



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN REDUKTOR SUB-BITUMINOUS  
DAN BRIKET KOKAS KADAR 10%, 13%, 15%, 20% TERHADAP  
PRODUK REAKSI KARBOTERMIK BIJIH NIKEL SAPROLIT**

**SKRIPSI**

**MUTIARTO BANGALINO  
040504052X**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN REDUKTOR SUB-BITUMINOUS  
DAN BRIKET KOKAS KADAR 10%, 13%, 15%, 20% TERHADAP  
PRODUK REAKSI KARBOTERMIK BIJIH NIKEL SAPROLIT**

**SKRIPSI**

Diajukan sabagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MUTIARTO BANGALINO  
040504052X**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
2009**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Mutiarto Bangalino**

**NPM : 040504052X**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 26 Juni 2009**



**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh ;  
Nama : Mutiarto Bangalino  
NPM : 040504052X  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul skripsi : Pengaruh Penambahan Reduktor Sub-bituminous  
dan Briket Kokas Kadar 10%, 13%, 15%, 20%  
Terhadap Produk Reaksi Karbotermik Bijih  
Saprolit

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

**DEWAN PENGUJI**

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto ( )

Penguji 1 : Prof. Dr. Ing. Ir. Bambang Suharno ( )

Penguji 2 : Deni Ferdian ST. M.Sc ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Sri Harjanto, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini,
- (2) Orang tua, dan keluarga serta teman-teman pelayanan yang telah memberikan bantuan dukungan baik moral maupun materiil;
- (3) Reza M.U, Ahmad Zakiyuddin, Ilham Firmansyah, Khalid Mawardi, dan Irwan, serta teman – teman metalurgi dan material 2005.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu metalurgi dan material ke depan.

Depok, 26 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mutiarto Bangalino  
NPM : 040504052X  
Program studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif ( *Non-eksklusif Royalty Free Right* )** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Pengaruh Penambahan Reduktor Sub-bituminous dan Briket Kokas Kadar 10%, 13%, 15%, 20% Terhadap Produk Reaksi Karbotermik Bijih Saprolit**

Beserta perangkat yang ada jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 26 Juni 2009

Yang menyatakan

(Mutiarto Bangalino)

## ABSTRAK

Nama : Mutiarto Bangalino  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Penambahan Reduktan Sub-bituminous dan Briket Kokas Kadar 10%, 13%, 15%, 20% Terhadap Produk Reaksi Karbotermik Bijih Nikel Saprolit

Pengembangan penelitian proses pirometalurgi bijih nikel saprolit sangat dibutuhkan untuk meningkatkan nilai efisiensi dan keefektifan dalam *merecovery* unsur nikel. Penelitian ini akan membahas pengaruh penambahan reduktor sub-bituminous dan briket dengan kadar 10%, 13%, 15%, 20% pada temperatur 1250°C pada produk reaksi karbotermik yang ditahan selama 120 menit, yang dilakukan di dalam *carbolite furnace* yang selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan XRD untuk mengidentifikasi senyawa, SEM untuk mengamati struktur mikro dan XRF untuk melihat kadar unsur secara kuantitatif. Dari hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa pembentukan senyawa FeNi dan nilai *recovery* Ni yang maksimum terjadi pada penambahan reduktor sub-bituminous kadar 20%. Pada penambahan reduktor briket kokas pembentukan senyawa FeNi dan nilai *recovery* Ni yang maksimum terjadi pada penambahan kadar 15%, sedangkan pada penambahan reduktor grafit, pembentukan senyawa FeNi dan *recovery* Ni yang maksimum terjadi pada penambahan kadar 15%. Disamping itu penambahan reduktor sub-bituminous, briket kokas, dan grafit tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap bentuk morfologi produk reduksi.

Kata kunci: Reduksi, saprolit, sub-bituminous, briket kokas, karbotermik

## ABSTRACT

Name : Mutiarto Bangalino  
Major : Metallurgy and Material Engineering  
Tittle : Effect of 10%, 13%, 15%, 20% briquette cokes and sub-bituminous reductor addition on the carbothermic reaction product of saprolite nickel ore.

Research and development of pyrometallurgy is very important to increase the efficiency and effectivity of nickel recovery. This research investigate the effect of 10%, 13%, 15%, 20% briquette cokes and sub-bituminous reductor addition on the carbothermic reaction product of saprolite nickel ore on temperature 1250 °C which will be holding for 120 minutes, in the furnace. The samples was characterized by XRD, XRF, and SEM. The results show that Ni recovery and formation of FeNi maximum on 20% sub-bituminous reductor addition, on the briquette cokes reductor addition, Ni recovery and formation FeNi maximum on 15% briquette cokes addition. While on graphite reductor, Ni recovery and formation of FeNi maximum on 13% graphite reductor addition. Beside that briquette cokes, sub-bituminous and graphite reductor addition does not show significant difference on morphology shape of reduction products.

Keyword : Reduction, saprolite, sub-bituminous, briquette cokes, carbothermic

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b> .....	<b>ii</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Karakteristik Unsur Nikel.....	5
2.2 Proses Pengolahan Mineral Nikel.....	7
2.3 Reaksi Karbotermik.....	12
2.3.1 Aspek termodinamika.....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>18</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.2 Peralatan dan Bahan.....	19
3.3 Prosedur Penelitian.....	19
3.3.1 Persiapan Penelitian.....	19
3.3.2 Proses Reduksi.....	21

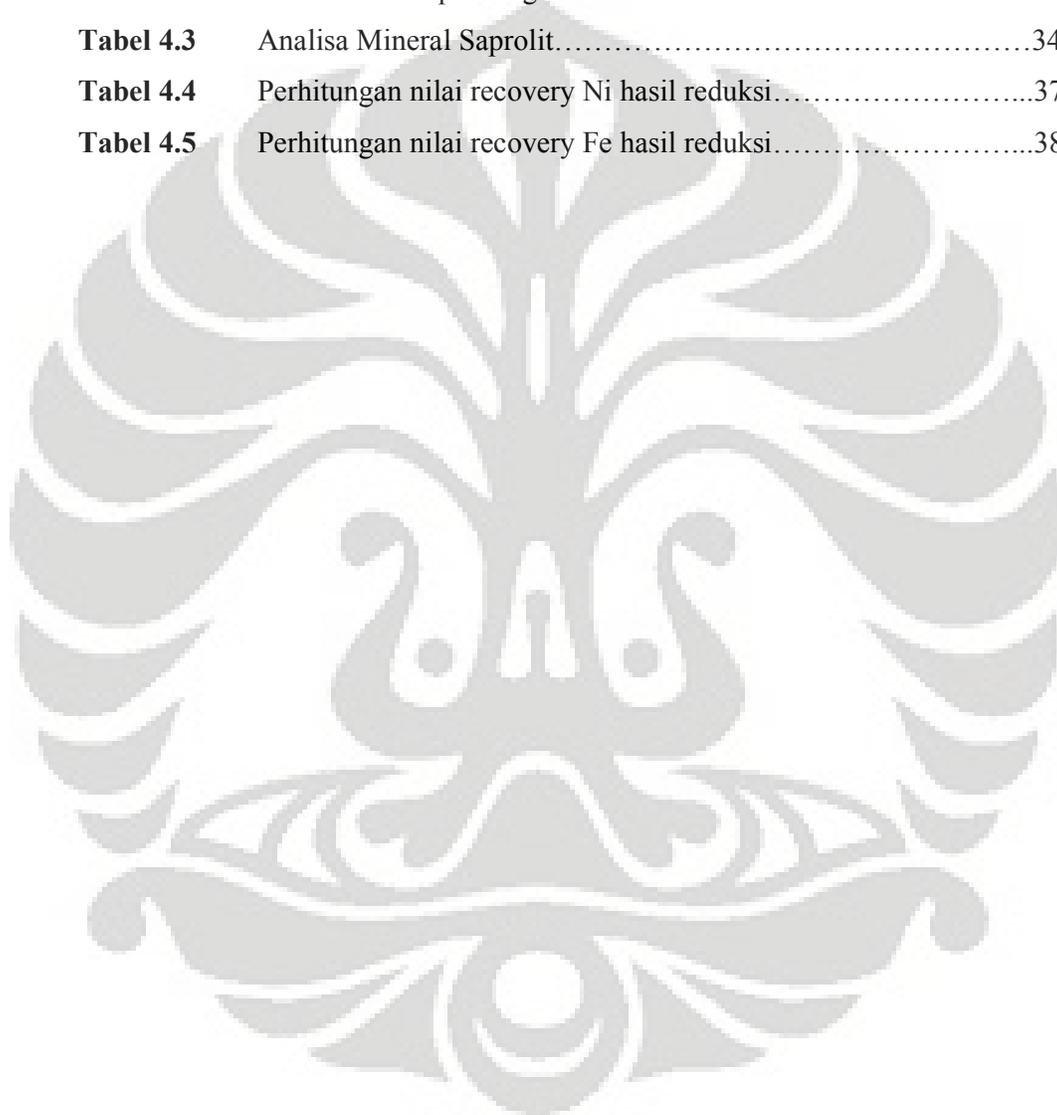
3.3.3 Proses Penggerusan.....	23
3.3.4 Proses Pemisahan secara magnetic.....	23
3.3.5 Identifikasi Senyawa dengan X-Ray Diffraction (XRD)....	23
3.3.6 Identifikasi Unsur dengan XRF ( <i>X-Ray Fluorescence</i> ).....	23
3.3.7 Analisa Struktur Mikro dengan SEM.....	25
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>26</b>
4.1. Data hasil sebelum, sesudah reduksi dan uji magnetik.....	27
4.2 Data Hasil Pengujian dengan XRD.....	27
4.3 Analisa Hasil pengujian XRD.....	31
4.4 Data Hasil Pengujian SEM.....	33
4.5 Analisa Hasil Pengujian SEM.....	36
4.6 Data Hasil Pengujian XRF.....	37
4.7 Analisa Hasil Pengujian XRF.....	39
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>42</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>43</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>44</b>

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Struktur mineral nikel dalam tanah.....	6
<b>Gambar 2.2</b> Proses Pengolahan nikel di PT.INCO.....	7
<b>Gambar 2.3</b> Diagram Ellingham.....	15
<b>Gambar 2.4</b> Kesetimbangan Boudouard .....	16
<b>Gambar 2.4</b> Diagram Fasa Fe-Ni.....	17
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	18
<b>Gambar 3.2</b> Sampel Hasil Kompaksi.....	21
<b>Gambar 3.3.</b> Grafik temperature dan waktu yang digunakan dalam proses reduksi.....	22
<b>Gambar 3.4</b> Hasil reduksi dengan reduktor Briket kokas.....	22
<b>Gambar 3.5</b> Hasil reduksi dengan reduktor sub-bituminous.....	22
<b>Gambar 3.6</b> Hasil reduksi dengan reduktor grafit.....	23
<b>Gambar 3.7</b> Mesin XRD.....	24
<b>Gambar 4.1</b> Grafik hasil XRD pada biji saprolit.....	27
<b>Gambar 4.2</b> Grafik hasil XRD dengan penambahan sub-bituminous .....	28
<b>Gambar 4.3</b> Grafik hasil XRD dengan penambahan briket.....	29
<b>Gambar 4.4</b> Grafik hasil XRD dengan penambahan Grafit.....	31
<b>Gambar 4.5</b> Foto mikro sample setelah direduksi dengan Sub-bituminous....	32
<b>Gambar 4.6</b> Foto mikro sample setelah direduksi dengan briket.....	33
<b>Gambar 4.7</b> Foto mikro sample setelah direduksi dengan grafit.....	34
<b>Gambar 4.8</b> Nilai Recovery Ni dan Fe pada bijih saprolit.....	39

**DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b>	Unsur-unsur kimia yang terdapat dalam bijih laterite.....5
<b>Tabel 4.1</b>	Data sample dengan reduktor sub-bituminous.....25
<b>Tabel 4.2</b>	Tabel data sampel dengan reduktor briket.....25
<b>Tabel 4.3</b>	Analisa Mineral Saprolit.....34
<b>Tabel 4.4</b>	Perhitungan nilai recovery Ni hasil reduksi.....37
<b>Tabel 4.5</b>	Perhitungan nilai recovery Fe hasil reduksi.....38





## BAB I PENDAHULUAN

### I.1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan logam nikel dibelahan dunia ini terus meningkat seiring dengan semakin majunya peradapan manusia. Kebutuhan logam nikel baik sebagai logam paduan maupun logam murni saat ini banyak diperlukan diiringi juga dengan harga yang terus meningkat. Logam nikel banyak digunakan mulai dari konstruksi, transportasi, komunikasi sampai keperalatan perang. Maka selayaknyalah Indonesia terus mengembangkan pengembangan proses pengolahan bijih nikel karena Indonesia memiliki cadangan bijih nikel yang berlimpah.

Di alam ada 2 jenis Nikel yang dapat dijumpai yaitu:

1. Nikel sulfida, ditemukan pada lapisan dalam bumi, sehingga penambangannya dilakukan secara underground mining. Nikel sulfida ini kaya akan sulfur dan mengandung nikel dengan kadar yang tinggi.
2. Nikel Oksida (laterit), yang dapat dibagi atas 2 jenis yaitu:
  - Limonit
  - Saprolit (kadar Ni lebih tinggi dibanding limonit)

Oleh karena itu dengan kekayaan Indonesia yang sangat besar akan mineral nikel, sangat diharapkan agar dapat terus memicu pengembangan teknologi dan ilmu pengetahuan dalam mengelolah mineral nikel. Adapun teknologi dan ilmu pengetahuan yang dikembangkan bertujuan agar proses yang terjadi dapat berjalan seoptimal mungkin dalam menghasilkan produk nikel di Indonesia .

Adapun proses pengolahan mineral nikel yang dapat dilakukan untuk menghasilkan nikel adalah melalui proses pirometalurgi dan hidrometalurgi. Dalam proses *pyrometallurgy*, sangat erat kaitannya dengan energi panas yang digunakan sehingga proses ini terjadi pada temperature yang tinggi, selain itu penambahan reduktor merupakan salah satu faktor yang memiliki peranan yang sangat penting untuk terjadinya suatu reaksi dalam proses *pyrometallurgy*.

Penggunaan teknologi yang ada di Indonesia untuk memproses bijih nikel saprolit menggunakan teknologi *rotary kiln* yang kemudian dilanjutkan dengan teknologi EAF (*Electric Arc Furnace*). Adapun kelemahan dari proses ini adalah

energi yang dibutuhkan sangat besar untuk jalannya suatu proses baik itu di *rotary kiln* maupun di EAF (*Electric Arc Furnace*), sehingga diharapkan melalui penelitian ini yang menggunakan proses reaksi reduksi karbotermik dapat menghemat penggunaan energi yang digunakan dalam mereduksi bijih nikel saprolit.

Selain itu salah satu hal yang melatarbelakangi penelitian ini adalah dengan melihat kondisi pertambangan nikel Indonesia yang sebagian besar menggunakan reduktor kokas yang masih di impor, yang sangat ironis dengan kekayaan kokas di Indonesia, menurut Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Alam Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan batubara terbesar di Asia dengan jumlah 5.3 milyar ton, oleh karena itu diharapkan melalui penelitian ini dapat mensubstitusi penggunaan kokas yang masih diimpor dengan kokas Indonesia.

Adapun reduktor yang digunakan adalah briket dan sub-bituminous dengan variabel kadar 10%, 13%, 15%, 20% pada temperatur 1250 °C. Dengan variabel ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh temperatur dan kadar karbon dalam reaksi karbotermik sehingga diharapkan dengan hasil ini dapat berkontribusi dalam pengembangan pengolahan mineral nikel di Indonesia secara optimal.

## **I.2. TUJUAN PENELITIAN**

1. Mengetahui pengaruh kadar karbon yang ditambahkan melalui sub-bituminous dan briket kokas terhadap pembentukan senyawa besi-nikel (FeNi) pada bijih saprolit.
2. Mengetahui pengaruh kadar karbon yang ditambahkan melalui sub-bituminous dan briket kokas terhadap pembentukan unsur nikel yang terbentuk pada bijih saprolit.
3. Membandingkan pengaruh penambahan kadar karbon antara reduktor grafit yang memiliki kemurnian kadar karbon yang sangat tinggi dengan reduktor sub-bituminous dan briket kokas.

## **I.3. RUANG LINGKUP PENELITIAN**

Adapun ruang lingkup penelitian ini akan difokuskan pada beberapa analisa yaitu:

1. Analisa pembentukan senyawa besi-nikel menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).
2. Analisa komposisi kimia unsur Ni menggunakan *X-Ray Fluoresence* (XRF).
3. Analisa struktur mikro dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

### **I.3.1. Material**

Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Bijih Saprolit
2. Reduktor karbon sub-bituminous
3. Reduktor karbon briket kokas.
4. Reduktor karbon grafit (efektifitas karbon 99%).

### **I.3.2. Parameter Penelitian**

1. Penambahan unsur karbon yang ditambahkan melalui sub-bituminous dan briket kokas dengan variabel kadar yang digunakan adalah 10%, 13%, 15%, 20%.
2. Penambahan unsur karbon yang ditambahkan melalui grafit dengan variabel kadar yang digunakan adalah 5%,10%, 13%, 15%, 20%.
3. Karakterisasi sampel saprolit dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluoresence* (XRF).

## **1.4. SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan disusun sedemikian rupa sehingga konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut dapat diuraikan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu sama lain, diantaranya ialah:

- BAB I           PENDAHULUAN**  
Berisi tentang penelitian secara umum, yang meliputi latar belakang , tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.
- BAB II           DASAR TEORI**  
Berisi tentang teori-teori pendukung.
- BAB III          METODOLOGI PENELITIAN**  
Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat, bahan, prosedur penelitian, dan pengujian benda uji.
- BAB IV          ANALISA DAN PEMBAHASAN**  
Membahas mengenai analisa dari hasil pengujian dan membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian lain sebelumnya.
- BAB V          KESIMPULAN**  
Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. KARAKTERISTIK UNSUR NIKEL

Nikel adalah unsur logam yang terdapat dalam bentuk mineral bersama unsur-unsur lain. Sering ditemukan di alam bersama dengan unsur besi dan kobalt karena berada dalam satu golongan dan satu periode dalam susunan periodik unsur kimia, yaitu golongan VIII b dan periode ke 4.

Adapun spesifikasi logam nikel adalah sebagai berikut <sup>[2]</sup>:

Nama	: Nikel
Rumus atom	: Ni
Specific gravity	: 8.9 pada 20 °C
Melting point	: 1452 °C
Bentuk	: Padatan metal
Warna	: silver, metalik

Logam nikel memiliki Sifat fisik sebagai berikut:

- Merupakan logam keras dan berkilauan
- Dapat dibentuk (*Malleable*)
- Dapat ditarik menjadi kawat (*ductilable*)
- Mempunyai kekuatan tarik yang tinggi(*tensile strength*)
- Bersifat anti karat (*Rust proof*)

Di alam ada 2 jenis nikel yang dapat dijumpai yaitu:

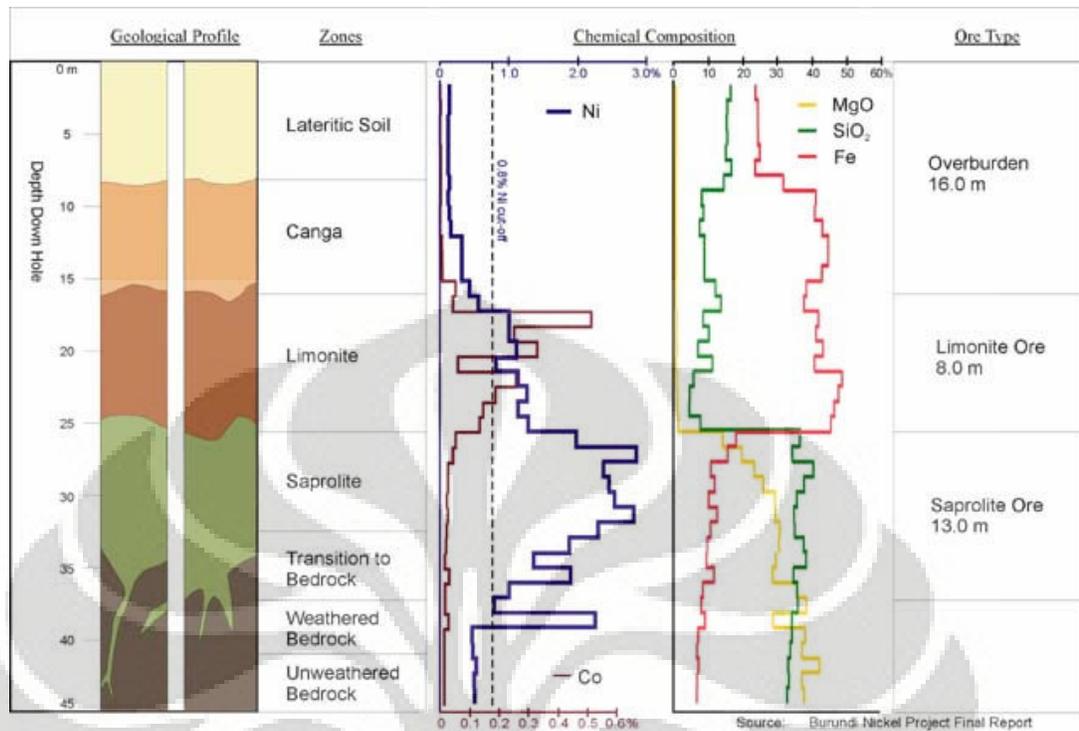
1. Nikel sulfida, ditemukan pada lapisan dalam bumi, sehingga penambangannya dilakukan secara *underground mining*. Nikel sulfida ini kaya akan sulfur dan mengandung nikel dengan kadar yang tinggi.
2. Nikel Oksida (laterit), yang dapat dibagi atas 2 jenis yaitu:
  - Limonit

- Saprolit (kadar Ni lebih tinggi dibanding limonit)

Laterit terbentuk dari pelapukan batuan di permukaan bumi, sehingga penambangannya dilakukan secara terbuka, yaitu *open pit* dan *open cast mining*. Laterit mengandung Nikel Monooksida (*bunsenite*) yang berwarna kehijauan dan memiliki struktur kristal kubus. Nikel monooksida ini pada suhu 400 °C akan berubah menjadi nikel oksida yang lain  $Ni_2O_3$ . Logam nikel murni tidak ditemukan di alam, tetapi dihasilkan dari berbagai proses pemisahan yang cukup rumit dalam industri.

**Tabel 2.1.** Unsur-unsur kimia yang terdapat dalam bijih laterite <sup>[2]</sup>

Sampel	Ni (wt%)	Co(wt%)	Fe (wt%)	Mn (wt%)	Mg (wt%)	SiO <sub>2</sub> (wt%)
Limonite	1.49	0.2	39.8	0.98	2.8	9.4
Weathered saprolite	2.25	0.035	8.1	0.13	15.8	34.9
Fresh saprolite	1.93	0.02	6.5	0.1	20.6	42.7



**Gambar 2.1:** struktur mineral nikel dalam tanah [2]

Adapun aplikasi nikel dapat dijumpai pada:

- Paduan nikel, yaitu logam campuran nikel untuk mendapatkan sifat tertentu misalnya *stainless steel*
- Katalisator, yaitu bahan yang membantu mempercepat terjadinya reaksi kimia, misalnya dalam pemurnian minyak.
- *Electric heating unit* (unit pemanas listrik)
- *Ni plating*, yaitu pelapisan nikel pada permukaan logam lain misalnya besi
- *Accumulator* (baterai/aki)
- Coin (mata uang logam)
- *Construction Material* (bahan Konstruksi)



- Banyak produk yang hilang jadi debu
- akan menimbulkan polusi debu

## 2. Proses reduksi dan sulfidisasi

Bijih yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam *kiln* reduksi bersama-sama dengan batubara untuk direduksi.

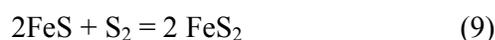
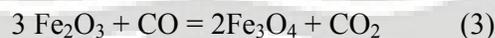
Tahapan yang terjadi dalam di dalam kiln reduksi adalah:

- Sepertiga bagian pertama dari akhir umpan adalah daerah pengeringan dan preheating. Pada bagian pertama ini temperatur gas dari 200 °C sampai 350 °C, disini sisa-sisa air yang masih ada diuapkan.
- Sepertiga di bagian tengah merupakan daerah terjadinya proses *calcinasi* yang merupakan proses penghilangan air kristal yang ada dalam bijih.
- Sepertiga bagian akhir merupakan daerah terjadinya proses reduksi dan sulfidisasi, temperatur gas mencapai 900 °C sampai 950 °C.

## 3. Proses Peleburan (*smelting*)

Berbeda dengan proses di *kiln*, pada proses peleburan ini temperature yang digunakan adalah 1500 °C.

Reaksi yang terjadi:



Reaksi lainnya yang terjadi adalah reaksi pembentukan *slag*. Besi yang telah direduksi mencapai tingkat oksidasi yang terendah diikat oleh silica

membentuk slag fayalite yang viskositasnya lebih rendah daripada *slag* silica. *Slag* fayalite memiliki sifat yang stabil.

Reaksi pembentukan *slag*:



Dengan adanya FeO dan MgO, maka struktur *tetrahedral silica* akan terurai menjadi spesies-spesiesnya, seperti ;  $\text{Si}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Si}_3\text{O}_9$  dan sebagainya. Viskositas merupakan fungsi dari temperatur, makin tinggi temperatur, viskositas akan semakin kecil.

$$V = V_0 \exp \Delta E / RT \quad (I)$$

Dimana:

V : Viskositas pada temperature T

$V_0$ : Viskositas keadaan standard

$\Delta E$  : Energi aktivasi

R : Konstanta

T : Temperatur

Konduktivitas dari slag juga seperti persamaan di atas:

$$\sigma = \sigma_0 \exp - (\Delta E / RT) \quad (II)$$

Oleh karena itu temperature slag harus tetap dipertahankan 1530 °C. Temperatur yang tinggi berarti slag mudah dikeluarkan karena viskositasnya rendah dan konduktivitasnya tinggi sehingga kondisi nikel di bawahnya pun tetap dalam kondisi panas yang tinggi .

Penambahan batubara juga harus dijaga dan dicari optimasinya. Jangan sampai terlalu banyak besi yang tereduksi atau belum tereduksi sehingga terikat oleh *slag*. Jika terlalu banyak besi yang tereduksi berarti nikel yang dihasilkan banyak mengandung besi. Sebaliknya jika besi yang direduksi kurang, maka banyak besi yang terikat oleh *slag*, Hal ini membuat *slag* menjadi lebih besar densitasnya sehingga menyulitkan waktu pemisahan slag.

#### 4. Proses Pemurnian

Prinsip reaksi yang terjadi didalam *converter* adalah reaksi oksidasi selektif. Hasil bijih yang diperoleh dari proses peleburan dengan unsur utama nikel dan besi dioksidasi dengan oksigen yang ditiupkan melalui lubang-lubang *tuyure*. Karena nikel lebih stabil dari besi, maka yang pertama kali teroksidasi adalah besinya menjadi wustite dan gas sulfur dioksida. Wustit ini kemudian diikat oleh pasir silica yang ditambahkan sebagai flux menjadi *slag fayalite*.

Reaksinya adalah sebagai berikut:



Penambahan silica flux harus dijaga sekitar 22-24%. Jika kelebihan akan membuat *slag* menjadi sangat viskos/kental sehingga akan banyak nikel yang hilang sewaktu proses pemisahan slag. Sedangkan jika kurang, maka temperatur di dalam *converter* akan naik atau menjadi tinggi sehingga umur pakai dari brick menjadi lebih pendek. Naiknya temperatur ini disebabkan oleh karena reaksi ini bersifat *eksotermal* (menghasilkan panas).

Setelah besi hampir semua mengalami oksidasi, reaksi selanjutnya adalah reaksi pengoksidasian pada nikel.

## 5. Proses *Granulasi, Drying, Packaging, dan Shipping*

Larutan bijih nikel yang dihasilkan dari proses *converter* selanjutnya di atomisasi dengan cara logam cair dituangkan melalui tundish dan dari bagian sampingnya disemprotkan air dengan kecepatan tertentu sehingga menjadi butir-butir *matte* yang halus dan jatuh ke dalam kolam penampungan.

Kemudian butiran nikel yang dihasilkan di transfer ke *hopper* untuk dikeringkan di dalam *dryer* yang pembakarannya memakai minyak diesel.

Kemudian hasil produk nikel yang berbentuk granul-granul yang dihasilkan dari proses pengeringan di *packaging* untuk siap dipasarkan.

### 2.2.1. Pengolahan biji laterit menjadi logam Nikel

Adapun contoh pengolahan biji laterit menjadi logam Nikel dapat dilakukan dengan beberapa proses di bawah ini :

#### 2.2.1.a. Vapormetallurgy

Proses ini menggunakan gas CO yang dikontakkan dengan nikel aktif pada tekanan atmosfer dengan suhu 40 °C -50 °C, sehingga terbentuk nikel tetrakarbonil  $\text{Ni}(\text{CO})_4$  yang akan terurai lagi menjadi nikel dan gas CO pada suhu 300-600 °C. Senyawa nikel *tetra karbonil* lainnya sehingga sehingga senyawa ini akan terpisah dari senyawa logam karbonil lainnya.

#### 2.2.1.b. Hydrometallurgy

Proses ini menggunakan proses ekstraksi logam dengan larutan kimia. Larutan kimia yang sering digunakan adalah  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  untuk ekstraksi pada suhu dan tekanan tinggi. Proses ini dikenal dengan nama *leaching*.

#### 2.2.1.c. Pyrometallurgy

Proses ini dilakukan berdasarkan perbedaan sifat unsur-unsur penyusun bijih secara termodinamika, dimana terdapat proses pengeringan, reduksi, dan peleburan bijih yang membutuhkan energi panas yang sangat tinggi.

Reaksi reduksi karbotermik:

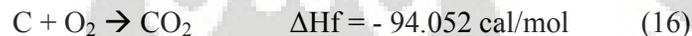
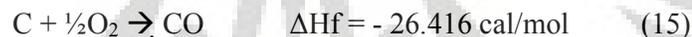


## 2.3. REAKSI KARBOTERMIK

### 2.3.1. Aspek termodinamika

Reduksi karbotermik merupakan reduksi bijih menggunakan media gas oksidatif berbasis karbon (C-CO-CO<sub>2</sub>). Proses ini terjadi pada reduksi bijih besi, baik pada tanur tinggi atau *blast furnace*, reduksi langsung, maupun pada reduksi kalsinasi pada pengolahan bijih nikel. Sumber gas CO yang digunakan adalah kokas (*cooking coal*), briket *anthrasite (coal briquette)*, serbuk batu bara (*pulverized coal*), arang kelapa (*coconut charcoal*), bahkan potongan kayu (*wood chips*). Gas alam dan minyak bumi (hidrokarbon) dapat menjadi sumber gas CO, namun juga memproduksi gas hidrogen yang memiliki kecepatan mereduksi bijih yang lebih baik dari gas CO. Reaksi yang terjadi melibatkan oksidasi karbon menjadi gas CO yang menjadi gas reduktor pada proses reduksi karbotermik.

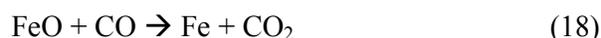
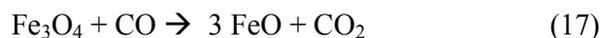
Ketika suatu unsur bereaksi dengan unsur lain membentuk suatu senyawa, energi panas yang digunakan pada reaksi tersebut disebut sebagai energi panas pembentukan (entalpi pembentukan) yang diberi lambang  $\Delta H_f$ . Contoh entalpi pembentukan adalah sebagai berikut :



Tanda negatif (-) mengindikasikan jumlah panas yang dibutuhkan.

Ketika suatu senyawa bereaksi dengan senyawa lain membentuk suatu senyawa baru maka  $\Delta H_f$  berubah menjadi  $\Delta H$  penguraian, oleh karena itu besar  $\Delta H_f$  harus dibalik. Apabila  $\Delta H$  reaksi bernilai positif maka reaksi merupakan reaksi *endotermik* (menyerap panas). Apabila  $\Delta H$  bernilai negatif maka reaksi merupakan reaksi *eksotermik* (melepaskan panas).

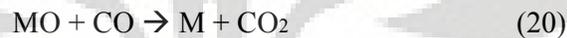
Pada saat proses reduksi, akan terjadi reduksi bijih besi dan nikel melalui reaksi sebagai berikut :



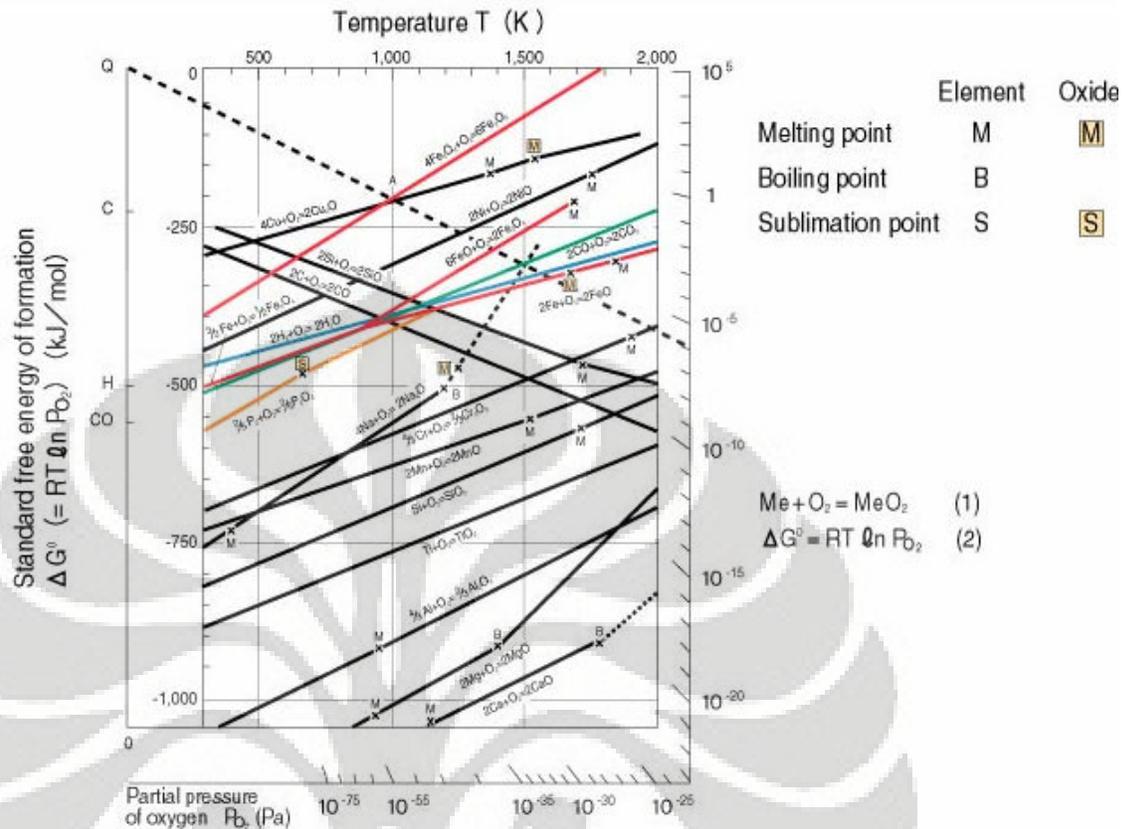


Kualitas karbon berpengaruh terhadap jalannya reaksi reduksi bijih. Pada kadar karbon rendah (misal pada penggunaan arang kayu/*wood charcoal*) maka urutan reaksi reduksi bijih besi mengikuti urutan  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ , sedangkan pada kadar karbon tinggi, urutan reaksi yang terjadi adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$ . Dalam hal ini dapat terjadi suatu kesetimbangan reaksi dimana FeO yang terbentuk langsung direduksi menjadi Fe.

Secara termodinamika, proses reduksi karbotermik mengikuti kaidah reaksi-reaksi pembentukan oksida material yang berhubungan dengan kekuatan ikatan kimia atau afinitas terhadap oksigen. Misalnya pada reaksi reduksi :



Reaksi akan berlangsung ke arah pembentukan logam, dalam hal ini reaksi reduksi, bila afinitas oksigen terhadap karbon lebih tinggi dibandingkan afinitas oksigen terhadap logam M. Kekuatan ikatan kimia ini dikuantifikasi pada energi bebas Gibbs, dimana selisih energi bebas Gibbs pembentukan oksida-oksida yang bersangkutan menyatakan feasibilitas suatu reaksi. Bila selisih energi bebas Gibbs ( $\Delta G_o$ ) pembentukan standar oksida dua material bernilai negatif, maka reaksi dapat terjadi. Hubungan ini dapat dilihat dari *diagram Ellingham*, yaitu suatu diagram yang menggambarkan nilai-nilai energi Gibbs pembentukan oksida pada berbagai temperatur dan kondisi isobarik. Perpotongan kurva menyatakan kondisi kesetimbangan minimum sebagai titik awal terjadinya reaksi. Setelah melewati titik tersebut, kurva yang berada di atas (lebih positif) akan mengalami reaksi reduksi.



Gambar 2.3. Diagram Ellingham [15]

Dari Gambar 2.3. terdapat kemungkinan reaksi reduksi FeO oleh karbon monoksida pada temperatur minimal sekitar 700 °C dengan reaksi:

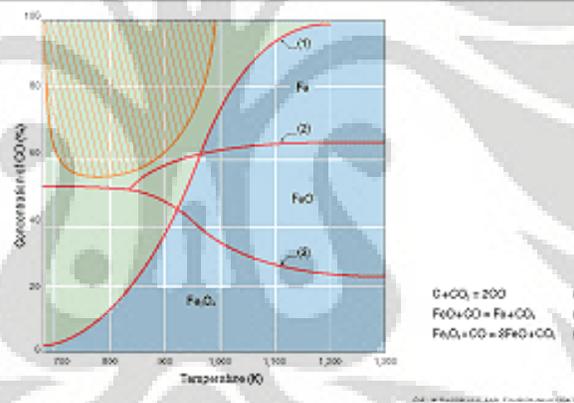


Hal yang sama terjadi pada NiO, dimana reduksi oleh karbon terjadi pada temperatur minimal sekitar 500 °C dengan reaksi:



Karbon akan mengalami reaksi oksidasi dengan karbondioksida, uap air, maupun oksigen dengan reaksi yang telah dijelaskan sebelumnya. Reaksi pembentukan CO yang dominan adalah reaksi antara karbondioksida dan karbon dalam campuran. Reaksi ini bersifat autokatalis, yaitu karbondioksida yang terbentuk dari reaksi reduksi bijih akan menjadi reaktan yang mempromosi pembentukan karbonmonoksida selanjutnya.

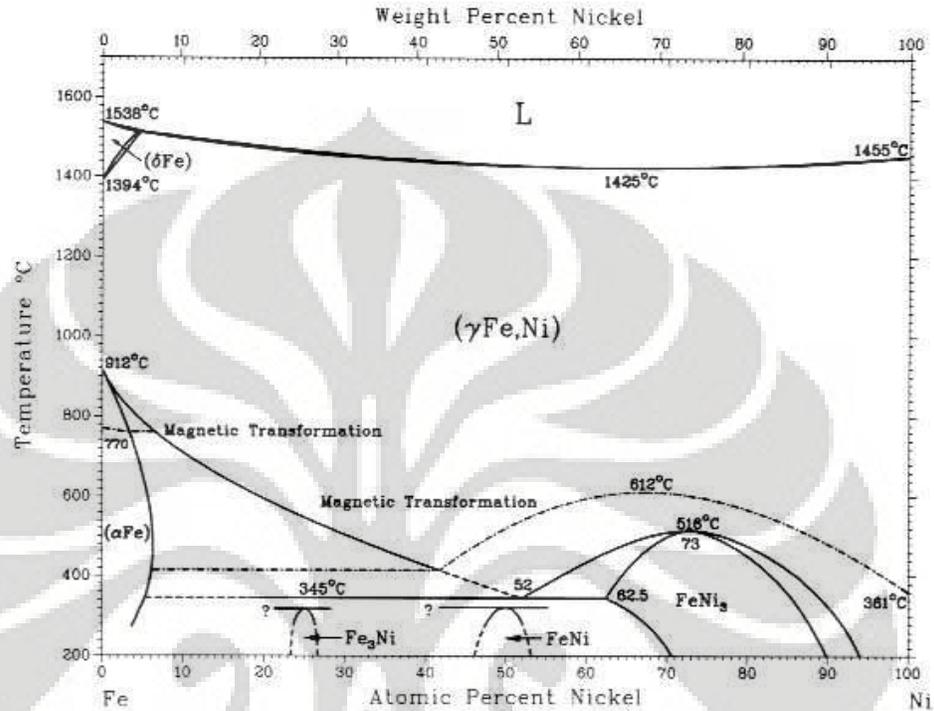
Teori tentang pengaruh kadar karbon dapat dilihat pada grafik *boudouard*. Pada grafik tersebut ditunjukkan pengaruh kadar karbon terhadap pembentukan senyawa-senyawa iron. Dari grafik tersebut kita dapat mengetahui pada kadar CO dan temperature berapa akan terbentuk senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FeO}$ , dan  $\text{Fe}$ . Tentunya dalam penelitian ini kita akan melihat pengaruh kedua faktor tersebut terhadap pembentukan  $\text{Fe}$ . Pada grafik tersebut juga terlihat pengaruh dari tekanan atau atmosfer sekitar terhadap laju reaksi ini.



**Gambar 2.4.** Kestimbangan Boudouard <sup>[11]</sup>

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada keadaan standard, Fe baru terbentuk dengan kadar CO sekitar 60%. Persentase CO disini dipengaruhi oleh kadar karbon pada sampel dan kadar oksigen pada lingkungan. Jika dilihat pada kondisi percobaan, hasil yang didapat sesuai dengan literature dimana intensitas Fe lebih tinggi pada sampel dengan kadar karbon 50% dari pada 30%. Hal ini dikarenakan dengan banyaknya karbon, berarti semakin banyak pula gas CO yang terbentuk.

Dalam mereduksi bijih nikel saprolit terjadi perubahan-perubahan fasa, diantaranya adalah unsur Fe dan Ni, adapun hasil perubahan fasa yang terjadi dapat dilihat pada gambar diagram fasa di bawah ini:

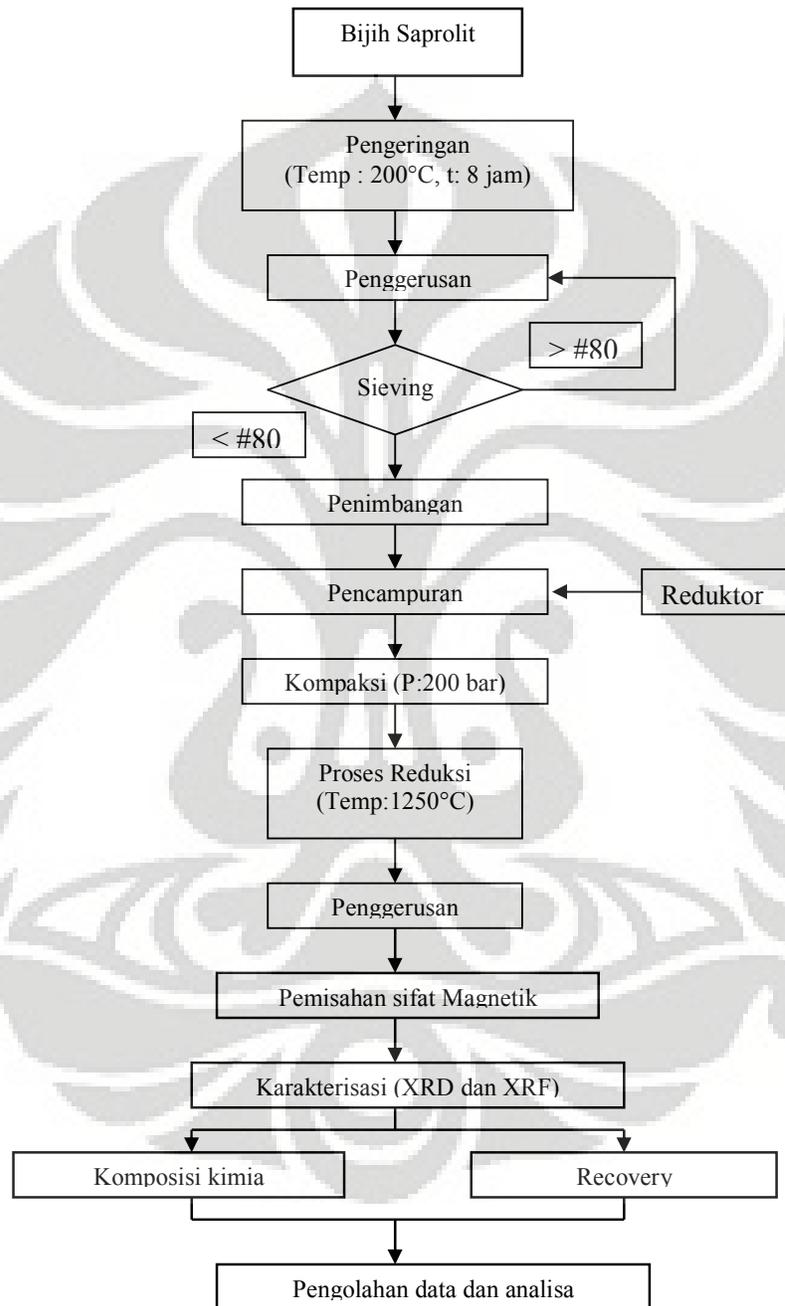


**Gambar 2.5.** Diagram Fasa Fe-Ni <sup>[15]</sup>

Dari Diagram Fasa FeNi, menunjukkan bahwa pada fasa austenite ( $\gamma$ ) Fe,Ni merupakan fasa yang telah mengalami transformasi magnetik dalam hal ini hasil reduksi yang dihasilkan akan bersifat magnetik, hal ini juga dapat menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut terbentuk senyawa FeNi yang bersifat magnetik.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### III.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN



**Gambar 3.1.** Diagram Alir Penelitian

## III.2. PERALATAN DAN BAHAN

### III.2.1. Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah:

1. *Oven*
2. Alat penggerus dan tumbukan
3. Mesin ayakan dan *pan mesh #80*
4. Timbangan digital
5. Mesin kompaksi dan *dies*
6. *Carbolite furnace*
7. Magnet
8. XRD (*X-Ray Diffraction*) dan XRF (*X-Ray fluorescence*)
9. SEM (*Scanning Electron Microscope*).

### III.2.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan selama proses penelitian ini adalah:

1. Bijih saprolit
2. Grafit
3. Sub-bituminous
4. Briket kokas
5. *Spray cleaner (WD-40)*

## III.3. PROSEDUR PENELITIAN

### III.3.1 Persiapan Penelitian

#### a. Proses Pemanasan

Mineral Saprolit yang didatangkan dari Sulawesi berupa gumpalan tanah yang masih memiliki kadar air yang cukup tinggi, sehingga perlu dilakukan proses pemanasan di dalam oven untuk menghilangkan kadar air yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kadar mineral nikel yang diinginkan dan mempermudah proses pereduksian ukuran. Adapun temperatur pemanasan dilakukan adalah pada temperatur 200 °C selama ± 8 jam.

**b. Proses Reduksi Ukuran**

- Mineral saprolit

Setelah dilakukan proses pemanasan, maka mineral saprolit yang sudah kering dilanjutkan ke proses pereduksian ukuran dengan menggunakan alat tumbukan.

- Reduktor

Sama halnya dengan mineral saprolit, bahan pereduktor (sub-bituminous dan briket kokas) juga mengalami proses pereduksian ukuran dengan menggunakan alat tumbukan. Dalam hal ini reduktor sebelum mengalami proses reduksi ukuran tidak mengalami proses pemanasan oleh karena sudah dalam kondisi yang kering.

**c. Sieving**

Adapun ukuran partikel mineral saprolit ataupun reduktor yang akan digunakan adalah  $\leq \#80$  oleh karena itu untuk mendapatkan ukuran tersebut perlu dilakukan proses *sieving* atau pengayakan.

**d. Perhitungan persentase kadar**

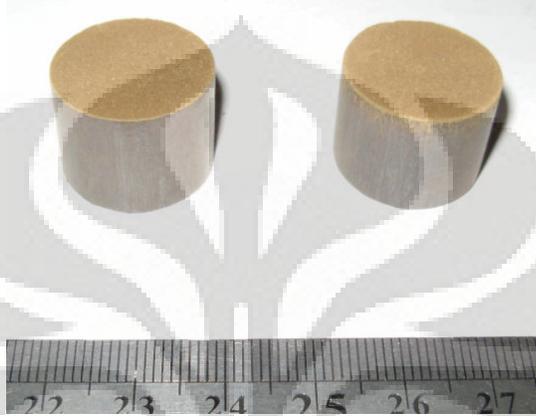
Setelah dihasilkan ukuran partikel yang  $\geq \#80$  maka dilakukan perhitungan dan penimbangan berat untuk variabel kadar tiap sample yang diinginkan. Adapun persentase komposisi kadar reduktor yang akan digunakan adalah 10%, 13%, 15%, 20%, dalam hal ini total berat tiap sampel yang dihasilkan adalah 10 gram. Adapun alat yang digunakan dalam menimbang sampel adalah dengan menggunakan timbangan digital dengan dua digit di belakang koma.

**e. Pencampuran**

Hasil penimbangan setiap variabel yang telah dihasilkan dicampur ke dalam sebuah wadah plastik, dalam hal ini diusahakan agar terjadi pencampuran secara merata atau *homogen*.

#### f. Kompaksi

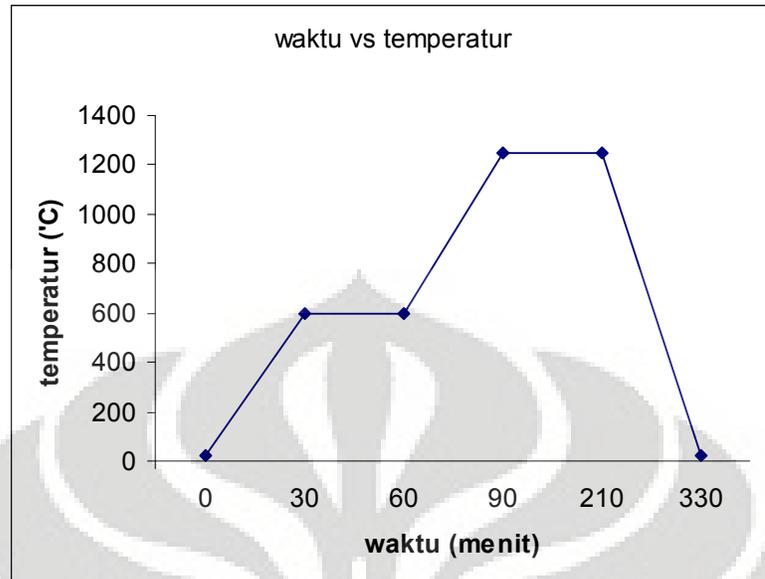
Setelah sample tercampur secara merata maka dilakukan proses kompaksi menggunakan mesin kompaksi, dengan tekanan 200 bar. Adapun tujuan dari proses ini adalah agar dihasilkan bentuk bakalan yang sering disebut briket sehingga tidak mudah tertiuip oleh angin.



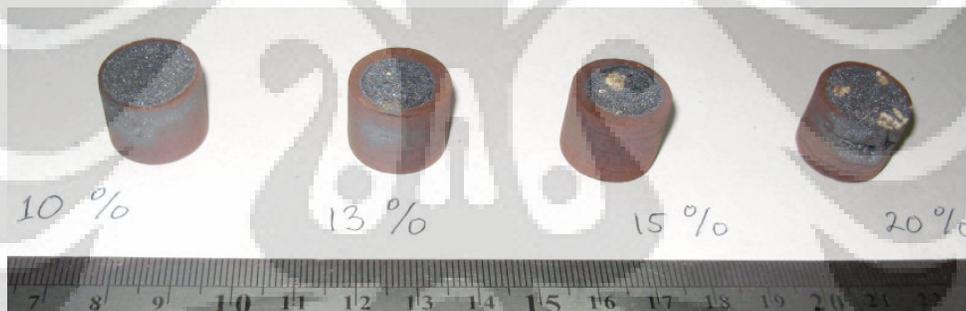
**Gambar3.2:** Sampel Hasil Kompaksi

#### III.3.2. Proses Reduksi

Sampel yang telah berbentuk briket direduksi melalui proses karbotermik di dalam *carbolite furnace*. Adapun temperatur yang digunakan untuk pre-heat adalah 600 °C yang ditahan selama 30 menit, waktu yang digunakan untuk mencapai temperature 600°C adalah 30 menit sehingga kecepatan pemanasannya sekitar 19,17 °C/menit. Adanya temperatur *pre-heat* ini bertujuan untuk menghilangkan kristal air yang terdapat di dalam sampel yang belum hilang pada saat proses pemanasan. Kemudian dilanjutkan ke temperature 1250°C yang ditahan selama 120 menit, adapun waktu yang digunakan dalam menaikkan temperatur dari 600°C menjadi 1250°C adalah 30 menit, sehingga kecepatan pemanasannya adalah 21,67 °C/menit. Setelah mengalami waktu tahan selama 2 jam pada temperatur 1250°C sampel didinginkan di dalam dapur.



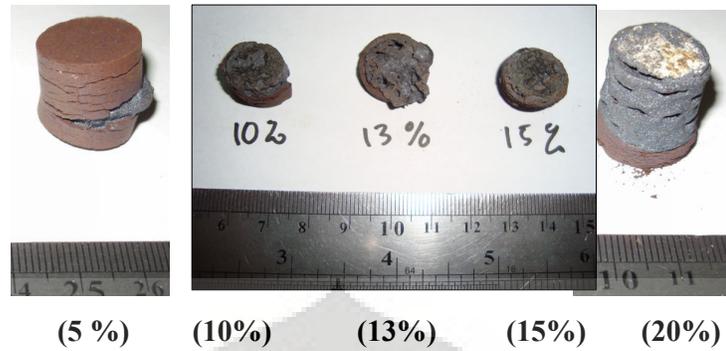
**Gambar 3.3.** Grafik temperature dan waktu yang digunakan dalam proses reduksi  
Setelah melakukan proses reduksi pada sampel pada temperature 1250 °C  
maka didapatkan hasil reduksi yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 3.4.** Hasil reduksi dengan reduktor Briket kokas



**Gambar 3.5.** Hasil reduksi dengan reduktor sub-bituminous



**Gambar 3.6.** Hasil reduksi dengan reduktor grafit

### III.3.3. Proses Penggerusan

Setelah melalui proses reduksi, sampel yang dihasilkan di gerus menjadi serpihan kecil dengan menggunakan *tool steel*. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pemisahan sifat magnet dan non magnet.

### III.3.4. Proses Pemisahan secara magnetic

Serpihan-serpihan kecil hasil penggerusan pasti mengandung serpihan yang bersifat magnet dan non magnet, sehingga untuk memisahkannya dilakukan proses separasi magnetik. Adapun cara dilakukan adalah dengan menyebar secara merata dan tipis setiap serpihan-serpihan di atas kertas, kemudian magnet yang telah dibungkus dengan plastik dan di alas dengan penggaris yang terbuat dari *stainless steel* didekatkan kepada serpihan-serpihan sampel. Kemudian serpihan yang tertarik magnet diletakkan ke dalam wadah yang berbeda. Serpihan yang tertarik magnet merupakan produk akhir dari *metallic ferronickel*, sedangkan yang tidak tertarik magnet merupakan *non magnetic wustite*.

### III.3.5. Identifikasi Senyawa dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Senyawa atau fasa yang terdapat pada sample dapat diidentifikasi secara kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan peralatan *X-Ray Diffraction*. Adapun prinsip kerja dari *X-Ray Diffraction* adalah dengan menembakkan sinar-X dengan panjang gelombang tertentu dari berbagai arah sudut penembakan kepada sample,

kemudian dipantulkan dan ditangkap oleh detector dan selanjutnya dikonversi menjadi data *output* berupa grafik  $2\Theta$  versus intensitas.

Setiap fasa memiliki  $2\Theta$  yang berbeda-beda, oleh karena itu dalam melihat fasa yang terbentuk dapat dilakukan dengan melihat  $2\Theta$  hasil nilai pengujian XRD yang dihasilkan. Bila terdapat minimal dua puncak yang sesuai, maka fasa tersebut dapat dikatakan bahwa fasa tersebut berada dalam sampel yang diuji.



**Gambar 3.7.** Mesin XRD

### III.3.6. Identifikasi Unsur dengan XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Unsur-unsur yang terdapat di dalam sample dapat diketahui dengan melakukan pengujian karakterisasi material XRF.

Hasil pengujian XRF akan menunjukkan unsur-unsur yang terdapat dalam sample, yang kemudian di amati dan diolah untuk mendapatkan nilai *recovery*. Adapun perhitungan nilai *recovery* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$R = \frac{C \times c}{F \times f} \times 100\%$$

Keterangan; R = recovery (%)

C = massa konsentrat hasil uji magnetik (gram)

c = nilai persentase unsur pada konsentrat (%)

F = massa awal umpan sebelum direduksi (gram)

f = nilai persentase awal unsur pada umpan yang diuji (%)

Nilai C merupakan jumlah berat konsentrat yang telah dilakukan proses karbotermik dan telah dilakukan separasi magnetik. Nilai c merupakan nilai persentase unsure hasil XRF setelah sampel dilakukan proses reduksi dan separasi magnetik. Nilai F merupakan jumlah berat sampel sebelum dilakukan proses karbotermik, sedangkan nilai f merupakan nilai persentase unsure pada bijih saprolit.

### III.3.7. Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan *back scattered* (QBSD), dengan alat ini dapat diamati unsur logam yang terdapat dalam sampel, adapun hasil pengujian ini akan menunjukkan dua warna yaitu warna terang dan warna gelap. Warna terang menunjukkan unsur logam yang terdapat di dalam sample dan warna gelap menunjukkan unsur non-logam.

**BAB IV**  
**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**4.1. DATA HASIL SEBELUM, SESUDAH REDUKSI DAN UJI MAGNETIK**

**Tabel 4.1.** Tabel data sample dengan reduktor sub-bituminous

Sampel	Berat sebelum reduksi (gr)	Berat setelah reduksi (gr)	Perubahan berat (gr)	Magnetik (gr)
10 % S.B				
I	10,04	8,02	2,02	7,71
II	10,01	8,00	2,01	7,67
13% SB				
I	10,02	7,86	2,16	6,29
II	10,02	7,83	2,19	6,09
15 % S.B				
I	10,05	7,73	2,32	5,57
II	10,03	7,72	2,31	5,67
20 % S.B				
I	10,02	7,34	2,68	6,19
II	10,1	7,37	2,64	6,16

**Tabel 4.2.** Tabel data sampel dengan reduktor briket

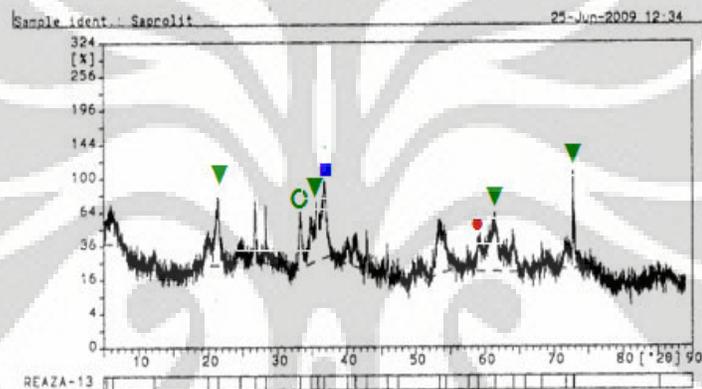
Sampel	Berat sebelum reduksi (gr)	Berat setelah reduksi (gr)	Perubahan berat (gr)	Magnetik (gr)
10 % B.K				
I	10,00	7,58	2,42	6,09
II	10,03	7,62	2,41	5,71
13% B.K				
I	10,1	7,53	2,48	6,49
II	10,09	7,50	2,49	6,26
15 % B.K				
I	10,1	7,39	2,62	6,68
II	10,1	7,38	2,63	6,41
20 % B.K				
I	10,03	6,96	3,07	6,33
II	10,06	7,01	3,05	6,03

Berat sebelum reduksi merupakan berat sampel setelah dikompaksi dengan mesin *pressing* dengan tekanan 200 bar, dan belum dilakukan proses reaksi karbotermik. Sedangkan berat setelah reduksi merupakan berat sampel setelah dikeluarkan dari *carbolite furnace*. Magnetik merupakan kolom data berat sampel

yang dapat ditarik oleh magnet setelah direduksi dalam ukuran yang kecil. Dari hasil data yang diperoleh menunjukkan bahwa terjadi perubahan berat yang semakin kecil pada hasil produk reduksi dengan penambahan reduktor sub-bituminous dan briket kokas. Selain itu berat hasil pengujian magnetik yang diperoleh menunjukkan bahwa tidak semua hasil produk reduksi memiliki sifat magnetik yang kuat.

#### 4.2. DATA REDUKSI KARBOTERMIK DENGAN XRD

Pengamatan hasil pengujian yang diperoleh dengan menggunakan XRD dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

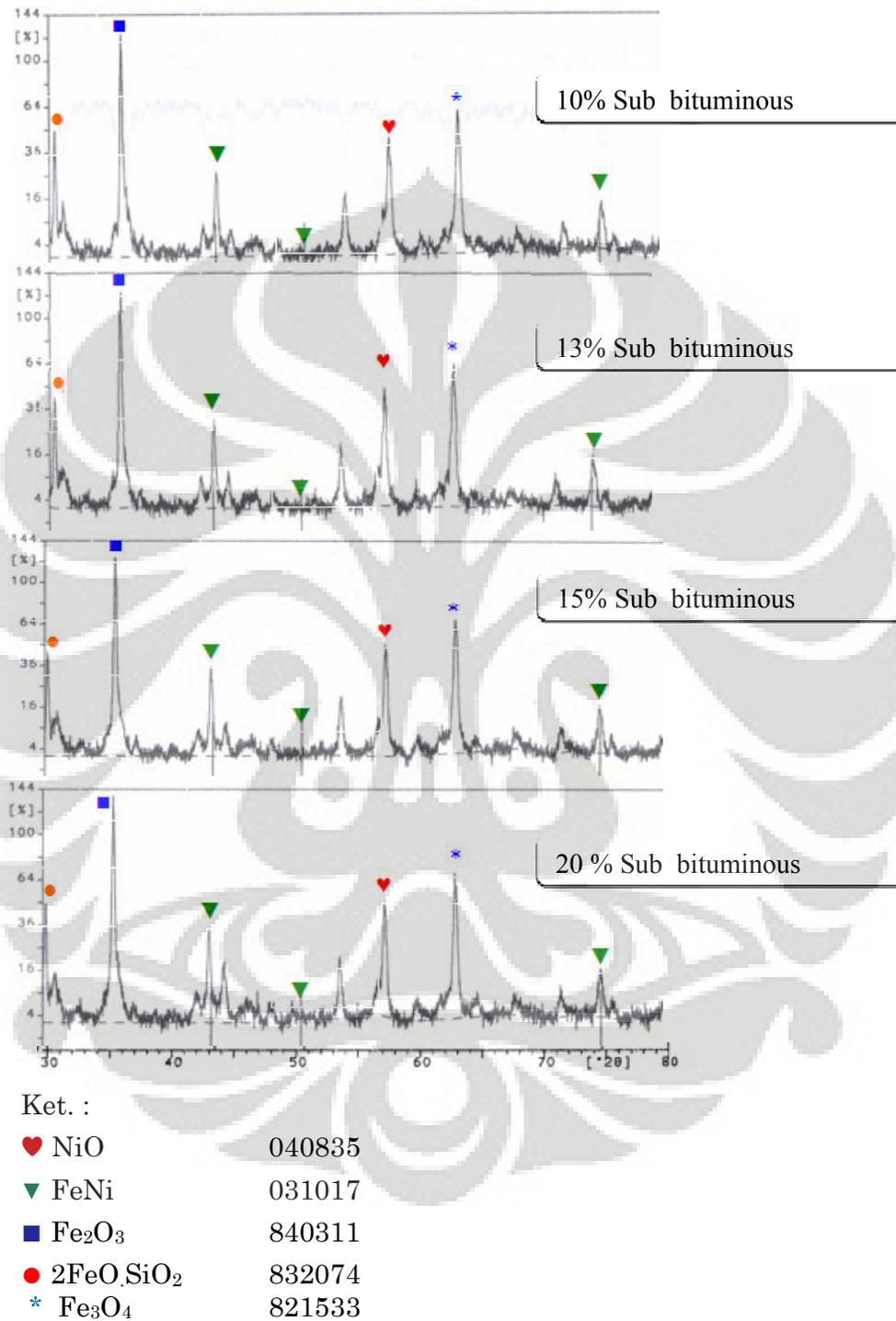


**Keterangan:**

■ MgO	780430
▼ FeOOH	821533
○ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	840311
● NiO	040835

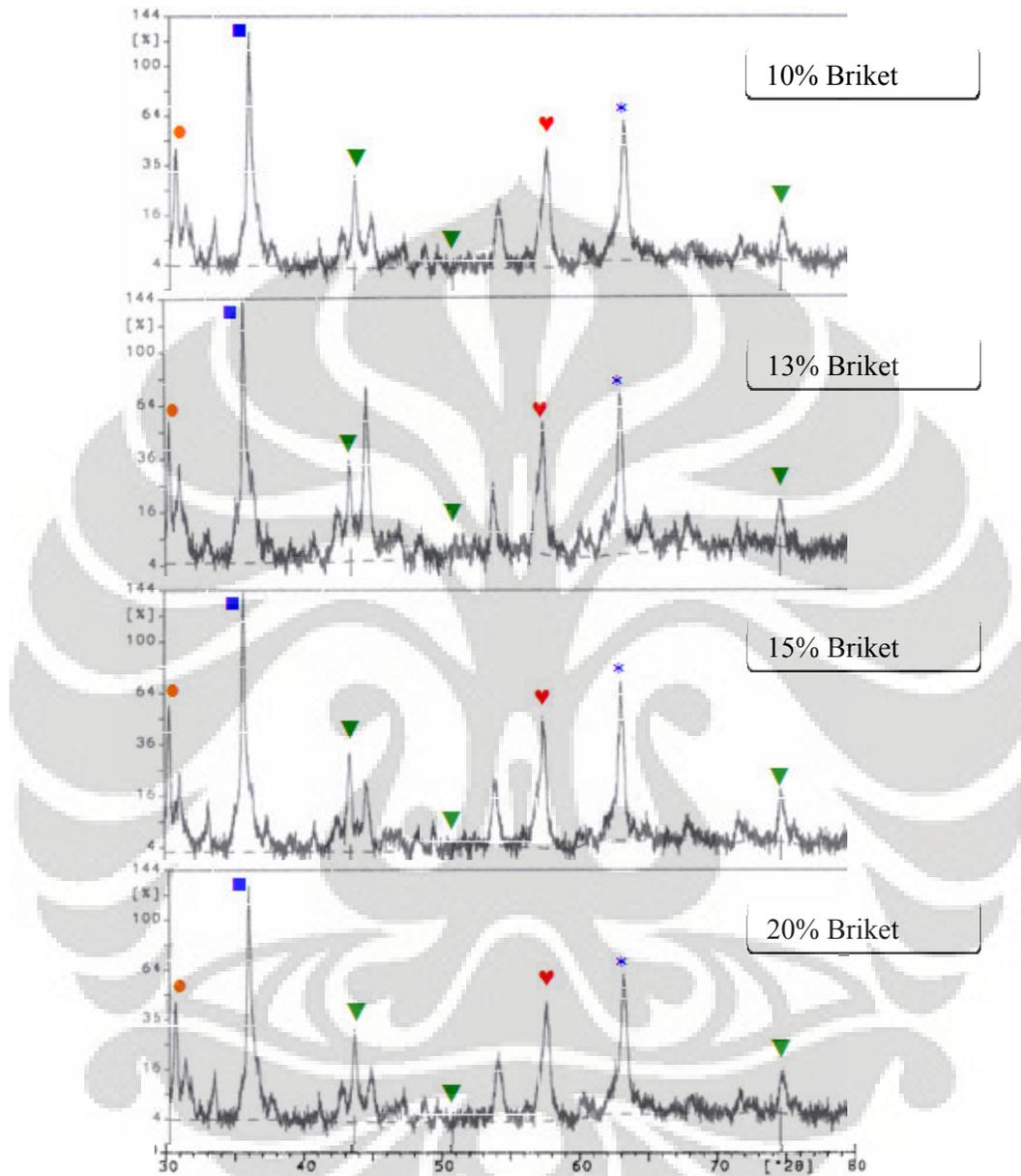
Gambar 4.1. Grafik hasil XRD pada biji saprolit

#### 4.2.1. Hasil pengujian XRD pada bijih saprolit dengan reduktor sub-bituminous



**Gambar 4.2.** Grafik hasil XRD dengan penambahan sub-bituminous

#### 4.2.2. Hasil pengujian XRD pada bijih saprolit dengan reduktor briket kokas

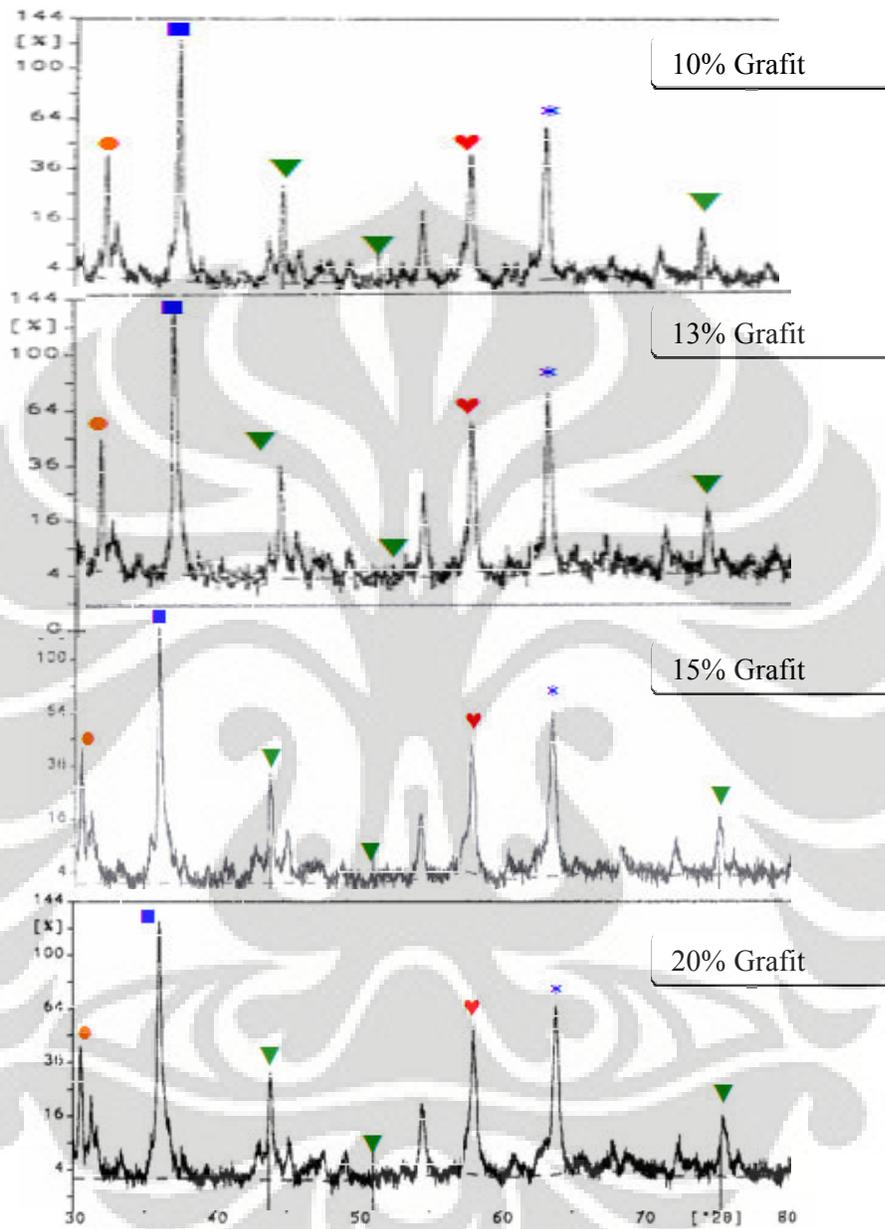


Ket. :

♥ NiO	040835
▼ FeNi	031017
■ $\text{Fe}_2\text{O}_3$	840311
● $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$	832074
* $\text{Fe}_3\text{O}_4$	821533

**Gambar 4.3.** Grafik hasil XRD dengan penambahan briket

#### 4.2.3. Hasil pengujian XRD pada bijih saprolit dengan reduktan grafit



Ket. :

♥ NiO	040835
▼ FeNi	031017
■ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	840311
● 2FeO.SiO <sub>2</sub>	832074
* Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	821533

**Gambar 4.4.** Grafik hasil XRD dengan penambahan Grafit

### 4.3 Analisa hasil XRD

Pengujian hasil dengan menggunakan XRD akan memberikan hasil secara kualitatif akan setiap senyawa yang terkandung di dalam bijih saprolit setelah mengalami proses reduksi. Pengujian secara XRD tidak dapat memberikan hasil secara kuantitatif. Oleh karena itu hasil penelitian data dengan menggunakan XRD akan menganalisa senyawa yang terbentuk dari proses reduksi dengan melihat grafik yang dihasilkan dengan melihat  $2\theta$  pada grafik yang terbentuk.

Dilihat dari sampel awal, maka dapat dilihat bahwa mineral saprolit ini didominasi oleh  $\alpha\text{FeOOH}$  atau goethite, yang jika dihubungkan dengan hasil analisa XRF, maka kemungkinan senyawanya adalah  $[\text{Fe,Ni}]\text{O}(\text{OH})$ . Hal ini bisa disimpulkan karena dengan naiknya kadar Fe, maka kadar Ni juga akan naik, maka dapat disimpulkan bahwa Fe berikatan dengan Ni membentuk  $[\text{Fe,Ni}]\text{O}(\text{OH})$ .  $[\text{Fe,Ni}]\text{O}(\text{OH})$  disini maksudnya gugus OOH tidak hanya mengikat Fe atau Ni saja, melainkan bersenyawa dengan keduanya membentuk ikatan.

Adapun senyawa yang dihasilkan pada grafik hasil reduksi dengan menggunakan sub-bituminous adalah terbentuk senyawa Fe-Ni hal ini dibandingkan dengan data XRD dengan nomor 47-1417, yaitu Fe-Ni memiliki  $2\theta$  sebesar 43.53, 50.724, 74.621, selain itu hasil pengujian XRD juga menunjukkan pada hasil reduksi terbentuk senyawa  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , yang memiliki nilai *peak* yang besar dari grafik hasil XRD, Hal ini dapat diamati pada perbandingan kurva hasil pengujian XRD sebelum mengalami proses reduksi dan setelah mengalami proses reduksi. Hal ini menunjukkan bahwa proses reaksi reduksi karbotermik pada temperatur 1250 °C merupakan temperatur dimana suatu proses dapat membentuk senyawa Fe-Ni,  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Dari hasil pengujian XRD yang diperoleh pada penambahan reduktor sub-bituminous menunjukkan bahwa nilai intensitas tertinggi pada senyawa Fe-Ni diperoleh pada penambahan reduktor kadar 20%, sehingga dapat dikatakan bahwa nilai kandungan senyawa Fe-Ni yang terbanyak dapat diperoleh pada penambahan reduktor 20%. Pada penambahan reduktor briket, nilai intensitas senyawa Fe-Ni tertinggi pada penambahan reduktor kadar 15%, sedangkan pada penambahan

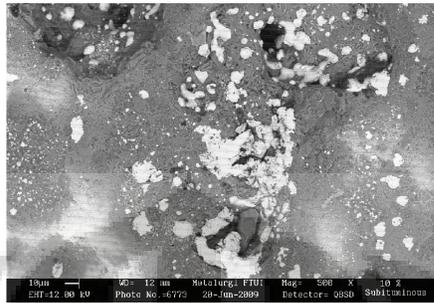
reduktor grafit, nilai intensitas senyawa Fe-Ni tertinggi pada penambahan reduktor kadar 13%.

Selain itu dari hasil pengujian XRD yang diperoleh pada penambahan reduktor sub-bituminous menunjukkan bahwa nilai intensitas yang tinggi pada senyawa  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$  diperoleh pada penambahan reduktor kadar 10% dan 20%, kedua kadar ini menunjukkan nilai intensitas yang hampir sama. Pada penambahan reduktor briket, nilai intensitas senyawa  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$  tinggi pada penambahan reduktor kadar 13% dan 15%, kedua kadar ini menunjukkan nilai intensitas yang hampir sama, sedangkan pada penambahan reduktor grafit, nilai intensitas senyawa  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$  tertinggi pada penambahan reduktor kadar 13%. Dengan membandingkan nilai intensitas yang diperoleh pada senyawa Fe-Ni, menunjukkan suatu kecenderungan nilai yaitu terbentuknya senyawa Fe-Ni dan  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$  berada pada kadar yang sama.

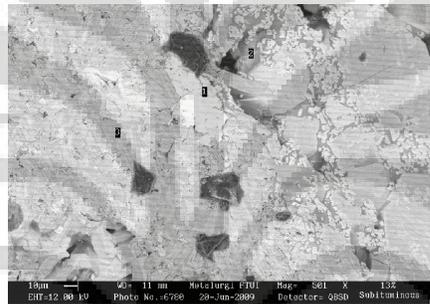
Sehingga pengaruh kadar karbon melalui penambahan reduktor pada proses reduksi karbotermik menunjukkan bahwa pada kadar karbon yang lebih tinggi, FeNi yang terbentuk memiliki kecenderungan semakin banyak. Pernyataan ini dapat dilihat dari intensitas FeNi yang terdapat pada grafik. Hal ini disebabkan dengan semakin banyaknya karbon, maka kemungkinan terbentuknya gas CO semakin besar sehingga semakin banyak bijih sapolit yang tereduksi.

#### 4.4. HASIL PENGUJIAN SEM

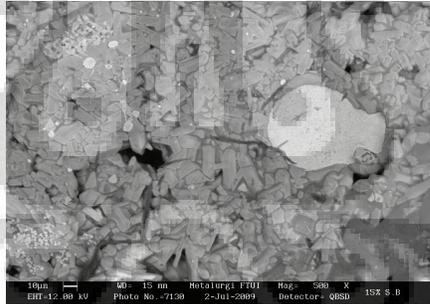
##### 4.4.1. Hasil pengujian SEM pada sampel dengan reduktor sub-bituminous



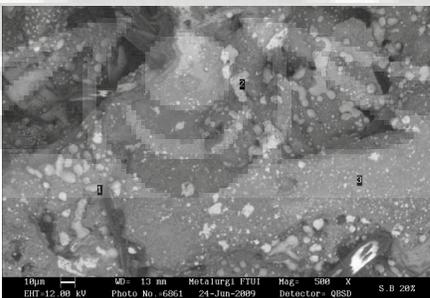
(10% sub-bituminous)



(13% sub-bituminous)



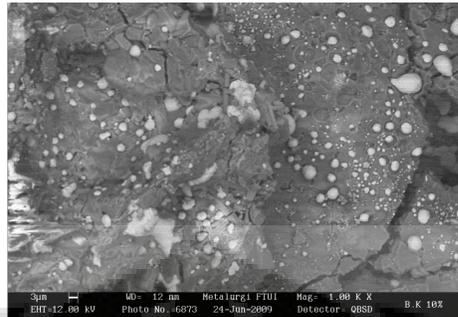
(15% sub-bituminous)



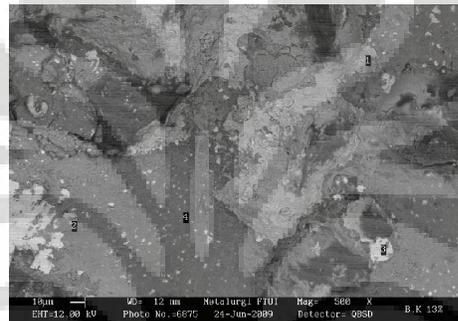
(20% sub-bituminous)

**Gambar 4.5.** Foto mikro sample setelah direduksi dengan Sub-bituminous

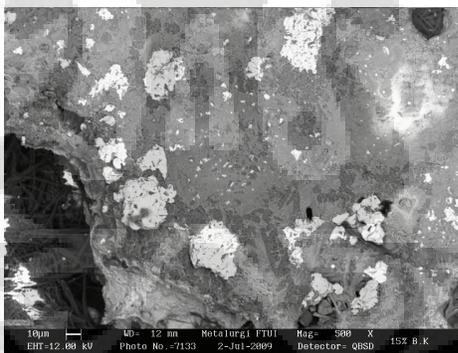
#### 4.4.2. Hasil pengujian SEM pada sampel dengan reduktor briket



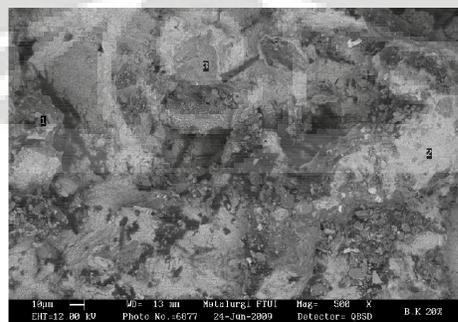
(10% Briket)



(13% Briket)



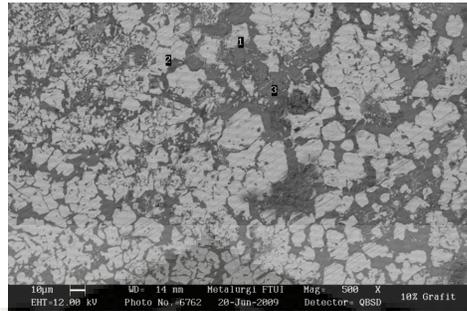
(15% Briket)



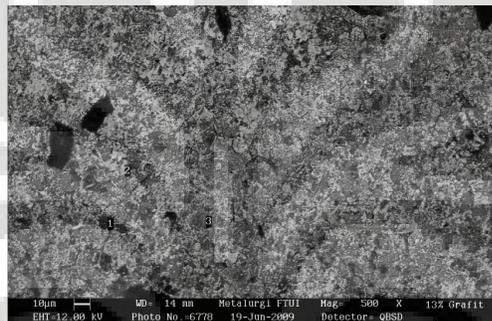
(20% Briket)

**Gambar 4.6.** Foto mikro sample setelah direduksi dengan briket

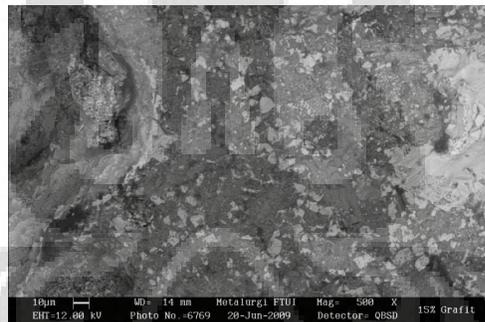
#### 4.4.3. Hasil pengujian SEM pada sampel dengan reduktor grafit



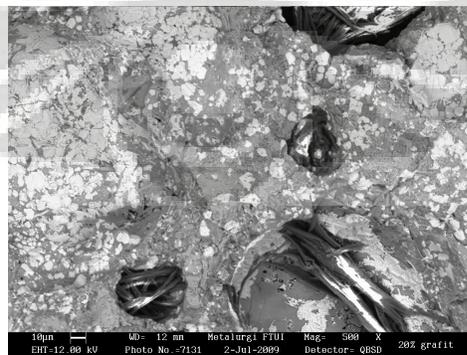
(10% grafit)



(13 % grafit)



(15 % grafit)



(20 % grafit)

**Gambar 4.7.** Foto mikro sample setelah direduksi dengan grafit

#### 4.5. Analisa hasil SEM

Pengujian hasil dengan menggunakan SEM akan memberikan hasil secara kualitatif akan setiap senyawa yang terkandung di dalam bijih saprolit setelah mengalami proses reduksi. Hal ini dapat dilakukan dengan melihat struktur mikro pada sampel, kemudian membedakan setiap warna daerah yang dihasilkan kemudian mengamati unsur yang terkandung dalam suatu warna tersebut.

Dari hasil pengujian dengan menggunakan SEM, diperoleh suatu data mengenai nikel yang terdapat dalam sample hasil reduksi, unsur nikel dan logam seperti *ferrous* yang terdapat di dalam sampel menunjukkan daerah yang berwarna terang sedangkan untuk non logam menunjukkan daerah yang berwarna gelap, adapun unsur non logam yang terdapat dalam sample adalah SiO, MgO, dll.

Pada penambahan reduktor sub-bituminous dan briket kokas, daerah logam yang dihasilkan menunjukkan suatu kecenderungan yang mengelompok, morfologi pengamatan mikro menunjukkan bahwa hasil penambahan reduktor sub-bituminous menghasilkan struktur Ni yang berbentuk partikel kecil yang dikelilingi oleh logam Fe sebagai logam terbesar yang di dalamnya juga terdapat porositas, hal ini dapat dilihat pada hasil EDAX secara terlampir.

Pada penambahan reduktor grafit, daerah logam yang dihasilkan menunjukkan suatu kecenderungan yang menyebar secara merata dalam ukuran yang kecil, morfologi pengamatan mikro menunjukkan bahwa hasil penambahan reduktor grafit menghasilkan struktur Ni yang berbentuk partikel-partikel yang sangat kecil yang dikelilingi oleh logam Fe sebagai logam terbesar yang di dalamnya juga terdapat porositas, hal ini dapat dilihat pada hasil EDAX secara terlampir, dibandingkan dengan morfologi pada hasil penambahan reduktor briket kokas dan sub-bituminous, morfologi daerah logam pada penambahan grafit memiliki ukuran yang kecil namun merata dan lebih banyak.

Dari hasil data yang diperoleh menunjukkan bahwa pengaruh penambahan reduktor akan membentuk daerah logam sebagai akibat proses reduksi, yang didalamnya terdapat unsur Ni dan Fe, hal ini membuktikan bahwa hasil reduksi yang dilakukan pada temperature 1250 °C dapat membentuk ikatan Fe-Ni.

#### 4.6. HASIL PENGUJIAN XRF

Pengamatan hasil pengujian yang diperoleh dengan menggunakan XRF dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

**Tabel 4.3** Analisa Mineral Saprolit

UNSUR	KADAR (%)
Fe	21.86
Si	13.82
Mg	4.29
Ni	1.78
Mn	0.29
Al	1.96
Cr	0.75
Ca	0.13
O	55.0

**Tabel 4.4** Perhitungan nilai *recovery* Ni hasil reduksi

Sampel	F (gr)	f (%)	C (gr)	c (%)	R (%)
<b>Sub-bituminous</b>					
10%	10.01	1.78	7.67	1.49	64.12
13%	10.02	1.78	6.29	1.77	62.44
15%	10.03	1.78	5.67	1.83	58.12
20%	10.1	1.78	6.16	2.02	69.28
<b>Briket</b>					
10%	10.00	1.78	6.09	1.28	43.79
13%	10.09	1.78	6.26	1.49	51.93
15%	10.1	1.78	6.41	1.95	69.51
20%	10.03	1.78	6.33	1.93	68.44
<b>Grafit</b>					
5%	10.05	1.78	6.44	1.62	58.31
10%	9.97	1.78	7.04	1.85	73.41
13%	9.84	1.78	6.99	1.88	75.05
15%	9.98	1.78	7.15	1.80	72.47
20%	10.05	1.78	6.52	1.72	62.68

Tabel 4.5 Perhitungan nilai *recovery* Fe hasil reduksi

Sampel	F (gr)	f (%)	C (gr)	c (%)	R (%)
<b>Sub-bituminous</b>					
10%	10.01	21.86	7.67	21.57	75.0
13%	10.02	21.86	6.29	24.23	69.58
15%	10.03	21.86	5.67	24.35	62.96
20%	10.1	21.86	6.16	24.11	67.26
<b>Briket</b>					
10%	10.00	21.86	6.09	20.25	56.41
13%	10.09	21.86	6.26	21.76	61.76
15%	10.1	21.86	6.41	24.83	72.09
20%	10.03	21.86	6.33	24.37	70.35
<b>Grafit</b>		21.86			
10%	9.97	21.86	7.04	23.52	75.97
13%	9.84	21.86	6.99	23.34	75.84
15%	9.98	21.86	7.15	23.07	75.64
20%	10.05	21.86	6.52	23.39	69.41

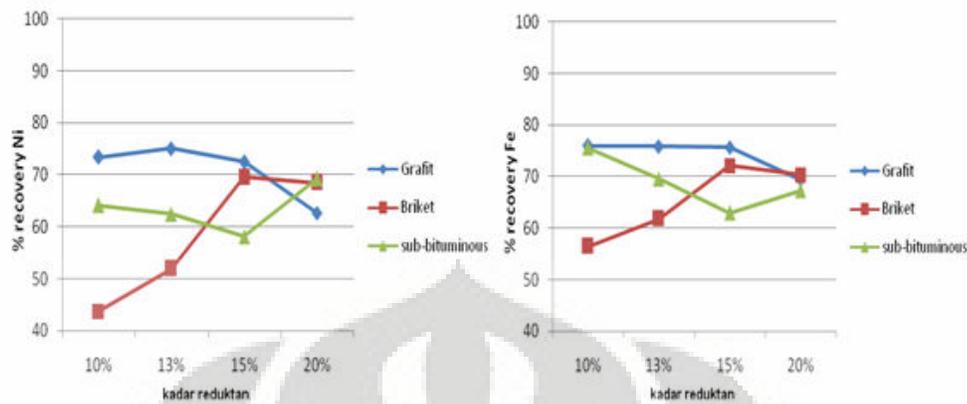
$$\% \text{ Recovery} = \frac{C \times c}{F \times f} \times 100\%$$

Keterangan; C = massa konsentrat hasil uji magnetik (gram)

c = nilai persentase unsur pada konsentrat hasil uji magnetic (%)

F = massa awal umpan sebelum direduksi (gram)

f = nilai persentase awal unsur pada umpan yang diuji (%)



**Gambar 4.8** Nilai *recovery* Ni dan Fe pada bijih saprolit

#### 4.7 Analisa hasil XRF

Pengujian hasil dengan menggunakan XRF akan memberikan hasil secara kuantitatif akan setiap unsur yang terkandung di dalam bijih saprolit setelah mengalami proses reduksi. Pengujian nilai kadar unsur yang dilakukan bertujuan untuk menghitung nilai *recovery* dari proses reduksi yang dilakukan.

Dari hasil pengujian yang diperoleh pada perhitungan *recovery* Ni dengan menggunakan reduktor sub-bituminous menunjukkan nilai *recovery* Ni yang mengalami penurunan pada kadar 15% kemudian kembali mengalami peningkatan pada kadar 20% dengan nilai *recovery* sebesar 69.28%,

Dari hasil pengujian yang diperoleh pada perhitungan *recovery* Ni dengan menggunakan reduktor briket menunjukkan suatu kecenderungan yaitu bahwa semakin meningkatnya kadar karbon yang ditambahkan melalui reduktor briket kokas maka nilai *recovery* Ni yang dihasilkan semakin meningkat, namun nilai *recovery* Ni maksimal diperoleh pada penambahan 15% briket dengan *recovery* sebesar 69.51%, kemudian pada penambahan 20% briket, nilai *recovery* Ni yang dihasilkan tidak mengalami kenaikan tetapi sudah mengalami penurunan walaupun tidak signifikan, adapun nilai *recovery* Ni pada penambahan kadar 20% yang dihasilkan adalah sebesar 68.44%.

Dari hasil pengujian yang diperoleh pada perhitungan *recovery* Ni dengan menggunakan reduktor Grafit menunjukkan bahwa pada 2 titik awal dengan nilai

kadar reduktan 10%, 13% menunjukkan suatu kecenderungan nilai *recovery Ni* yang mengalami peningkatan seiring penambahan kadar reduktor grafit. Akan tetapi pada penambahan selanjutnya yaitu 15% dan 20 % menunjukkan penurunan nilai *recovery* yang terjadi, hal ini menunjukkan bahwa nilai *recovery Ni* maksimum pada kadar 13% grafit dengan nilai *recovery* sebesar 75.05 %.

Dari hasil pengujian yang diperoleh pada perhitungan *recovery Fe* dengan menggunakan reduktor sub-bituminous menunjukkan nilai *recovery Fe* yang mengalami penurunan sampai pada kadar 15% kemudian kembali mengalami peningkatan pada kadar 20% dengan nilai *recovery* sebesar 67.26%.

Dari hasil pengujian yang diperoleh pada perhitungan *recovery Fe* dengan menggunakan reduktor briket menunjukkan suatu kecenderungan yaitu bahwa semakin meningkatnya kadar karbon yang ditambahkan melalui reduktor briket menunjukkan nilai *recovery Fe* yang semakin meningkat, namun nilai *recovery Ni* maksimal diperoleh pada penambahan 15% briket dengan *recovery* sebesar 72.09%, kemudian pada penambahan 20% briket, nilai *recovery Fe* yang dihasilkan tidak mengalami kenaikan tetapi sudah mengalami penurunan walaupun tidak signifikan, adapun nilai *recovery Ni* yang dihasilkan adalah sebesar 70.35%.

Dari hasil pengujian yang diperoleh pada perhitungan *recovery Fe* dengan menggunakan reduktor Grafit menunjukkan bahwa pada 3 titik awal dengan nilai kadar reduktor 10%, 13%, 15% menunjukkan suatu kecenderungan nilai *recovery Ni* yang hampir sama. Akan tetapi pada penambahan selanjutnya yaitu 20 % menunjukkan penurunan nilai *recovery Fe* yang terjadi.

Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh variabel kadar grafit yang ditambahkan tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai *recovery Fe* dan *Ni*, hal ini disebabkan oleh karena grafit sebagai reduktor yang ditambahkan memiliki kestabilan yang tinggi, sehingga dibutuhkan tekanan dan temperature yang tinggi agar grafit yang digunakan bisa bekerja secara maksimal.

Recovery pada *Ni* dan *Fe* pada penambahan reduktor memiliki kecenderungan tren yang sama hal ini menunjukkan nilai *recovery Ni* dan *Fe* yang berbanding lurus, yaitu semakin tinggi *recovery Fe* yang dihasilkan, *recovery Ni*

juga semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh penambahan reduktor terhadap *recovery* Ni dan Fe sangat besar, yaitu semakin tinggi kadar reduktor yang ditambahkan maka kecenderungan hasil *recovery* yang dihasilkan pada Fe dan Ni memiliki kecenderungan yang semakin tinggi.



## BAB V

### KESIMPULAN

1. Senyawa yang terbentuk pada hasil reaksi karbotermik temperatur 1250 °C dengan penambahan reduktor adalah Fe-Ni, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, 2FeO.SiO<sub>2</sub>.
2. Pada penambahan reduktor sub-bituminous pembentukan senyawa FeNi yang paling besar terjadi pada penambahan kadar 20%, sedangkan pada penambahan reduktor briket kokas pembentukan senyawa FeNi yang maksimum terjadi pada penambahan kadar 15%, sedangkan pada penambahan reduktor grafit, pembentukan senyawa FeNi yang maksimum terjadi pada penambahan kadar 15%.
3. Nilai maksimum *recovery* Ni pada penambahan reduktor sub-bituminous terjadi pada penambahan kadar sub-bituminous sebesar 20% dengan *recovery* 69.28 %, sedangkan pada penambahan reduktor briket kokas nilai maksimum *recovery* terjadi pada penambahan kadar 15% dengan *recovery* Ni 69.51%, sedangkan *recovery* Ni maksimum pada penambahan reduktor grafit terjadi pada penambahan kadar grafit sebesar 13% dengan *recovery* Ni 75.05 %.
4. Penambahan reduktor sub-bituminous, briket kokas, dan grafit tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap bentuk morfologi produk reduksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rhamdani. M.A.E. JAK, and Hayes P.C, 2008, *Basic Nickel Carbonate: Part II. Microstructure Evolution during Industrial Nickel Production from Basic Nickel Carbonate*
- [2] [www.elsevier.com/locate/mineng](http://www.elsevier.com/locate/mineng)
- [3] Valix M, W.H. Cheung, 2002, *Effect of sulfur on the mineral phases of laterite ores at high temperature reduction*, Australia
- [4] A.E.M. Warner, et.al. 2006. *JOM World Nonferrous Smelter Survey, Part III : Nickel : Laterite. Warner Industrial Survey*. p.11
- [5] B.A.Wills. 1988. *Mineral ProCessing Technology : An Introduction to The Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. 4th edition. Pergamon Press, United Kingdom.p.19
- [6] Bill McCutcheon. 2006. Nickel. 42.pdf
- [7] Boldt Jr, Joseph R. “The Winning of Nickel, its Geology, Mining, and Extractive Metal”.
- [8] Gilchrist, JD, BSC, PhD., ARCST. FIM., “Extraction Metallurgy”, Oxford, Pergamon Press Ltd.
- [9] Guilbert, Jhon M and Charles.F.Park.Jr. “The Geology of Ore Deposits”.
- [10] H. Lagendijk and R.T. Jones. 1997. *Production of Ferronickel From Nickel Laterites in A DC-Arc Furnace*. Nickel-Cobalt 97
- [11] I. Sohn, R.J.Fruehan. 2005. *The Reduction of Iron Oxides by Volatiles in a Rotary Hearth Furnace ProCess: Part I. The Role and Kinetics of Volatile Reduction*. Metallurgical and Materials Transactions B. Vol.36B. p.605.
- [12] K.Adham, C.Lee. 2004. *ProCess Design Considerations for the Fluidized Bed Technology Applications in the Nickel Industry*. CIM Bulletin. Nov/Dec 2004. ProQuest Science Journals. p.73
- [13] O.M.Fortini, R.J.Fruehan. 2005. *Rate of Reduction of Ore-Carbon*
- [14] <http://www.metalurgi.lipi.go.id/publikasi/majalah-metalurgi/majalah-metalurgi-volume-21-no-2-desember-2006/>
- [15] [www.doitpoms.ac.uk/.../ellingham.php](http://www.doitpoms.ac.uk/.../ellingham.php)



**DAFTAR LAMPIRAN**

**HASIL PENGUJIAN XRD**

**HASIL PENGUJIAN XRF**

**HASIL PENGUJIAN SEM**

**Universitas Indonesia**