel sukar untuk diikat menjadi oksida. Oleh karena itu, kadar Nikel pada Feronikel meningkat setiap penambahan laju oksigen.



Gambar 4.7 Area oksidasi terlokalisasi selama proses berlangsung

Pada proses pemurnian ini, laju penyerapan oksigen tidak secara langsung bergantung pada keseluruhan area reaksi, namun oksidasi hanya terjadi di area terlokalisasi di mana fase oksida terbentuk. (Marin 2005) Hal ini disebabkan karena proses oksidasi dibatasi oleh kinetika reaksi di satu daerah saja, dimana dengan tak adanya turbulance memungkinkan oksigen hanya berkontak langsung dengan oksidanya, sehingga mempengaruhi dan menghambat laju oksidasi pada daerah melting. (Kadrolkar 2019)

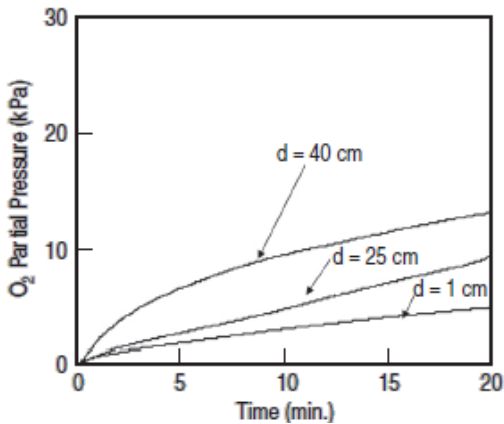


Gambar 4.8 Perilaku oksigen pada *impact zone* proses *steelmaking*

Pada Gambar 4.6 di atas merupakan fenomena perilaku oksigen pada *impact zone* pada saat proses *steelmaking*, yang mana dapat dilihat bahwa terdapat tembakan atas gas oksigen mengakibatkan terbentuknya *cavity* dan pemindahan liquid metal sehingga terjadi pembaruan secara terus menerus. Namun tembakan gas oksigen tersebut terhambat oleh adanya liquid metal tersebut sehingga kecepatan udara berkurang karena tumbukan *uj* dan gas jet yang muncul dari dalam ke luar dengan kecepatan rendah. Gesekan gas momentum tersebut menghasilkan tetesan dan

momentum jet gas menginduksi eddy current yang membawa elemen pengotor ke permukaan logam.

Selain dengan meningkatkan laju alir oksigen pada proses oksidasi, jarak *lance* terhadap *molten metal* juga mempengaruhi kecepatan alir oksigen sehingga secara tidak langsung juga mempengaruhi laju oksidasi dari unsur unsur pengotor dan meningkatkan radius serta momentum transfer agar energi transfer lebih efisien.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan jarak *lance* terhadap tekanan parsial oksigen pada proses oksidasi

Pengurangan jarak dari lance dengan permukaan molten metal memiliki pengaruh yang cukup signifikan pada laju oksidasi seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini Dengan mengurangi jarak dari lance dengan permukaan molten metal, maka semakin kecil kemungkinan terjadinya peningkatan tekanan sehingga ferronikel mampu menyerap semua oksigen yang ditembakkan. (Marin 2005)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian *review jurnal* ini adalah sebagai berikut:

1. Secara umum, proses pemurnian bijih nikel laterit dalam bentuk ferronikel terbagi menjadi dua tahapan. Yaitu, proses oksidasi dan proses desulfurisasi
2. Laju alir oksigen mempengaruhi laju oksidasi dari unsur unsur pengotor selama proses pemurnian
3. *Desulphurization Agent* yang digunakan selama proses desulfurisasi memiliki kemampuan pengikatan sulfur yang beragam, dan mempengaruhi kadar sulfur akhir produk
4. Jarak lance juga perlu diperhatikan, karena dapat mempengaruhi laju penyerapan oksigen oleh *molten metal*

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut

1. Meningkatkan laju alir oksigen agar proses oksidasi berjalan lebih efektif
2. Mengganti penggunaan reagen yang tidak ramah lingkungan pada proses desulfurisasi, dengan reagen lainnya dengan kemampuan pengikatan sulfur yang setara
3. Mengurangi jarak dari *lance* ke *molten metal* agar reaksi oksidasi dari unsur pengotor berjalan efektif
4. Melakukan proses desulfurisasi menggunakan alat terpisah dengan proses oksidasi sehingga unsur sulfur tidak berikatan dengan unsur pengotor lain saat proses berlangsung
5. Melakukan penelitian lanjutan mengenai proses pemurnian bijih nikel laterit

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Barton, R. G. 1977. "Influence of Surface Tension-Driven Flow on the Kinetics of Oxygen Absorption in Molten Copper." *Metallurgical Transaction B*.
- Bergman, R.A. 2003. "Nickel production from low-iron laterite ores: Process descriptions." *CIM Bulletin*.
- Bernotat, Siegfried. 2000. "Size Reduction." Dalam *Ullmann's Encyclopedia of Chemical Industry*. Wiley.
- Blanco, C. 1993. "Model of Mixed Control for Carbon and Silicon in a Steel Converter." *ISIJ*.
- Bustos, A.A. 2000. "High Oxygen Shrouded Injection into Copper and Nickel Converters." *The Brimacombe Memorial Symposium*. Vancouver, Canada. 107-120.
- Chang, Cao. 2016. "Making Ferronickel from Laterite Nickel Ore by Coal-Based Self Reduction." *International Journal of Nonferrous Metallurgy* 9-15.
- Chou, Kuo-Chih. 1993. "A General Model of BOP Decarburization ." *ISIJ International Vol. 33*.
- Crundwell, Frank K. 2011. *Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt, and Platinum Group of Metals*. Oxford: Elsevier Ltd.
- Dalvi, Dr. Ashok D. 2004. "The Past and the Future of Nickel Laterites." *International Convention, Trade Show, and Investors Exchange*. Canada: Inco Limited. Canada.
- Davenport, William G. 2011. *Extractive Metallurgy of Copper*. Elsevier Ltd.
- Electrotherm Steel Ltd. 2018. *Ladle Refining Furnace : A State-Of-The-Art Method For Producing High Quality Construction Grade Steel Specially With Iron Ore As The Raw Material*. Diakses 07 11, 2020. <https://www.electrothermsteel.com/ladle-refining-furnace-a-state-of-the-art-method-for-high-quality-construction>.

- 
- Elliott, R. 2017. "Ferronickel particle formation during the carbothermic reduction of a Limonitic Laterite Ore." *Minerals Engineering*.
- Engler, Philip. 1988. "Non Isothermal In Situ XRD Analysis of Dolomite Decomposition." *The Rigaku Journal*.
- Fahmi, Syamsul. 2017. "Studi Desulfurisasi Menggunakan Flux pada Proses Pemurnian Ferronikel." *Jurnal Geomine Vol.5* 100-103.
- Fruehan, Richard J. 1998. *The Making, Shaping and Treating of Steel : 11th Edition Steelmaking and Refining Volume*. Pittsburgh: The AISE Steel Foundation.
- Gasik, Michael. 2013. *Handbook of Ferroalloys*. Elsevier Ltd.
- Habashi, Fathi. 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy*. Michigan: Wiley-VCH.
- Hang, Guihua. 2020. "Preparation of high-grade ferronickel from low-grade nickel laterite by selfreduction and selective oxidation with CO<sub>2</sub>-CO gas." *Minerals Engineering*.
- Hernandez, F. 2013. "Desulphurization of Crude Ferronickel, High Sulphur Content in Ladle Furnace." *The Thirteenth International Ferroalloys Congress*. Almaty, Kazakhtan. 245-252.
- Ibrahimi, Izet. 2020. "Optimalization of the Ferronickel Production Process through Improving Desulfurization Effectiveness." *Civil Engineering Journal* 907-918.
- INSG. 2015. *World Nickel Statistics*. Lisbon: INSG.
- ITPC. 2017. "HS7501 Nickel." *Market Brief*. Osaka. 12-18.
- Jamali, Adil. 2014. "Proses Dekarburisasi Nickel Pig Iron." *LIPI : Majalah Metalurgi V*.
- JFE 21st Century Fo. 2003. *21st Century Foundation : BOF Operation*. Diakses July 10, 2020. [http://www.jfe-21st-cf.or.jp/chapter\\_2/2f\\_2.html](http://www.jfe-21st-cf.or.jp/chapter_2/2f_2.html).
- Jiangan, Chen. 2014. "Study of the mechanism of the direct reduction roasting of the limonite in Jiangxi." *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 671-678.
-



- 
- Kadrolkar, Ameya. 2019. "Model Development for Refining Rates in Oxygen Steelmaking: Impact and Slag-Metal Bulk Zones." *Metals MDPI*.
- Kapadia, Sunny. 2019. *Comminution in mineral processing*. Student Research Project, Clausthal University of Technology.
- Kawatra, Komar. 2006. *Advances in Comminution*. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Kellog, Herbert H. 1987. "Thermochemistry of Nickel-Matte Converting." *Canadian Metallurgical Quarterly* 285-298.
- Kopeliovich, Dr. Dmitri. 2012. *Substech : Basic Oxygen Furnace*. 31 May. Diakses July 10, 2020. [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=basic\\_oxygen\\_furnace\\_bof#structure\\_of\\_a\\_basic\\_oxygen\\_furnace](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=basic_oxygen_furnace_bof#structure_of_a_basic_oxygen_furnace).
- . 2012. *Substech : Ladle Refining*. 31 May. Diakses July 10, 2020. [https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ladle\\_refining](https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ladle_refining).
- Landers, Matthew. 2007. "Dehydroxylation and dissolution of nickeliferous goethite in New Caledonian lateritic Ni Ore." *Applied Clay Science* 35 162-172.
- LI, Guanghui. 2015. "Effect of Quaternary Basicity on Melting Behavior and Ferronickel Growth of Saprolitic Laterite Ores in Krupp-Renn Process." *ISIJ International* 1828-1833.
- Lindstorm. 2015. "Kinetic Study on Desulfurization of Hot Metal using CaO and CaC<sub>2</sub>." *Metallurgical and Materials Transaction B* 83-92.
- Lindstorm, David. 2015. "Study on Desulfurization Abilities of some Commonly used Desulfurization Agents." *Steel Research*.
- Liu, Peng. 2016. "Material and energy flows in rotary kiln-electric furnace smelting of ferronickel alloy with energy saving." *Applied Thermal Engineering* 544-559.
-

- 
- Ma, Alvin. 2016. "Review of Applicable desulphurization models for crude ferronickel refining." *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*.
- Maia, Breno Totti. 2014. "Effect of blow parameters in the jet penetration by physical model of BOF converter." *Journal of Material Research and Technology*.
- Marin, T. 2005. "The Kinetics and Mechanism of Molten Copper Oxidation by Top Blowing of Oxygen." *JOM : Copper and Nickel Production* 58-62.
- Michaud, L D. 2016. *911 Metallurgist*. 17 February. Diakses August 4, 2020. <https://www.911metallurgist.com/blog/gyratory-crusher>.
- Miller, Timothy W. 1988. *Chapter 9 : Oxygen Steelmaking Process*. Pittsburgh: The AISE Steel Foundation.
- Mudd, Gavin M. 2009. "Nickel sulfide versus laterite: The hard sustainability challenge remains." *48th Annual Conference of Metallurgists*. Canada: Canadian Metallurgical Society.
- Mustopa, Enjung Jaenal. 2016. "Termodinamika dalam Memahami Proses Pengolahan Mineral." *Seminar Nasional Fisika*. Jakarta: Prodi Pendidikan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta.
- Nickel Institute. 2016. *The Life of Ni*. Nickel Institute.
- Norgate, T. 2011. "Assessing the energy and greenhouse gas footprints of nickel laterite processing." *Minerals Engineering* 698-707.
- Norgate, Terry. 2009. "Low grade ores – Smelt, leach or concentrate?" *Minerals Engineering*.
- Norgate, Terry. 2011. "Reducing the greenhouse gas footprint of primary metal production: Where should the focus be?" *Minerals Engineering* (Elsevier Ltd.).
- Noviyanti. 2015. "Karakterisasi Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa." *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*.
-

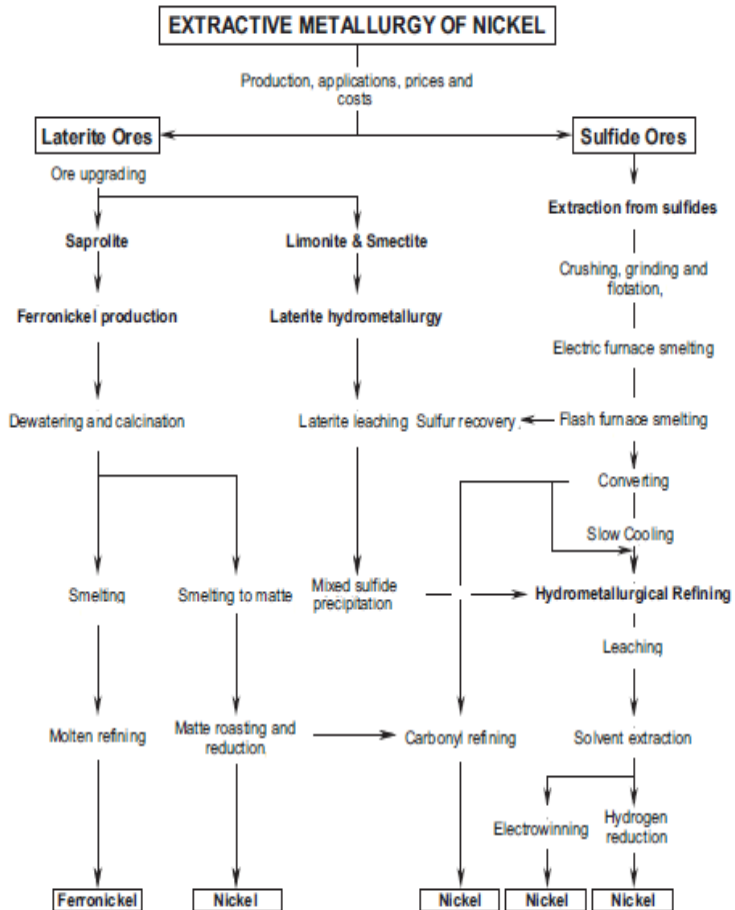
- 
- Noviyanti. 2015. "Karakterisasi Kalsium Karbonat dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa." *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika* 169-172.
- Nurjaman, Fajar. 2016. "Proses desilikonisasi, desulfurisasi, dan defosforisasi dalam pembuatan Ignit Baja Laterit dari Nickel Pig Iron." *LIPI*.
- Oktaviandra, Kevin. 2019. *Studi pengaruh variasi laju alir oksigen terhadap kadar Ni, Fe, dan senyawa produk hasil proses fire refining crude ferronickel mini blast furnace*. Undergraduate Thesis, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pintowantoro, S., Abdul, F. 2019. "Selective Reduction of Nickel Laterite." *Material Transactions Vol.60 No.11*.
- Pintowantoro, S., Abdul, F., Setiyorini, Y., Subakti, T.J., Widyartha, B. 2020. "Effective beneficiation of low content nickel ferrous laterite using fluxing agent through Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selective reduction." *Materialwiss Werkstofftech* 750-757.
- Prasetyo, Pugu. 2016. "Sumber Daya Mineral Di Indonesia Khususnya Bijih Nikel Laterit dan Masalah Pengolahannya Sehubungan Dengan UU Minerba 2009." *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Redl, Christian. 2013. "Refining of Ferronickel." *The thirteenth International Ferroalloys Congress Efficient Technologies in Ferroalloy industry*. Almaty, Kazahstan. 229-238.
- Rembah, Rina. 2012. "Analisa Kebutuhan Kalsium Karbida pada Proses Desulfurisasi Pemurnian Nikel FeNi II Pada PT. Aneka Tambang Tbk. UBPN Sultra Provinsi Sulawesi Tenggara." *Jurnal Teknologi Technoscintia Vol.5 No. 1* 68-79.
- Rodrigues, F. M. 2013. *Investigation Into The Thermal Upgrading Of Nickeliferous Laterite Ores. A thesis submitted to the Robert Buchan Departement of Mining In Corminity with*
-

- the requirements for The degree of Master of Applied Science*. Kingston, Canada: Queen University.
- Rozelle, Peter. 2019. "The Ni-Converter - an historic perspective." *Mineral Processing and Extractive Metallurgy* 126-133.
- Schrama, Frank. 2017. "Sulphur Removal in Ironmaking and Oxygen Steelmaking." *Ironmaking & Steelmaking*.
- Schurmann, Eberhard. 1985. "Effect of bottom stirring and post stirring on the oxygen distribution between metal and slag at the end of the LD Process." *Steel Research* 56 No. 8.
- Seetharaman, Seshadri. 2014. *Treatise on Process Metallurgy Volume 3 : Industrial Processes*. Oxford: Eseevier Ltd.
- Setiawan, Iwan. 2016. "Pengolahan Nikel Laterit Secara Pirometalurgi." *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Shelley, R. C. 2015. *Sedimentary Rocks*. London: Imperial College of London.
- Simeonov. 1996. "Sulphur equilibrium distribution between CaO-CaF<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slags and carbon-saturated Iron." *ISIJ International*.
- Sjoqvist, T. 2000. "Influence of Calcium Carbide Slag Additions on Inclusion Characteristics in Steel." *Iron and Steelmaking Vol. 27 No. 5* 373-380.
- Solar, M. Y. 2008. "Selection of optimum ferronickel grade." *CIM Bulletin*.
- Stratton, P. 2013. "Ellingham diagrams – their use and misuse." *International Heat Treatment & Surface Engineering* 70-73.
- Suherman, Jang. 2018. "Supply Chain Analysis For Indonesian Nickel." *Indonesia Mining Journal Vol. 21* 59-76.
- Svyazhin, A.A. 2004. "The Use of Calcium Carbide in the Production of Low-Carbon Steel." *Metallurgist Vol. 48* 557-560.
- Telsmith Inc. 2014. *Mineral Processing Handbook*.
- Vale. 2015. *Ferronickel Safety Data Sheet*. Vale.

- 
- Wang, Hua. 2011. "The reduction of nickel from low-grade nickel laterite ore using a solid-state." *Minerals Engineering*.
- Warner, A.E. 2006. "JOM World Nonferrous Smelter Survey, Part III: Nickel Laterite." *JOM Industrial Survey*.
- Warner, A.E.M. 2008. "World Nonferrous Smelter Survey, Part III: Nickel Laterite." *JOM : Industrial Survey* 11-20.
- Wills, Barry A. 2016. *Will's Mineral Processing Technology 8th Edition*. Elsevier Ltd.
- Yu. 2011. "Thermal properties and microstructure of gypsum board and its dehydration products: a theoretical and experimental investigation." *Fire and Materials*.
- Zhai, Yu-Cun. 2010. "A green process for recovering nickel from nickeliferous laterite ores." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. China. 65-70.
- Zhou, Xiaolei. 2015. "Argon Blowing Technology Using in the LF Refining." *Applied Mechanics and Materials Vol. 696*.
- Zulhan, Zulfiadi. 2011. "Kajian Neraca Posfor Dan Studi Kemungkinan Untuk Melakukan Proses Desfosforisasi di Ladle pada Peleburan Ferronikel PT. Antam Tbk." *Indonesian Process Metallurgy*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN



Bagan Ekstraksi Nikel secara keseluruhan (Crundwell, 2011)

	Producer			
	Falcondo Falconbridge Dominicana Dominican Republic	Cerro Matoso BHP Billiton Montelíbano, Colombia	Loma de Niquel Anglo American PLC Venezuela, SA	Codemin Codemin S.A. (Anglo American), Brazil
<b>Refining</b>				
<b>First Step</b>	Dephosphorization	De-P and De-C	De-P and De-C	Dephosphorization
<b>Equipment</b>	2.4 MW ASEA-SKF ladles	COBS and ASEA ladles	ASEA ladles	FeNi tapping ladle
<b>Reagent(s)</b>	Basic oxidizing slag	CaO/SiO <sub>2</sub> slag and O <sub>2</sub>	CaO and O <sub>2</sub>	CaO and O <sub>2</sub>
<b>Process Temperature (°C)</b>	1,500–1,550	1,440	1,650–1,700	1,500
<b>Second Step</b>	Deoxidation	Deoxidation	Desulphurization	Desulphurization
<b>Equipment</b>	Same as above	Same as above	Same as above	6.5 MVA refining electric furnace
<b>Reagent(s)</b>	Ferrosilicon	FeSi and Al	CaO, CaSi, FeSi, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO and O <sub>2</sub>
<b>Process Temperature (°C)</b>	1,500–1,550	1,550	>1,600	1,630
<b>Third Step</b>	Desulphurization if required	Desulphurization	—	—
<b>Equipment</b>	Same as above	Same as above	—	—
<b>Reagent(s)</b>	Basic reducing slag	Basic reducing slag	—	—
<b>Process Temperature (°C)</b>	1,500–1,550	1,620	—	—
<b>Form of Product FeNi</b>	100% 0.1 kg “ferrocones”	100% 3–50 mm shots	100% 3–30 mm shot	100% shot
<b>Comp of Product FeNi</b>				
Ni (%)	38.9	34–36	20–25	30
Co (%)	0.93	<1.0	0.49	0.56
C (%)	0.06	<0.04	≤0.04	0.005
S (%)	0.04	<0.06	≤0.06	0.067
Si (%)	0.35	<0.7	≤0.2	—
P (%)	0.01	<0.04	≤0.03	0.016
Cr (%)	0.02	<0.03	—	—

	Hyuga Hyuga Smelting Co Ltd Miyazaki, Japan	Hachinohe Pacific Metals Co. Ltd. Hachinohe, Japan	Oheyama Nippon Yakin Kogyo, Ltd. Oheyama, Japan	Doniambo SLN (Eramet Nickel) Noumea, New Caledonia
	<b>Refining</b>			
<b>First Step</b>	Desulphurization	Desulphurization	—	Desulphurization
<b>Equipment</b>	Low-frequency induction furnace	Ladles with stirrers	—	Shaking ladle
<b>Reagent(s)</b>	CaC <sub>2</sub>	CaC <sub>2</sub>	—	CaC <sub>2</sub>
<b>Process Temperature (°C)</b>	1,400–1,450	1,500	—	—
<b>Second Step</b>	De-C & De-Si	—	—	Decarburizing
<b>Equipment</b>	LD converter	—	—	Shaking ladle
<b>Reagent(s)</b>	Oxygen	—	—	Oxygen
<b>Process Temperature (°C)</b>	1,600–1,650	—	—	—
<b>Third Step</b>	—	—	—	—
<b>Equipment</b>	—	—	—	—
<b>Reagent(s)</b>	—	—	—	—
<b>Process Temperature (°C)</b>	—	—	—	—
<b>Form of Product FeNi</b>	1% ingots (I), 99% shots (S)	30% ingots, 70% granules	Luppen (crude FeNi)	15–40 kg ingots & granules
<b>Comp. of Product FeNi</b>				
Ni (%)	Hi-C & S>16 Lo-C I & S 17–28	17–23	—	FN1 24–30, FN4 22–28
Co (%)	Hi-C & Lo-C I & S <Ni × 0.05	Ni/Co wt. ratio <20	—	—
C (%)	Hi-C I & S<3 Lo-C I & S<0.02	2	—	FN1 0.03, FN4 1.2–1.9
S (%)	<0.03	<0.030	—	FN1 0.03, FN4 0.23
Si (%)	Hi-C I & S<5 Lo-C I & S<0.3	2	—	FN10.03, FN4 1.0–3.0
P (%)	Hi-C I & S<0.05 Lo-C I & S<0.02	<0.050	—	—
Cr (%)	Hi-C I & S<2.5	1.3	—	—



	Producer				
	Sorowako P.T. Inco Sulawesi, Indonesia	Pomalaa P.T. Aneka Tambang Sulawesi, Indonesia	Pobuzhsky Ferronickel Combine PFK Pobuzhie, Ukraine	FENI FENI MAK Macedonia	Larymna Larco GMM SA Larymna, Greece
<b>Refining</b>					
<b>First Step</b>	—	Desulphurization	Desulphurization	Desulphurization	Electric furnace FeNi upgrading
Equipment	—	Ladle with refractory stirrer	Electric furnace tapping ladle	Induction furnace	2 OBM converters
Reagent (s)	—	CaC <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	soda ash	Calcium carbide	Lime-ferrite slag
Process Temperature (°C)	—	1,350	1,350	1,280–1,330	—
<b>Second Step</b>	—	De-Si (low C FeNi)	Converting (1st stage)	—	—
Equipment	—	Shaking ladle	Vertical oxygen converter (acid lining)	Two vertical oxygen converters	—
Reagent(s)	—	O <sub>2</sub> , burnt lime, limestone (1.2 slag basicity)	Ni Oxide/iron ore, scrap, cold crude FeNi	Lime-ferrite slag	—
Process Temperature (°C)	—	1,450	1,450–1,500	—	—
<b>Third Step</b>	—	De-C (low C FeNi)	Converting (2nd stage)	—	—
Equipment	—	Shaking ladle	vertical oxygen converter (basic lining)	—	—
Reagent (s)	—	O <sub>2</sub> , burnt lime, limestone (3.0 slag basicity)	Limestone, FeSi	—	—
Process Temperature (°C)	—	1,620	1,590–1,650	—	—
Form of Product	Granulated Bessemer matte	Ingots and granules	Ingots and pigs	Ingots	Shots (<40mm)
Comp of Product FeNi	—	Hi-C / Lo-C	—	—	—
Ni (%)	—	18.0/21.0	25–35	35–50	20–25
Co (%)	—	0.33/0.38	0.1–0.5	<1.5	—
C (%)	—	2.22/0.011	<0.1	<0.1	—
S (%)	—	0.01/0.008	<0.07	<0.07	—
Si (%)	—	2.22/0.06	<0.05	<0.06	—
P (%)	—	0.021/0.002	<0.03	<0.03	—
Cr (%)	—	1.65/0.07	<0.3	<0.3	—

Tabel metode pemurnian ferronikel di beberapa pabrik pengolahan bijih nikel laterit (A. Warner 2006)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tak lupa penulis ucapkan kepada pihak – pihak yang telah berkontribusi dan membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir Paper Review dengan judul “Review: Pemurnian Bijih Nikel Laterit Secara Pirometalurgi ” ini:

1. Kepada keluarga saya yang luar biasa, Bapak Mohamad Hidayat dan Ibu Mardiaty M. Paham selaku kedua Orang tua tercinta, Nurul Fauziah dan Nidhar Fakhirah selaku adik penulis, serta kakek dan nenek tercinta yang telah mendukung penulis baik secara materiil maupun non-materiil melalui doa, motivasi dan semangat yang tak ternilai harganya.
2. Seluruh dosen dan staff akademik yang membantu penulis dalam memperoleh ilmu, fasilitas dan pembelajaran hidup selama berkuliah di Teknik Material dan Metalurgi ITS
3. Rekan rekan lab di Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material yang telah menjadi teman belajar, memberikan dukungan dan menemani penulis selama proses pengerjaan tugas akhir ini
4. Angkatan MT 18 beserta seluruh anggotanya yang sudah dianggap sebagai “keluarga kedua” bagi penulis dan telah menemani penulis selama empat tahun lika liku dunia perkuliahan di Teknik Material dan Metalurgi ITS
5. Para sobat yang pernah tinggal bersama penulis dalam satu kontrakan “aktivis sobat GURUN” seperti Farid, Yogtam, Ibe, Mar’i, Tamam, Adhy, Dayyan, Bobby dan Ghazi yang telah menghibur, menemani, dan menjadi tempat penulis bercerita selama masa perkuliahan.
6. Mas dan Mbak angkatan MT 15, MT 16 dan MT 17 yang selalu membimbing penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik selama perkuliahan
7. Adik-adik angkatan MT 19 dan MT20 yang selalu mendorong penulis untuk menjadi teladan yang baik

8. Diri penulis sendiri yang telah mampu berjalan sampai sejauh ini, serta kuat dalam menghadapi berbagai macam persoalan yang ada. Semangat! Masih panjang jalan yang harus ditempuh
9. Serta banyak pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang membantu dan berpengaruh dalam proses penyelesaian tugas akhir ini yang secara sengaja maupun tidak sengaja membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca. Adapun penulis ingin mengucapkan permintaan maaf sebesar besarnya apabila ada kesalahan baik penulisan maupun konten dari Tugas akhir ini.

## BIODATA PENULIS



Muhammad Naufal Firdaus Sulaeman lahir di Bandung, 8 Agustus 1998. Penulis menempuh Pendidikan formal di SDIT Nur Al-Rahman Cimahi, kemudian melanjutkan ke jenjang menengah di SMP Al-Azhar Syifa Budi Parahyangan, serta jenjang atas di SMA Negeri 2 Bandung. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan tingkat sarjana di Departemen Teknik Material & Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember di tahun 2016. Selama menempuh pendidikan sarjana, penulis aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan seperti menjadi Staff Departemen Dalam Negeri HMMT FTI-ITS (2017-2018), Kepala Divisi Internal Departemen Dalam Negeri HMMT FTIRS-ITS (2018-2019), dan *Grader* Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral & Material (2019-2020). Penulis juga aktif mengikuti pelatihan seperti Pelatihan Karya Tulis Ilmiah Tingkat Dasar, *Basic Entrepreneurship School* HMMT, *Training For Matrice Trainer* HMMT, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar dan Tingkat Dasar dan Pelatihan Manajemen Organisasi. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik industri di PT. Dirgantara Indonesia (Persero) pada Juni-Juli 2019. Pada kesempatan kerja praktik tersebut, penulis menyelesaikan sebuah laporan kerja berjudul “*Analisa Volume Resistivitas Conductive Sealant Pr-1764 M Class B2 Pada Pesawat Terbang*”. Ketertarikan dalam industri pengolahan logam mendorong penulis untuk mengambil topik tugas akhir dibidang tersebut dengan judul “*Review Pemurnian Bijih Nikel Laterit Secara Pirometalurgi*”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email [mnfirdaus@live.com](mailto:mnfirdaus@live.com).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*