



**TUGAS AKHIR – TL184834**

**REVIEW PENGARUH TEMPERATUR TAHAN PADA REDUKSI LANGSUNG BIJIH BESI**

**NAUFAL MUZAKKII  
NRP. 02511640000109**

**Dosen Pembimbing  
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.  
Fahreza Abdul, S.T., M.T.**

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

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**TUGAS AKHIR – TL 184834**

**REVIEW PENGARUH TEMPERATUR TAHAN PADA  
REDUKSI LANGSUNG BIJIH BESI**

**NAUFAL MUZAKKII  
NRP. 0251164000109**

**Dosen Pembimbing  
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.,  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**

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

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL 184834**

**THE EFFECT OF HOLDING TEMPERATURE IN DIRECT  
REDUCTION OF IRON ORE : A REVIEW**

**NAUFAL MUZAKKII  
NRP. 02511640000109**

**Advisors**

**Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.,  
Fahreza Abdul, S.T., M.T.**

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

*(This page is intentionally left blank)*

# **REVIEW PENGARUH TEMPERATUR TAHAN PADA REDUKSI LANGSUNG BIJIH BESI**

## **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:  
**NAUFAL MUZAKKII**  
NRP 02511640000109

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.,..... (Pembimbing 1)
2. Fakhreza Abdul, S.T., M.T..... (Pembimbing 2)



**SURABAYA**  
**AGUSTUS 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **REVIEW PENGARUH TEMPERATURE TAHAN PADA REDUKSI LANGSUNG BIJIH BESI**

**Nama** : Naufal Muzakkii  
**NRP** : 02511640000109  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing 1** : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc  
**Pembimbing 2** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T

### **Abstrak**

*Pada tahun 2018 konsumsi baja nasional mengalami peningkatan sebesar 11% atau mencapai 15,1 juta ton dimana menurut Direktur Eksekutif Asosiasi Industri Besi dan Baja Indonesia (IISIA), Yerry Idroes mengatakan konsumsi baja nasional masih didominasi penggunaan raw material besi scrap. dengan ketersediaan bijih besi yang melimpah, Indonesia dapat mengolah bijih besi menjadi besi spons yang memiliki nilai lebih. Bahan baku yang biasa digunakan untuk metode ini antara lain adalah bijih besi, reducing agent (batubara, kokas, arang, gas, dll), dan flux agent (batu kapur). Dilakukan pengujian karakterisasi untuk bijih besi, batu kapur, dan sponge iron menggunakan XRD dan EDX untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terkandung serta melakukan pengujian proksimat pada reduktan untuk mengetahui fixed carbon, volatile mater, dan moisture content. Pada penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan temperatur dengan hasil paling optimal pada 1000°C - 1200°C. Pada beberapa kasus penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan hasil yang berbeda walaupun menggunakan temperatur proses yang sama. Hal ini disebabkan karena karakteristik bahan yang digunakan seperti bijih besi, reduktan, dan batu kapur memiliki karakteristik yang berbeda serta waktu proses yang digunakan.*

**Kata Kunci:** *Bijih besi, Reduksi langsung, Temperatur.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **THE EFFECT OF HOLDING TEMPERATURE IN DIRECT REDUCTION IRON ORE : A REVIEW**

**Student Name** : Naufal Muzakkii  
**NRP** : 02511640000109  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Supervisor** : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc..  
**Co-Supervisor** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

### **Abstract**

*In 2018 national steel consumption was increased by 11% or reached 15.1 million tons, according to the Executive Director of the Indonesian Iron and Steel Industry Association (IISIA), Yerry Idroes said that national steel consumption is still dominated by the use of raw iron scrap material. With the availability of abundant iron ore, Indonesia can process iron ore into sponge iron which has more value. Raw materials commonly used for this method include iron ore, reducing agent (coal, coke, charcoal, gas, etc.), and flux agent (limestone). Characterization testing was carried out for iron ore, limestone, and sponge iron using XRD and EDX to determine the elements and compounds contained and do proximate testing on reductants to determine fixed carbon, volatile material, and moisture content. In the research that has been done, the temperature with the most optimal results is obtained at 1000 ° C - 1200 ° C. In some cases the research that has been done, obtained different results even though using the same process temperature. This is because the characteristics of the materials used such as iron ore, reductant, and limestone have different characteristics and the processing time used.*

**Keywords:** *Iron ore, Direct reduction, Temperature*

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas ridho dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Review Pengaruh Temperatur Tahan Pada Reduksi Langsung Bijih Besi*” Tugas Akhir Review Jurnal ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material FTI-ITS.

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna. Menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir. Dengan bimbingan dan arahnya serta memberikan banyak masukan, kritik, dan saran bagi penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Fakhreza Abdul, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir dan dosen wali penulis yang telah memberikan banyak masukan, kritik, dan saran bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna sehingga diperlukan evaluasi untuk peningkatan kualitas yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Penulis mengharapkan semoga laporan ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi para pembacanya.

Surabaya, 6 Agustus 2020  
Penulis

Naufal Muzakkii

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</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>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Review Jurnal.....	3
1.4 Tujuan Review Jurnal.....	3
1.5 Manfaat Review Jurnal.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Bijih Besi.....	5
2.2 Batubara.....	6
2.3 Batu Kapur.....	8
2.4 Bijih Besi Magnetit.....	10
2.5 Bijih Besi Hematit.....	11
2.6 Sponge Iron.....	12
2.7 Proses Hoganas.....	13
2.8 Termodinamika Reduksi Bijih Besi.....	15
2.9 Kinetika Reduksi Bijih Besi.....	20
2.10 Penelitian Sebelumnya.....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.2 Bahan Penelitian.....	24
3.2.1 Bijih Besi.....	24
3.2.2 Batubara.....	25
3.2.3 Batu Kapur.....	26
3.2.4 Tepung Tapioka.....	27
3.2.5 Arang.....	27
3.3 Pengujian Karakterisasi.....	28

3.3.1	X-Ray Diffraction.....	28
3.3.2	X-Ray Flourescene .....	28
3.3.3	Proxymate Analysis.....	29
3.3.4	Derajat Metalisasi.....	29
3.4	Metode Penelitian .....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Pengaruh Temperatur Tahan Terhadap Kadar Fe ..	33
4.2	Pengaruh Temperatur Tahan Terhadap Derajat Metalisasi .....	43
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	53
5.2	Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>55</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>		<b>59</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Batu Kapur .....	10
<b>Gambar 2.2</b> Bijih Besi Magnetit .....	11
<b>Gambar 2.3</b> Bijih Besi Hematit.....	12
<b>Gambar 2.4</b> Produk Sponge Iron .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Representasi skematis Tunnel Kiln.....	14
<b>Gambar 2.6</b> Susunan sagger pada kereta di tunnel kiln .....	15
<b>Gambar 2.7</b> Susunan bahan baku pada sagger.....	15
<b>Gambar 2.8</b> Diagram Ellingham .....	17
<b>Gambar 2.9</b> Efek tekanan terhadap kesetimbangan Boudouard.....	19
<b>Gambar 2.10</b> Mekanisme Reduksi Langsung Pelet Berpori.....	21
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	24
<b>Gambar 3.2</b> Bijih Besi .....	25
<b>Gambar 3.3</b> Batubara <i>Sub-Bituminous</i> .....	26
<b>Gambar 3.4</b> Batu Kapur .....	26
<b>Gambar 3.5</b> Tepung Tapioka .....	27
<b>Gambar 3.6</b> Arang Kayu .....	27
<b>Gambar 4.1</b> Pola XRD dengan perbedaan temperatur reduksi ..	37
<b>Gambar 4.2</b> Pengaruh Temperatur terhadap Persen Logam Fe ..	38
<b>Gambar 4.3</b> Diagram Kesetimbangan Boudouard .....	42
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Peningkatan Kadar Fe.....	43
<b>Gambar 4.5</b> Efek Temperatur Terhadap Persen Metalisasi .....	45
<b>Gambar 4.6</b> Diagram Kesetimbangan Boudouard .....	49
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Kenaikan Derajat Metalisasi.....	50

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Karakteristik Mineral Bijih Besi.....	5
<b>Tabel 2.2</b> Perbandingan Kelas Kelas Batubara.....	8
<b>Tabel 2.3</b> Mineral Yang Diasosiasikan dengan Batu Kapur.....	9
<b>Tabel 3.1</b> Jurnal yang Digunakan Pembahasan Review .....	31
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan hasil analisis proksimat reduktor arang kayu dengan batu bara.....	34
<b>Tabel 4.2</b> Hasil analisis bijih besi halus Lampung .....	34
<b>Tabel 4.3</b> Peningkatan Fe pada sampel sponge iron.....	34
<b>Tabel 4.4</b> Hasil analisa proksimat reduktor batubara .....	35
<b>Tabel 4.5</b> Kadar Fe total pada hasil reduksi.....	36
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Reduksi Bijih Besi dengan Reduktan batubara dan arang tempurung kelapa.....	38
<b>Tabel 4.7</b> Hasil uji XRF bijih besi Lampung.....	39
<b>Tabel 4.8</b> Hasil reduksi bijih besi Lampung .....	40
<b>Tabel 4.9</b> Hasil analisis kimia Fe metal pada produk <i>sponge iron</i> .....	40
<b>Tabel 4.10</b> Variasi dan Hasil Pada Jurnal yang Digunakan.....	42
<b>Tabel 4.11</b> Hasil analisis produk sponge iron.....	44
<b>Tabel 4.12</b> Persen metalisasi tiap sampel .....	46
<b>Tabel 4.13</b> Komposisi kimia bijih besi lampung .....	46
<b>Tabel 4.14</b> Perolehan metalisasi besi spons.....	47
<b>Tabel 4.15</b> Hasil analisa derajat metalisasi produk sponge iron	48
<b>Tabel 4.16</b> Variasi dan Hasil Metalisasi Jurnal Pembahasan yang Digunakan.....	50

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia memiliki potensi dan sumber daya alam yang sangat melimpah pada sektor pertambangan, dengan persebaran mineral di berbagai daerah dan memiliki jenis yang berbeda dari tiap wilayahnya. Menurut Direktorat Jendral Mineral dan Batubara Kementerian ESDM produksi logam setengah jadi dari komoditas besi masih jauh dari kebutuhan. Adapun jumlah produksi logam setengah jadi dari komoditas besi di Indonesia per tahun 2019 yaitu 1.33 juta ton Fe dalam bentuk sponge iron yang dihasilkan oleh satu smelter dan 36.367 ton Fe. Dan yang telah diketahui, kebutuhan riil industri baja dalam negeri mencapai 7,1 juta ton Fe per tahun. Artinya, jumlah produksi logam setengah jadi dari komoditas besi masih kurang 5.73 juta ton Fe per tahun.

Bijih besi merupakan campuran mineral berharga yang mengandung besi dengan mineral-mineral lainnya yang disebut gangue (Utomo, 2011). Berdasarkan bentuk, bijih besi dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu bongkahan (lump) dan pasir. Disebutkan dalam data Kementrian ESDM tahun 2010 Indonesia memiliki sumber daya sekitar 2 milyar ton bijih besi dalam bentuk lump, termasuk bijih besi primer di dalamnya dengan sumber daya mencapai 557 juta ton. Bijih besi magnetik masuk ke dalam jenis bijih besi primer. Indonesia tercatat memiliki 557.185.779 ton pada tahun 2010 (Utomo, 2011). Kekayaan sumber bijih besi Indonesia belum diimbangi dengan optimalisasi pemanfaatannya, sebagai contoh perusahaan baja nasional pun masih ada yang mengandalkan impor bahan baku bijih besi dalam bentuk pelet dari Brazil dan Swedia (Haryono, 2011).

Hogonas Corporation mulai mengkomersilkan hasil olahan sponge iron pada tahun 1903 dan mulai memproduksi secara kontinyu pada tahun 1911 untuk memenuhi kebutuhan produksi baja (N.Selvakumar, 2017). Dinilai lebih ekonomis, banyak

industri pengolahan bijih besi menggunakan metode direct reduction iron.

Direct reduction iron (DRI) merupakan salah satu metode atau teknologi untuk mengolah bijih besi untuk menghasilkan produk yaitu sponge iron. Prinsip sederhana dari metode ini adalah mereduksi bijih besi dibawah titik lebur besi. Bahan baku yang biasa digunakan untuk metode ini antara lain adalah bijih besi, reducing agent (batubara, kokas, arang, gas,dll), dan flux agent (Feinman, 1999).

Telah dilakukan penelitian oleh Suharto, dkk terkait pengaruh temperatur dan jenis reduktan pada pembuatan sponge iron dengan teknologi Direct Reduced Iron (DRI) dalam rotary kiln. Dengan variabel temperatur reduksi 900, 1050, dan 1200°C, sedangkan variabel jenis reduktan adalah batu bara subbituminus dan arang kayu. Dilakukan analisis kimia terhadap bahan dan produk yang dihasilkan untuk mengetahui keberhasilan proses dan kualitas produk. Hasil yang didapat, reduktan arang kayu sedikit lebih baik dibanding batu bara. Hal ini ditunjukkan pada temperatur 1200°C, dengan reduktan arang kayu dan waktu reduksi 2 jam menghasilkan sponge iron dengan persen metalisasi sebesar 97,43% lebih tinggi dibanding sponge iron dengan reduktan batu bara sebesar 96,7%.

Berdasarkan hasil studi literatur, dan melihat kebutuhan bahan baku pembuatan baja yang terus meningkat, maka dilakukan review jurnal yang berkaitan dengan reduksi langsung bijih besi dengan variasi temperatur tahan guna mengembangkan penelitian sebelumnya dan mengetahui temperatur optimum pada reduksi langsung bijih besi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh temperatur tahan pada reduksi langsung bijih besi?

2. Bagaimana pengaruh temperatur tahan pada kadar Fe total produk hasil reduksi langsung bijih besi?
3. Bagaimana pengaruh temperatur tahan pada derajat metaliasi produk hasil reduksi langsung bijih besi?

### 1.3 Batasan Review Jurnal

Adapun batasan masalah untuk review jurnal kali ini adalah:

1. Diasumsikan bahwa bijih besi memiliki karakteristik yang berbeda dilihat dari mana bijih berasal.
2. Diasumsikan *bounding agent* tidak mempengaruhi proses reduksi bijih besi.
3. Diasumsikan perbandingan berat bijih besi dan reduktan yang digunakan sesuai neraca massa,

### 1.4 Tujuan Review Jurnal

Tujuan dari review jurnal yang dilakukan adalah:

1. Menganalisa pengaruh temperatur tahan pada reduksi langsung bijih besi.
2. Menganalisa pengaruh temperatur tahan pada kadar Fe total produk.
3. Menganalisa pengaruh temperatur tahan pada derajat metalisasi produk.

### 1.5 Manfaat Review Jurnal

Dari review jurnal ini diharapkan mampu memberikan manfaat pada parameter proses reduksi langsung terhadap temperatur tahan yang digunakan agar mendapatkan hasil yang optimal.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bijih Besi

Besi (Fe) adalah unsur logam yang sangat banyak ditemui di bumi. Hampir dari semua bebatuan, kecuali batu kapur, memiliki kandungan besi. Besi biasa ditemukan dalam konsentrasi tinggi didalam endapan besi. Dan biasanya sebagai oksida. Bijih besi menjadi mineral yang terpenting di dunia. Ragam bijih besi yang tersebar antara lain adalah hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), dan limonit ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) (Habashi 1997).

Pada umumnya deposit besi terbatas mengandung 25-70% Fe, atau secara kasar 5 sampai 15 kali dari rata-rata kadar besi di kerak bumi. Karakteristik pada ragam bijih besi juga berbeda – beda, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 dibawah (Strassburger 1969).

**Tabel 2.1** Karakteristik Mineral Bijih Besi (Vegman 2004)

Jenis	Mineral	Rumus kimia	Warna	Densitas g/cm <sup>3</sup>	kadar maks, Fe%
Oksida	Magnetite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Hitam	5,17	72,4
Oksida	Martite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Merah Gelap	5,1-5,2	-
Oksida	Hematite	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Merah	5,26	70,0
Hidroksida	Limonite	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Coklat kekuningan	3,6-4,0	59,8
Hidroksida	Goethite	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Kuning kecoklatan	4,0-4,4	62,9
Hidroksida	Hydrohematite	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} (n=0,1)$	Merah	4,2-4,6	69,0
Karbonat	Siderit	$\text{FeCO}_3$	Putih	3,9	48,3
	Ilmenit	$\text{FeO}, \text{TiO}_2$	Hitam atau Merah	4,5-5,0	36,8
Sulfida	Pyrite	$\text{FeS}_2$	Hitam kehijauan	4,8-5,1	46,7

Jenis bijih besi yang banyak ditemukan di Indonesia adalah Magnetite, Hematite, dan Limonite. Secara morfologi bisa dibedakan dari warna batu, jika batu memiliki warna hitam itu batu magnetit, kemudian hematit berwarna merah, dan limonit biasanya berwarna coklat. Penggunaan bijih besi di Indonesia sendiri yang masih menjadi primadona untuk sebagian industri adalah mineral

magnetik, dikarenakan jumlah yang sangat melimpah dan kegunaannya yang bernilai ekonomi tinggi.

## 2.2 Batubara

Proses reduksi langsung besi oksida yang terkandung didalam bijih besi menjadi besi metalik menggunakan karbon, hidrogen, atau karbon monoksida sebagai reaktor. Untuk memenuhi kebutuhan panas serta menjadi bahan bakar, dibutuhkan agen reduksi. Agen reduksi dapat berbentuk solid, liquid, maupun gas tergantung dari ketersediannya.

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil. Penafsiran umumnya adalah batuan sedimen yang bisa terbakar dan terbentuk dari endapan organik, utamanya dari tumbuhan. Unsur utama dari batu bara terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen. Meskipun menghasilkan emisi karbondioksida yang tinggi, batubara tetap menjadi pilihan utama untuk berbagai proses produksi dalam industri karena harganya yang relatif murah. Kualitas dari batubara dalam aplikasinya sebagai bahan bakar ditentukan oleh beberapa faktor seperti usia deposit, tipe vegetasi tempat batubara tersebut terkubur dan juga temperatur dan tekanan di sekitar vegetasi (Breeze 2015).

Batubara dapat dikelompokkan berdasarkan kadar karbon dan kadar air di dalam batu bara tersebut. Batubara kelas tinggi memiliki kadar karbon tinggi dan kadar air rendah, begitu sebaliknya batubara kelas rendah memiliki kadar karbon yang rendah dan kadar air yang tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 adalah klasifikasi batubara beserta karakteristiknya. Kelas kelas dari batubara terdiri dari:

1. *Anthracite* adalah batubara kelas terbaik, dengan kandungan karbon mencapai 92% dry content. *Anthracite* memiliki kadar air dan material volatile yang rendah sehingga saat dibakar menghasilkan polusi yang relatif sedikit dibanding batu bara jenis lain. Selain itu karena kadar karbonnya yang tinggi

densitas energinya lebih tinggi daripada batu bara jenis lain di angka 32 – 33 MJ/kg.

2. *Bituminous* merupakan batubara dengan jumlah yang paling melimpah. *Bituminous* memiliki kadar karbon antara 76% - 86%, kadar air 8% - 18%, dan material volatile 14%-46%. Batubara ini sangat mudah terbakar terutama dalam kondisi telah dihaluskan dan digiling, sehingga amat cocok untuk aplikasi pembangkit tenaga.
3. Batubara *sub-Bituminous* adalah batu bara dengan kadar karbon 70% - 86%, lebih rendah dari dua jenis batubara sebelumnya, kadar air 18% - 38%, lebih tinggi daripada dua jenis batubara sebelumnya, dan material volatile 42% - 53%. Batu bara kelas ini sangat mudah terbakar sehingga cocok digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit tenaga. Selain beberapa kualitas diatas, batu bara *sub-Bituminous* memiliki kadar sulfur yang rendah sehingga relatif lebih ramah lingkungan.
4. *Lignite* merupakan kelas terakhir dari batubara yang digunakan pada pembangkit, kadar karbonnya 65% - 70%, dan kadar air 35% - 50%.

*Peat* adalah tipe dari *lignite* yang tidak terkonsolidasi, ditemukan dekat permukaan, dan terkadang disebut sebagai batubara coklat. *Peat* memiliki kadar karbon paling rendah dibanding kelas yang lain yaitu <60% sedangkan kadar air yang tinggi yaitu 75%.

**Tabel 2.2** Perbandingan Kelas Kelas Batubara (Breeze 2015)

<i>Coal</i>	<i>Dry, Carbon Content (%)</i>	<i>Moisture Content Before Drying (%)</i>	<i>Dry, Volatile Content (%)</i>	<i>Heat Content (MJ/kg)</i>
<i>Anthracite</i>	86 – 92	7 – 10	3 – 14	32 – 33
<i>Bituminous coal</i>	76 – 86	8 – 18	14 – 46	23 – 33
<i>Sub-bituminous coal</i>	70 – 76	18 – 38	42 – 53	18 – 23
<i>Lignite</i>	65 – 70	35 – 55	53 – 63	17 – 18
<i>Peat</i>	<60	75	63 – 69	15

### 2.3 Batu Kapur

Salah satu jenis batuan sedimen adalah batu kapur, yaitu batuan sedimen non-klastik yang terbentuk dari proses kimia atau proses biologi. Batu kapur disebut juga batugamping atau *limestone*. Kandungan utama batu kapur adalah mineral kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang terjadi akibat proses kimia dan organik. Secara umum mineral yang terkandung dalam batu kapur adalah kalsium karbonat kalsit sebesar 95%, dolomit sebanyak 3%, dan sisanya adalah mineral clay (Nurul Fitria, 2012), sebagaimana terlihat pada Tabel 2.3. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh pembentukan batu kapur di berbagai lingkungan cekung sedimen, sehingga berbeda dari berbagai segi yang berujung pada perbedaan

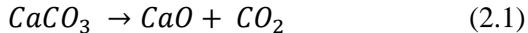
karakteristik ketika dilakukan pembakaran serta respon saat bereaksi dengan asam.

**Tabel 2.3** Mineral Yang Diasosiasikan dengan Batu Kapur (Shelly 2015)

<i>Mineral</i>	<i>Formula</i>	<i>Crystal System</i>	<i>Occurrence</i>
<i>Aragonite</i>	$\text{CaCO}_3$	<i>Orthorhombic</i>	<i>Some shells and mud, unstable during burial</i>
<i>Calcite</i>	$\text{CaCO}_3$	<i>Hexagonal</i>	<i>Some shells and mud, relatively stable during burial</i>
<i>Magnesite</i>	$\text{MgCO}_3$	<i>Hexagonal</i>	<i>Rare surface mineral</i>
<i>Dolomite</i>	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	<i>Hexagonal</i>	<i>Rarely at the surface, more common as a subsurface replacement</i>
<i>Ankerite</i>	$\text{Ca}(\text{MgFe})(\text{CO}_3)_2$	<i>Hexagonal</i>	<i>A rare cement</i>
<i>Siderite</i>	$\text{FeCO}_3$	<i>Hexagonal</i>	<i>As ooliths and cement</i>

Batu kapur (batu gamping) adalah bahan alam yang banyak ditemukan di Indonesia. Batu kapur merupakan batuan padat yang mengandung banyak kalsium karbonat (Lukman 2012). Mineral karbonat yang sering ditemukan tergabung dengan batu kapur adalah aragonite, yang merupakan mineral metastable karena pada kurun waktu tertentu dapat berubah menjadi kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) (Noviyanti 2015). Batu kapur yang kandungan utamanya  $\text{CaCO}_3$  yang pada dasarnya berwarna putih seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 2.1. Selain itu kalsium karbonat juga banyak dijumpai pada staklaktit dan stalagmit yang terdapat disekitar pegunungan (Margareta 2015). Kandungan kalsium karbonat akan terdekomposisi menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida pada suhu 750°C seperti yang ditunjukkan pada Reaksi 2.1.



Gas karbon dioksida selanjutnya akan tereduksi menjadi karbon monoksida yang merupakan reduktan kuat untuk mereduksi bijih besi maupun nikel menjadi bentuk logamnya (Noviyanti 2015)



**Gambar 2.1** Batu Kapur (Noviyanti 2015).

#### 2.4 Bijih Besi Magnetit

Magnetit merupakan mineral batuan dan salah satu dari bijih besi, selain hematit dan limonit, dengan rumus kimia  $Fe_3O_4$ . Magnetit adalah salah satu besi oksida dan bersifat *ferromagnetic*, yang berarti dapat ditarik oleh magnet dan dapat dijadikan magnet. Magnetit adalah mineral yang memiliki sifat magnetik terbesar dari seluruh mineral yang ada di bumi dan terjadi secara alami. Potongan magnetit yang memiliki sifat magnetik digunakan orang kuno untuk menemukan sifat magnetik. Dan saat ini batu magnetit sudah mulai ditambang sebagai bijih besi (Anthony 2018).

Butiran kecil magnetit hampir selalu ditemukan pada semua batuan beku dan metamorf. Memiliki karakteristik fisik yaitu berwarna hitam atau kecoklatan –hitam dengan kilau logam, memiliki kekerasan 5-6 mohs. Nama kimia dari magnetit adalah besi (III) oksida dan nama kimia yang umum adalah *ferrous-ferric oxide* (Anthony 2018). Bijih besi magnetit yang tersebar di Indonesia memiliki bentuk fisik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dibawah.



**Gambar 2.2** Bijih Besi Magnetit.

Kandungan Fe pada bijih besi magnetit berkisar di angka 60 – 72.4%. Adalah kadar yang cukup besar untuk digunakan pada kebutuhan industri. Magnetit telah lama digunakan sebagai bahan baku pembuatan *pig iron* atau *sponge iron* untuk selanjutnya diolah kembali untuk dijadikan bahan dasar pembuatan baja.

## 2.5 Bijih Besi Hematit

Hematit merupakan bentuk mineral besi (III) oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Hematit mengalami kristalisasi dalam sistem rombohedral atau sistem kristal trigonal, dan memiliki struktur kristal yang sama dengan ilmenit dan korundum. Hematit dan ilmenit membentuk larutan padat pada suhu 950 °C. Hematit merupakan mineral yang berwarna coklat hingga merah kecoklatan atau merah. Dalam skala kekerasan, hematit berada dalam skala 5 dari 6 (Anthony, 2018). Pada Gambar 2.3 menunjukkan mineral hematit yang diasosiasikan.



**Gambar 2.3** Bijih Besi Hematit.

## 2.6 Sponge Iron

*Sponge iron* atau yang biasa diketahui adalah produk dari DRI (*direct reduction iron*) adalah hasil dari pengurangan atau pemisahan oksida besi dalam bentuk bijih besi menjadi besi logam atau besi metalik, dibawah titik leleh besi dan biasanya berkisar antara 800-1200°C. besi oksida dimasukkan ke dalam tungku masak atau *furnace* dalam bentuk *pellet*, *bricket*, *lumps*, atau *finer* (Barati 2014).

Produksi sponge iron sudah mulai dikomersilkan pada tahun 1903 dengan penemuan proses Sieurin di Swedia. Mulai tahun 1911 Hogonas Corporation memproduksi sponge iron secara kontinyu. Pembuatan *sponge iron* ini bertujuan sebagai bahan baku untuk pembuatan baja (N.Selvakumar 2017). Umumnya *sponge iron* berpori dan hampir seluruhnya atau sekitar >90% adalah Fe. Penggunaan sponge iron akhir ini banyak digunakan karena dinilai lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan besi scrap pada proses pembuatan baja. Gambar 2.4 adalah contoh dari *sponge iron*.



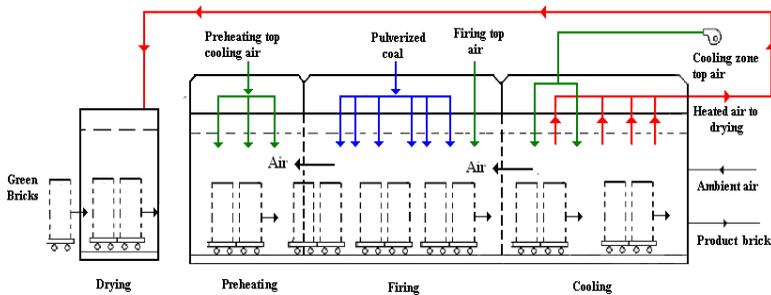
**Gambar 2.4** Produk Sponge Iron (Khattoi, 2014).

## 2.7 Proses Hognas

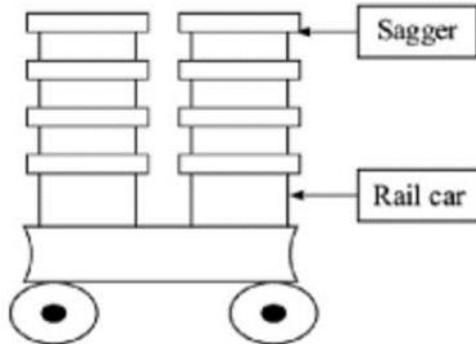
Proses Hognas dikembangkan di Swedia pada tahun 1910, dan menggunakan reduksi carbothermic pada tunnel kiln (Ektrop 1945). Sejauh yang orang ketahui terkait pengolahan bahan tambang bijih/pasir besi masih berorientasi pada produksi skala besar dengan menggunakan peralatan high cost investment seperti *Blast Furnace* dan *Rotary Kiln*. Selain karena kebutuhan investasi yang besar, untuk mengoperasikan *Blast Furnace* dan *Rotary Kiln* membutuhkan pasokan energi dan biaya yang sangat besar. Hal inilah yang menjadi salah satu penyebab kurang berkembangnya industri pengolahan bahan tambang di Indonesia. Teknologi Tunnel Kiln bukan teknologi baru di Indonesia karena sudah banyak industri yang menggunakannya, tapi aplikasi pada pengolahan bahan tambang belum dikenal luas di kalangan industri. Guna memberikan dampak yang signifikan untuk industri besi dan baja nasional, teknologi ini perlu dikembangkan dalam skala usaha kecil menengah (UKM) namun terkoordinasi secara makro (Tambunan 2016).

Secara konsep sederhana, bahan-bahan seperti briket bijih besi, batubara, batu kapur dimasukkan kedalam *sagger* atau wadah berbentuk silinder dan biasanya berbahan dasar keramik. Susunan bahan didalam *sagger* adalah meletakkan briket bijih besi ditengah wadah silinder kemudian diselimuti oleh campuran kokas dan batu kapur. Kemudian *tunnel kiln* digunakan untuk proses pembuatan *sponge iron*. Kebanyakan DRI diproduksi dalam iron powder. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5; 2.6; dan 2.7 (R. Stephenson 1980).

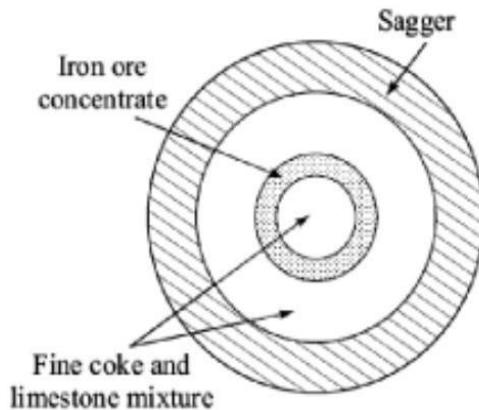
*Sagger* dipanaskan hingga  $1260^{\circ}\text{C}$  pada *pre-heating zone tunnel kiln* hingga ditahan pada temperatur  $1260^{\circ}\text{C}$  di *reduction zone* kemudian *cooling zone* untuk menunggu temperatur kamar kemudian mendapatkan hasil yaitu *sponge iron* yang kemudian dipisahkan. Total waktu penyimpanan *sagger* dalam *tunnel kiln* sekitar 80 jam.



**Gambar 2.5** Representasi skematis Tunnel Kiln (Manchunan, 2011).



**Gambar 2.6** Susunan sagger pada kereta di tunnel kiln (Guban, 2015).

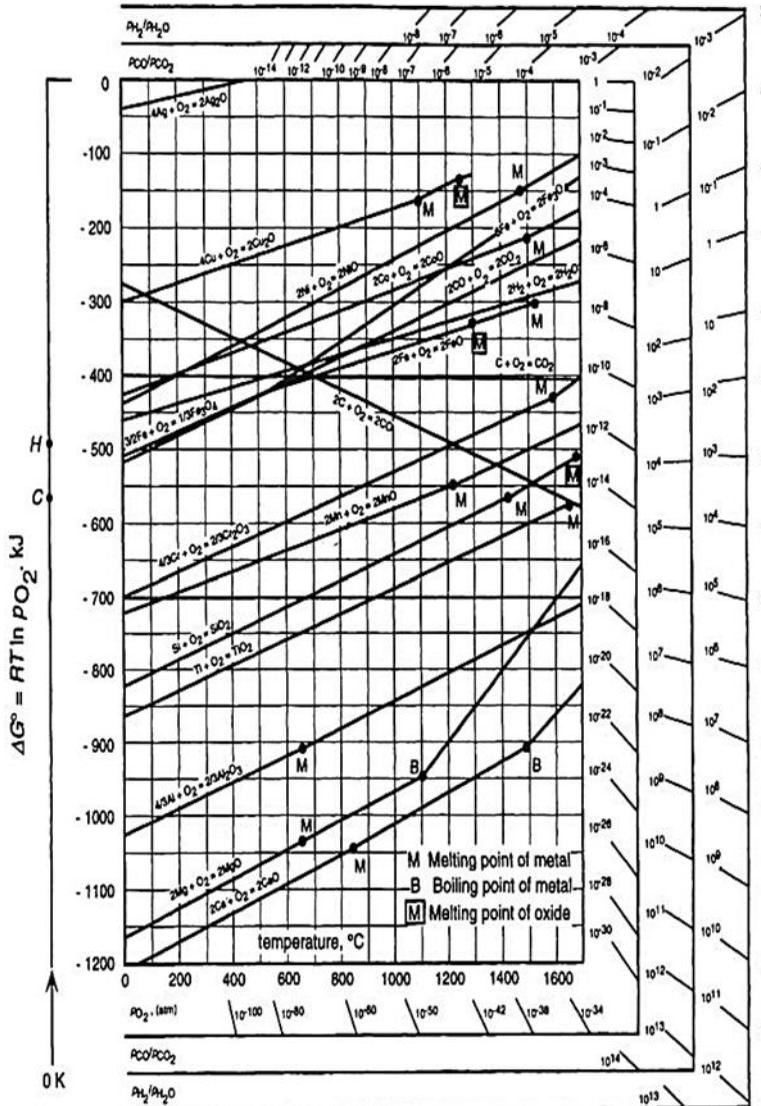


**Gambar 2.7** Susunan bahan baku pada sagger (Guban 2015)

## 2.8 Termodinamika Reduksi Bijih Besi

Diagram Ellingham adalah diagram yang menampilkan energi bebas suatu reaksi yang diplot kedalam suatu grafik dengan parameter energi bebas vs temperatur. Logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam

membentuk oksida terletak pada diagram Ellingham bagian paling bawah. Sedangkan, untuk logam yang memiliki energi bebas yang paling rendah (positif) dalam membentuk nilai oksida terletak pada diagram Ellingham bagian atas. Nilai  $\Delta G^\circ$  untuk reaksi oksidasi adalah ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai  $\Delta G^\circ$  suatu logam, menunjukkan logam semakin stabil dalam bentuk oksida. Dari gambar diagram Ellingham dibawah, dapat diketahui minimal temperatur untuk terjadinya reaksi. Hal ini ditunjukkan dari perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentuk CO. Gambar 2.8 menunjukkan diagram Ellingham.



Gambar 2.8 Diagram Ellingham (Straton 2013)

Energi Gibbs adalah suatu ukuran dari penggerak yang dapat suatu reaksi terjadi. Seperti ditunjukkan pada Persamaan 2.2 energi Gibbs :

$$\Delta G = -T \cdot \Delta S + \Delta H \quad (2.2)$$

Dimana:

$\Delta G$  = perubahan energi Gibbs (J)

$\Delta H$  = perubahan entalpi reaksi (J)

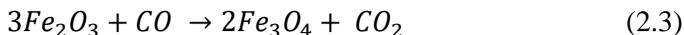
$\Delta S$  = perubahan entropi reaksi (J/K)

T = temperatur absolut reaksi (K)

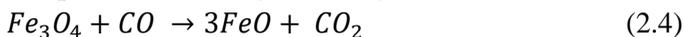
$\Delta G$  yang bernilai negatif menunjukkan bahwa suatu reaksi dapat terjadi secara spontan tanpa energi dari luar. Sementara itu reaksi yang memiliki  $\Delta G$  positif menunjukkan reaksi tersebut tidak akan terjadi secara spontan. Entalpi adalah besaran dari energi yang dilepaskan ketika suatu reaksi berlangsung (panas dari suatu reaksi). Jika entalpinya bernilai negatif maka reaksi tersebut melepaskan energi (eksotermik), sedangkan jika bernilai positif maka reaksi tersebut membutuhkan energi (endotermik). Entropi adalah ukuran dari derajat ketidakteraturan suatu reaksi. Padatan memiliki bentuk yang teratur, cairan memiliki bentuk yang kurang teratur dan gas memiliki ketidakteraturan yang tinggi (Stratton 2013).

Mekanisme reduksi komponen oksida besi dibagi menjadi 3 tahap:

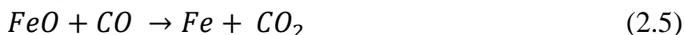
- Tahap I: Reduksi hematit menjadi magnetit



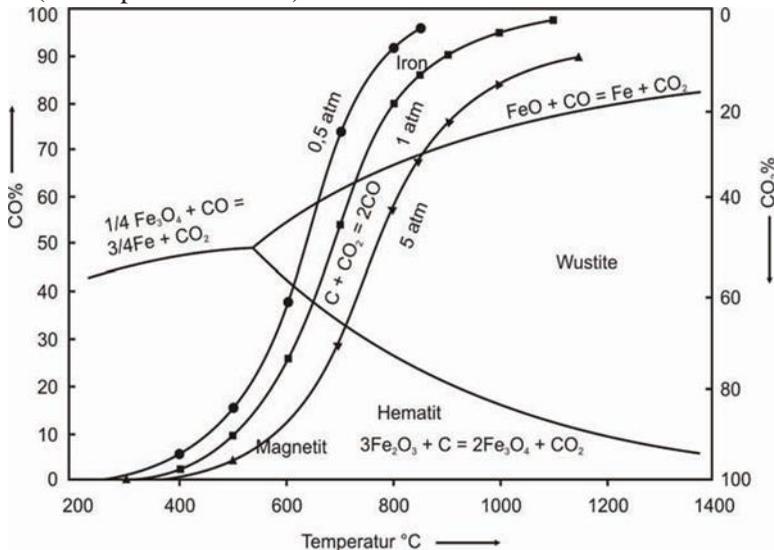
- Tahap II: Reduksi magnetit menjadi wustit



- Tahap III: Reduksi wustit menjadi logam besi



Reaksi Boudouard merupakan reaksi kesetimbangan kimia antara karbon monoksida dengan karbon dioksida pada suhu tertentu. Reaksi ini merupakan reaksi disproporsionasi karbon monoksida menjadi karbon dioksida dan grafit. Hal ini dapat dijelaskan melalui Gambar 2.9 yang menampilkan kesetimbangan Boudouard memotong kurva *wustite-iron* pada temperatur 700°C serta memotong kurva *magnetite-wustite* di temperatur 650°C. Secara termodinamika, pada saat temperatur dibawah 700°C wustit tidak dapat direduksi. Sedangkan pada temperatur 650°C magnetit tidak dapat direduksi karena CO berdekomposisi menjadi CO<sub>2</sub> dan C (R. Stephenson 1980).



**Gambar 2.9** Efek tekanan terhadap kesetimbangan Boudouard (R. Stephenson 1980)

Temperatur juga menentukan komposisi tekanan gas parsial CO/CO<sub>2</sub>; pada temperatur 1000 K perbandingan tekanan gas parsial CO dengan CO<sub>2</sub> adalah 60,89% : 39,11% (Stephenson dan

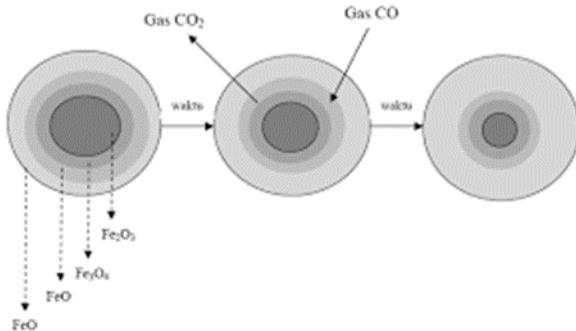
---

Smaier, 1980), sehingga minimal pada temperatur  $727^{\circ}\text{C}$  reduksi wustit terjadi secara eksotermik.

## 2.9 Kinetika Reduksi Bijih Besi

Kinetika reduksi bijih besi merupakan kecepatan besi oksida bertransformasi menjadi besi metalik dengan melepaskan oksigen. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi reduksi bijih besi, antara lain adalah ukuran partikel, bentuk dan dsitribusi ukuran partikel, bobot jenis, porositas, struktur Kristal, serta komposisi kimia (El-Geassy dkk, 2007). Kinetika reduksi langsung menggunakan reduktan batubara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas, perpindahan massa oleh konveksi, difusi fase gas, serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon (El-Geassy Dkk, 2007).

Kemampuan untuk direduksi dari besi oksida sangat dipengaruhi oleh porositas yang dimiliki oleh besi oksida tersebut. Semakin tinggi porositas yang dimiliki oleh besi oksida maka semakin mempermudah difuasi gas reduktan CO pada besi oksida sehingga meningkatkan laju reduksi. Pelet hasil aglomerasi memiliki porositas yang jauh lebih tinggi daripada pelet yang disinter, sehingga *reducibility* pelet hasil aglomerasi jauh lebih tinggi daripada pelet hasil sinter. Ukuran partikel pereaksi seperti karbon juga sangat berpengaruh. Semakin kecil partikel karbon maka semakin luas permukaan yang memungkinkan terjadinya reaksi, sehingga laju pembentukan CO semakin tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dibawah.



**Gambar 2.10** Mekanisme Reduksi Langsung Pelet Berpori (Komarudin, 2008)

## 2.10 Penelitian Sebelumnya

Bijih besi adalah campuran mineral berharga yang mengandung besi dengan mineral-mineral lainnya yang disebut *gaunge* (Utomo 2011). Berdasarkan bentuk, bijih besi dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu bongkahan (*lump*) dan pasir. Penelitian terkait pembuatan sponge iron menjadi karena berkaitan langsung dengan pembuatan baja, sedangkan konsumsi baja menjadi indikator kemajuan suatu negara. Penelitian terkait pengolahan bijih besi sebenarnya sudah banyak dilakukan dan sudah dikembangkan. Mulai dengan menggunakan variasi temperatur proses, jenis reduktan, agen perekat, dan waktu proses reduksi. Jenis reduktan untuk saat ini masih bisa dikembangkan karena banyak energi alternatif yang tersedia. Seperti arang kayu, arang tempurung kelapa, hingga limbah biomassa yang sudah dilakukan reaksi kimia menjadi gas produser. Sudah ada juga penelitian yang menggunakan aditif plastic jenis PE (polietilen). Selain terjadi pirolisis, PE dapat menghasilkan  $H_2$ . berdasarkan penelitian sebelumnya, gas  $H_2$  yang dihasilkan pada proses pirolisis dapat digunakan untuk membantu proses reduksi.

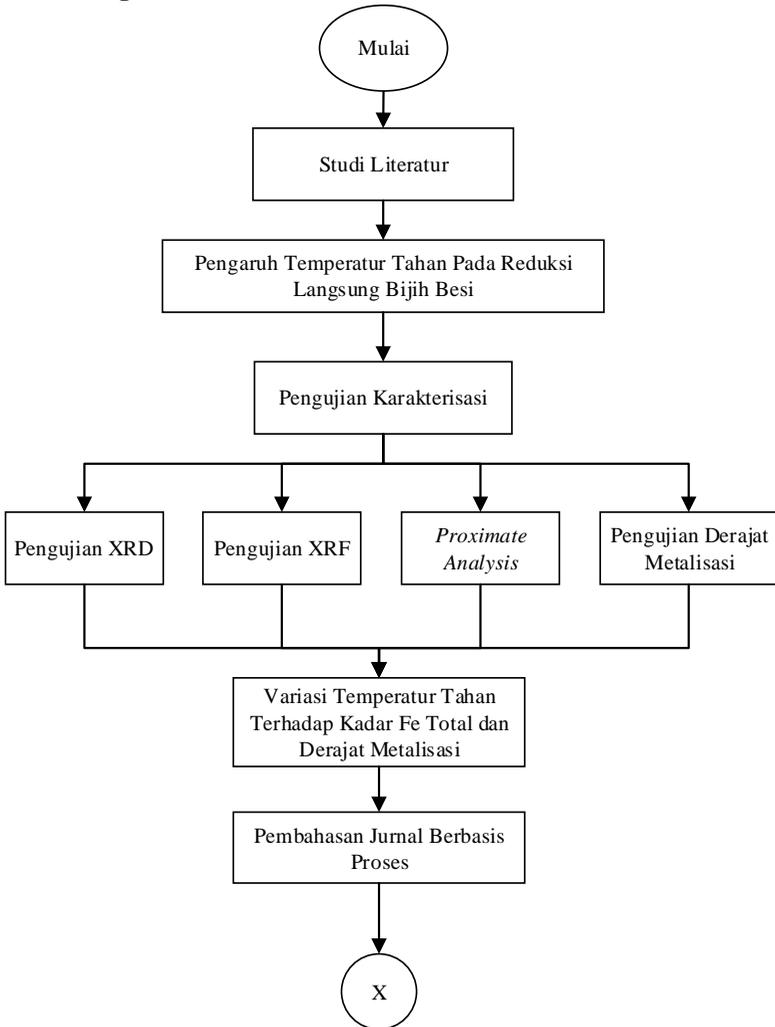
Penelitian terkait reduksi langsung juga sebenarnya sudah dilakukan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pada penelitian sebelumnya sudah dilakukan menggunakan pasir besi

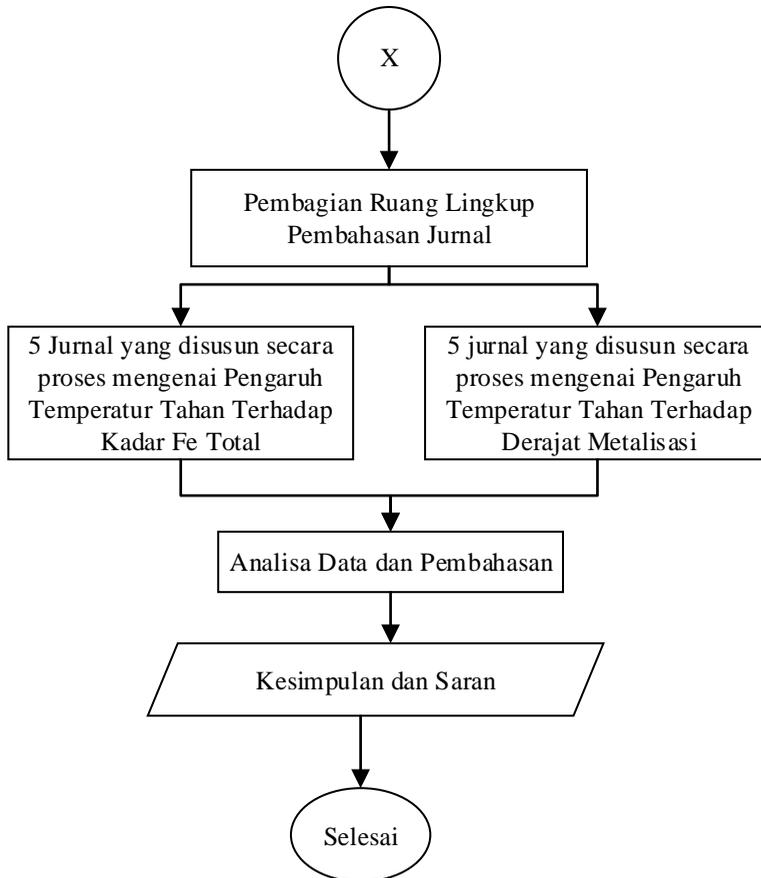
---

dan campuran pasir besi serta bijih besi. Variasi yang digunakan juga beragam, mulai dengan bentuk briket, ukuran briket, serta penambahan arang sebagai reduktan. Saat ini untuk melakukan penelitian pengolahan bijih besi sangat bisa dilakukan karena kebutuhan baja negara terus meningkat serta masih minimnya pengolahan besi di Indonesia.

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Bahan Penelitian

Berikut adalah bahan yang digunakan pada jurnal antara lain adalah:

### 3.2.1 Bijih Besi

Bijih besi merupakan bahan utama yang digunakan pada penelitian. Bijih besi ini berasal dari berbagai macam daerah, seoperti dari Lampung, Tasikmalaya, Kalimantan, dan Sumatera.

Bijih besi kemudia dihaluskan hingga 50 – 100 mesh yang bertujuan untuk pembuatan briket ataupun pellet. Gambar bijih besi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 berasal dari Kalimantan.



**Gambar 3.2** Bijih Besi

### **3.2.2 Batubara**

Batubara yang digunakan pada penelitian biasanya merupakan jenis batubara *sub-bituminous* yang berasal dari Kalimantan, batubara akan digunakan sebagai agen pereduksi yang sebelumnya dihaluskan hingga 50 – 100 mesh. Berikut adalah Gambar 3.3, batubara *sub-bituminous* yang berasal dari Kalimantan.



**Gambar 3.3** Batubara *Sub-Bituminous*

### 3.2.3 Batu Kapur

Batu kapur yang digunakan pada penelitian berfungsi sebagai *flux agent*. Batu kapur dihancurkan hingga ukuran 50 – 100 mesh. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 merupakan mineral batu kapur.



**Gambar 3.4** Batu Kapur

### 3.2.4 Tepung Tapioka

Tepung tapioka digunakan sebagai binder agent atau perekat bijih besi yang sudah dihancurkan dan diayak 50 – 100 mesh. Tepung tapioka ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Tepung Tapioka

### 3.2.5 Arang

Arang yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis arang kayu dan arang tempurung kelapa. Arang digunakan sebagai reduktan alternatif atau pengganti dari batubara sebagai penyedia karbon Gambar 3.6 menunjukkan jenis arang kayu.



**Gambar 3.6** Arang Kayu

### 3.3 Pengujian Karakterisasi

Pengujian karakterisasi dilakukan untuk mengetahui unsur atau senyawa yang terkandung serta komposisi kimia pada bahan yang digunakan.

#### 3.3.1 X-Ray Diffraction

Untuk mendapatkan atau mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dari bahan baku dan sampel hasil reduksi dengan menggunakan alat XRD PAN Analytical. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-3}$  - 10 nm, berfrekuensi 10<sup>17</sup> - 10<sup>20</sup> Hz dan memiliki energi 10<sup>3</sup> - 10<sup>6</sup> eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.

Difraksi sinar-X terjadi karena pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal berdasarkan persamaan Bragg 3.1 dibawah

$$2d \sin\theta = n\lambda \quad (3.1)$$

Dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $d$  adalah jarak antara dua bidang kisi,  $\theta$  adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan  $n$  adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan

#### 3.3.2 X-Ray Fluorescence

*X-Ray Fluorescence Spectrometry* adalah sebuah teknik analisa non-destruktif yang digunakan untuk mengidentifikasi serta menentukan konsentrasi elemen yang berada pada padatan, bubuk, ataupun sampel cair. Secara gambaran umum, XRF mengukur panjang gelombang komponen material secara individu

dari emisi flourosensi yang dihasilkan sampel saat ditemberikan radiasi dengan sinar x.

### 3.3.3 Proxymate Analysis

Analisis proksimat merupakan pengujian yang dilakukan untuk menganalisis kondisi batu bara berdasarkan kandungan air (*moisture*), abu (*ash content*), zat terbang (*volatile matter*) dan karbon padat (*fixed carbon*) yang terdapat di dalamnya. Hal ini dilakukan karena hal-hal tersebut dapat menurunkan kualitas dari batu bara (Kadir 2016).

### 3.3.4 Derajat Metalisasi

Untuk mengetahui Fe metal yang terbentuk, dilakukan pengujian derajat metalisasi dengan metode besi klorida. Standarisasi pengujian yang digunakan adalah IS 15774: 2007. Metode ini melibatkan pelarutan sampel dalam larutan besi (iii) klorida dan dilanjutkan dengan filtrasi dan titrasi besi yang terlarut dalam filtrate. Persamaan 3.2 dibawah adalah reaksi antara besi (iii) klorida dengan besi metalik.



Untuk mendapatkan persen metalisasi dari sampel hasil reduksi, terlebih dahulu mencari kadar Fe total serta Fe metal yang terbentuk pada sampel. Pada Persamaan 3.3; 3.4; dan 3.5 dibawah berfungsi untuk mencari Fe total, Fe metal, dan persen metalisasi.

$$\% \text{ Fe total} = \frac{(VN)K_2Cr_2O_7 \times BA \text{ Fe} \times 100\%}{\text{bobot contoh (mg)}} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana,

N = Normalitas

V = Volume (ml)

BA = Berat Atom

$$\% \text{ Fe metal} = \frac{(VN) K_2Cr_2O_7 \times BA \text{ Fe} \times FP \times 100\%}{\text{bobot contoh (mg)} \times 3} \times 100\% \quad (3.4)$$

Dimana,

N = Normalitas;  $K_2Cr_2O_7 = 0.1091 N$

V = Volume (ml)

BA = Berat Atom

FP = Faktor Pengenceran

$$\% \text{Metalisasi} = \frac{\% \text{Fe Metal}}{\% \text{Fe Total}} \times 100\% \quad (3.5)$$

### 3.4 Metode Penelitian

Penelitian ini akan membahas pembuatan sponge iron dengan metode reduksi langsung bijih besi. Variabel yang digunakan adalah temperatur tahan saat reduksi bijih besi. Menggunakan 5 jurnal untuk dijadikan sebagai data sekunder. Tidak semua jurnal bisa digunakan dalam pembahasan. Jurnal yang digunakan yang menjawab rumusan masalah penelitian, yaitu yang memiliki kadar Fe total dan derajat metalisasi. Usia jurnal juga dipertimbangkan untuk pembaruan penelitian, jurnal yang digunakan adalah 10 tahun kebelakang.

Data yang harus ada pada jurnal yang pertama adalah uji karakterisasi raw material dan produk hasil reduksi. Yaitu uji XRD atau XRF pada bijih besi, serta uji proksimat pada batubara atau arang. Data uji karakterisasi pada raw material dan produk hasil reduksi bertujuan untuk mengetahui hasil dari proses reduksi seberapa efektif proses reduksi yang terjadi dengan variabel yang sudah ditentukan. Kemudian uji proksimat pada batubara yang bertujuan untuk mengetahui *fixed carbon*. Batubara digunakan sebagai reduktan karena mengandung carbon yang berfungsi mengikat oksigen.

Data yang didapatkan dari jurnal kemudian dianalisa apakah penelitian yang sudah dilakukan dengan variasi temperatur tahan memiliki pola yang sama. Dilihat dari kadar Fe total dan derajat metalisasi, pada masing masing jurnal harus memiliki hasil yang sama. Dengan kata lain jika temperatur semakin tinggi, maka kadar Fe dan derajat metalisasi juga semakin baik. Kemudian dilakukan

analisa terhadap pengaruh temperatur tahan pada kadar Fe serta derajat metalisasi pada produk hasil reduksi bijih besi.

Dari hasil analisa, akan didapatkan kesimpulan berupa temperatur tahan yang menghasilkan kadar Fe dan derajat metalisasi paling baik. Serta mengetahui pengaruh temperatur tahan pada proses reduksi langsung bijih besi. Berikut terlampir jurnal yang digunakan menjadi bahan *review* ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Jurnal yang Digunakan Pembahasan Review

Tahun	Nama Jurnal	Judul	Penulis
<b>2014</b>	Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Vol 10 Nomor 1	Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor pada Pembuatan Sponge Iron Menggunakan Teknologi Direct Reduction Iron dalam Rotary Kiln	Suharto, et al., 2014
<b>2014</b>	Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI	Pengolahan Bijih Besi dari Tasikmalaya Dengan Metode Reduksi	Bagus, et al., 2014
<b>2018</b>		Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor Terhadap Perolehan	Murti, et al., 2018

---

---

		Persen Metalisasi Hasil Reduksi Bijih Besi dari Kalimantan	
<b>2019</b>	Metalurgi vol 2	Reduksi Bijih Besi Lampung Memanfaatkan Reduktor Model Gas Produser	Suharto, et al., 2019

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pengaruh Temperatur Tahan Terhadap Kadar Fe**

Pada review jurnal ini, digunakan data sekunder dari lima jurnal penelitian terdahulu terkait pengolahan bijih besi dengan variasi temperatur tahan yang mempengaruhi kadar Fe.

Pada penelitian Suharto, 2014 melakukan penelitian terkait pengolahan bijih besi yang berasal dari Provinsi Lampung dengan variasi temperatur serta jenis reduktan pada pembuatan sponge iron menggunakan teknologi *direct reduced iron* dalam *rotary kiln*. Dilakukan analisis komposisi kimia terlebih dahulu terhadap bahan baku untuk pembuatan pelet komposit. Pada bijih besi magnetit dilakukan analisis XRF untuk mengetahui kandungan Fe total serta analisis proksimat untuk batubara dan arang kayu untuk mengetahui *fixed carbon*. Bijih besi magnetit, batubara, arang kayu, dan bentonit dihancurkan terlebih dahulu menggunakan *ball mill* kemudian dilakukan pengayakan dengan ukuran 100 mesh untuk selanjutnya dibuat menjadi pelet. Pembuatan pelet yang digunakan memiliki komposisi bijih besi 77%, reduktan 20%, bentonit 3% dengan menggunakan *balling drum* dan kemudian dikeringkan. Variabel temperatur yang digunakan pada penelitian ini adalah 900, 1050, dan 1200°C dan jenis reduktan batubara sub bituminous. Proses reduksi berlangsung selama 2 jam dan berat masing - masing sampel sebesar 20 kg dilakukan secara kontinyu. Analisis Fe total dan Fe metal dilakukan di laboratorium CCIC dengan metode IMSG – 01 008. Hasil analisis proksimat pada reduktan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan hasil uji karakterisasi XRF pada sampel bijih besi yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan 4.2.

**Tabel 4.1** Perbandingan hasil analisis proksimat reduktor arang kayu dengan batu bara (Y. S. Suharto 2014)

No	Percontoh	% Hasil Analisis Proksimat			
		<i>Moisture</i>	VM	Ash	FC
1	Arang kayu	7,80	18,75	4,37	76,85
2	Batu Bara	18,96	40,22	15,48	44,25

**Tabel 4.2** Hasil analisis bijih besi halus Lampung (Y. S. Suharto 2014)

Komposisi	Kadar (%)	Komposisi	Kadar (%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	71,12	MnO <sub>2</sub>	3,21
SiO <sub>2</sub>	18,12	TiO <sub>2</sub>	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,47	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20
K <sub>2</sub> O	0,10	BaO	0,01
CaO	0,11	CuO	0,01
<u>MgO</u>	<u>2,90</u>	<u>Na<sub>2</sub>O</u>	<u>0,04</u>

Pada hasil pengujian XRF, kadar Fe awal dalam bijih besi magnetit yang digunakan yaitu 49,78% dan masih banyak unsur lain yang terkandung seperti silikon, titanium, aluminium, kalsium, mangan, magnesium, fosfor, kalium, barium, tembaga, dan natrium. Setelah dilakukan proses reduksi pada tiap variabel, diambil sampel untuk selanjutnya dilakukan pengujian karakterisasi. Didapatkan hasil uji karakterisasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Peningkatan Fe pada sampel sponge iron (Y. S. Suharto 2014)

No.	Temperatur (°C)	Fe awal	Fe akhir	Peningkatan
1	900	49,78%	61,81%	12,03%

2	1050	49,78%	56,11%	6,33%
3	1200	49,78%	60,59%	10,81%
Rata - rata =		49,78%	59,50%	9,72%

Berdasarkan tabel peningkatan kadar Fe sebelum dan sesudah menjadi sponge iron, didapatkan rata – rata kadar Fe sebesar 59,50%, sedangkan kadar Fe tertinggi diperoleh pada temperatur 900°C sebesar 61.81%. Menurut Suharto, kecilnya Kadar Fe yang didapatkan disebabkan Kadar Fe awal yang terlalu rendah pada bijih besi, sehingga proses peningkatannya dipengaruhi oleh pengotornya. Selain itu, dibutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan bijih besi dengan Kadar Fe awal yang lebih tinggi serta pengotor yang sedikit.

Bagus, 2014 telah melakukan penelitian terkait pengolahan bijih besi dengan variasi temperatur. Bijih besi yang digunakan adalah bijih besi yang berasosiasi dengan endapan mangan yang berasal dari daerah Karangnunggal, kabupaten Tasikmalaya. Proses reduksi pada dasarnya adalah proses pemisahan oksigen dari besi oksida menggunakan karbon yang dihasilkan oleh reduktan. Reduktan yang digunakan biasanya adalah unsur karbon yang berasal dari batubara. Batubara yang digunakan berasal dari pertambangan batubara di Kalimantan Timur. Hasil analisis proksimat dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil analisa proksimat reduktor batubara (A. S. Bagus 2014)

Variabel	Persentase
Moisture	42,69%
Volatile Matter	28,80%
Ash	0,97%
Fixed Carbon	27,55%

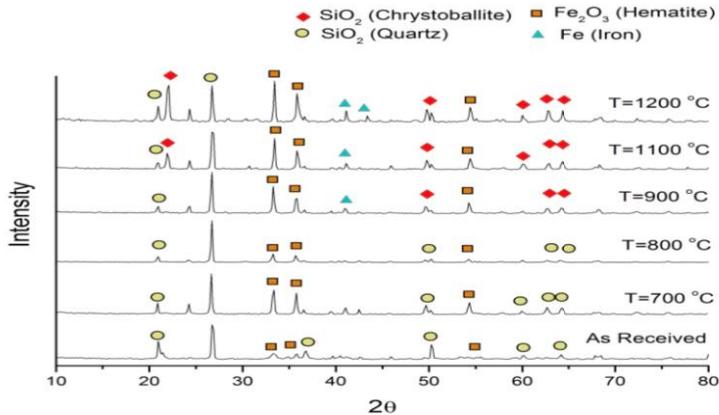
Volatile Dry	53,13%
Ash Dry	1,62%

Sebelum dilakukan proses reduksi, bijih besi dan batubara dihancurkan menggunakan *ball mill* dan *jaw crusher* kemudian dilakukan proses pengayakan dengan ukuran 200 mesh kemudian dicampurkan dan dijadikan pelet. Proses reduksi menggunakan alat *muffle furnace* dengan variasi temperatur antara 700 sampai dengan 1200 °C dengan waktu reduksi selama 3 jam. Hasil dari proses reduksi kemudian diuji karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.1 dibawah

**Tabel 4.5** Kadar Fe total pada hasil reduksi (A. S. Bagus 2014)

Temperatur (°C)	R O M	700	800	900	1000	1100	1200
% Fe	37	42.8	41. 6	45. 5	44.8	44.2	52.61

Dari data hasil pengujian diatas, diketahui kadar Fe *Raw of Material* dari bijih besi yang digunakan sebesar 37%. Dari tabel tersebut terlihat peningkatan kadar Fe yang berbanding lurus dengan bertambahnya temperatur dan kadar Fe total tertinggi didapatkan pada temperatur 1200°C sebesar 52.61%.



**Gambar 4.1** Pola XRD dengan perbedaan temperatur reduksi (A. S. Bagus 2014)

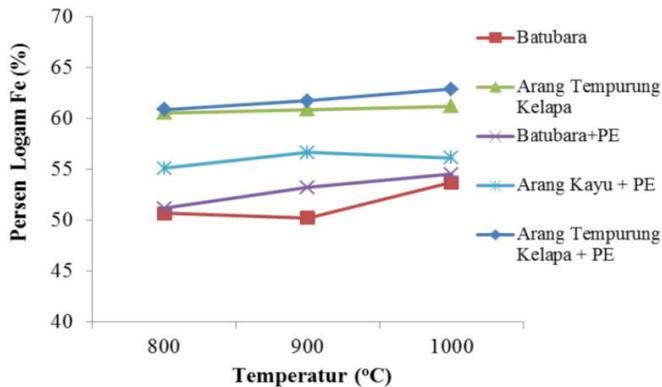
Pola XRD dari sampel hasil proses reduksi diperlihatkan pada Gambar 4.1. Pada temperatur  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  terlihat bahwa puncak intensitas yang berkaitan dengan hematit semakin kuat dibanding dengan kandungan awal bijih besi. Di saat yang sama, puncak intensitas yang berkorelasi dengan kwarsa menurun, dan transformasi Kristal kwarsa menjadi kristobalit pun mulai berlangsung. Puncak intensitas hematit semakin kuat dengan naiknya temperatur proses. Sementara itu, kenaikan temperatur juga menaikkan intensitas transformasi silikon dioksida dari bentuk Kristal kwarsa menjadi kristobalit. Pada temperature  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  pembentukan logam besi mulai berlangsung dan semakin progresif dengan naiknya temperatur hingga  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Handayani, 2018 melakukan penelitian terhadap pengaruh temperatur dan jenis reduktan terhadap perolehan persen metalisasi hasil reduksi bijih besi yang berasal dari Kalimantan. Variasi temperatur yang digunakan adalah  $800$ ,  $900$ , dan  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan waktu proses selama 2 jam. Jenis reduktan yang digunakan adalah batubara dan arang tempurung kelapa. Dengan perbandingan komposisi briket bijih besi 67%; reduktan 30%; binder 3%; batu

kapur >1%. Setelah proses reduksi dilakukan, kemudian sampel dilakukan pengujian karakterisasi pada hasil reduksi bijih besi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 adalah kandungan Fe dari tiap sampel variabel yang digunakan serta Gambar 4.2 adalah grafik perbandingan hasil dari tiap sampel yang digunakan.

**Tabel 4.6** Hasil Reduksi Bijih Besi dengan Reduktan batubara dan arang tempurung kelapa (Handayani 2018)

Batubara			
Temperatur (°C)	800	900	1000
Kadar Fe (%)	50,70	50,24	53,37
Arang Tempurung Kelapa			
Temperatur (°C)	800	900	1000
Kadar Fe (%)	60,59	60,89	61,24



**Gambar 4.2** Pengaruh Temperatur terhadap Persen Logam Fe (Handayani 2018)

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Murti Handayani, didapatkan hasil seperti data diatas. Pada penggunaan reduktor batubara maupun arang tempurung kelapa, kadar Fe yang dihasilkan meningkat berbanding lurus dengan semakin tingginya temperatur yang digunakan. Pada reduktor batubara didapatkan kadar Fe total sebesar 53.37% pada temperatur 1000°C sedangkan pada penggunaan reduktor arang tempurung kelapa didapatkan kadar Fe total tertinggi pada temperatur 1000°C sebesar 61.24%.

Suharto, 2019 melakukan penelitian terkait reduksi bijih besi lampung memanfaatkan reduktor model gas produser. Proses reduksi bijih besi dilakukan dengan variasi temperatur (800, 900, dan 1000°C) dengan ukuran -6+3 mm dan dengan waktu 75 menit. Setelah dilakukan reduksi bijih besi, besi spons yang dihasilkan dianalisa untuk mengetahui kadar Fe metal dengan standar uji ISO 16878:2016 (E). Diawali dengan melakukan uji karakterisasi XRF yang dilakukan di Lab MIPA terpadu Universtas Sebelas Maret, hasil uji XRF ditunjukkan pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil uji XRF bijih besi Lampung (Suharto O. F., 2019)

Senyawa	Kadar %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	86,42
SiO <sub>2</sub>	10,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,41
K <sub>2</sub> O	0,33
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,28
SO <sub>3</sub>	0,27
MnO	0,26

Setelah mengetahui kadar Fe pada *raw material*, proses reduksi dilakukan dengan menggunakan variasi yang sudah ditentukan. Hasil dari proses reduksi dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil reduksi bijih besi Lampung (O. F. Suharto 2019)

Suhu (°C)	Fe Awal (%)	Fe Total (%)
800	60.494	73,54
900	60.494	74,31
1000	60.494	79,95

Berdasarkan perolehan hasil dari reduksi bijih besi Lampung yang dilakukan oleh Suharto, persentase Fe metal dan Fe total tertinggi didapatkan pada temperatur 1000°C dengan Fe metal sebesar 67,36% dan Fe total sebesar 79,95%. Pada suhu rendah ( $T < 1000$  °C) dengan jumlah persen gas CO yang tidak mencukupi maka hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) tidak dapat tereduksi secara sempurna menjadi logam Fe melainkan hanya sampai FeO. Diperlukan temperatur yang lebih tinggi agar konsentrasi gas CO dapat mereduksi hematit dengan sempurna. Secara teoritis, hematit tidak dapat direduksi pada temperatur di bawah 580 °C dan magnetit tidak dapat direduksi pada temperatur di bawah 670 °C, karena CO terdekomposisi menjadi  $\text{CO}_2$  dan C sesuai dengan diagram reaksi kesetimbangan CO/ $\text{CO}_2$  (R. Bechera 2018).

Suharto, 2013 meneliti pengolahan bijih besi menggunakan variasi *binder agent* serta temperatur tahan. Prosedur percobaan yang digunakan Suharto meliputi tiga tahapan yaitu persiapan bahan baku, persiapan alat, serta pengambilan data dan analisis hasil percobaan. Aci dan bentonit digunakan sebagai variasi bahan perekat, serta temperatur yang digunakan adalah 1000, 1100, 1200 °C. Setelah melakukan percobaan sesuai prosedur, didapatkan data hasil reduksi sesuai Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Hasil analisis kimia Fe metal pada produk sponge iron (Suharto Y. A., 2013)

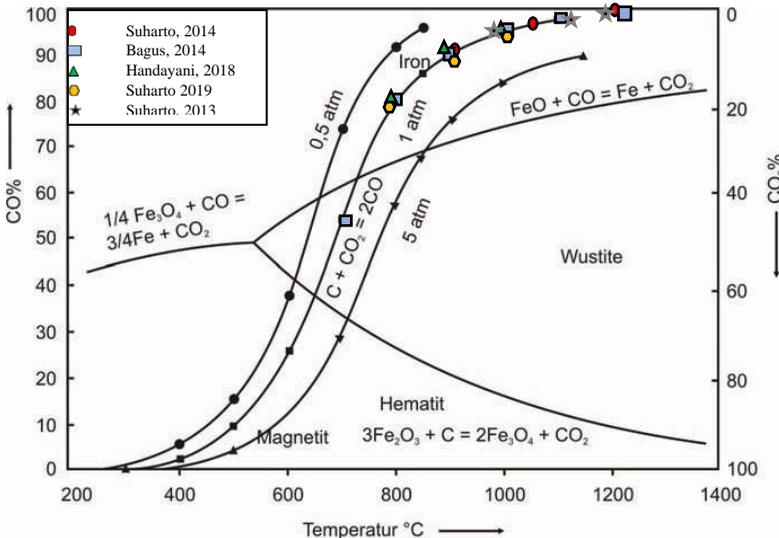
Sampel	Fe total (%)	Fe metal (%)	Temperatur (°C)
1	70.91	60,35	1200
2	70.91	55,33	1100
3	70.91	48,41	1000

Menurut Suharto, semakin tinggi suhu proses maka semakin tinggi persen Fe metal dan Fe taotal yang didapatkan. Seperti pada tabel datas, pada temperatur 1000°C dengan menggunakan *binder agent* aci mendapatkan persen Fe metal sebesar 48,%. Sedangkan pada temperatur 1200°C dengan *binder agent* yang sama mendapatkan persen Fe metal sebesar 60,35%. *Binder agent* mempengaruhi porositas pada saat pembuatan pelet, yang kemudian akan mempengaruhi difusi gas pada pelet.

Pada review jurnal ini penelitian mengenai reduksi bijih besi menggunakan variasi temperatur tahan terhadap kadar Fe total serata derajat metalisasi *sponge iron* yang dihasilkan. Temperatur menjadi hal yang penting untuk dikontrol karena berkaitan dengan efisiensi. Reduksi besi oksida diawali pembentukan gas reduktan CO dari reaksi C dengan CO<sub>2</sub> atau O<sub>2</sub> pada temperatur tinggi. Panas dari pembakaran akan berpindah secara konduksi dan konveksi kemudian menyebabkan reaksi gasifikasi karbon. Gas CO kemudian berdifusi melalui pori dan mengalami reaksi yang menghasilkan gas CO<sub>2</sub>. Gas CO<sub>2</sub> tersebut kemudian mengalami pembentukan kembali gas CO dan akan mereduksi besi oksida terus menerus sehingga terbentuk Fe.

Menurut Ross pada jurnalnya yang memiliki topik *Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use*, jika dilihat dari diagram Ellingham, kenaikan temperatur proses menyebabkan reaksi reduksi bijih besi akan cenderung berjalan ke arah kanan (membentuk logam Fe) atau berjalan lebih spontan. Sehingga reaksi reduksi bijih besi akan berjalan semakin baik pada setiap kenaikan temperatur. Pernyataan diatas juga didukung oleh Murti Handayani, pada penelitian yang dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula kadar Fe dan derajat metaliasasi yang dihasilkan. Hal ini juga bisa dijelaskan berdasarkan gambar yang menampilkan kurva kesetimbangan Boudouard memotong kurva *wustite-iron* pada temperatur 700°C dan memotong kurva *magnetite-wustite* pada temperatur 650°C. Itu berarti secara termodinamika

wustit tidak dapat direduksi pada temperatur di bawah 700°C dan magnetit tidak dapat direduksi pada temperatur di bawah 650°C, karena CO berdekomposisi menjadi CO<sub>2</sub> dan C. Pada Gambar 4.3 dan 4.4 serta Tabel 4.10 merupakan pemetaan variabel proses yang digunakan oleh tiap jurnal serta hasil yang didapatkan dari tiap jurnal yang digunakan.

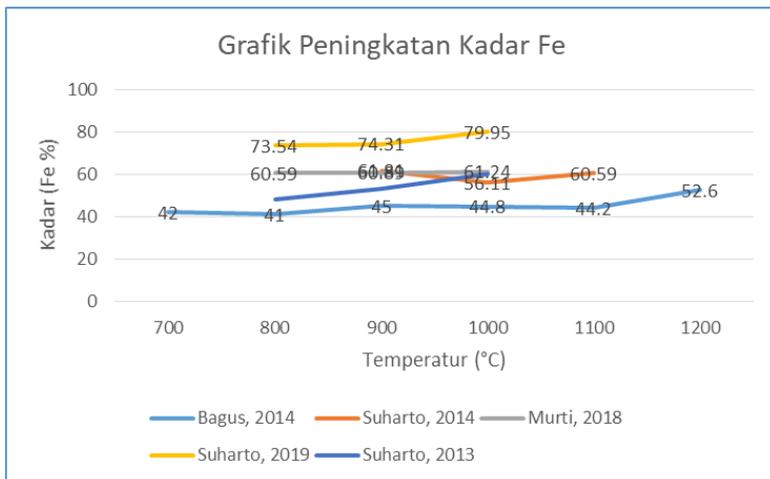


**Gambar 4.3** Diagram Keseimbangan Boudouard (R. Stephenson 1980)

**Tabel 4.10** Variasi dan Hasil Pada Jurnal yang Digunakan

Jurnal	Variabel	Fe Total
Suharto, 2014	900 °C	61,81%
	1050 °C	56,11%
	1200 °C	60,59%
	700 °C	42,8%
	800 °C	41,6%
	900 °C	45,5%

<b>Bagus, 2014</b>	1000 °C	44,8%
	1100 °C	44,2%
	1200 °C	52,6%
<b>Murti, 2018</b>	800 °C	60,59%
	900 °C	60,89%
	1000 °C	61,24%
<b>Suharto, 2019</b>	800 °C	73,54%
	900 °C	74,31%
	1000 °C	79,95%
<b>Suharto, 2013</b>	1000 °C	48,41%
	1100 °C	55,33%
	1200 °C	60,35%



**Gambar 4.4** Grafik Peningkatan Kadar Fe

## 4.2 Pengaruh Temperatur Tahan Terhadap Derajat Metalisasi

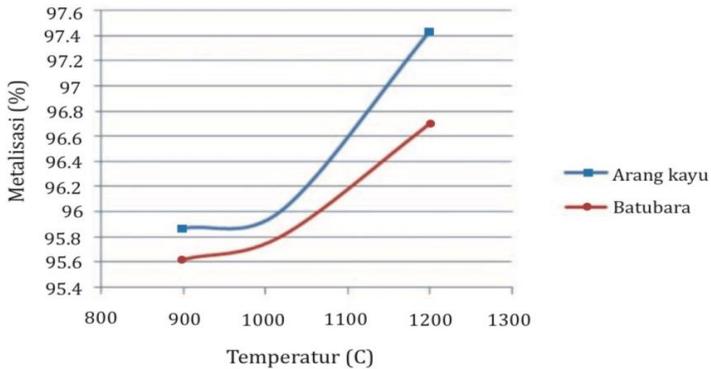
Suharto, 2014 melakukan penelitian terkait reduksi bijih besi untuk mengetahui efisiensi reduktan sebagai penyedia karbon

dalam reaksi reduksi. Temperatur pun menjadi hal yang berkaitan dengan efisiensi, karena makin tinggi temperatur maka kalori yang dibutuhkan semakin banyak. Variasi yang digunakan melibatkan 2 faktor pendukung pada proses keberhasilan pembuatan *sponge iron*. Bijih besi yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan Fe awal sebesar 49,78%. Variabel temperatur yang digunakan adalah 900, 1050 dan 1200°C dengan penggunaan dua jenis reduktan yang berbeda yaitu batubara dengan kandungan *fixed carbon* 44,25% dan arang kayu (*fixed carbon* 76,85%). Sedangkan variabel tetap yang digunakan adalah waktu reduksi pelet dalam tungku putar yaitu selama 2 jam. Setelah dilakukan percobaan sesuai variasi, didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 dibawah.

**Tabel 4.11** Hasil analisis produk sponge iron (Y. S. Suharto 2014)

Sampel	Fe total (%)	Fe metal (%)	Derajat Metalisasi (%)
AK 900	61,81	59,26	95,87
AK 1050	56,11	53,87	96,01
AK 1200	60,59	59,04	97,43
BB 900	61,81	54,31	95,62
BB 1050	56,11	57,16	95,81
BB 1200	60,59	57,71	96,70

Parameter keberhasilan proses reduksi bisa dilihat dari persentase metalisasi yang menyatakan perbandingan antara jumlah logam Fe dengan jumlah Fe total. Penggunaan dua huruf pada sampel menandakan jenis reduktan yang digunakan. Huruf AK sampel menggunakan reduktan arang kayu sedangkan huruf BB sampel menggunakan reduktan batubara.



**Gambar 4.5** Efek Temperatur Terhadap Persen Metalisasi (Suharto Y. S., 2014)

Pada proses reduksi yang sudah dilakukan, didapatkan hasil pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.4. Baik penggunaan reduktan batubara maupun arang kayu keduanya memiliki tren kurva yang meningkat seiring bertambahnya temperatur proses. Pada temperatur 900°C sponge iron hasil reduksi menggunakan reduktan batubara mendapatkan persen metalisasi sebesar 95.62% dan pada reduktan arang kayu mendapatkan persen metalisasi sebesar 95.87%. kemudian pada temperatur 1200°C penggunaan reduktan batubara didapatkan persen metalisasi sebesar 96.70% sedangkan pada reduktan arang kayu mendapatkan persen metalisasi sebesar 97.43%.

Penelitian yang dilakukan Murti Handayani, 2014 dengan topik pengolahan bijih besi menggunakan variasi jenis reduktan dan temperatur tahanan. Menurut Murti, diperlukan temperatur yang optimum untuk mereduksi bijih besi, tergantung pada jenis bijih. Perbedaan temperatur reduksi akan memberikan pengaruh terhadap perolehan persen metalisasi besi spons hasil reduksi bijih besi. Reduktan yang digunakan pada penelitian ini adalah batubara dan arang tempurung kelapa, kemudian variasi temperatur yang digunakan adalah 800, 900, dan 1000°C. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada reduksi bijih besi magnetit

Kalimantan dengan menggunakan jenis reduktan yang berbeda dan variasi temperatur reduksi, diperoleh hasil persen metalisasi besi spons seperti pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Persen metalisasi tiap sampel (Handayani 2018)

Sampel	% Metalisasi	Sampel	% Metalisasi
A1, 800°C	80,65	B1, 800°C	93,42
A2, 900°C	80,36	B2, 900°C	94,62
A3, 1000°C	80,85	B3, 1000°C	94,66

Pada sampel A yang memiliki arti menggunakan reduktan batubara sedangkan pada sampel B memiliki arti menggunakan reduktan arang tempurung kelapa. Pada tabel 4.12 menunjukkan peningkatan hasil persen metalisasi berbanding lurus seiring bertambahnya temperatur tahan yang digunakan dan penggunaan jenis reduktan yang berbeda akan mempengaruhi persen metalisasi yang dihasilkan. Pada hasil percobaan didapatkan temperatur optimum yang menghasilkan persen metalisasi tertinggi adalah 1000°C pada masing masing jenis reduktan.

Suharto, 2019 melakukan penelitian dengan mereduksi bijih besi lumpung memanfaatkan reduktan model gas produser. Proses reduksi bijih besi dilakukan dengan variasi temperatur (800, 900, dan 1000°C) dengan ukuran -6+3 mm dan dengan waktu 75 menit. Setelah dilakukan reduksi bijih besi, besi spons yang dihasilkan dianalisa untuk mengetahui kadar Fe metal dengan standar uji ISO 16878:2016 (E). diawali dengan melakukan uji karakterisasi XRF yang dilakukan di Lab MIPA terpadu Universtas Sebelas Maret, hasil uji XRF menunjukkan senyawa yang terkandung sesuai pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Komposisi kimia bijih besi lumpung (Suharto O. F., 2019)

Senyawa	Kadar %
---------	---------

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	86,42
SiO <sub>2</sub>	10,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,41
K <sub>2</sub> O	0,33
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,28
SO <sub>3</sub>	0,27
MnO	0,26

Keberhasilan proses reduksi bijih besi ini dinyatakan sebagai banyaknya oksigen yang bereaksi oleh reduktan pada saat proses reduksi. Persen metalisasi digunakan untuk melihat kualitas reduksi besi spons. Persentase perolehan metalisasi besi spons reduksi bijih besi Lampung dengan menggunakan reduktan gas produser pada berbagai temperatur mendapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Perolehan metalisasi besi spons (Suharto O. F., 2019)

Temperatur (°C)	Fe metal (%)	Fe total (%)	Metalisasi (%)
800	45,66	73,54	62,09
900	55,82	74,31	75,12
1000	67,36	79,95	84,25

Perolehan persentase metalisasi tertinggi dari reduksi bijih besi lampung didapatkan pada temperatur 1000°C dengan waktu reduksi 75 menit sebesar 84,25%. Sedangkan persentase metalisasi terendah diperoleh pada teperatur 800°C sebesar 62,09%.

Suharto, 2013 melakukan penelitian pada pengolahan bijih besi menggunakan *rotary kiln* menggunakan variasi *binder agent* dan temperatur tahan. Prosedur percobaan yang digunakan Suharto meliputi tiga tahapan yaitu persiapan bahan baku, persiapan alat, serta pengambilan data dan analisis hasil percobaan.

*Binder agent* yang digunakan adalah aci dan bentonit, serta variasi temperatur yang digunakan Suharto adalah 1000, 1100, dan 1200°C. Setelah dilakukan percobaan pada reduksi bijih besi sesuai dengan variabel yang digunakan, didapatkan hasil seperti data yang ditampilkan pada Tabel 4.15 dibawah ini.

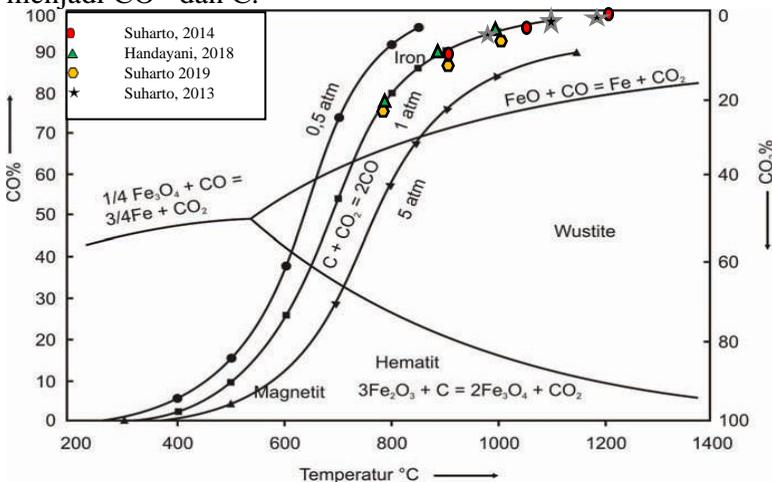
**Tabel 4.15** Hasil analisa derajat metalisasi produk sponge iron  
(Y. A. Suharto 2013)

Sampel	Fe total (%)	Fe Metal (%)	Persen metalisasi (%)	Keterangan
A1	70,91	60,35	85,11	Aci, 1200°C
A2	70,91	55,33	78,03	Aci, 1100°C
A3	70,91	48,41	68,27	Aci, 1000°C
B1	65,70	62,62	95,31	Bentonit, 1200°C
B2	65,70	60,33	91,83	Bentonit, 1100°C
B3	65,70	61,33	93,35	Bentonit, 1000°C

Berdasarkan tabel untuk sponge iron yang menggunakan *binder agent* aci mendapatkan metalisasi terbaik sebesar 85,11% pada temperatur 1200 °C dan hasil terendah pada temperatur 1000 °C mendapatkan persen metalisasi 68,27%, sedangkan pada sponge iron yang menggunakan *binder agent* bentonit mendapatkan metalisasi terbaik sebesar 95,31% pada temperatur 1200°C dan hasil dengan persen metalisasi terendah didapatkan pada temperatur 1100 °C sebesar 91,83%. Dari hasil percobaan dapat dilihat derajat metalisasi akan meningkat seiring bertambahnya temperatur proses yang digunakan untuk mereduksi oksigen dari bijih besi, pada penggunaan *binder agent* aci maupun bentonit menunjukkan hal yang sama. Hal ini dikarenakan pellet bijih besi sudah mulai tereduksi pada temperatur 727°C, dengan

temperatur ruangan didalam *rotary kiln* yang melebihi temperatur teoritis, maka proses reduksi dapat berlangsung.

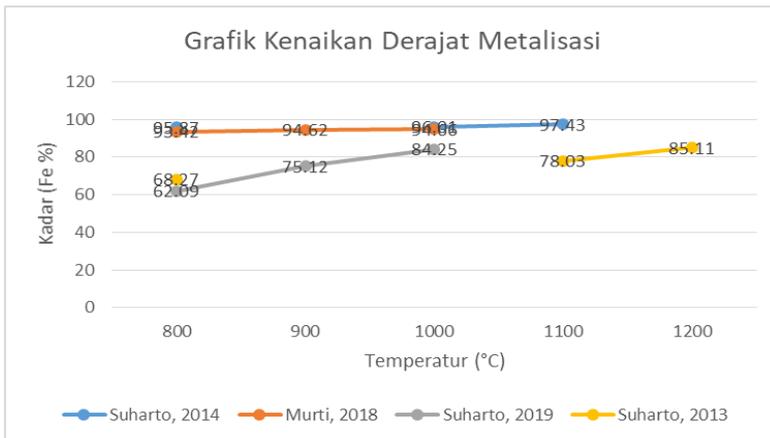
Parameter keberhasilan proses reduksi bijih besi dapat dilihat dari persentase metalisasi yang menyatakan perbandingan antara jumlah logam Fe yang sudah terpisah dari oksigen dengan Fe total yang merupakan jumlah Fe yang terkandung dalam sampel bijih besi. Temperatur memiliki peran penting untuk menentukan tekanan gas parsial CO/CO<sub>2</sub>; pada temperatur 1000 K tekanan gas parsial CO dengan CO<sub>2</sub> adalah 60.89% : 39.11%, sehingga temperatur minimal untuk berjalannya reduksi wustit adalah 727°C yang terjadi secara eksotermik. Hal ini bisa dijelaskan pada gambar yang menampilkan kurva kesetimbangan Boudouard yang memotong kurva *wustite-iron* pada temperatur 700°C dan memotong kurva *magnetite- wustite* pada temperatur 650°C. Itu berarti secara termodinamika wustit tidak dapat direduksi pada temperatur di bawah 700°C dan magnetit tidak dapat direduksi pada temperatur di bawah 650°C, karena CO berdekomposisi menjadi CO<sub>2</sub> dan C.



**Gambar 4.6** Diagram Kesetimbangan Boudouard (R. Stephenson 1980)

**Tabel 4.16** Variasi dan Hasil Metalisasi Jurnal Pembahasan yang Digunakan

Jurnal	Variabel	% Metalisasi
<b>Suharto, 2014</b>	900 °C	95,87%
	1050 °C	96,01%
	1200 °C	97,43%
<b>Murti, 2018</b>	800 °C	93,42%
	900 °C	94,62%
	1000 °C	94,66%
<b>Suharto, 2019</b>	800 °C	62,09%
	900 °C	75,12%
	1000 °C	84,25%
<b>Suharto, 2013</b>	1000 °C	68,27%
	1100 °C	78,03%
	1200 °C	85,11%

**Gambar 4.7** Grafik Kenaikan Derajat Metalisasi

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan diagram kesetimbangan Bauer-Glaessner yang menunjukkan garis kesetimbangan yang memotong senyawa pembentukan besi serta grafik perolehan data yang digunakan. Hasil dari penelitian yang sudah dilakukan sesuai dengan teori yaitu semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi metalisasi yang dihasilkan. Jika dilihat dari Tabel 4.16 pada penelitian yang dilakukan Suharto di tahun 2014, pada temperatur 900°C memiliki metalisasi paling rendah yaitu sebesar 95,87% jika dibandingkan dengan persen metalisasi pada temperatur 1200°C sebesar 97,43%. Hasil yang sama diperoleh dari penelitian Murti di tahun 2018, persen metalisasi terendah berada pada variable temperatur terendah yaitu 800°C sebesar 93,42% dan persen metalisasi paling tinggi didapatkan pada temperatur 1200°C sebesar 94,66%. Penelitian yang dilakukan Suharto di tahun 2019 dan 2013 mendapatkan hasil yang sama dengan teori bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi derajat metalisasi yang dihasilkan. Meski menggunakan temperatur yang sama pada masing – masing jurnal, hasil yang didapatkan berbeda. Hal yang mempengaruhi adalah karakterisasi *raw material* yang berbeda. Bijih besi yang berasal dari berbagai daerah yang digunakan memiliki kandungan Fe awal yang berbeda.

Kandungan bijih besi dari berbagai daerah memiliki kadar yang berbeda. Seperti halnya bijih besi yang dipakai pada penelitian Murti Handayani dan Suharto memiliki kandungan dan kadar pengotor yang berbeda. Jenis perlakuan yang dilakukan juga harus berbeda untuk mendapatkan hasil yang optimal. Kemudian jenis reduktan, pada beberapa penelitian sudah melakukan variasi jenis reduktan yang berbeda. Hal yang mempengaruhi dari perbedaan jenis reduktan adalah kandungan *fixed carbon*. Reduktan sendiri memiliki peran sebagai penyedia karbon yang berfungsi mengikat oksigen untuk pemurnian bijih besi. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan jumlah *fixed carbon* pada reduktan akan membuat perolehan logam Fe pada besi spons menjadi optimal karena secara tidak langsung konsentrasi dari

produk reduksi yang dihasilkan seperti CO dan CO<sub>2</sub> akan banyak pula yang berdampak pada difusi. Kemudian ukuran partikel yang digunakan, sedikit banyak mempengaruhi proses reduksi karena ruang antar partikel menjadi tempat terjadinya proses difusi. Persen metalisasi, yang merupakan perbandingan banyaknya logam Fe pada Fe total, dalam besi spons. Semakin meningkat temperatur maka persen bijih berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan partikel besi. Ukuran rata-rata partikel besi meningkat, dan partikel besi tumbuh seiring dengan peningkatan temperatur, waktu reduksi, atau pengecilan ukuran bijih besi (Y. Li 2018). waktu tahan juga mempengaruhi dan berkaitan dengan kandungan pengotor pada bijih besi. Pada beberapa kasus rendahnya kadar Fe total yang diperoleh disebabkan rendahnya kadar Fe awal di dalam kandungan bijih besi, karena memang kadar Fe pada bijih besi yang beredar di Indonesia memiliki kandungan Fe yang relatif kecil dibandingkan dengan bijih besi yang berasal dari negara lain, sehingga peningkatan kadar sangat dipengaruhi oleh pengotornya. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, semua memiliki hasil yang sama karena kenaikan temperatur berbanding lurus dengan meningkatnya kadar Fe total serta derajat metalisasi pada proses reduksi bijih besi. Proses reduksi memiliki hasil yang optimal pada temperatur >1000°C dilihat dari diagram elingham serta kesetimbangan reaksi boudouard menuju kearah kanan akan membentuk logam Fe dan reaksi berjalan spontan

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan data sekunder dan analisis data yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses reduksi bijih besi dapat terjadi pada temperatur  $727^{\circ}\text{C}$  untuk mereduksi wustit menjadi Fe.
2. Pada tiap penelitian memiliki temperatur optimal yang berbeda dikarenakan perbedaan *raw material*, semua penelitian pada jurnal yang digunakan mendapatkan hasil optimal pada temperatur  $>1000^{\circ}\text{C}$ .
3. Hasil paling baik didapatkan oleh penelitian yang dilakukan Suharto pada pengolahan bijih besi lampung dengan temperatur  $1200^{\circ}\text{C}$  dan didapatkan persen metalisasi sebesar 97.43%.

#### **5.2 Saran**

Pada review jurnal atau penelitian yang akan datang, terdapat saran yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Melakukan review atau penelitian terkait pengaruh variasi jenis reduktan pada proses reduksi bijih besi.
2. Melakukan review atau penelitian terkait pengaruh variasi waktu tahan pada proses reduksi bijih besi.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, John W. 2018. *Handbook of Mineralogy*. America: Chantilly, VA: Mineralogical Society of America. p. 333.
- Bagus. 2014. "Pengolahan Bijih Besi Dari Tasikmalaya Dengan Metode Reduksi." *Peran Penelitian Geoteknologi untuk Menunjang Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia*.
- Barati, Mansoor. 2014. "Chapter 3.3 - Application of Slag Engineering Fundamentals to Continuous Steelmaking." Dalam *Treatise on Process Metallurgy. Volume 2: Process Phenomena*, oleh Mansoor Barati, 305-357. Sweden: ISBN 978-0-08-096984-8.
- Breeze, P. 2015. "An Introduction to Coal-Fired Power Generation."
- Ektrop, S. 1945. *Hoganas Sponge Iron Process*. BSITS translation 275. Vol. 22, 705-721.
- Feinman, J. 1999. *Direct Reduced Iron: Technology and Economics of Production and Use*. Warrendale.
- Guban, Mark. 2015. *Carbon mitigation using biomass gasification to displace natural gas, during sponge iron powder production*. Sweden: Dept. of Material Science and Engineering Royal Institute of Technology.
- Habashi, Fathi. 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy*. Canada: WILEY-VCH.
- Handayani, Murti. 2018. "Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor Terhadap Perolehan Metalisasi Hasil Reduksi Bijih Besi." *Jurnal Material Metalurgi Indonesia*.
- Haryono, D. 2011. *Bahan ajar pirometalurgi*. Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Kadir, Abd Razak dkk. 2016. "Analisis Proksimat Terhadap Kualitas Batubara Di Kecamatan Tanah Grogot Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur." *Jurnal Geomine 4*: 118-122.
- Lukman, M., Yudyanto., Hartatiek. 2012. *Sintesis Biomaterial Komposit CaO-SiO<sub>2</sub> Berbasis Material Alam (Batuan*

---

---

***Kapur Dan Pasir Kuarsa) Dengan Variasi Suhu Pemanasan Dan Pengaruhnya Terhadap Porositas, Kekerasan Dan Mikrostruktur.***

- Manchunan, Ebru. 2011. "Mathematical Modeling and Simulation of The Preheating Zone of A Tunnel Kiln." *J. of Thermal Science and Technology* 79-86.
- Mangarul, Esaputra. 2014. "**Studi Pengaruh Waktu Proses Terhadap Proses Reduksi Langsung Bijih Besi Bongkah Menjadi Besi Spons Menggunakan Rotary Kiln Sederhana Skala Industri Rumah Tangga.**"
- Margareta, Mailinda Ayu Hana. 2015. "SINTESA HYDROXYAPATITE (Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>)." *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. ISSN: 2087-9946 16.
- N.Selvakumar. 2017. "Reference Module in Materials Science and Materials Engineering." *Particulate Processing (Powder Metallurgy)*.
- Noviyanti, Noviyanti. 2015. "**Karakterisasi Kalsium Karbonat (Ca(CO<sub>3</sub>)) Dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoa Kecamatan Suppa.**"
- R. Bechera, H. Hamadeh, O. Mirgoux dan F. Patisson. 2018. "Optimization of The Iron Ore Direct Reduction Process Through Multiscale Process Modeling." *Materials* 11 no 1094: 2-18.
- Ross, H U. 1980. "Direct Reduced Iron Technology and Economics Of Productions and Use." *The Iron and Steel Society of AIME* 19-25 dan 26-34.
- Shelly, Richard C. 2015. *Sedimentary Rocks/Limestones*. London: Imperial Collage of London.
- Stephenson. 1980. *Direct Reduced Iron Technology and Economics od Production and Use*. Warrendale: **The Iron & Steel Society**, AIME.
- Stephenson, R.L. 1980. "Direct Reduction-Technology and Economics of Production and Use." *Iron and Steel Society, AIME*.
- 
-

- 
- Strassburger, Julius H. 1969. *Blast furnace : theory and practice. I, Volume I*. New York: Gordon and Breach.
- Stratton, P. 2013. *Ellingham diagrams – their use and misuse. International Heat Treatment and Surface Engineering*. 7. 70-73. 10.1179/1749514813Z.00000000053.
- Suharto. 2014. “Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor Pada Pembuatan Sponge Iron Menggunakan Teknologi Direct Reduction Iron dalam Rotary Kiln.” *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Volume 10, Nomor 1* 15-21.
- Suharto. 2019. “Reduksi Bijih Besi Lampung Memanfaatkan Reduktor Model Gas Produser.” *Metalurgi 2* 71-80.
- Suharto. 2013. “Uji Coba Proses Reduksi Bijih Besi Lokal Menggunakan Rotary Kiln.” *Kontribusi Kimia dan Pendidikan Kimia dalam Pembangunan Bangsa yang Berkarakter* 211-216.
- Tambunan, Barman. 2016. “Desain dan Simulasi Tungku Bakar Untuk Pengolahan Pasir Besi Menjadi Sponge Iron Dengan Teknologi Tunnel Kiln.” 51 - 60.
- Utomo, W. 2011. *Pengantar teknologi besi baja*. Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Vegman, E. F. 2004. *Iron Making*. Moscow: Alademkniga.
- Y. Li, Y. Han, Y. Sun, P. Gao. 2018. “Growth Behavior and Size Characterization of Metallic Iron Particles in coal-based Reduction of Oolitic Hematite-Coal Composite Briquete.” *Material 8 no. 177*: 1-14.
-

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Orang tua Penulis yaitu Ibu tercinta Istofiyah dan Ayah Eko Wahyudi, mama Nia serta keluarga dirumah. Berkat bantuan material, moral, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar
2. Bagus, Najib, dan Radite dan penghuni tidak tetap kontrakan 1D yang selalu mendukung penulis untuk menyelesaikan tugas akhir
3. Amri Ilham Aziz selaku partner TA penulis dan seluruh penghuni lab ekstraksi yang telah membagi ilmu, menemani, dan berjuang bersama di laboratorium pengolahan mineral
4. Seluruh penghuni kontrakan omjes. Mahesa, Ari, Nail, Bayu, Gary, Nanda, Ucup terutama komting kontrakan Agoy
5. Siti Solekhah yang selalu mendengar keluh kesah saat penulisan tugas akhir dan saat menjalani organisasi
6. Tim BPKPP selaku rekan kerja penulis yang memberi banyak pelajaran
7. Teman teman PSDM SC 18/19 yang senantiasa sabar dan selalu memberikan semangat kepada penulis
8. Teman-teman MT18 yang selalu setia menemani

- 
9. Mas dan Mbak MT15, MT16, MT17 yang telah membimbing saya dan angkatan saya menjadi kader yang totalitas, integritas, dan berkarakter.
  10. Serta seluruh teman-teman dan pihak yang telah membantu penulis dan memberikan semangat.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua yang membutuhkan.

Surabaya, Agustus 2020  
Penulis

Naufal Muzakkii  
NRP 02511640000109

## **BIODATA PENULIS**



Naufal Muzakkii, lahir di Jakarta pada tanggal 22 Februari 1998, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Istofiyah dan Eko Wahyudi. Penulis telah melalui pendidikan di SDIT Thariq Bin Ziyad hingga saat ini kuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Selama kuliah penulis mengikuti beberapa kegiatan kampus antaranya staff hingga staff ahli pada departemen hubungan luar HMMT FTI ITS, Koordinator Instructor Committee kaderisasi HMMT FTI ITS, dan Koordinator Badan Pengawas Kegiatan Pasca Pengkaderan HMMT FTI ITS. Penulis mengalami pengalaman kerja praktek di PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia yang melakukan pembelajaran di bidang casting atau pengecoran logam. Tugas akhir ini sebagai Kontribusi penulis dalam dunia riset dan penulis memilih topik pemurnian bijih besi dengan proses reduksi langsung. Alamat email [naufalm125@gmail.com](mailto:naufalm125@gmail.com) dan nomor ponsel 082111977059