



TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI VARIASI JENIS *FLUX* PADA PROSES
PELEBURAN *DIRECT REDUCED IRON*
(DRI) TERHADAP KANDUNGAN Fe TOTAL
DAN *RECOVERY* Fe DALAM PROSES
PEMBUATAN *PIG IRON* DENGAN METODE
*ELECTRIC ARC FURNACE (EAF)***

Treshna Satria Purnamawan
NRP 02511440000030

Dosen Pembimbing :
Wikan Jatimurti. ST., M.Sc
Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

STUDY OF FLUX TYPE VARIATION ON DIRECT REDUCED IRON (DRI) SMELTING PROCESS TO Fe CONTAIN AND Fe RECOVERY IN PIG IRON MAKING PROCESS WITH ELECTRIC ARC FURNACE (EAF)

Treshna Satria Purnamawan
NRP 0251144000030

Advisor :

Wikan Jatimurti, ST., M.Sc
Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D

Departement of Materials Engineering
Faculty Of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI VARIASI JENIS *FLUX* PADA PROSES
PELEBURAN *DIRECT REDUCED IRON* (DRI)
TERHADAP KANDUNGAN Fe TOTAL DAN *RECOVERY*
Fe DALAM PROSES PEMBUATAN *PIG IRON* DENGAN
METODE *ELECTRIC ARC FURNACE* (EAF)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

TRESHNA SATRIA PURNAMAWAN
NRP. 0251144000030

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Wikan Jatimurti.ST.,M.Sc (Pembimbing I)

Sungging Pintowantoro, ST.,MT.,Ph.D. (Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI VARIASI JENIS FLUX PADA PROSES
PELEBURAN *DIRECT REDUCED IRON* (DRI)
TERHADAP KANDUNGAN Fe TOTAL DAN *RECOVERY*
Fe DALAM PROSES PEMBUATAN *PIG IRON* DENGAN
METODE *ELECTRIC ARC FURNACE* (EAF)**

Nama : Treshna Satria Purnamawan
NRP : 02511440000030
Dosen Pembimbing : Wikan Jatimurti. ST., M.Sc
Co-Pembimbing : Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D

Abstrak

Salah satu bahan dasar besi yaitu pasir besi, dimana ketersediaannya di Indonesia yang sangat melimpah serta tersebar di berbagai pulau. Pasir besi dapat diolah menjadi produk seperti direct reduced iron lalu menjadi pig iron. Pada proses pembuatan direct reduced iron, briket pasir besi akan direduksi dengan cara dipanaskan pada muffle furnace sampai temperatur 950°C selama 3 jam lalu dilakukan holding pada temperatur 1350°C selama 10 jam, kemudian melakukan pendinginan selama 12 jam dalam muffle furnace. Direct reduced iron yang didapat kemudian dilebur dengan menggunakan teknologi Electric Arc Furnace (EAF) dengan arus 180 A, tegangan sebesar 16,2 volt selama 6 menit. Pada penelitian ini akan membahas pengaruh penambahan variasi jenis flux pada proses peleburan direct reduced iron terhadap recovery Fe dan kandungan Fe total dalam proses pembuatan pig iron dengan metode electric arc furnace. Terdapat tiga jenis variasi flux yang digunakan yaitu Silika Dioksida (SiO₂), Kalsium Karbonat (CaCO₃) serta Magnesium Oksida (MgO). Hasil dari proses ini akan dilakukan perhitungan recovery terhadap Fe serta dikarakterisasi menggunakan pengujian XRD, dan EDX. Dari hasil penelitian terlihat bahwa direct reduction iron menghasilkan kandungan Fe total sebesar 75,722%. Selanjutnya hasil peleburan direct reduced iron dengan

variasi flux SiO₂ memiliki kandungan Fe total serta recovery Fe yang paling tinggi yaitu sebesar 91,585% serta 98,78%

Kata Kunci : Direct Reduced Iron, EAF, Recovery Fe, Pig Iron.

**STUDY OF FLUX TYPE VARIATION ON DIRECT
REDUCED IRON (DRI) SMELTING PROCESS TO Fe
CONTAIN AND Fe RECOVERY IN PIG IRON MAKING
PROCESS WITH ELECTRIC ARC FURNACE (EAF)**

Name : Treshna Satria Purnamawan
NRP : 02511440000030
Advisor : Wikan Jatimurti, ST., M.Sc
Co-Advisor : Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D

Abstract

One of the basic materials of iron sand iron, which is very abundant in Indonesia and spread in various islands. Iron sand can be processed into products such as iron reduced directly into pig iron. In the process of making direct iron reduced, iron sand briquettes will be reduced by heating to dampen the furnace until 950°C for 3 hours then carried out at 1350°C for 10 hours, then cooling for 12 hours in a dampening furnace. The direct reduced of the iron obtained is then melted using Electric Arc Furnace (EAF) technology with 180 A current, 16.2 volt for 6 minutes. In this research will discuss the effect of addition of flux type on the direct iron reduced process to the recovery of Fe and the total Fe content in the process of making pig iron by electric arc furnace method. There are three types of flux variations used are Silica Dioxide (SiO₂), Calcium Carbonate (CaCO₃) and Magnesium Oxide (MgO). The results of this process will be calculated recovery of Fe and characterized using XRD motors, and EDX. From the results of the study seen directly iron reduced with total Fe content of 75.722%. Furthermore, direct iron melting result with SiO₂ flux variation has the highest Fe content and Fe recovery which is the highest is 91,585% and 98,78%

Keywords : Direct Reduced Iron, EAF, Fe Recovery, Pig Iron.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**STUDI VARIASI JENIS *FLUX* PADA PROSES PELEBURAN *DIRECT REDUCED IRON (DRI)* TERHADAP KANDUNGAN Fe TOTAL DAN *RECOVERY* Fe DALAM PROSES PEMBUATAN *PIG IRON* DENGAN METODE *ELECTRIC ARC FURNACE (EAF)*”.**

Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua, Aa, Tete serta Saudara yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan dan kelancaran anak/penulis.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Kepala Departemen Teknik Material FTI-ITS.
4. Bapak Wikan Jatimurti.ST.,M.Sc selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
5. Bapak Sungging Pintowantoro, ST.,MT.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.

6. Bapak Fakhreza Abdul, S.T.,M.T selaku penasehat, inspirator yang sangat super. Terima kasih banyak atas ilmu dan masukan nya.
7. Bapak Dr. Sigit Tri Wicaksono,S.Si,M.Si selaku Dosen Wali yang sangat mengayomi.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Sahabat-sahabat kontrakan 2nd home and 3rd home kepada Airlangga, Redha, Odi, St, Icod, Redy, Adnan, Fadli.
10. Teman-teman Lab. Pengolahan Material yang telah membantu tugas akhir saya selama 1 semester khususnya Abay, Prita, Nisya, Tommy, Yoso, Opik serta tim pasir besi Luki dan Roup serta mas-mas MT15 yang sudah banyak memberi saran serta ilmu yang sangat membantu.
11. Keluarga MT16 serta adik-adik MT17 dan MT18 yang telah memberikan warna dalam tugas akhir saya.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap laporan kerja praktik ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan baik.

Surabaya, Januari 2018

Penulis,
Treshna Satria Purnamawan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Besi	7
2.2 Batu Bara	8
2.3 Batu Kapur	9
2.4 <i>Direct Reduced Iron (DRI)</i>	10
2.5 Termodinamika Pasir Besi	11
2.6 Kinetika Reduksi Besi	15
2.7 Proses <i>Tunnel Kiln</i>	18
2.8 Metode <i>Electric Arc Furnace</i>	20
2.9 <i>Flux</i>	23
2.9 Kalsium Karbonat (CaCO_3)	23
2.9 Magnesium Oksida (MgO).....	24
2.9 Silika Dioksida (SiO_2).....	25
2.10 <i>Pig Iron</i>	26
2.11 Peneitian Sebelumnya	28

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	33
3.2	Bahan Penelitian	35
3.3	Peralatan Penelitian	38
3.4	Pelaksanaan Penelitian	44
3.5	Pengujian Penelitian	47
3.6	Rancangan Penelitian	52

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakteristik Bahan Penelitian.....	55
4.1.1	Karakterisasi Pasir Besi.....	55
4.1.2	Karakterisasi Batu Bara.....	56
4.1.3	Karakterisasi Dolomit	57
4.1.4	Karakterisasi DRI.....	59
4.2	Pengaruh Variasi <i>Flux</i> Terhadap Komposisi Unsur Produk Dalam <i>Pig Iron</i>	61
4.3	Pengaruh Variasi <i>Flux</i> Terhadap <i>Recovery Fe</i> Dalam <i>Pig Iron</i>	65
4.4	Pengaruh Variasi <i>Flux</i> Terhadap Fasa yang Terbentuk Dalam <i>Pig Iron</i>	68
4.5	Pengaruh Variasi <i>Flux</i> Terhadap <i>Slag</i> yang Terbentuk Dalam <i>Pig Iron</i>	71

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	77

DAFTAR PUSTAKA xix

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Elingham	12
Gambar 2.2	Kesetimbangan Komposisi Gas Terhadap Fungsi Temperatur Pada Sistem Besi Karbon-Oksigen	14
Gambar 2.3	Pengaruh Tekanan Terhadap Kesetimbangan Raksi Boudouard	15
Gambar 2.4	Garis Besar Mekanisme Reduksi untuk Biji Besi Berpori	17
Gambar 2.5	Skema dari <i>Tunnel Kiln</i>	19
Gambar 2.6	Klasifikasi <i>Electric Arc Furnace</i>	21
Gambar 2.7	Skema <i>Twin Tournch Arc Furnace</i>	22
Gambar 2.8	Diagram Binary CaO-TiO ₂	23
Gambar 2.9	Diagram Binary MgO-TiO ₂	25
Gambar 2.10	<i>Pig Iron</i>	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.2	Pasir Besi	35
Gambar 3.3	Batu Bara	35
Gambar 3.4	Batu Kapur	36
Gambar 3.5	Kanji	36
Gambar 3.6	LPG	37
Gambar 3.7	Elektroda Grafit	37
Gambar 3.8	Flux.....	38
Gambar 3.9	Alat Kompaksi	39
Gambar 3.10	<i>Muffle Furnace</i>	39
Gambar 3.11	Timbangan Digital	40
Gambar 3.12	Ayakan.....	40
Gambar 3.13	<i>Thermocouple</i>	41
Gambar 3.14	<i>Blower</i>	41
Gambar 3.15	Oven	42
Gambar 3.16	Alat Tumbuk	42

Gambar 3.17	<i>Power Supply</i>	43
Gambar 3.18	Crucible	43
Gambar 3.19	Briket Pillow Pasir Besi	44
Gambar 3.20	Susunan Briket dan <i>Reduction Mix</i>	45
Gambar 3.21	Susunan Peralatan	45
Gambar 3.22	Skematik Preparasi <i>Smelting</i> dengan <i>Electric Arc Furnace</i>	46
Gambar 3.23	<i>XRD PAN Analytical</i>	48
Gambar 4.1	Identifikasi Senyawa Pengujian XRD Pasir Besi	56
Gambar 4.2	Hasil Pengujian XRD Batu Kapur	58
Gambar 4.3	Hasil Pengujian XRD DRI	60
Gambar 4.4	Pengaruh Variasi Fluks terhadap Kandungan Fe Total Pada <i>Pig Iron</i> Hasil Peleburan DRI	63
Gambar 4.5	Pengaruh Variasi Fluks terhadap <i>Recovery Fe</i> Pada <i>Pig Iron</i> Hasil Peleburan DRI.....	66
Gambar 4.6	Hasil Pengujian XRD <i>Pig Iron</i> dengan Variasi <i>Flux</i>	68
Gambar 4.7	Hasil Pengujian XRD <i>Slag</i> dengan Variasi <i>Flux</i>	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Batu Kapur Berdasarkan Adanya Kalsit dan Magnesit	9
Tabel 2.2	Perbandingan Komposisi <i>Pig Iron</i> produksi <i>Blast Furnace</i> dengan <i>Pig Iron</i> Reduksi Langsung.....	27
Table 2.3	Hasil Penelitian Sebelumnya	28
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian Pembuatan DRI	52
Tabel 3.2	Rancangan Penelitian Pembuatan <i>Pig Iron</i>	53
Tabel 4.1	Hasil Pengujian EDX Pada Sampel Pasir Besi ...	55
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara ...	57
Tabel 4.3	Hasil Pengujian EDX Dolomit.....	58
Tabel 4.4	Hasil Pengujian EDX Hasil Reduksi DRI.....	59
Tabel 4.5	Hasil Pengujian EDX Hasil Peleburan <i>Pig Iron</i> .	62
Tabel 4.6	Perhitungan Massa dan <i>Recovery Fe</i> Pada <i>Pig Iron</i>	66
Tabel 4.7	Hasil Pengujian EDX <i>Slag</i> Hasil Peleburan DRI	72

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Di era modern seperti ini hampir lebih dari 50% peralatan yang digunakan berasal dari besi dan baja, dapat dilihat dalam penggunaannya sebagai material konstruksi dan manufaktur mulai dari peralatan rumah tangga hingga komponen industri yang berteknologi tinggi. Selain itu, tingkat konsumsi baja per kapita merupakan indikator yang menunjukkan tingkat kemajuan ekonomi suatu negara. Semakin tinggi tingkat konsumsi baja per kapita suatu negara maka dapat dikatakan bahwa negara tersebut merupakan negara maju, karena itu keberadaan industri baja sangatlah penting.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik yang diolah Kementerian Perindustrian, pertumbuhan sektor industri logam dasar besi dan baja tahun 2012 sebesar 9,4 juta ton atau sekitar 6,45 persen (Kompas 2013). Serta mengalami peningkatan sebesar 10 juta ton atau sekitar 7% pada tahun 2013 disebabkan pembangunan proyek-proyek infrastruktur yang berjalan di tahun tersebut juga dari sisi industri otomotif yang membutuhkan pasokan baja lebih banyak.

Kebutuhan baja nasional terus meningkat dan ketergantungan terhadap produk impor semakin meningkat, oleh karena itu industri baja domestik harus tumbuh dan berkembang agar produk impor dapat dikurangi. Pada tahun 2013 konsumsi baja per kapita Indonesia relative rendah jika dibandingkan dengan negara lainnya di ASEAN, hanya sebesar 52 Kg/kapita, sedangkan negara di ASEAN lain yaitu sebagai berikut : Filipina 70Kg, Vietnam 132Kg, Thailand 253Kg, Malaysia 330Kg, serta negara dengan tingkat konsumsi yang paling besar adalah Singapura dengan 879Kg. Kemudian pada tahun 2020 (IISIA) memperkirakan konsumsi baja sebesar di indonesia akan meningkat sebesar 32Kg menjadi 84Kg namun masih tertinggal jauh dengan negara lainnya. Jika dilihat dari sumber ketersediaan



pasir besi yang sangat melimpah dengan cadangan sekitar 5110 juta ton.

Pasir besi di Indonesia tersebar di berbagai daerah seperti D.I Yogyakarta, Maluku utara, Jawa dan Papua dengan deposit sebesar 2.121 juta ton. Proses pengolahan pasir besi menjadi produk besi yang bernilai sangat penting dilakukan mengingat besarnya potensi pasir besi di Indonesia dibandingkan dengan potensi biji besi primer yang lebih sedikit (Kemenperin RI, 2014). Pasir besi terdiri dari mineral opak yang bercampur dengan butiran-butiran dari mineral non logam seperti kuarsa, kalsit, feldspar, ampibol, piroksen, biotit dan tourmaline. Mineral tersebut terdiri dari magnetit, titaniferous magnetit, ilmenit, limonit dan hematit. Kadar Fe dalam pasir besi cukup banyak yaitu lebih dari 51,5%. Kandungan yang terdapat dalam pasir besi yaitu mineral oksida, selain itu juga terdapat vanadium, titanium dan kromium yang cukup tinggi (Beta Hartono, 2015). Oleh karena itu dibutuhkan proses untuk meningkatkan kadar besi dalam konsentrat pasir besi yaitu dengan cara *Direct Reduced Iron* (DRI). Proses *direct reduction* digolongkan menjadi dua golongan yaitu proses batch dan *rotary kiln*. Hasil dari proses ini berupa *sponge iron* dengan kadar besi yang lebih tinggi dari pasir besi (Dasgupta, 1973).

DRI merupakan bahan setengah jadi sebelum menjadi *pig iron*. Kadar derajat metalisasi yang dapat diperoleh yaitu 91-95% sampai menjadi *pig iron*, namun dalam penelitian sebelum-sebelumnya hanya diperoleh sekitar 80%. Maka dari itu harus ada pengolahan DRI menjadi *pig iron* salah satunya dengan metode *Electric Arc Furnace*. Metode ini menggunakan sumber arus listrik yang menghasilkan busur listrik yang nantinya akan melebur DRI menjadi *pig iron*. Selain kadar besi yang diperoleh nantinya lebih besar, energi yang diperlukan dalam metode ini juga cukup ekonomis dan yang paling penting adalah ramah lingkungan (H.Koblenzer., D.Patrizio., B.Vucinic. 2016). Namun dengan metode ini memiliki kekurangan yaitu menghasilkan massa *pig iron* yang lebih rendah dengan masa DRI serta terdapat



kandungan pengotor yang cukup tinggi salah satunya adalah titanium yang tidak diharapkan

Oleh karena itu dibutuhkan sebuah penelitian yang dapat menjadi solusi dari masalah di atas mengenai bagaimana pengaruh jenis *flux* terhadap *recovery* Fe dan juga derajat metalisasi pada proses peleburan DRI dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace*. Variasi *flux* yang digunakan adalah Silika Dioksida (SiO_2), Kalsium Karbonat (CaCO_3) serta Magnesium Oksida (MgO).

I.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis *flux* pada proses peleburan DRI terhadap komposisi unsur produk dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace*?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis *flux* pada proses peleburan DRI terhadap *recovery Fe* dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace*?
3. Bagaimana pengaruh variasi jenis *flux* pada proses peleburan DRI terhadap senyawa produk yang terbentuk dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace*?

I.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Pasir besi berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat.
2. Komposisi pasir besi, batubara, dan batu kapur dianggap homogen.
3. Batubara yang digunakan berupa jenis sub-bituminus dari Binuang, Kalimantan Selatan.



4. Kanji digunakan sebagai pengikat dan pengaruh reaksi kanji diabaikan.
5. Permeabilitas dan porositas pasir besi diasumsikan sama.
6. Tekanan kompaksi yang diberikan dianggap homogen.
7. Diasumsikan tidak ada *heat loss* dalam *muffle furnace* dan *electric arc furnace*.
8. Sumber energi utama yang digunakan untuk proses peleburan DRI menjadi *pig iron* berasal dari energi listrik.
9. Diasumsikan tekanan atmosfer pada reaktor peleburan bersifat inert.
10. Reaksi yang menyebabkan degradasi elektroda pada pembentukan busur listrik diabaikan.
11. Arus, tegangan dan waktu pada alat *electric arc furnace* dianggap homogen.

I.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, antara lain:

1. Menganalisis pengaruh variasi jenis *flux* pada proses peleburan DRI terhadap komposisi unsur produk dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace*.
2. Menganalisis pengaruh variasi jenis *flux* pada proses peleburan DRI terhadap *recovery Fe* dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace*.
3. Menganalisis pengaruh variasi jenis *flux* pada proses peleburan DRI terhadap senyawa produk yang terbentuk dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace*.

I.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi dalam bidang



metalurgi ekstraksi di Indonesia. Terutama pada proses peleburan DRI dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace* dengan variasi jenis *flux* yang sesuai untuk memperoleh kandungan Fe total dan *recovery Fe* yang optimal.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pasir Besi

Indonesia memiliki bahan magnetik alam yang melimpah. Bahan magnetik alam tersebut diantaranya terdapat di dalam pasir besi (Purwanto, 2008). Pasir besi berupa padatan pasir yang berwarna hitam, semakin hitam semakin bagus kualitas dari pasir besi tersebut. Pasir besi memiliki sifat fisik seperti : masa jenis 7,86 gram/cm³, masa jenis cair pada titik lebur 6,98 gram/cm³, titik lebur 1538°C, titik didih 2861°C, kalor peleburan 13,81 KJ/mol, kalor penguapan 340 KJ/mol serta kapasitas kalor sebesar 25,10 J. Telah diketahui sebelumnya, bahwa endapan pasir besi dapat memiliki mineral-mineral magnetik seperti magnetit (Fe₃O₄), hematit (α -Fe₂O), dan maghemit (γ -Fe₂O₃). Dalam rangka meningkatkan nilai ekonomis pasir besi dapat dilakukan dengan pengolahan mineral magnetik (Fe₃O₄) yang diambil dari pasir besi menjadi mineral hematit (α -Fe₂O₃) melalui proses oksidasi. Hasil oksidasi mempunyai *susceptibility* magnetik yang lebih kecil jika dibandingkan dengan mineral magnetit awalnya. Dikarenakan semakin tingginya suhu oksidasi (Yulianto,2007). Magnetit dan maghemit memiliki fasa kubus sedangkan hematit memiliki fasa hexagonal. Fasa maghemit dan hematit diperoleh melalui proses oksidasi pada temperatur sintering yang berbeda. Transisi fasa maghemit menjadi hematit telah terjadi pada temperature 550°C. pada saat temperature pemanasan 250°C dan terus meningkat hingga temperature 350°C dimana pada keadaan tersebut, maghemit merupakan fasa yang mendominasi sampel. Sedangkan pada suhu 550 °C, telah muncul hematit yaitu fasa Fe₂O₃ (Mashuri dkk, 2007).

Studi pengolahan pasir besi di Mozambique menekankan pada strategi pemisahan awal pada tahap benefisiasi dengan memperhatikan kandungan senyawa yang berharga seperti TiO₂ yang cukup tinggi (19%), secara ekonomis akan dipertimbangkan jalur proses yang akan menempatkan TiO₂ sebagai produk utama



dan konsentrat besi sebagai produk samping. Dari studi pustaka benefisiasi pasir besi dapat disimpulkan bahwa sampai saat ini kadar Fe dan TiO_2 yang dapat diperoleh pada tahap benefisiasi adalah Fe 56-58% dan TiO_2 8-12%. Dengan kata lain TiO_2 harus dipisahkan ditahap berikutnya (Jamali 2005).

Pemisahan TiO_2 secara konvensional dengan teknologi *blast furnace* akan menimbulkan masalah pada tahap reduksi dan peleburan, pada saat terjadi reduksi antara besi dan TiO , TiO_2 yang terbentuk akan berada di dalam *slag* dan dapat tereduksi menjadi TiO_2 , yang dapat mengakibatkan *slag* akan semakin kental, sehingga sulit untuk memisahkan slag dan cairan besi yang terbentuk di dalam blast furnace (Edi Herianto, 2008)

2.2. Batu Bara

Batubara adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon (C), hydrogen (H), dan oksigen (O). World Energy Council memperkirakan cadangan batubara dunia terbukti mencapai 847.488 juta ton pada akhir 2007 yang tersebar di lebih dari 50 negara. Berdasarkan kandungan kalornya, sebesar 50,8% berupa anthracite (kalori sangat tinggi) dan bituminous (kalori tinggi), dan 48,2% berupa sub bituminous (kalori sedang) and lignite (kalori rendah). Menurut data World Energy Council, Indonesia memiliki cadangan batubara terbukti sebesar 4,3 miliar ton atau 0,5% dari total cadangan batubara terbukti dunia. Sekitar 83% terdapat di Kalimantan, 13% di Sumatera, dan sisanya di pulau lainnya. Cadangan batubara Indonesia didominasi oleh jenis lignite (kandungan kalori rendah) sebesar 59% dan sub-bituminous (kandungan kalori sedang) sebesar 27%. Sementara jenis bituminous mencapai 14% dan anthracite 0,5%.

Secara umum batubara dapat diklasifikasi berdasarkan *Fixed carbon, Volatile Matter serta Callorific Value* (Wood et al., 1983).



Dalam proses DRI pada umumnya, konsumsi partikel batubara dalam produksi DRI tergantung pada stokiometri reaksi, Kadar fixed carbon, dan hilangnya fixed carbon. Diperkirakan biaya batubara mencapai 75% dari biaya pembuatan DRI dalam rotary kiln. Kualitas batubara sangat berpengaruh dalam seluruh biaya produksi DRI. Untuk itu, pemilihan batubara untuk proses harus sangat kritis dan hati-hati (Alief, 2015).

2.3. Batu Kapur

Batu kapur adalah batuan sedimen mengandung CaCO_3 (Kalsium karbonat). Aragonit yang berkomposisi kimia serupa CaCO_3 tapi berbeda struktur kristalnya adalah mineral metastable karena pada kurun waktu tertentu berubah menjadi kalsit. Mineral karbonat lain yang berasosiasi dengan batu kapur adalah kalsit dan aragonit dalam jumlah kecil adalah siderit (FeCO_3) ankerit ($\text{Ca, Mg, Fe}(\text{CO}_3)_4$) dan magnesit (MgCO_3). Carr Donald D. dan Rooney L.F (1985) membuat klasifikasi mineral atas dasar kandungan kalsit dan dolomit serta material non-karbonat dalam batuan. Jika kandungan kalsit dalam batuan dominan, maka dapat dikatakan sebagai batu gamping. Apabila kandungan dolomit (MgCO_3) yang paling banyak (>15%) maka batuan tersebut diklasifikasikan sebagai batuan dolomit.

Tabel 2.1 Klasifikasi batu kapur berdasarkan adanya kalsit dan magnesit (Carr D.D and Rooney L.F.F, 1985)

Jenis Batuan	Persen Kalsit	Persen Magnesit
Batu Kapur	Kalsit >95%	Magnesit < 5 %
Batu Kapur magnesium	Kalsit 90 - 95%	Magnesit 5 - 10%
Batu Kapur dolomit	Kalsit 50 - 90%	Magnesit 10 - 50%
Dolomit gamping	Kalsit 10 - 50%	Magnesit 50 - 90%
Dolomit	Kalsit 0%	Magnesit > 90%

Pembakaran batu kapur pada temperatur sekitar 900°C akan diperoleh CaO melalui reaksi:





Pada reaksi ini terjadi penyerapan panas karena untuk mengurai 1 gram molekul CaCO_3 (100 gram) perlu panas 42,5 kkal. Pembakaran batu dolomit (MgCO_3) pada suhu 800°C akan terjadi penguraian, seperti reaksi berikut :



Pembakaran batu kapur pada temperatur $800\text{-}850^\circ\text{C}$, hanya MgCO_3 yang terurai, tetapi CaCO_3 belum terurai. Jadi yang dihasilkan adalah $\text{MgO}\cdot\text{CaCO}_3$; dolomit kostik yang aktif ialah MgO sementara CaCO_3 bekerja sebagai bahan pengisi. Tetapi apabila pembakaran dilakukan di atas 900°C , yang terjadi adalah CaCO_3 , dan CO_3 terurai menjadi CaO dan MgO (Philip Engler, dkk. 1988). Salah satu peran batu kapur adalah sebagai agen flux atau pengikat pengotor. Batu kapur dapat berperan dalam proses desulfurisasi batu bara melalui proses reaksi (2.3) pada rentang temperature $870\text{-}1037^\circ\text{C}$ (Spencer, 1985).



2.4. *Direct Reduced Iron(DRI)*

DRI merupakan produk dalam pembuatan besi baja melalui proses reduksi langsung pasir besi dalam bentuk *solid state* (Sonar dkk, 2015). Selain bentuk *solid state* dapat juga berbentuk *Agglomerat* yang secara prinsipnya tersusun dari besi metallic, oksida besi sisa dan pengotor sejenis fosfor, sulfur dan *gangue* (silica dan alumina). Hal ini dikarenakan pada proses pembuatannya DRI menggunakan bahan dasar berupa biji besi yang merupakan Oksida (Magnetit, Hematit, dll) serta pengotornya.

Salah satu metode reduksi adalah reduksi berbasis *pellet* komposit. Proses ini menggunakan bahan baku *pellet* komposit yang dibuat dari campuran bijih halus, batubaru, bahan pembentuk *slag* dan bahan perekat. Disebut juga *self reducing*



pellet karena batubara atau bahan lainnya telah ada di dalam *pellet* yang akan mereduksi biji besi (Adil Jamali, 2005).

2.5. Termodinamika Pasir Besi

Diagram Ellingham adalah diagram yang menyajikan data-data termodinamika suatu logam yang mengalami proses pembentukan oksida, sulfide, ataupun klorida. Diagram Ellingham berupa plot garis energi bebas Gibbs (ΔG) dan temperatur (T). Energi bebas Gibbs adalah suatu ukuran dari *driving force* yang dapat membuat suatu reaksi terjadi. ΔG yang bernilai negatif menunjukkan bahwa suatu reaksi dapat terjadi secara spontan tanpa energi dari luar. Sementara itu, reaksi yang memiliki ΔG positif menunjukkan reaksi tersebut tidak akan terjadi secara spontan. Persamaan dari energi bebas Gibbs yaitu :

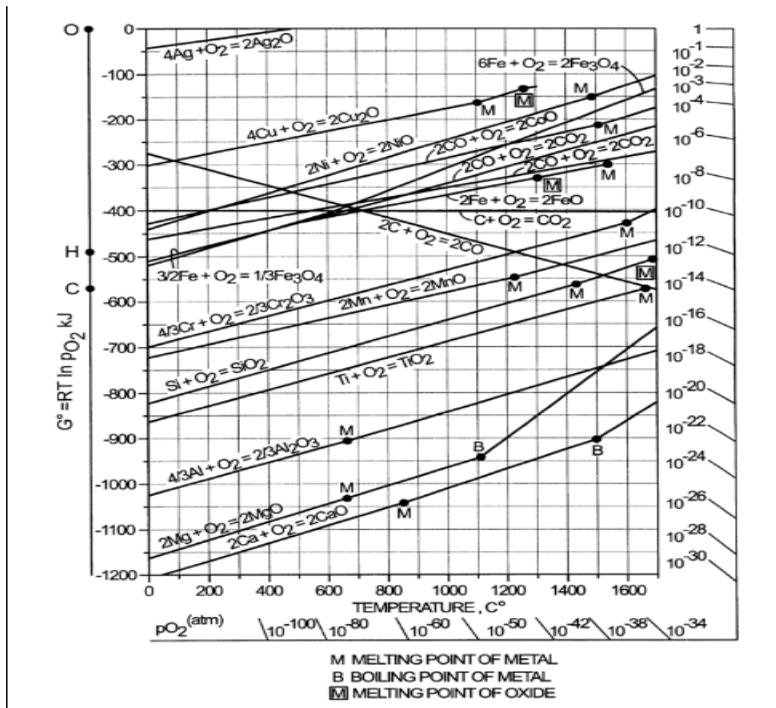
$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (2.4)$$

ΔH adalah Entalpi (J), T adalah temperatur (K) dan ΔS adalah entropi (J/K). Entalpi adalah besaran dari energi aktual yang dilepaskan ketika suatu reaksi berlangsung. Jika entalpinya bernilai negatif maka reaksi tersebut memberikan energi (eksoterm), sedangkan jika bernilai positif maka reaksi tersebut membutuhkan energi (endoterm).

Pada diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Nilai ΔG° untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai ΔG° suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida. Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.1 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi reaksi tersebut terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis

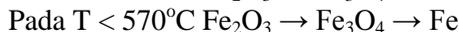
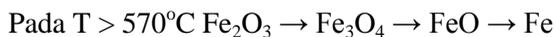


pembentukan CO. Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu.



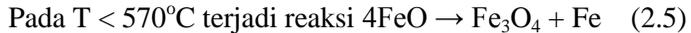
Gambar 2.1 Diagram Ellingham (Ross, 1980)

Reduksi dari besi oksida dapat digambarkan dengan skema berikut:



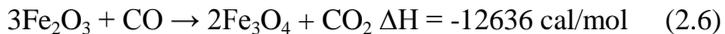


karena

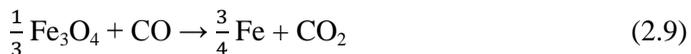


Klasifikasi reaksi reduksi bijih besi berdasarkan *reducing agent* dikemukakan oleh *metallurgist* Prancis bernama Jacques Assenfratz pada tahun 1812 (Chatterjee, 1988). Dia membuktikan secara pengujian bahwa reduksi bijih besi terjadi dalam 2 cara, yaitu: kontak antara bijih dan batubara atau interaksi dengan *reducing gas*.

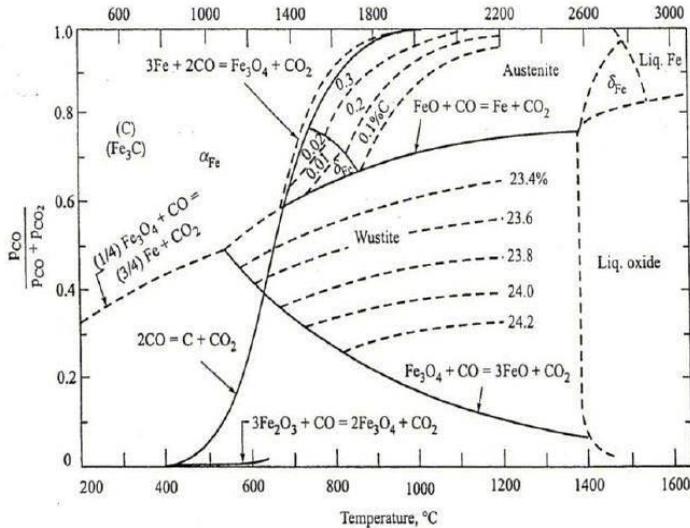
Dalam proses berdasar batubara, gas reduktor utama adalah CO. Tiga reaksi reduksi dan entalpi reaksi pada 25°C dapat dituliskan sebagai berikut:



Entalpi reaksi pada 25°C dapat diketahui dari entalpi pembentukan. Reaksi 2.6 dan 2.8, mempunyai entalpi negatif, yang berarti reaksi eksotermik dan reaksi 2.7 mempunyai entalpi positif, berarti reaksi endotermik dan membutuhkan energi. Karena wustit metastabil di bawah 570°C , Fe_3O_4 dapat direduksi dalam satu langkah menjadi besi metalik, tanpa melewati reaksi wustit.

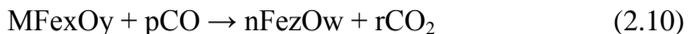


Dari standard energy untuk reaksi (2.6), (2.7) dan (2.8) dapat diketahui konstanta kesetimbangan dan komposisi fasa gas pada setiap temperatur. Setiap data kesetimbangan komposisi gas yang diperoleh dari kalkulasi dapat diplotkan dalam diagram komposisi gas terhadap fungsi temperatur. (Gambar 2.2)



Gambar 2.2 Kesetimbangan Komposisi Gas Terhadap Fungsi Temperatur Pada Sistem Besi Karbon-Oksigen (Arabinda dan Bidyapati, 2011)

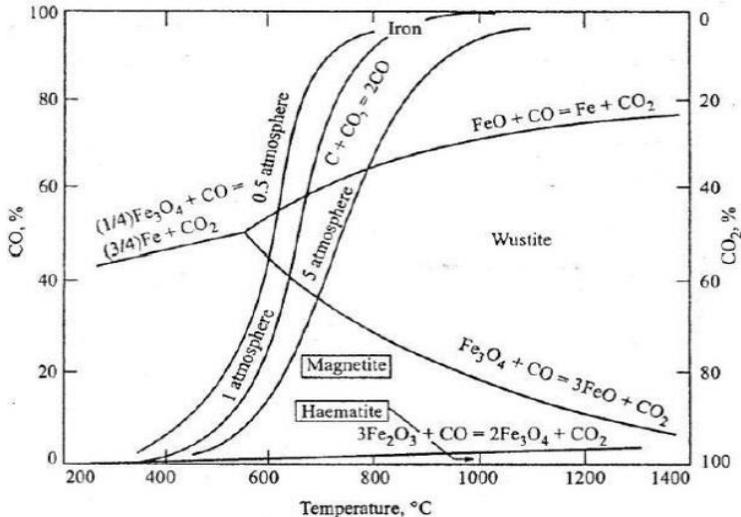
Dalam sistem solid dan reduktor berfasa gas, seluruh rekasiselama reduksi bijih besi dapat terjadi dalam dua langkah (Ross, 1980): reduksi bijih besi (2.10) dan gasifikasi karbon (2.11) .



Dalam reaksi Boudouard, ketika karbon dioksida bereaksi dengan karbon membentuk karbon monoksida, 1 volume karbon dioksida menghasilkan 2 volume karbon monoksida pada tekanan konstan. Jika dalam volume konstan, reaksi akan meningkatkan temperatur. Jika tekanan meningkatkan, maka kesetimbangan istem karbon oksigen akan bergeser untuk melepas tekanan. Oleh karena itu untuk menjaga rasio CO/CO_2 tetap sama pada tekanan



tinggi, temperatur harus ditingkatkan. Sehingga ditunjukkan pada Gambar 2.3, kurva reaksi (2.11) akan bergeser ke kanan menuju temperatur yang lebih tinggi.



Gambar 2.3 Pengaruh Tekanan Terhadap Kesetimbangan Reaksi Boudouard (Chatterjee, 1988)

2.6. Kinetika Reduksi Besi

Kinetika reaksi reduksi bijih besi adalah kecepatan besi oksida untuk bertransformasi menjadi logam besi dengan melepas oksigen. Kecepatan reaksi reduksi bijih besi ditentukan oleh tinggi rendahnya kemampuan bijih besi tersebut untuk direduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran partikel, bobot jenis, porositas, struktur kristal, serta komposisi kimia (El-Geassy dkk, 2007). Kinetika reduksi langsung menggunakan reduktor batubara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas, perpindahan masa oleh konveksi, difusi fase gas serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon. El-Geassy dkk



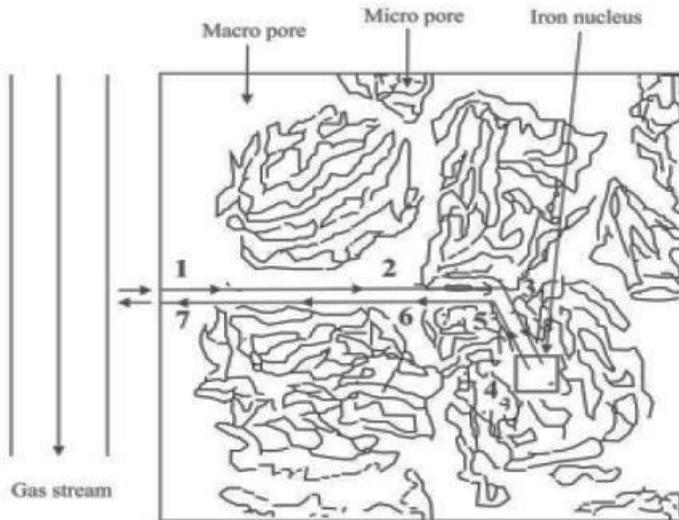
(2007), menjelaskan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi reduksi besi oksida seperti komposisi bahan baku, basisitas, komposisi gas, dan temperature reduksi. Pengaruh komposisi gas terjadi pada perubahan volume dari besi oksida pada temperature 800-1100°C.

Bijih besi dapat dianggap tersusun atas butiran-butiran. Celah diantara butiran-butiran dikenal sebagai Pori Makro dan Pori yang lebih kecil dikenal sebagai Pori Mikro. Mekanisme reduksi bijih besi bertahap melalui langkah-langkah sebagai berikut dan diilustrasikan pada Gambar 2.4

1. Difusi gas reduktor melewati lapisan batas butir.
2. Difusi gas reduktor melewati pori-pori makro pada biji besi
3. Difusi gas reduktor melalui poro-pori mikro menuju posisi reaksi
4. Reaksi pada batas fasa
5. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori mikro
6. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori makro
7. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui lapisan batas butir.

Beberapa mekanisme reaksi reduksi telah diajukan dalam beberapa literature. Mekanisme yang diajukan Edstrom untuk biji yang dikeraskan dapat diterima. Berdasarkan Gambar 2.4 mekanisme ini mengklaim oksigen dihilangkan dari antar muka besi wustit dengan reaksi (2.8). Oksida lain direduksi menjadi oksida yang lebih rendah dengan difusi ion besi dan electron berdasarkan reaksi :





Gambar 2.4 Garis Besar Mekanisme Reduksi untuk Biji Besi Berpori (McKewann, 1958)

Berdasarkan mekanisme ini, oksigen dihilangkan dari besi oksida hanya pada antarmuka besi wustit dengan reaksi gas CO atau H_2 yang masuk melalui lapisan besi dan hasil gas CO_2 atau uap air terdifusi keluar. Mekanisme kedua diusulkan McKewan (1962) dan diaplikasikan pada biji berpori, oksigen dihilangkan dengan gas reduktor secara keseluruhan pada semua antarmuka. Pada kondisi ini, reaksi terjadi adalah reaksi (2.6), (2.7), (2.8). Mekanisme ketiga diusulkan oleh Lien, El-Mehairy dan Ross yang menyerupai mekanisme yang diusulkan Edstrom (Takuda, Yoshikoshi dan Ohtano, 1973). Pada pendekatan ini C atau H_2 mereduksi wustit menjadi besi, C, atau H_2 bereaksi pada permukaan lebih luar dari lapisan besi yang tidak tembus gas reduktor.



2.7. Proses *Tunnel Kiln*

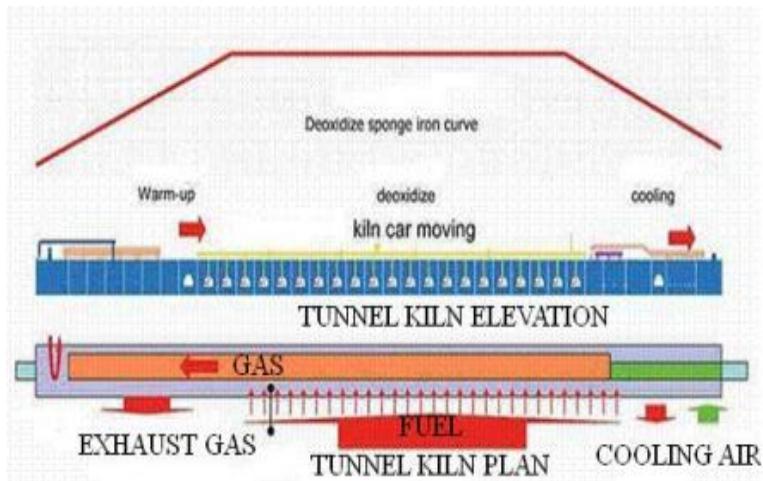
Teknologi *Tunnel Kiln* bukan teknologi baru di Indonesia karena sudah banyak industri yang menggunakannya, tapi aplikasi pada pengolahan bahan tambang belum dikenal luas di kalangan industri. Dalam hal kebutuhan energi, *tunnel kiln* dapat memanfaatkan potensi gas alam mengatasi permasalahan-permasalahan di atas dengan mempertimbangkan kemampuan teknologi dalam negeri dengan didukung oleh sumber daya yang ada yang masih sangat besar dan tersebar di seluruh wilayah Indonesia, namun karena kapasitas produksinya yang relatif lebih kecil daripada peralatan yang lain sehingga kurang berkembang di industri komersial. (Barman Tambunan, 2016).

Tunnel kiln merupakan sebuah tungku yang biasa digunakan dalam industri pembuatan keramik. Namun dengan beberapa modifikasi, tungku ini dapat digunakan untuk mereduksi *pellet* komposit menjadi sponge. *Pellet* komposit berdiameter 10-20 mm dibuat menggunakan sebuah alat disc *pelletizer*, adapun komposisi dari *pellet* adalah 75% bijih besi, 20% batubara, dan 5% bentonite. Dari proses ini dihasilkan *pellet* komposit tereduksi (*sponge*) dengan kadar 85 – 93%. (Adil Jamali, 2008).

Pada proses ini, material dilewatkan pada rezim temperatur yang berbeda dari pemanasan, dan reduksi seperti pada *Blast furnace* tetapi dengan material *bed* yang tetap. Oleh karena itu, salah satunya mempunyai fleksibilitas dengan bahan baku. Kualitas dari produk sangat baik, dan juga prosesnya dapat diaplikasikan pada reduksi Ferro-nikel, ilminit, dan lainnya. Keuntungan lainnya adalah proses ini juga memanfaatkan debu benefisiasi langsung tanpa terjadi pengerasan. Investasi dan pemeliharaan dari *tunnel kiln* juga rendah. Dikarenakan prosesnya menggunakan gas, ini juga ramah lingkungan. Tidak seperti pada *rotary kiln*, pemanasan dilakukan diluar dan memungkinkan penggunaan sumber karbon yang berbeda sebagai pemanas dan pereduksi. Satu-satunya kelemahan dari proses *tunnel kiln* adalah rendahnya produktivitas, sangat kurang bahkan jika dibandingkan dengan *rotary kiln*.



Tunnel kiln adalah sebuah tungku berisolasi panjang yang stasioner terbuat dari refraktori batu bata atau *pressed ceramic wool blanket*. Tungku ini memiliki rel tertentu di dalam *kiln* berfungsi sebagai jalannya troli. Material dimasukkan ke dalam troli yang kemudian masuk ke bagian ujung dari *kiln* melalui feed. Kemudian material keluar dari ujung lainnya *kiln*, berjalan di dalam *kiln* dengan kecepatan tertentu. *Kiln* mempunyai tiga daerah berbeda, yaitu *pre-heat zone* (pemanasan), *firing zone* (deoksida), dan *cooling zone*. Skema *tunnel kiln* terdapat pada Gambar 2.5 (S. C. Khattoi, 2013).



Gambar 2.5 Skema dari *Tunnel Kiln* (S.C. Khattoi, 2013)

Gas alam digunakan untuk memanaskan *kiln*. Karbon di dalam kokas dan antrasit digunakan sebagai agen pereduksi dan juga sebagai bahan bakar. Campuran pereduksi yang terdiri dari kokas, antrasit, dan batu kapur, dimasukkan bersama *iron ore* di dalam kapsul yang ditumpuk di atas *cars* (tempat berjalannya *kiln*). Kemudian *cars* didorong dari ujung ke ujung melewati *tunnel kiln* tersebut. Waktu diantara dua *cars* memasuki *kiln*



disebut dengan “*pushing time*”. Perlu diingat bahwa penurunan *pushing time* berarti kenaikan laju produksi. *Tunnel kiln* terdiri atas tiga zona : zona pemanasan, zona pembakaran, dan zona pendinginan. *Cars* pada *kiln* pertama-tama melewati zona pemanasan, kemudian melewati zona pembakaran dimana *ore* direduksi menjadi besi pada temperatur tinggi konstan sekitar 1100 – 1200 °C. Setelah itu, *cars* pada *kiln* didinginkan pada zona pendinginan di *kiln*. Proses *cars* pada *kiln* ini bisa berlangsung 2 – 3 hari untuk melewati sebuah *kiln*.

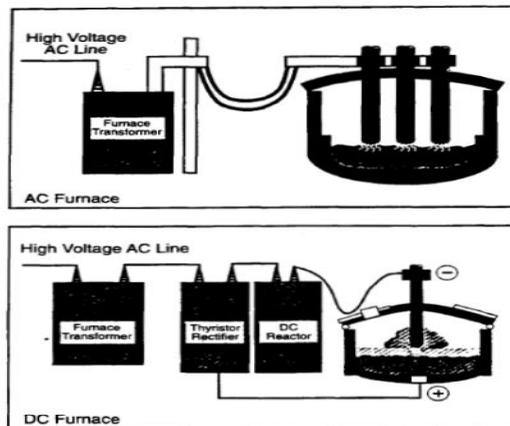
Gas pembakaran mengalir secara berlawanan arah dengan *cars* pada *kiln*. Ini berarti udara segar dingin mendinginkan *cars* yang panas dan setelah melewati zona pembakaran, gas buang panas dari pemanasan keluar dari *kiln*. (Kristina Eriksson, 2005).

2.8. Metode *Electric Arc Furnace*

Deskripsi tertulis paling awal yang diketahui tentang busur listrik buatan manusia merupakan salah satu penemuan dari Humphry Davy di awal tahun 1800an. Awal percobaan ini dilakukan di tahun 1800, hanya beberapa bulan setelah ditemukannya baterai listrik. Dalam deskripsinya mengenai penemuan tersebut tertulis, “Saat potongan arang sekitar satu inci panjang dan seperenam inci inci diameter, dibawa mendekat antara satu sama lain (dalam tiga puluh atau empat puluh bagian dari satu inci), sebuah percikan terang dihasilkan, dan lebih dari setengah volume arang menyala menjadi putih. Kemudian dengan memberikan jarak antar kedua titik, nyala konstan terjadi melalui udara panas di daerah yang sama minimal hingga empat inci dan menghasilkan busur yang bercahaya, lebar, dan berbentuk kerucut di tengahnya. Bila ada material yang dimasukkan ke dalam lengkungan ini, ia langsung menyala. Platina meleleh begitu mudah di dalamnya seperti lilin dalam nyala api, kuarsa, safir, magnesia, kapur, semuanya menyatu, fragmen berlian serbuk arang dan timbal lenyap seperti menguap di dalamnya, bahkan setelah dipasang perangkat vakum dengan menggunakan pompa udara, tapi tidak ada bukti mereka sebelumnya telah mengalami



reaksi.” (Davy, 1812). Busur listrik bisa diproduksi melalui dua elektroda atau elektroda dan material cair jika tegangannya cukup tinggi. Perubahan energi listrik menjadi panas terjadi melalui arus dalam busur plasma terionisasi, di mana suhu busur plasma tersebut bisa mencapai 6000°C . Tungku busur listrik dapat diklasifikasikan menurut proses transfer panas dari busur, yaitu melalui pemanasan tidak langsung atau langsung. Pemanasan secara tidak langsung terjadi saat busur terbentuk antara dua elektroda tanpa kontak dengan *feed material*, panas ditransfer hanya oleh radiasi dan konveksi. Teknik ini juga digunakan dalam tungku rotari fase tunggal, yang tidak lagi digunakan karena tidak ekonomis. Dalam proses pemanasan secara langsung, busur yang terbentuk ditransfer melalui elektroda pada lelehan material. Panas ditransfer melalui konduksi, radiasi, dan konveksi (Grzella et al, 2005).

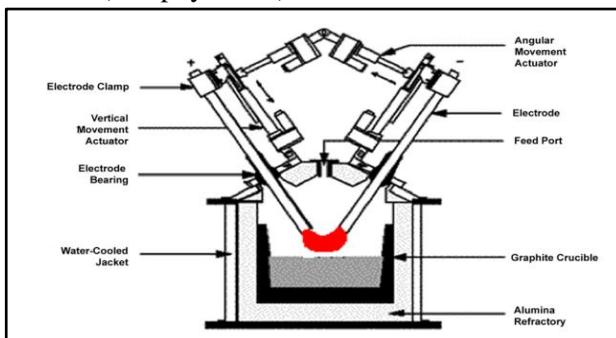


Gambar 2.6 Klasifikasi *Electric Arc Furnace* (Hurd & Kollar, 1991)

Gambar diatas merupakan klasifikasi umum dari *electric arc furnace* berdasarkan mekanisme suplai listrik yang digunakan, namun teknologi ini terus dikembangkan sehingga ada



jenis yang memiliki kombinasi karakteristik dari keduanya. *Twin-torch arc furnace* yang dikembangkan oleh perusahaan Tetronics (Faringdon, UK) menggunakan dua elektrode dengan jenis suplai listrik DC untuk menghasilkan busur listrik. Kedua elektrode ini masing-masing bertindak sebagai kutub yang saling berlawanan, dan busur listrik yang terbentuk merupakan proses transfer elektron yang pada jarak tertentu menghasilkan *electrical breakdown* pada atmosfer di sekitar ujung elektrode sehingga menyebabkan loncatan masif elektron dan reaksi spontan yang menghasilkan plasma dengan temperatur di atas 1500°C . Temperatur ekstrim yang dihasilkan dan meningkat seiring waktu juga memicu reaksi dekomposisi elektrode grafit menjadi gas CO sehingga terjadi erosi konstan pada ujung elektrode tersebut. Penempatan elektrode yang juga fleksibel menyebabkan pengoperasiannya dapat dilakukan dalam beberapa mode, yaitu mode tak langsung dimana arus busur listrik langsung ditransfer dari satu elektroda ke elektroda lainnya, atau di mode langsung dimana aliran arus dari satu elektroda menuju *feed material* kemudian kembali ke elektroda lain. Pada mode langsung ini aliran arus yang melalui material cair selain dipanaskan melalui busur listrik, resistansi yang terbentuk dari konduksi dalam material cair tersebut juga menyebabkan pemanasan internal dari *feed material* (Murphy, 2008).



Gambar 2.7 Skema *Twin Torch Arc Furnace* (Murphy, 2008)

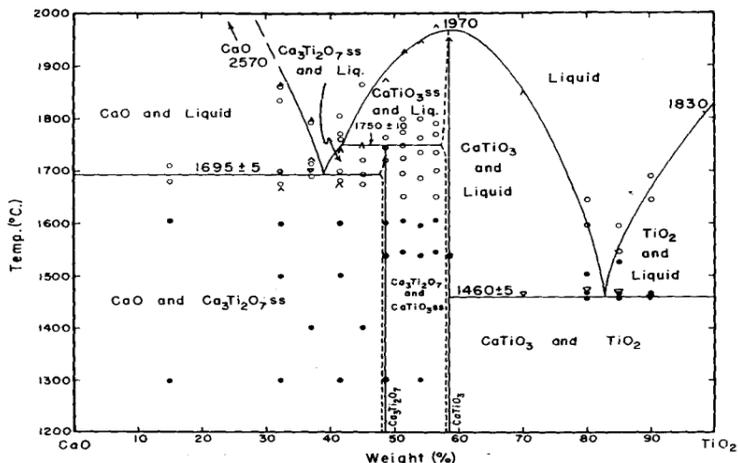


2.9. Flux

2.9.1 Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Kalsium Karbonat (CaCO_3) merupakan nama ilmiah dari *limestone* ataupun batu kapur. Seperti yang diketahui bahwa batu kapur mengandung sebagian besar mineral kalsium karbonat yaitu sekitar 95%. Kalsium karbonat ini dapat diubah menjadi kalsium oksida dengan kalsinasi sehingga lebih mudah terdekomposisi menghasilkan kalsium oksida (CaO) (Noviyanti, Jasruddin & Sujiono, 2015). Reaksi dekomposisi CaCO_3 berlangsung secara spontan seperti pada reaksi (2.1). Munculnya fase oksida dari kalsium dikarenakan pada suhu 900°C $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ mengalami dekomposisi akibat energy panas dan membentuk CaO . Seperti yang sudah diketahui salah satu fungsi dari CaO yaitu sebagai *flux*.

Pada penelitian ini, *flux* CaO digunakan untuk mengikat pengotor menjadi *slag* dalam *pig iron* pada temperature 1460°C dan terjadi reaksi yaitu:



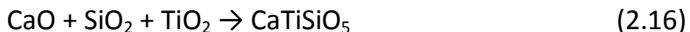
Gambar 2.8 Diagram Binary CaO-TiO₂ (R. DeVRIS, F. Osborn, 1955)



CaTiO_3 merupakan senyawa pengotor yang akan terbentuk di *slag* dan tidak akan ada pada *pig iron*. Hal ini dikarenakan Ca^{+2} dapat berikatan dengan besi oksida titan sesuai dengan persamaan reaksi 2.15 (Hu.M, 2011).



Selain itu juga *flux* CaO mampu mengikat pengotor dan membentuk fasa titanite yang mana Ca dan Si yang terdapat pada DRI mampu mengikat unsur Ti menjadi *slag*. Persamaan Titanite (Muan, 1965) yaitu:



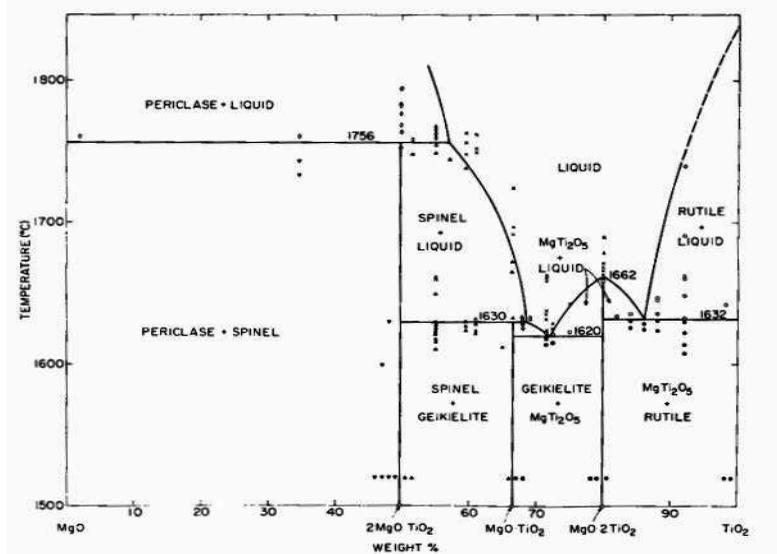
Selain itu juga terdapat fasa diopside yang mana muncul ketika telah terjadi ikatan antara senyawa CaO, MgO, SiO_2 dengan adanya gas Co (Metz 1991). Persamaan Diopside yaitu:



2.9.2 Magnesium Oksida (MgO)

Salah satu bahan keramik yang mempunyai aplikasi yang luas baik dalam dunia industry maupun penelitian adalah magnesium oksida (MgO). Magnesium oksida memiliki karakter yang sangat unik, antara lain merupakan salah satu jenis bahan keramik yang mempunyai titik lebur yang tinggi, yaitu sekitar 3073 K sehingga bersifat tahan api, permukaan yang kuat, tahan air, kedap suara, anti rayap, tahan terhadap serangan jamur, lumut dan pembusukan. Magnesium oksida juga digunakan pada temperatur refractory yang tinggi, isolator listrik, pembungkus makanan, kosmetik, dan hal-hal yang berkenaan dengan bidang farmasi (Klabunde, 2001).

Selain itu MgO juga digunakan sebagai flux untuk mengikat pengotor menjadi *slag* dalam *pig iron* pada temperature 1632°C dan terjadi reaksi yaitu:



Gambar 2.9 Diagram Binary MgO-TiO₂ (E.Worman, B. Brezny dan A. Muan, 1969)

Selain itu juga *flux* MgO mampu membentuk magnesium silikat. Besi oksida dapat bereaksi dengan magnesium silikat membentuk fasa forsterite ((Mg,Fe)₂SiO₄) seperti Pers 2.19, sehingga Fe terjebak dalam fasanya dan sulit direduksi kembali (Rudy dkk, 2016) sehingga perolehan Fe dalam *pig iron* akan diperoleh sedikit (Guang Li, 2012)



2.9.3 Silika Dioksida (SiO₂)

Pasir silika atau pasir kuarsa adalah salah satu material alam yang melimpah di Indonesia, tercatat bahwa total sumber daya pasir silika sebesar 18 miliar ton. Permintaan pasir silika dengan kadar kemurnian yang tinggi untuk pemenuhan kebutuhan industri sangat tinggi. Di dunia perindustrian pemakaian pasir



silika saat ini cukup pesat, seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, cat, film, pasta gigi, dan lain-lain (Byantech, 2011).

Di alam, silika sulit didapatkan sebagai unsur dengan kemurnian tinggi, karena memiliki afinitas tinggi terhadap oksida dan atom lain dengan elektronegativitas tinggi. Secara kimia, ikatan antara oksigen dengan silikon bersifat 50% kovalen dan 50% ionik, sehingga membentuk ikatan yang kuat (White, 2005). Kandungan pengotor yang terdapat didalam pasir silika dapat mempengaruhi kualitas pasir silika dan produk berbahan baku pasir silika seperti merusak transmisi dari fiber optik dan transparansi pada industri kaca, menghitamkan produk keramik dan menurunkan titik leleh dari material refraktori.

Salah satu kegunaan silika dioksida yaitu sebagai *flux* untuk menikat pengotor menjadi *slag* dalam *pig iron* pada temperatur 1550°C.

Salah satu senyawa pengotor yang mampu diikat oleh *flux* SiO₂ yaitu fasa forsterit (Mg₂SiO₄) yang merupakan fasa pengotor yang terdapat pada DRI hasil reduksi briket pasir besi. Fasa Mg₂SiO₄ dapat terbentuk dari reaksi antara MgO dan SiO₂ pada temperatur 1100-1400°C sesuai dengan reaksi 2.20 (Brindley dan Hayami, 2006)



2.10. *Pig Iron*

Pig iron adalah bentuk padat dari logam panas, yang diperoleh dari bijih besi atau daur ulang bekas, dan diproses dengan tanur tinggi atau tungku busur listrik (S.K.Duta, 2004). *Pig iron* memiliki kandungan karbon yang sangat tinggi sekitar 3,5-4,5% (C. James, 1920) bersama dengan unsur silika serta unsur penyusun lainnya. Sejarah pembuatan *pig iron* dimulai ketika bangsa China pada dinasti Zhou Dynasty (1122-256 SM). Di Eropa proses produksi tidak ditemukan sampai akhir abad



pertengahan atau sekitar tahun 1350-1500 Masehi (International Iron Metallic Association, 2017).

Produksi *pig iron* didominasi dengan peleburan bijih besi di *blast furnace*. Bahan baku yang digunakan dalam *blast furnace* adalah pellet biji besi, fluks, dan *coke*. Proses pembuatan *iron nugget* mampu menghasilkan produk padat secara langsung, memiliki massa jenis yang tinggi, *pig iron* dengan metalisasi yang tinggi. Reduktan (batubara) ditambahkan ke sistem untuk memasok karbon yang dibutuhkan untuk reduksi dan karburasi. *Binder* (bentonit) dalam hubungannya dengan partikel bijih halus berfungsi untuk memperbaiki sifat *ore* besi dalam kondisi basah atau kering. *Pig iron* diproduksi pada temperatur tungku 1450°C dan waktu *residence* 22 menit. *Pig iron* dipisahkan dengan slagnya ditunjukkan pada gambar 2.5. *Slag* dibersihkan kerapatan tinggi, dan besi dengan kadar yang tinggi.

Jika dibandingkan dengan *pig iron* yang diproduksi oleh *blast furnace*, *pig iron* yang didapatkan dari reduksi langsung dengan temperatur 1475°C dan waktu *residence* 28 menit memiliki beberapa perbedaan dalam komposisi kimianya yang ditunjukkan dalam table 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan Komposisi *Pig Iron* Produksi Blast Furnace dengan *Pig Iron* dengan Reduksi Langsung (Anameric, 2006).

Element	Blast Furnace Pig Iron (wt %)	Pig Iron Direct Reduction (wt%)
Fe	90 – 95,5	95 - 97
C	4 - 5	1,7 – 3,5
Si	0,3 - 1	0,8
S	0,03	0,2 – 0,8
P	<1	0,12
Mn	0,1 – 2,5	0,12



Gambar 2.10 *Pig Iron*

2.11 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.3 Hasil penelitian sebelumnya.

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Hasil
1	Adil Jamali	2005	Pengolahan Pasir Besi Titan Menjadi Hot Metal dengan Tungku Induksi Listrik	Adil melakukan penelitian dengan meleburkan pasir besi menjadi <i>sponge iron</i> dengan menggunakan teknologi <i>induction furnace</i> . Pada saat pasir besi kandungan Fe sebesar 46% dan setelah menjadi sponge iron kandungan Fe naik menjadi 58% serta derajat metalisasi sebesar 67-86%
2	Komarudin,	2008	Studi Pengaruh Penambahan Batubara Terhadap	Komarudin meneliti pengaruh penambahan batubara terhadap proses reduksi batu besi. Dimana variable yang



			Intensitas Fe	dipakai adalah dengan perbandingan batu besi dan batubara 1;1 , 1;3 serta 1;5 dengan waktu 5, 10, dan 20 menit. Hasil yang paling maksimal ialah saat perbandingan 1,5 dengan waktu 10 menit
3	Rahul Sen	2014	<i>Utilization Of Low Grade Coal For Direct Reduction Of Mill Scale To Obtain Sponge Iron: Effect Of Reduction Time and Particle Size</i>	Rahul Sen mengoptimalkan batubara kelas rendah (sub-bituminuous) yang dibakar pada muffle furnace pada temperature 900°C dimana variable yang digunakan ialah waktu pembakaran dan ukuran partikel. Hasilnya ialah derajat reduksi yang paling optimal sebesar 81,64% pada waktu 90 menit dengan ukuran partikel 60-100 ATM sieve size.
4	Ashid Bahtiar Anhar	2015	Studi Pengaruh Komposisi Batubara dan Batu Kapur Pada Briket Pasir Besi Terhadap Kandungan Fe Total dan Fe Metalisasi	Ashad meneliti briket pasir besi yang dibakar dalam muffle furnace pada temperature 1250°C dengan <i>preheat</i> 2 jam, holding 10 jam. Variable yang digunakan adalah komposisi kapur dan batubara. Hasilnya Fe total dan Fe metalisasi tertinggi ialah pada saat perbandingan pasir besi, kapur dan baru bara sebesar 2,3:1:0,6
5	Hairul	2016	Studi Variasi	Wasik meneliti briket



	Wasik		Jenis Arang Pada Briket Pasir Besi Terhadap Kandungan Fe Total dan Derajat Metalisasi Pada Proses Pembuatan Sponge Iron	pasir besi yang dibakar dalam muffle furnace dengan temperature 1350°C selama 3 jam lalu dilakukan holding pada temperature 1350°C selama 10 jam, lalu dilakukan cooling selama 12 jam didalam muffle furnace. Variable yang digunakan adalah jenis arang tempurung kelapa, arang kayu laban, arang kayu asem. Hasil yang didapat adalah kandungan Fe yang paling besar ialah 64,145% pada arang kayu laban serta derajat metalisasi sebesar 88,54% pada arang kayu laban.
6	Farid Rizal	2017	Analisa Pengaruh Komposisi Batu Kapur Terhadap Kadar Fe dan Derajat Metalisasi Pada Proses Reduksi Besi Oksida Dalam Pasir Besi	Farid meneliti pengaruh variasi komposisi pengurangan batu kapur pada pasir besi. Terdapat tiga sampel variasi dengan komposisi pasir besi : batubara : batu kapur yaitu komposisi awal 2 :1 :1,1 komposisi kedua 2 :1 : 0,88 serta yang ketiga 2 :1 :0,66. Kemudian sampel direduksi dengan menggunakan muffle furnace dengan pre heat pada temperature 950oC selama 2 jam dan proses reduksi pada temperature 1350°C selama 10 jam dan pendinginan dalam furnace



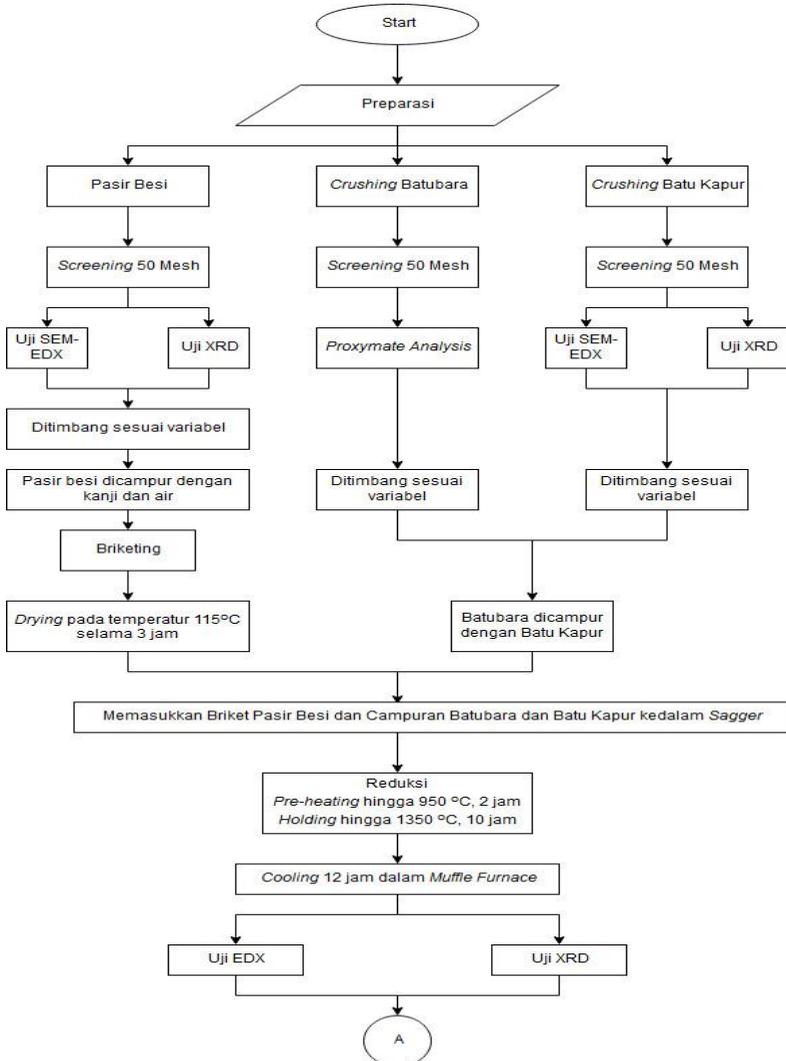
				selama 12 jam. Hasil menunjukkan bahwa reduksi paling baik terjadi pada komposisi pasir besi : batubara : batu kapur 2 :1 :0,66
--	--	--	--	---

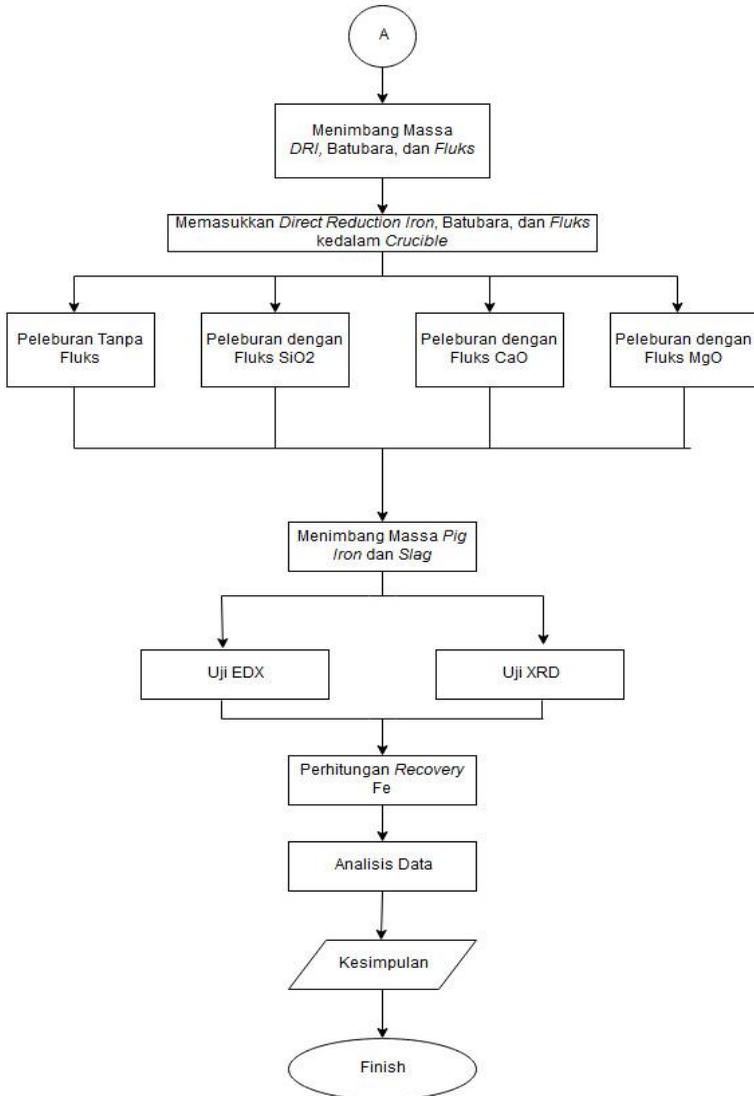


(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian



3.2. Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

3.2.1 Pasir Besi

Biji besi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir besi yang berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat. Pasir besi diayak terlebih dahulu dengan ukuran 50 mesh. Pasir besi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pasir Besi

3.2.2 Batu Bara

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



Gambar 3.3 Batu Bara



3.2.3 Batu Kapur

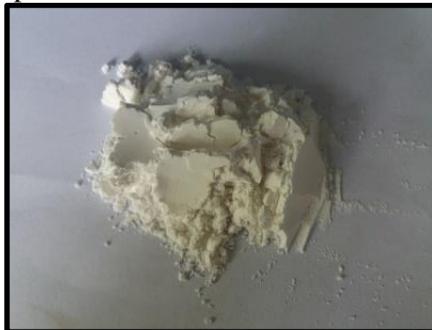
Batu Kapur (Dolomite) yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh.



Gambar 3.4 Batu Kapur

3.2.4 Kanji

Kanji digunakan dalam penelitian ini sebagai pengikat (binder) dalam pembuatan briket.



Gambar 3.5 Serbuk Kanji

3.2.5 Air

Air digunakan dalam pembuatan briket. Air yang digunakan yaitu air ledeng.

3.2.6 LPG

LPG digunakan dalam penelitian sebagai sumber bahan bakar yang digunakan dalam *Muffle Furnace*.



Gambar 3.6 LPG

3.2.7 Elektrode Grafit

Elektroda grafit berfungsi sebagai bahan yang mengalirkan arus listrik dengan cepat dengan kandungan grafit sebesar 99,9%. Dua elektroda disambung satu dengan lainnya untuk menghasilkan busur api. Elektroda grafit ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Elektroda Grafit

3.2.8 Flux

Ada tiga jenis flux yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah Silika Dioksida (SiO_2), Kalsium Karbonat (CaCO_3) dan Magnesium Oksida (MgO) seperti pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 (a) Flux CaCO_3 , (b) Flux SiO_2 , (c) Flux MgO

3.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

3.3.1 Alat Kompaksi

Alat kompaksi berfungsi untuk membentuk campuran bahan menjadi briket yang berbentuk bantal (*pillow*). Briket dibuat dengan menggunakan bahan baku berupa ore, batubara, fluks, natrium sulfat, dan kanji. Volume hasil beriket yaitu 14 cm^3 dan dimensi briket :

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



Gambar 3.9 Alat Kompaksi

3.3.2 *Muffle Furnace*

Proses aglomerasi dilakukan dengan menggunakan *muffle furnace*. Dimensi *muffle furnace* yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Panjang : 48 cm
- Lebar : 85 cm
- Tinggi : 64 cm
- Tebal batu tahan api : 7 cm



Gambar 3.10 *Muffle Furnace*



3.3.3 Timbangan Digital

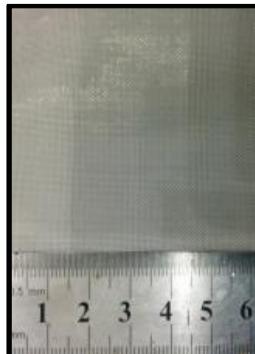
Timbangan digital digunakan dalam penelitian ini untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan campuran untuk pembuatan briket



Gambar 3.11 Timbangan Digital

3.3.4 Ayakan

Ayakan digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang digunakan sebagai bahan campuran pembuatan briket. Ayakan yang digunakan berukuran 50 mesh.



Gambar 3.12 Ayakan



3.3.5 *Thermocouple*

Thermocouple digunakan untuk mengetahui temperatur di dalam *muffle furnace* saat proses aglomerasi.



Gambar 3.13 *Thermocouple*

3.3.6 *Blower*

Blower digunakan untuk meniupkan udara luar ke dalam *muffle furnace*.



Gambar 3.14 *Blower*

3.3.7 *Oven*

Oven digunakan untuk mengeringkan briket hasil kompaksi untuk menghilangkan *moisture content*.



Gambar 3.15 Oven

3.3.8 Alat Tumbuk

Alat tumbuk digunakan untuk menghancurkan bahan baku yang digunakan agar mendapatkan ukuran butir bahan baku yang sesuai, yaitu 50 mesh.



Gambar 3.16 Alat Tumbuk

3.3.9 Power Supply

Merupakan alat penyuplai energi listrik yang merupakan sumber energi dalam *electric arc furnace*. *Power supply* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.17 :



Gambar 3.17 Power Supply

3.3.10 *Crucible*

Crucible merupakan tempat berlangsungnya proses peleburan *DRI* menjadi *pig iron* yang berbentuk silinder. *Crucible* yang digunakan terbuat dari Silika Karbida (SiC) dengan dimensi sebagai berikut :

Panjang Luar	: 118 mm
Panjang Dalam	: 85 mm
Lebar Luar	: 75 mm
Lebar Dalam	: 50 mm
Tinggi Luar	: 60 mm
Tinggi Dalam	: 45 mm



Gambar 3.18 Crucible



3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Material

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu:

1. Menumbuk pasir besi, batubara, dan batu kapur dan kemudian mengayak hingga ≤ 50 mesh.
2. Menguji pasir besi menggunakan alat uji EDX dan XRD.
3. Menguji batukapur dengan XRF.
4. Menguji batubara dengan *Proximate Analysis*.
5. Membuat briket pasir besi.

Pasir besi hasil ayakan ditimbang dengan berat 50 gram. Pasir besi dicampur dengan kanji sebanyak 5 gram serta campuran pasir besi dan kanji ditambahkan dengan air mendidih sebanyak 5 gram dan diaduk. Perbandingan pasir besi : kanji : air adalah 10 : 1 : 1. Campuran pasir besi, kanji, dan air dibentuk menjadi briket bantalan dengan dikompaksi seperti gambar 3.18. dalam satu kali proses reduksi dibutuhkan 4 buah briket dengan berat 200 gram pasir besi.



Gambar 3.19 Briket Pillow Pasir Besi

6. Pembuatan campuran batubara dan batu kapur

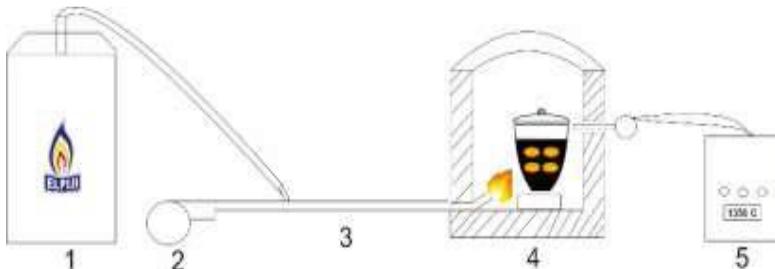
Batubara dan batu kapur hasil ayakan ditimbang dengan berat sesuai perhitungan stoikiometri yaitu dengan perbandingan pasir besi : batubara : batu kapur adalah 1 : 0,44 : 0,62.

7. Briket pasir besi dicampur dengan batubara dan batu kapur kemudian dimasukkan ke dalam crucible dengan susunan seperti pada gambar 3.20



Gambar 3.20 Susunan Briket dan *Reduction Mix*

8. Crucible kemudian dimasukkan ke dalam muffle gas furnace untuk dipanaskan. Panas yang dihasilkan berasal pembakaran gas LPG yang dihembuskan dengan udara bertekanan yang berasal dari blower dengan susunan alat seperti pada gambar 3.21.



Gambar 3.21 Susunan Peralatan (1. Gas LPG, 2. Blower, 3. Pipa Burner, 4. Muffle gas Furnace, 5. Thermocouple)

3.4.2 Proses Reduksi

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses pereduksian pasir besi yaitu:

1. Sagger yang berisi bahan baku dimasukkan dalam *muffle furnace*.
2. Pemanasan sagger dilakukan *pre-heating* pada temperatur 900°C selama 2 jam dan dilakukan *holding* pada temperatur 1350 °C selama 10 jam.



3. Sampel didinginkan didalam *muffle furnace* selama 12 jam.
4. Setelah proses ekstraksi selesai, sampel dikeluarkan dari *muffle furnace*. Hasil ekstraksi dikeluarkan dari *sagger*, selanjutnya akan dilakukan proses pengujian EDX, XRD, dan *recovery Fe*.

3.4.2 Persiapan Proses *Smelting*

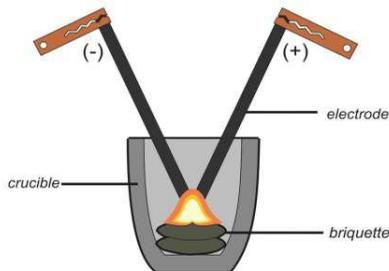
Langkah-langkah yang dilakukan pada proses peleburan DRI menjadi *pig iron* yaitu:

1. Menimbang massa DRI setelah mengalami proses reduksi.
2. Menimbang massa *fluks* $\text{SiO}_2, \text{CaCO}_3, \text{MgO}$.
3. Memasukkan DRI hasil reduksi ke dalam *crucible* dan mencampurnya dengan *fluks* sesuai perbandingan berat.

3.4.3 Proses *Smelting*

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses peleburan DRI yaitu:

1. DRI yang telah ditambahkan *fluks*, dimasukkan ke dalam *crucible* dan diposisikan bertumpuk serta berada di tengah-tengah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.22.



Gambar 3.22 Skematik Preparasi *Smelting* dengan *Electric Arc Furnace*

2. Pemanasan dilakukan dengan membentuk busur listrik menggunakan 2 elektrode grafit yang didekatkan ujungnya satu sama lain, berikut dengan *setting power supply* pada arus



180 A dan tegangan tetap sebesar 16,2 V selama 6 menit. Penggunaan 180 A serta waktu 6 menit dikarenakan sudah sangat optimal serta sesuai dengan perhitungan dengan *heat balance* dan jika lebih dari itu perhitungan *recovery* Fe serta kandungan Fe akan menurun. Perhitungan optimalisasi terdapat pada lampiran

3. Proses yang terjadi awal pemanasan bertujuan untuk melebur DRI dan *fluks* yang perlahan-lahan keduanya melebur di waktu menit ke-1, kemudian dilakukan *treatment* untuk *homogenizing* dengan meratakan pemanasan dengan busur listrik di seluruh permukaan DRI yang telah mencair tersebut untuk pemisahan fisik antara *slag* dengan pig iron berjalan sempurna.
4. Produk hasil *smelting* didinginkan di dalam *crucible* hingga mencapai temperatur kamar.
5. Setelah proses peleburan selesai, produk hasil *direct smelting* dikeluarkan dari *crucible*.
6. Dilakukan pemisahan fisik antara *slag* dengan *pig iron* dengan menggunakan palu. *Slag* akan pecah dan dapat dipisahkan sehingga menyisakan massa *pig iron* saja. Logam yang sudah terpisah tersebut kemudian dibersihkan dan ditimbang massa pig iron dan slag untuk selanjutnya dilakukan proses pengujian XRD dan EDX serta perhitungan *recovery* Fe.

3.5. Pengujian Penelitian

3.5.1. X-Ray Diffraction (XRD)

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif yang terdapat pada bahan baku yang digunakan. Dalam pengujian XRD sampel yang akan diuji sebelumnya harus sudah dihancurkan terlebih dahulu hingga berukuran 200 mesh. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV hingga 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang $10^{-1} - 10$ nm, berfrekuensi 1017 – 1020 Hz dan memiliki energi 103 – 106 eV.



Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia, dan keadaan lain yang memiliki orde sama.



Gambar 3.23 XRD PAN Analytical

3.5.2. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakterisasi kimia dari suatu sampel. Prinsip kerja dari alat ini adalah metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan *X-Ray*. Energi tiap – tiap photon *X-Ray* menunjukkan karakteristik masing – masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak–puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik *energy (KeV)* dengan *counts*. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur – unsur apa saja yang terkandung di dalam suatu sampel. Serta dengan pengujian EDX, didapatkan pula persentase dari suatu unsur yang terkandung di dalam suatu sampel.



3.5.3. *Proximate Analysis*

Untuk mengetahui kandungan batu bara seperti kadar moisture, volatile matter, ash, dan fixed carbon dapat dilakukan pengujian *proximate analysis*. Standar pengujian yang dilakukan yaitu ASTM D 3172-02 (Fixed Carbon), ASTM D 3173-02 (Moisture), ASTM D 3174-02 (Ash), dan ASTM D 3175-02 (Volatile matter).

3.5.3.1 *Moisture*

Analisa kadar *moisture* dalam batu bara dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Bahan :

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

Alat :

1. Oven Pengering

Prosedur

1. Mengeringkan sampel dalam pengering selama 15 menit hingga 30 menit dan ditimbang. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
2. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan ($104^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengering. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur ruangan.
3. Menghitung hasil analisa.

Perhitungan

$$\text{Moisture, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.1)$$



Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

3.5.3.2 *Volatile Matter*

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

Alat

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

Prosedur

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

Perhitungan

$$\text{Weight Loss, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.2)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen volatile matter dihitung

$$\text{Volatile Matter, \%} = C - D \quad (3.3)$$



Dimana,

C = Weight Loss (%)

D = Moisture (%)

3.5.3.3 Ash

Analisa kadar ash dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Alat

1. Electric muffle furnace
2. Kapsul porselen atau krusibel platina
3. Tutup krusibel

Prosedur

1. Memasukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam furnace dingin. Panaskan dengan temperatur 450 – 500°C selama 1 jam.
2. Memanaskan sampel hingga temperatur mencapai 700 – 750°C selama 1 jam. Kemudian lanjutkan pemanasan hingga 2 jam.
3. Pindahkan kapsul keluar dari furnace, didinginkan dan timbang.

Perhitungan

$$\text{Ash, \%} = [(A - B) / C] \times 100 \quad (3.4)$$

Dimana,

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

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gram)

3.5.3.4 Fixed Carbon.

Analisa kadar fixed carbon dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3172-02 dengan perhitungan dari data kadar moisture, ash, dan volatile matter.



$$\text{Fixed Carbon, \%} = 100\% - [\text{moisture (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter (\%)}] \quad (3.5)$$

3.5.4. *Recovery Fe*

Recovery Fe dapat didefinisikan sebagai presentase Fe yang terdapat pada massa akhir dari proses pereduksian hingga peleburan, *recovery Fe* dapat dihitung menggunakan persamaan

$$\text{Recovery Fe} = \frac{\text{massa akhir Fe}}{\text{massa awal Fe}} \times 100\% \quad (3.6)$$

Dimana massa akhir Fe adalah massa dari Fe yang terdapat pada *pig iron* dan massa awal Fe adalah massa dari Fe yang terdapat pada pasir besi

3.5. Rancangan Penelitian

3.5.1 Rancangan Penelitian Pembuatan *DRI*

Berikut adalah rancangan penelitian yang dilakukan untuk proses reduksi mendapatkan *DRI* sesuai dengan perhitungan stoikiometri.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian Pembuatan *Direct Reduced Iron*

Pasir besi	Batubara	Batu Kapur	Hasil Pengujian	
			XRD	EDX
1	0,44	0,62		



Tabel 3.2 Rancangan Penelitian Pembuatan *Pig Iron*

Perbandingan Komposisi Bahan dengan Variasi Flux			Hasil Pengujian	
			XRD	EDX
Variasi Flux	Massa Flux	Massa DRI		
SiO ₂	0,028	1		
MgO				
CaO				



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Bahan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian karakterisasi terhadap bahan-bahan yang digunakan, yaitu pasir besi, batu kapur, batu bara, serta DRI.

4.1.1 Karakterisasi Pasir Besi

Pasir besi yang digunakan sebagai bahan penelitian berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) dan *X-ray Diffraction* (XRD). Sebelum dilakukan pengujian, pasir besi dihancurkan kemudian diayak hingga ukuran ≤ 50 mesh.

Pengujian EDX dilakukan menggunakan alat SEM/EDX yang ada di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material. Dari hasil pengujian didapatkan komposisi unsur yang terdapat pada pasir besi yang berasal dari Sukabumi, Jawa Barat, dijelaskan pada Tabel 4.1.

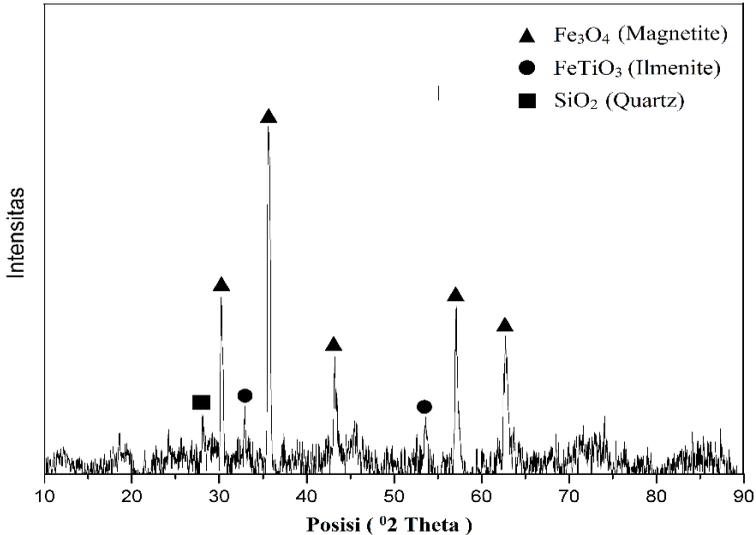
Tabel 4.1 Hasil Uji EDX pada Sampel Pasir Besi

Unsur	Fe	Si	Mg	O	Ti	Al
% Berat	57,93	3,14	2,72	24,4	8,46	2,66

Dari hasil uji EDX, didapatkan sampel pasir besi mengandung unsur paling dominan 57,93 %Fe, 24,4 %O, dan 8,56 %Ti. Kandungan Fe pada pasir besi masih tergolong rendah apabila dilakukan proses ekstraksi langsung dan masih banyak mengandung Ti yang harus dihilangkan dalam proses pembuatan DRI. Selanjutnya, dilakukan pengujian XRD pada sampel pasir besi menggunakan alat XRD *PANalytical X'Pert* yang ada di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material. Pengujian XRD ditujukan untuk mengidentifikasi senyawa yang terkandung dalam sampel pasir besi yang berasal



dari Sukabumi. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 \AA .



Gambar 4.1 Identifikasi Senyawa Pengujian XRD Pasir Besi

Hasil pengujian XRD Pasir besi Sukabumi dianalisis, kemudian dari Gambar 4.1 dijelaskan, pasir besi Sukabumi mengandung senyawa Magnetite (Fe_3O_4) dengan *peak* 2θ pada 30.0555, 35.3866, dan 3.0173. Kemudian senyawa Maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dengan *peak* 2θ pada 35.5731, 56.9104, dan 62.4581 dan senyawa Ilminite (FeTiO_3) dengan *peak* 2θ pada 32.7505 dan 53.3979.

4.1.2 Karakterisasi Batubara

Batubara berperan penting menyediakan karbon dalam bertindak sebagai reduktor (gas CO hasil gasifikasi batubara) yang mereduksi Fe_2O_3 menjadi Fe dan NiO menjadi Ni.

Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian sangat penting dalam menentukan kadar *moisture*, *ash*, *volatile*



matter, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate* dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Proximate Analysis* Batubara

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

Dari Tabel 4.2 batubara ini memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7204 kal/gr dan kadar karbon 42,35 %. Sehingga dapat dikategorikan sebagai batu bara golongan *sub-bituminus*. Hasil dari analisa proksimat di atas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan pembuatan *DRI* dan *pig iron*.

4.1.3 Karakterisasi Dolomit

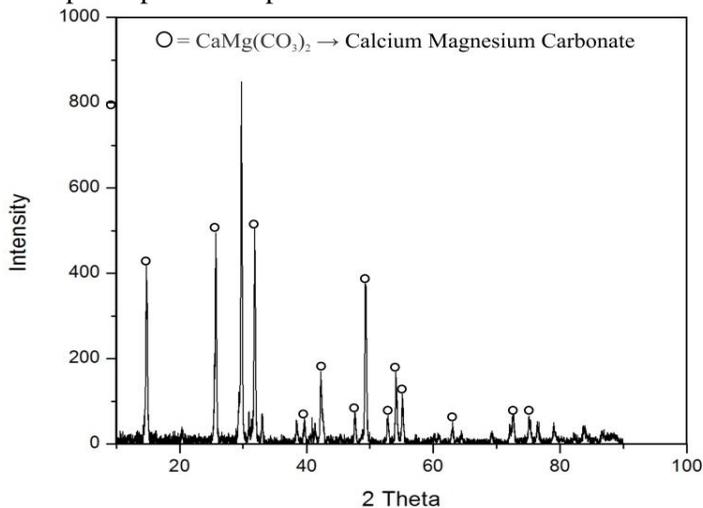
Identifikasi dari dolomit dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat SEM *PANalytical* milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil pengujian EDX dari dolomit bisa dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian EDX Dolomit.

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium	Ca	18.015
2.	Magnesium	Mg	14.30
3.	Karbon	C	12.6215
4.	Oksigen	O	55.0635

Dari pengujian EDX di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Mg yang cukup tinggi, yaitu 14.30 %. Dari kandungan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *dolostone* atau dolomit bukan *limestone*. Dari segi proses aglomerasi, baik Mg maupun Ca yang membentuk senyawa $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ akan membantu proses dengan cara menyediakan gas CO_2 untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi dan sebagai *flux agent* atau pengikat (Spencer, 1985).

Setelah itu, dilakukan identifikasi fasa dari batu kapur menggunakan mesin XRD *PANalytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar $1,54056 \text{ \AA}$. Hasil pengujian XRD dari batu kapur dapat dilihat pada Gambar 4.2

**Gambar 4.2** Hasil Pengujian XRD Batu Kapur



4.1.4 Karakterisasi DRI

Identifikasi dari DRI yang merupakan hasil reduksi pasir besi dilakukan dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat SEM *PANalytical* milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil pengujian EDX dari hasil reduksi pasir besi bisa dilihat pada Tabel 4.4

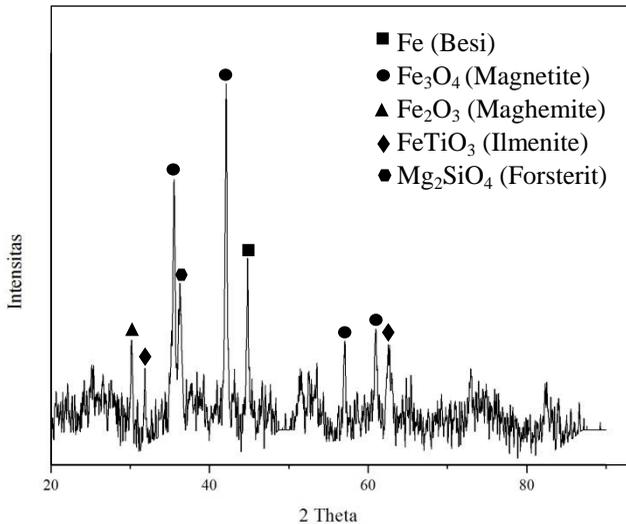
Tabel 4.4 Hasil Pengujian EDX Hasil Reduksi DRI

Parameter	Fe	Si	Mg	Ca	Ti	Al
%Wt	75,722	3,11	4,24	1,06	0,328	1,21

Pada hasil pengujian EDX, dapat diketahui bahwa telah terjadi proses reduksi pada briket pasir besi. Hal ini dibuktikan dengan naiknya kadar Fe total. Kenaikan ini dikarenakan tereduksinya fasa Besi Oksida yang terdapat pada bahan pasir besi oleh gas CO yang berasal dari Batubara dan Batu Kapur sesuai dengan Persamaan 2.6, Persamaan 2.7, Persamaan 2.8.

Jika kandungan Fe total dari briket hasil reduksi dibandingkan dengan kandungan Fe total awal pasir besi sebesar 57,93%, maka akan diperoleh peningkatan kadar Fe sebesar 17,79% akibat proses reduksi.

Identifikasi fasa dari hasil reduksi pasir besi dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Alytical X³Pert*. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ 20° sampai 90° dan menggunakan Panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 \AA . Sampel hasil reduksi pasir besi yang diuji XRD yaitu pasir besi yang telah direduksi dengan menggunakan *muffle furnace*. Selanjutnya data hasil pengujian XRD dianalisa dengan cara dicocokkan dengan kartu JCPDFWIN *release 2000*. Gambar 4.3 merupakan hasil identifikasi dari fasa yang terbentuk pada briket yang telah direduksi.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian XRD *Direct Reduced Iron*

Dari hasil pengujian XRD yang ditunjukkan oleh gambar 4.3 dapat diketahui fasa dominan yang terdapat pada DRI hasil reduksi pasir besi berupa besi (Fe) dengan puncak 2θ 44,8270, magnetit (Fe_3O_4) dengan puncak 2θ 35,5122, 43,1060, 57,0851 dan 62,5952, maghemit (Fe_2O_3) dengan puncak 2θ 30,1810, ilmenit (FeTiO_3) dengan puncak 2θ 31,8666, 63,4721, serta forsterit (Mg_2SiO_4) dengan puncak 2θ 36,2542.

Sebagaimana pada hasil pengujian XRD, tampak adanya unsur Fe. Hal ini menunjukkan telah terjadi proses reduksi pada briket DRI. Akan tetapi reduksi yang berjalan belum berjalan maksimal diindikasikan fasa pada puncak tertinggi masih berupa besi oksida, selain itu masih terdapatnya pengotor seperti Forsterit, Quartz, dan Magnetite.

Pada hasil XRD briket DRI memiliki fasa FeO, secara ideal menurut diagram kesetimbangan Fe-O-C pada fasa FeO akan tidak bisa terbentuk pada DRI karena FeO akan terdekomposisi menjadi α -iron dan Fe_3O_4 pada temperatur



dibawah 570°C (Biswas 1982). Reaksi dekomposisi ini terjadi jika pendinginan berjalan dengan lambat. Adapun dengan adanya kandungan FeO pada briket hasil reduksi menandakan bahwa proses pendinginan yang dialami oleh briket DRI masih berjalan terlalu cepat.

Adanya fasa Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 menandakan adanya senyawa besi oksida yang belum tereduksi, hal ini terindikasi proses difusi gas reduktor (CO) ke dalam partikel pasir besi dalam briket masih belum maksimal. Difusifitas sangat dipengaruhi oleh porositas dan permeabilitas dari partikel dari briket pasir besi.

Selain itu, terbentuknya fasa FeTiO_3 pada proses reduksi briket pasir besi disebabkan laju reduksi besi oksida dari senyawa ilmenit memang sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan oksida besi natural (Merk dan Pickles, 1988). Serta ilmenit merupakan senyawa kristalin yang stabil pada temperatur likuidus ($1100\text{-}1350^{\circ}\text{C}$) sehingga pada temperatur tersebut senyawa ilmenit kerap kali terbentuk (Liu., dkk, 2016).

Selain itu, terdapatnya fasa forsterit (Mg_2SiO_4) yang merupakan fasa pengotor yang terdapat pada DRI hasil reduksi briket pasir besi. Fasa Mg_2SiO_4 dapat terbentuk dari reaksi antara MgO dan SiO_2 pada temperatur $1100\text{-}1400^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan reaksi 2.20 (Brindley dan Hayami, 2006)

4.2 Pengaruh Variasi *Flux* Terhadap Komposisi Unsur Produk Dalam *Pig Iron*

Flux berfungsi sebagai pengikat pengotor agar hasil dari proses peleburan DRI mengandung sedikit kadar pengotor. Variasi jenis *flux* yang digunakan pada percobaan ini akan mempengaruhi kadar Fe pada *pig iron* hasil dari proses peleburan DRI. Untuk mengetahui *flux* yang sesuai maka dilakukan penelitian dengan memvariasikan jenis *flux* pada proses pembuatan *pig iron* hasil dari peleburan DRI. Identifikasi dari *pig iron* yang merupakan hasil dari proses peleburan DRI dilakukan dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian



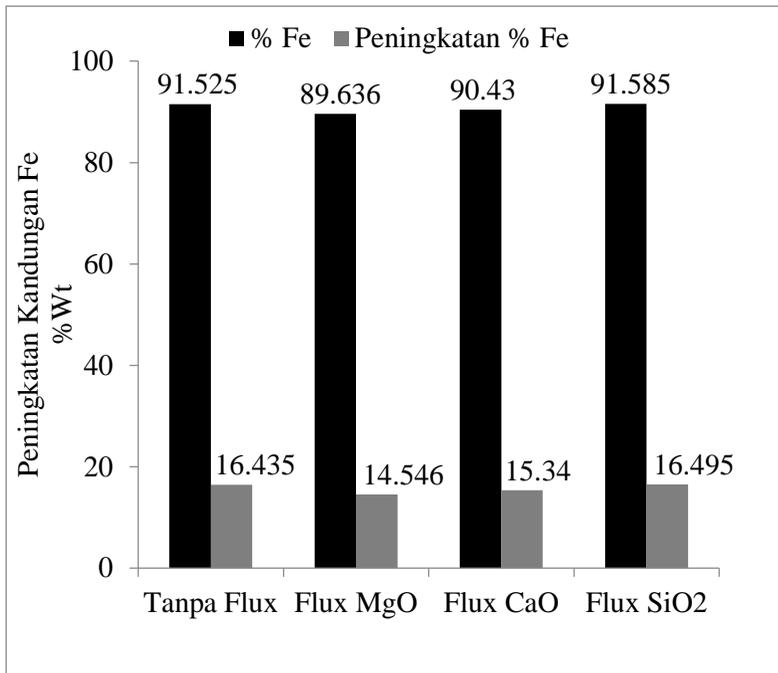
EDX dilakukan menggunakan alat SEM/EDX yang ada di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material. Dari hasil pengujian didapatkan komposisi unsur yang terdapat pada *pig iron* dengan berbagai variasi *flux* yang terdapat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Pengujian EDX Hasil Peleburan *Pig Iron*

Unsur (%)	Tanpa Flux	Flux MgO	Flux CaO	Flux SiO ₂
Fe	91,525	89,636	90,43	91,585
Ti	4,945	8,185	6,58	6,095
Al	0,305	0,21	0,145	0,185
Si	0,485	0,545	0,36	0,795
Ca	0,28	-	-	-
C	2,31	1,34	2,485	1,425
S	0,195	-	-	-

Dari hasil pengujian EDX, didapatkan sampel *Pig Iron* tanpa *flux* mengandung unsur 91,525% Fe, 4,945% Ti, 0,305% Al, 0,485% Si, 0,28% Ca, 2,31% C serta 0,195% S. Sampel *Pig Iron* dengan *flux* MgO mengandung unsur 89,636% Fe, 8,185% Ti, 0,21% Al, 0,545% Si serta 1,34% C. Sampel *Pig Iron* dengan *flux* CaO mengandung unsur 90,43% Fe, 6,58% Ti, 0,145% Al, 0,36% Si serta 2,485% C. *Pig Iron* dengan *flux* SiO₂ mengandung unsur 91,585% Fe, 6,095% Ti, 0,185% Al, 0,795% Si serta 1,425% C.

Berdasarkan data yang didapatkan pada Tabel 4.5, data tersebut diplotkan pada grafik pengaruh variasi jenis *flux* terhadap kandungan Fe total *pig iron* hasil peleburan DRI. Adapun grafik kandungan Fe total *pig iron* dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Pengaruh Variasi *Flux* terhadap Kandungan Fe Total pada *Pig Iron* Hasil Peleburan DRI

Terlihat bahwa kandungan Fe pada *pig iron* meningkat dibandingkan dengan Fe pada DRI, hal ini menunjukkan bahwa tereduksi nya fasa besi oksida pada DRI saat proses peleburan dengan penambahan batubara sebagai reduktor yang menghasilkan gas CO untuk proses reduksi besi oksida berdasarkan persamaan Boudouard pada Pers 4.1, 4.2, 4.3.

Pada *pig iron* hasil peleburan DRI dengan variasi *flux* SiO₂ dihasilkan kandungan Fe total sebesar 91,585% serta kandungan unsur pengotor yang cukup rendah seperti Ti, Al dan Si. *Slag* yang mengandung TiO₂ umumnya mencair pada temperatur tinggi, misal nya 1600 C (Jamali. A, 2005).



Penggunaan *flux* SiO_2 ini meningkatkan kadar Fe dikarenakan dapat menghasilkan *slag* yang mengandung unsur pengotor yang tinggi salah satunya yaitu Ti yang tidak diharapkan. Semakin banyak SiO_2 maka TiO_2 yang terdapat di *slag* semakin banyak pula sehingga dihasilkan unsur pengotor Ti yang kecil pada *pig iron* (A. Muan dkk, 1965).

Pada *pig iron* hasil peleburan DRI dengan variasi *flux* CaO dihasilkan kandungan Fe total sebesar 90,43% serta kandungan unsur pengotor yang cukup rendah seperti Ti, Al dan Si. Penggunaan *flux* CaO yaitu bertindak sebagai agent pengikat oksida besi (Friel, 1980) selain itu mampu mengikat Ti menjadi senyawa CaTiO_3 yang melebur pada temperatur 1970 C serta senyawa $\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ pada temperatur 1750 C (DeVries, R dkk, 1954). Terbentuknya Senyawa CaTiO_3 diduga menghambat proses reduksi karena baik CaO dan TiO_2 merupakan impuritas yang berpengaruh negatif pada reduksi DRI (Merk dan Pickles, 1988), hal tersebut tentunya berdampak pada berkurangnya perolehan Fe Total.

Pada *pig iron* hasil peleburan DRI dengan variasi *flux* MgO dihasilkan kandungan Fe total sebesar 89,636% serta terdapat unsur pengotor seperti Ti, Al dan Si sama seperti pada *flux* SiO_2 dan CaO. Pada *flux* MgO kadar Ti masih cukup tinggi dibandingkan dengan *flux* SiO_2 ataupun dengan *flux* CaO, hal ini dikarenakan kadar dari Mg yang berasal dari DRI lebih sedikit dibandingkan dengan kadar Si ataupun Ca yang ada di DRI maka dari itu proses pengikatan dengan *flux* MgO kurang maksimal. MgO merupakan senyawa impuritas yang memiliki efek negatif terhadap reduksi oksida besi. MgO mengurangi laju reduksi dari besi oksida dan mencegah reduksi oksida besi didalam ilmenit (FeTiO_3) hal tersebut disebabkan pergantian ion Fe^{2+} oleh Mg^{2+} sehingga proses reduksi menjadi lebih sulit (Merk dan Pickles, 1988). Selain itu, karena MgO akan bereaksi dengan Fe_2O_3 dan membentuk magnesium ferit sehingga tidak terbentuk fase cair pada temperatur pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar Fe total tertinggi yaitu dengan penambahan



flux SiO_2 , sedangkan peningkatan kadar Fe terendah ketika menggunakan *flux* MgO .

Dari Tabel 4.5, kadar Fe pada *pig iron* hasil dari peleburan DRI tanpa menggunakan *flux* diperoleh sebesar 91,525%. Meskipun tanpa menggunakan *flux* ketika proses peleburan dari DRI menjadi *pig iron*, *slag* akan mencair dan terpisah, proses difusi gas CO yang berasal dari batubara berjalan dengan optimal dan tidak ada reaksi eksternal dari *flux* namun kadar unsur *slag* masih cukup banyak karena tidak ada senyawa yang berfungsi untuk mengikat *slag*.

4.3 Pengaruh Variasi Flux Terhadap Recovery Fe Dalam Pig Iron

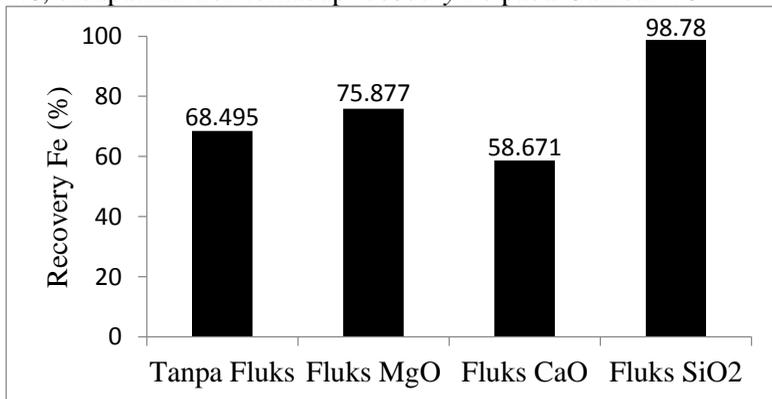
Telah diketahui bahwa proses peleburan DRI menjadi *pig iron* mampu meningkatkan kadar Fe serta memisahkannya dengan *slag* yang tidak diinginkan. Dengan meningkatnya kadar Fe maka bisa dilihat pula bagaimana *recovery* yang terjadi. Apabila kandungan yang didapatkan tinggi maka *recovery* Fe juga akan tinggi dan dikatakan proses berjalan dengan optimal. Perhitungan *recovery* Fe dapat dilihat pada Pers 3.6.

Untuk mengetahui perolehan *recovery* Fe dilakukan dengan membandingkan massa Fe hasil peleburan dengan massa Fe awal. Perhitungan massa Fe hasil peleburan dilakukan dengan mengalikan kadar Fe dengan total massa perolehan Fe hasil peleburan. Sedangkan, perhitungan massa Fe awal dilakukan dengan mengalikan kadar Fe dengan massa awal DRI yang terdapat pada Persamaan 3.6. Perhitungan massa Fe awal dan hasil peleburan ditampilkan pada Tabel 4.6

**Tabel 4.6** Perhitungan Massa dan *Recovery* Fe pada *Pig Iron*

Variasi Flux	Massa awal (gr)	Kadar Fe awal (%wt)	Massa akhir (gr)	Kadar Fe Akhir (%wt)	<i>Recovery</i> Fe (%)
Tanpa Flux	40	75,722	22,66	91,525	68,495
Flux MgO	40	75,722	25,63	89,636	75,877
Fluks CaO	40	75,722	19,65	90,43	58,671
Fluks SiO ₂	40	75,722	32,66	91,585	98,78

Berdasarkan hasil perhitungan *recovery* Fe pada Tabel 4.6, didapatkan tren terhadap *recovery* Fe pada Gambar 4.5.

**Gambar 4.5** Pengaruh Variasi Flux terhadap *Recovery* Fe pada *Pig Iron* Hasil Peleburan DRI.

Ketika proses *electric arc furnace* dilakukan, tidak semua unsur berharga menjadi *pig iron* namun ada yang tertinggal karena proses homogenisasi yang kurang optimal dan menjadi *slag* (Piatak, 2017), berbagai metode telah banyak dilakukan untuk mendapatkan unsur berharga yang ada di *slag* seperti yang



dilakukan oleh Negrea Tahun 2005 dengan melakukan *leaching* untuk *recover* Mn dari *slag* baja.

Dari Gambar 4.5, grafik *recovery* Fe *pig iron* hasil peleburan DRI tanpa *flux* sebesar 68,495% dengan massa akhir yang didapatkan sebesar 22,6 gram dengan kadar Fe sebesar 91,525%. *Recovery* tanpa *flux* tergolong rendah karena pada saat proses peleburan DRI menjadi *pig iron* cairan *slag* berpisah dengan *pig iron* namun homogenisasi pada *pig iron* kurang berjalan dengan optimal.

Pada variasi *flux* MgO memiliki *recovery* 75,877% dengan massa akhir yang didapatkan sebesar 25,63 gram dengan kadar Fe sebesar 89,636% . Pada proses peleburan DRI menjadi *pig iron* MgO akan berikatan dan membentuk magnesium silikat. Besi oksida dapat bereaksi dengan magnesium silikat membentuk fasa forsterite ((Mg,Fe)₂SiO₄) seperti Pers 2.19 sehingga Fe terjebak dalam fasanya dan sulit direduksi kembali (Rudy dkk, 2016) sehingga perolehan Fe dalam *pig iron* akan diperoleh sedikit (Guang Li, 2012)

Pada variasi *flux* CaO, produk yang dihasilkan memiliki *recovery* 58,671% dengan massa akhir yang didapatkan sebesar 19,65 gram dengan kadar Fe sebesar 90,43%. Selain itu CaO dapat membentuk senyawa CaTiO₃, terbentuknya senyawa CaTiO₃ diduga menghambat proses reduksi karena baik CaO dan TiO₂ merupakan impuritas yang berpengaruh negatif pada reduksi DRI sehingga diperoleh kandungan Fe pada *pig iron* lebih sedikit.

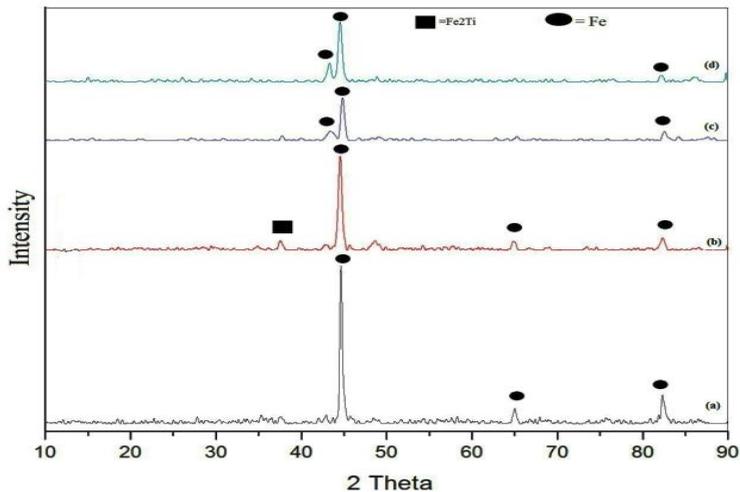
Pada variasi *flux* SiO₂ memiliki *recovery* 98,78% paling tinggi diantara yang lain dengan massa akhir sebesar 32,66 gram dengan kadar Fe sebesar 91,585%. Pada variasi jenis *flux* ini *recovery* paling tinggi dikarenakan *flux* SiO₂ menghasilkan produk dengan massa yang lebih besar dari *flux* lain karena proses homogenisasi yang terjadi cukup optimal. Dengan *flux* SiO₂ akan diperoleh *slag* dengan komposisi unsur Al, Ti, dan Si seperti pada penelitian Adil Jamali Tahun 2005.



4.4 Pengaruh Variasi Flux Terhadap Fasa yang Terbentuk Dalam Pig Iron.

Indentifikasi fasa dari *pig iron* hasil peleburan DRI dilakukan menggunakan alat uji XRD PAN Analytical milik Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sudut difraksi yang dipakai adalah pada posisi 2θ $10 - 90^\circ$ dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 \AA . Selanjutnya grafik difraksi hasil uji XRD dianalisa menggunakan JCPDF card PDF-2 Release 2011. Hasil pengujian XRD pada pengaruh variasi flux terhadap fasa yang terbentuk dalam *pig iron* hasil peleburan DRI dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Berdasarkan hasil XRD pada Gambar 4.6 fasa yang terbentuk pada *pig iron* hasil peleburan DRI untuk seluruh variasi flux memiliki puncak yang sama. Pada peleburan DRI tanpa menggunakan flux diketahui fasa yang terbentuk ialah fasa besi (Fe) pada puncak 2θ 44.5, 64.9 dan 82.2. Intensitas fasa Fe yang terbentuk sebesar 1006.8, 87 serta 147.5



Gambar 4.6 Hasil Pengujian XRD *Pig Iron* dengan Variasi Flux
(a) Tanpa (b) MgO (c) CaO (d) SiO_2



Pada peleburan DRI dengan variasi *flux* MgO menunjukkan fasa yang terbentuk adalah fasa besi (Fe) pada puncak 2θ 44.64, 64.91 dan 82.28 serta terdapat fasa Fe_2Ti dengan puncak 2θ 37.42. Intensitas fasa Fe yang terbentuk sebesar 606.9, 78.7 dan 133.5 serta intensitas untuk Fe_2Ti adalah sebesar 95,1.

Pada peleburan DRI dengan variasi *flux* CaO menunjukkan fasa yang terbentuk adalah fasa besi (Fe) pada puncak 2θ 44.63 dan 82.48 serta terdapat fasa besi delta (Fe) pada puncak 2θ 43.3. Intensitas fasa Fe yang terbentuk sebesar 1005.5 serta 220.7 serta intensitas untuk besi delta adalah 576.3.

Pada peleburan DRI dengan variasi *flux* SiO_2 menunjukkan fasa yang terbentuk adalah fasa besi (Fe) pada puncak 2θ 44.4 dan 82.2 serta terdapat fasa besi delta (Fe) pada puncak 2θ 43.4. Intensitas fasa Fe yang terbentuk sebesar 1021.8 dan 225 serta intensitas untuk besi delta adalah 300.8

(a) Analisis Hasil XRD *Pig Iron* Tanpa *Fluks*

Dari hasil pengujian XRD *pig iron* peleburan DRI tanpa *fluks* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa puncak tertinggi hanya terdapat fasa besi (Fe). Hal ini mengindikasikan bahwa fasa besi oksida pada DRI telah tereduksi seluruhnya. Proses reduksi fasa besi oksida terjadi dengan bantuan penambahan reduktor batubara sehingga menghasilkan gas CO sebagai pereduksi besi oksida sesuai dengan persamaan Boudouard (Arabinda, 2011).

Selain itu sudah tidak terdapatnya fasa besi oksida titan pada hasil peleburan DRI juga dipengaruhi oleh reaksi yang mereduksi fasa tersebut dengan melepaskan ikatannya. Reaksi reduksi ini juga dibantu dengan penambahan reduktor gas CO yang dapat bereaksi pada temperatur diatas 1773 K. (Guo Peng, 2016).



(b) Analisis Hasil XRD *Pig Iron* dengan *Fluks* MgO
Dari hasil pengujian XRD *pig iron* peleburan DRI dengan *fluks* MgO yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 menunjukkan pada puncak tertinggi hanya terdapat fasa besi (Fe). Hal ini mengindikasikan bahwa fasa besi oksida pada DRI telah tereduksi seluruhnya. Proses reduksi fasa besi oksida terjadi dengan bantuan penambahan reduktor batubara sehingga menghasilkan gas CO sebagai pereduksi besi oksida sesuai dengan persamaan Boudouard. (Arabinda, 2011). Terdapat nya fasa Fe_2Ti karena Mg mengalami transformasi menjadi amorf, sementara Ti sudah berubah bentuk menjadi senyawa Fe_2Ti (Hadi, 2012).

Selain itu sudah tidak terdapatnya fasa besi oksida titan pada hasil peleburan DRI juga dipengaruhi oleh reaksi yang mereduksi fasa tersebut dengan melepaskan ikatannya. Reaksi reduksi ini juga dibantu dengan penambahan reduktor gas CO yang dapat bereaksi pada temperatur diatas 1773 K. (Guo Peng, 2016).

(c) Analisis Hasil XRD *Pig Iron* dengan *Fluks* CaO
Dari hasil pengujian XRD *pig iron* peleburan DRI dengan *fluks* CaO pada Gambar 4.6 menunjukkan puncak tertinggi merupakan fasa besi (Fe). Sudah tidak terdapatnya fasa besi oksida pada *pig iron* menandakan proses reduksi fasa besi oksida telah berjalan dengan optimal. Penambahan batubara sebagai reduktor menghasilkan gas CO membuat besi oksida tereduksi sesuai dengan persamaan Boudouard. (Arabinda dan Bidyapati, 2011). Tetapi terdapat puncak lain yang mengindikasikan terbentuknya fasa besi-delta (Fe). Fasa tersebut terbentuk akibat temperatur yang tinggi sekitar $1535^{\circ}C$. Terbentuknya fasa besi-delta mengindikasikan proses peleburan terjadi diatas temperatur $1535^{\circ}C$. (Callister dan Rethwisch, 1990).

Sudah tidak terdapat lagi fasa besi oksida dan besi oksida titan menandakan bahwa proses reduksi sudah berjalan dengan optimal. Hal ini dikarenakan Ca^{+2} dapat berikatan dengan besi oksida titan sesuai dengan persamaan reaksi 2.15 (Hu.M, 2011).



- (d) Analisis Hasil XRD *Pig Iron* dengan *Fluks* SiO_2
Dari hasil pengujian XRD *pig iron* peleburan DRI dengan *fluks* CaO pada gambar 4.6 menunjukkan puncak tertinggi merupakan fasa besi (Fe). Sudah tidak terdapatnya fasa besi oksida pada *pig iron* menandakan proses reduksi fasa besi oksida telah berjalan dengan optimal. Penambahan batubara sebagai reduktor menghasilkan gas CO membuat besi oksida tereduksi sesuai dengan persamaan Boudouard. (Arabinda dan Bidyapati, 2011). Tetapi terdapat puncak lain yang mengindikasikan terbentuknya fasa besi-delta (Fe). Fasa tersebut terbentuk akibat temperatur yang tinggi sekitar 1535°C . (Callister dan Rethwisch, 1990).

Terbentuknya fasa besi-delta mengindikasikan proses peleburan terjadi di atas temperatur 1535°C . Sehingga dengan penambahan fluks SiO_2 mengakibatkan fasa besi oksida titan tidak terbentuk pada *pig iron* (Muan dan Osbara, 1965).

4.5 Pengaruh Variasi *Flux* Terhadap *Slag* yang Terbentuk Dalam *Pig Iron*.

Variasi *flux* dalam proses peleburan DRI menjadi *pig iron* juga sangat berpengaruh terhadap *slag* dihasilkan dalam proses peleburan. Untuk mengetahui karakterisasi dari *slag* yang terdapat dari proses peleburan DRI maka dilakukan pengujian EDX dan XRD. Identifikasi dari *slag* hasil peleburan dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat SEM *Panalytical* milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil pengujian EDX dari *slag* bisa dilihat pada Tabel 4.7

Dalam proses peleburan DRI menjadi *pig iron*, cairan logam akan berkumpul dan sisa nya akan berpisah membentuk *slag*, ketika proses yang berjalan sampai dengan melebihi temperature leleh (Zhang, 2017). Bila reduksi oksida besi terjadi dia atas titik leleh, pengotor akan dipisahkan dalam bentuk *slag* dan biasanya mengandung sedikit zat besi. Besi yang terkandung didalam slag dinamakan *iron loss*. Kandungan besi didalam *slag*



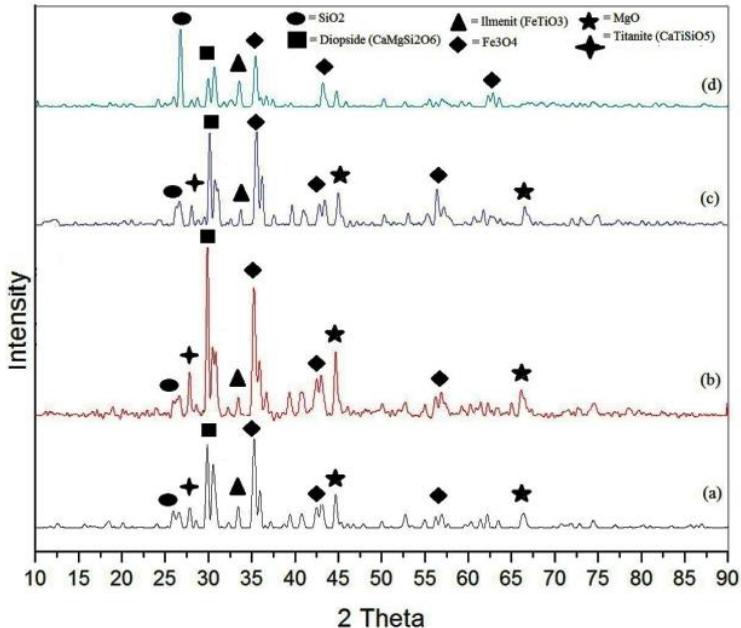
menandakan bahwa proses reduksi tidak berjalan dengan sempurna (Srivastava, 2012).

Tabel 4.7 Hasil Pengujian EDX *Slag* Hasil Peleburan *DRI*

Unsur %Wt	Tanpa <i>Flux</i>	<i>Flux</i> MgO	<i>Flux</i> CaO	<i>Flux</i> SiO ₂
Fe	1,095	2,78	2,64	4,305
V	0,303	0,785	0,77	1,045
Ti	4,53	4,955	4,73	4,97
Ca	14,44	19,36	19,385	11,855
Si	21,86	19,16	19,71	19,36
Al	11,435	11,87	10,86	11,255
Mg	9,035	9,19	8,625	9,355
O	38,84	31,9	33,295	37,845
Na	0,465	-	-	-

Dapat dilihat bahwa selain Fe terdapat pula unsur lain yaitu unsur pengotor. Penggunaan *fluks* dalam proses peleburan *DRI* menjadi *pig iron* sudah sangat tepat, yang berfungsi sebagai mengikat unsur pengotor.

Dalam proses peleburan *DRI* menjadi *pig iron*, cairan logam akan berpisah dengan *slag* ketika proses yang berjalan sampai dengan melebihi temperature leleh. Bila reduksi oksida besi terjadi dia atas titik leleh, pengotor akan dipisahkan dalam bentuk *slag* dan biasanya mengandung sedikit zat besi. Besi yang terkandung didalam *slag* dinamakan *iron loss*. Kandungan besi didalam *slag* menandakan bahwa proses reduksi tidak berjalan dengan sempurna (Srivastava, 2012).



Gambar 4.7 Hasil XRD *slag* variasi *flux* (a) Tanpa (b) MgO (c) CaO (d) SiO₂

Gambar di atas merupakan hasil analisa XRD pada *slag* berbagai variasi *flux*. Bagian (a) menunjukkan tanpa *flux* terdapat fasa SiO₂ pada puncak 2 θ 26,72, Titanite pada puncak 2 θ 27,84, Diopside pada puncak 2 θ 29,84, Ilmenit pada puncak 2 θ 32,4, Magnetite pada puncak 2 θ 35,32, 43,02 serta 56,85, Periclase pada puncak 2 θ 44,71 serta 66,13.

Pada variasi *flux* MgO yang ditunjukkan pada gambar (b) terdapat fasa SiO₂ pada puncak 2 θ 26,74, Titanite pada puncak 27,88, Diopside pada puncak 2 θ 29,93, Ilmenit pada puncak 2 θ 33,53, Magnetite pada puncak 2 θ 35,24, 43,07 dan 56,96, Periclase pada puncak 2 θ 44,72 dan 66,10.

Pada variasi *flux* CaO yang ditunjukkan pada gambar (c) terdapat fasa SiO₂ pada puncak 2 θ 26,65, Titanite pada puncak 2 θ



28,02, Diopside pada puncak 2 θ 30,09, Ilmenite pada puncak 2 θ 32,55, Magnetite pada puncak 2 θ 35,5, 43,39 dan 56,27, Periclase pada puncak 2 θ 44,9 dan 66,49

Pada variasi *flux* SiO₂ yang ditunjukkan pada gambar (d) terdapat fasa SiO₂ pada puncak 2 θ 26,63, Diopside pada puncak 2 θ 29,87, Ilmenite pada puncak 2 θ 33,44, Magnetite pada puncak 2 θ 35,31, 43,08 dan 62,76.

Pada hasil pengujian XRD yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 terdapat fasa SiO₂ yang mana terdapat pada DRI. Kemudian terdapat fasa Titanite yang mana Ca dan Si yang terdapat pada DRI mampu mengikat unsur Ti menjadi *slag*. Persamaan Titanite seperti pada Pers 2.16 (Muan, 1965).

Selain itu juga fasa Titanite muncul ketika proses reduksi yang berjalan terjadi pada temperature tinggi melebihi temperature 1400 (Muan, 1965). Fasa Diopside muncul ketika telah terjadi ikatan antara senyawa CaO, MgO, SiO₂ dengan adanya gas Co (Metz 1991). Persamaan Diopside seperti pada Pers 2.17

Kemudian fasa Ilmenite terbentuk karena laju reduksi besi oksida dari senyawa ilmenit memang sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan oksida besi natural (Merk dan Pickles, 1988). Secara termodinamika oksida besi titanium seperti ilmenite lebih sulit tereduksi dibandingkan dengan oksida biasa (Hu, 2013).

Dapat diketahui bahwa pada reaksi pemutusan memiliki nilai energi bebas dari reaksi reduksi ilmenit oleh CO bernilai positif, menandakan bahwa reaksi tersebut tidak berjalan spontan.

Kemudian fasa Magnetite menunjukkan bahwa reduksi oleh gas CO tidak terjadi secara maksimal. Penyebab tidak terjadinya reduksi ialah kurang maksimalnya produksi gas CO.

MgO berasal dari pasir besi dan juga fluks MgO. MgO merupakan pengotor yang memiliki pengaruh buruk yaitu menurunkan *reduction rate* dikarenakan MgO mudah mengikat Fe₂O₃ dari besi oksida besi serta MgO juga dapat mencegah reduksi oksida besi di dalam ilmenite (Merk 1988).



Dapat dilihat bahwa berdasarkan data yang diperoleh melalui pengujian XRD pada *slag* dari berbagai variasi *flux*, penggunaan *flux* SiO₂ adalah jenis *flux* yang paling optimum dimana menghasilkan *slag* yang lebih sedikit dibandingkan yang lain.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Pig Iron* memiliki komposisi unsur produk % Fe tertinggi dalam proses pembuatan *pig iron* dengan metode *electric arc furnace* sebesar 91,585% dengan variasi *flux* yaitu SiO_2 .
2. Nilai *Recovery* Fe yang tertinggi dihasilkan dari *pig iron* dengan variasi *flux* SiO_2 sebesar 98,78% dengan massa *pig iron* sebesar 32,66 gram dengan kadar Fe sebesar 91,585%. Sedangkan *pig iron* yang memiliki nilai *recovery* Fe terendah yaitu sebesar 58,671% dengan massa yang dihasilkan sebesar 19,65 gram dengan kadar Fe sebesar 90,43% pada variasi *flux* CaO .
3. Fasa yang dominan terlihat pada *pig iron* adalah fasa besi (Fe) untuk semua variasi *flux*, namun pada *flux* MgO muncul fasa Fe_2Ti dengan intensitas yang rendah.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Agar proses peleburan DRI dengan metode *electric arc furnace* dilakukan pada *furnace* yang tertutup.
2. Melakukan *tapping slag* dalam temperatur yang tinggi.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Anhar, A.B. 2015. **Studi Pengaruh Variasi Komposisi Batubara dan Batu Kapur Pada Briket Pasir Besi Terhadap Kandungan Fe Total dan Fe Metalisasi**. Tugas Akhir Teknik Material dan Metalurgi ITS
- Byan. 2011. **Pengolahan Pasir Silika**. <http://www.byantech.com/kategoripabrik/pengolahan-pasir-silika/> (diakses pada tanggal 5 Agustus 2014).
- Camp, James McIntyre., Charles Blaine. 1920. **The Making, Shaping and Treating of Steel**. Francis Carr donal dan Rooney, 1985 . **Limestone and Dolomit Industrial Mineral**
- Chatterjee, Amit. 1988. **Proceedings of XV Symposium of SIDOR**. Puerto Ordaz. Venezuela.
- E.Worman, B. Brezny dan A. Muan, 1969. **Phase Equilibria In The System MgO-Iron Oxide-TiO₂ In Air**. American Journal Of Science. Schairer Vol 267-A
- El-Geassy, A. H. A., Nasr, M. I., Omar, A. A., & Mousa, E. S. A. 2007. **Reduction Kinetics and Catastrophic Swelling of MnO₂-doped Fe₂O₃ compact with CO at 1073-1373 K**. ISIJ International
- Eriksoon, Kristina., Mario, Larsson. 2005. **Energy Survey Of The Sponge Iron Process**. Sweden: Lund Institute Of Technology
- Gou, Hai-peng, dkk. 2016. **Kinetic Study on Carbothermic Reduction of Ilmenite with Active Carbon**. Beijing: Science Direct.
- H. Koblenzer., D. Patrizio., B. Vucinic. 2016. **Influence of EAF production route on steel quality and operational costs in function of different charge mixes**. Steel Strategy Forum, London

- Hairul, Wasik. 2016. **Studi Variasi Jenis Arang Pada Briket Pasir Besi Terhadap Kandungan Fe Total dan Derajat Metalisasi Pada Proses Pembuatan Sponge Iron.** Tugas Akhir Teknik Material dan Metalurgi ITS
- Hartono, B. 2015. **Pengolahan Pasir besi Menjadi Spon**
- Herianto, E. 2008. **Besi nugget dari Pasir Besi Indonesia Sebagai Material Logam Dasar.** Pusat Penelitian Metalurgi, 1-10
- Indonesia Iron and Steel Industry Association. 2015. **Peranan dan Prospek Industri Baja Nasional.** Kemang.
- Jamali, Adil. 2005. **Pengolahan Pasir Besi Titan Menjadi Hot Metal dengan Tungku Induksi Listrik.** UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI.
- Jamali, Adil., Nurjaman, Fajar., Karna. 2008. **Rancang Bangun Tungku Reduksi Pellet Komposit Tipe Tunnel Kiln (Tungku Lorong).** Prosiding Seminar Nasional Pengolahan Bijih Besi.
- John J. Friel and Edwin S. Erickson. 1980. **American Society For Metal and The Metallurgical Society Of AIME.** Volume 11-B
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. 2014. **Profil Industri Baja.**
- Khattoi, S. C. dan G. G. Roy. 2013. **Sponge Iron Production From Ore-Coal Composite Pellets in Tunnel Kiln**
- Kimura, S dan Arnulf Muan. Phase Relations In The System CaO-Iron Oxide-Titanium Oxide Under Strongly Reducing Conditions . **The American Mineralogist, Vol 56,** July-August, 1971.
- Klabunde, K.J. 2001. **Nanoscale Material in Chemistry.** John Wiley & Sons Inc. New York.
- Li, Y., Sun Tichang, Zou Anhua, dan Xu Chengyan. (2012). *Effwct of Coal Levels during Direct R*

- eduction Roasting of High Phosphorus Oolitic Hematite Ore in a Tunnel Kiln*. Journal of Mining Science and Technology, 323-328.
- Liu, Yi-ran, Jiang-Liang Zhang, Zheng-jian Liu, dan Xiang-dong Xing. (2016). "Phase Transformation behavior of titanium during carbothermic reduction of titanomagnetite ironsand". **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**. Volume 23 : Page 760.
- Kompas** (Jakarta). 2013. 18 Februari.
- M.Hu, C.Bai, dkk. 2011. **Deoxidation Mechanism Of Preparation FeTi Alloy Using Ilmenite Concentrate**. Chongqing university. China
- Mashuri, dkk. 2007. **Transformasi Fasa Pada Nanokomposit Fe₃O₄-Fe₂O₃**. FMIPA – ITS :Surabaya . Hal. 137-138.
- McKewan, W. M. 1958. **Trans IIM-AIME**, 212,791
- Merk, R dan C.A. Pickles. 1988. "Reduction of Ilmenite by Carbon Monoxide". **Canadian Metallurgical Quarterly**, Vol. 27. Canada: 179-185.
- Muan, A., and Osborn, E.F. (1965). **Phase Equilibria among Oxides in Steelmaking**. Addison-Wesley.
- Nadine M. Piatak. 2017. **Enviromental Characteristics and Utilization Potensial Of Metalurgical Slag**. U.S. Geological Survey , Reston, VA, United States
- Noviyanti., Jasruddin., Hadi, E. S. 2015. **Karakterisasi Kalsium Karbonat (Ca(CO₃)) Dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa. Makasar**
- Purwanto, Setyo. 2008. **Membangun Industri Komponen Bahan Magnetik Berbasis Sumber Daya Alam Lokal Melalui Sentuhan Nano Tehknologi**. Jurnal Riset Industri, PusatTeknologi Bahan Industri Nuklir BATAN. Serpong Tangerang Vol 2

- R. C. DeVRIES., R. Roy., dan E. F. Osborn. 1955. **Phase Equilibria In The System CaO-TiO₂-SiO₂**. Journal of The American Ceramic Society
- R. W. Ricker dan F. A. Hummel. 1951. **Reaction In The System TiO₂-SiO₂; Revision of The Phase Diagram**
- Rizal, Farid. 2016. **Analisa Pengaruh Komposisi Batu Kapur Terhadap Kadar Fe dan Derajat Metalisasi Pada Proses Reduksi Besi Oksida Dalam Pasir Besi**. Tugas Akhir Teknik Material dan Metalurgi ITS
- Ross HU. 1980. **Physical Chemistry: Part I Thermodynamics. Direct Reduction Iron Technology and Economics of Productions and Use**. Warrendale. The Iron and Steel Society
- S. K. Dutta., A. B. Lele., N.K. Pancholi. 2004. **Studies on direct reduced iron melting in induction furnace**. Trans. Ind. Inst. Met. 467–473.
- Sarangi, Arabinda & Sarangi, Bidyapati. 2011. **Sponge Iron Production in Rotary Kiln**. New Delhi. PHI Learning Private Limited.
- Sen, R., Satender, D., Pandel, U., dan Banerjee, M. K. 2014. **Utilization Of Low Grade Coal For Direct Reduction Of Mill Scale To Obtain Sponge Iron: Effect Of Reduction Time and Particle Size**. Global Challenge, 2-15
- Spencer, J. (1985). *Sulfidation of Half-Calcined Dolomite in Hydrogen-Sulfide/Deuterium/Water/Nitrogen*. Struktur and Mechanisms, 2.
- Srivastava, U., Kawatra, S.K., and Eisel, T.C. (2013). *Production of pig iron by utilizing biomass as a reducing agent*. International Journal of Mineral Processing (119) 51–57.

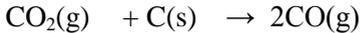
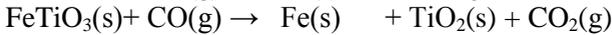
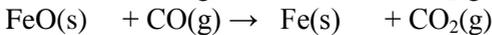
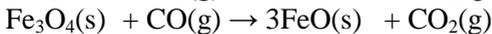
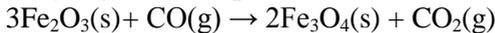
- Suwarno Hadi. 2012. **Percobaan Pengisian-Pengeluaran Hydrogen Sebuah Tangki Simpan Hidrogen Padat**. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Batan
- Takuda, M., H. Yoshikoshi, dan M. Ohtano, Trans. 1973. **ISIJ Vol.13, No 5**
- Tambunan, Barman., Supriyadi, Cuk., dan Juliansyah. 2016. **Desain dan Simulasi Tungku Bakar Untuk Pengolahan pasir Besi Menjadi Sponge Iron dengan Teknologi Tunnel Kiln**. M. P. I. Vol.10
- White, H.M. 2005. **Geochemistry**. John-Hopkins University Press.
- Yulianto, A. 2007. **Kajian Sifat Magnetik Pasir Besi dan Optimalisasi Pengolahan Menjadi Magnet Ferit**. Disertasi Program Doktor Institut Teknologi Bandung.
- Zhang Hao, Zengen Li, dkk. 2017. **Impact Of Slag Composition Activity On The Behavior Of Phosporus In The Smelting Reduction Process Of High Phosporus Iron Ores**. China.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran A (Perhitungan Teoritis Berat)

Perhitungan stoikiometri perbandingan pasir besi: batubara: batu kapur

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses reduksi pasir besi terdapat beberapa reaksi kimia yang terlibat, seperti reduksi, dekomposisi, reaksi Boudouard. Persamaan reaksi yang terjadi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material adalah

- Pasir besi

Dari data pengujian EDX, diperoleh presentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam pasir besi yang diperoleh dari Sukabumi, Jawa Barat.

Hasil EDX Pasir Besi						
Parameter	Fe	Si	Mg	O	Ti	Al
%Wt	57.93	3.14	2.72	24.4	8.46	2.66

Dari data pengujian XRD, mineral – mineral yang terkandung dalam pasir besi dan persentasenya, antara lain:

- Maghemite (Fe_2O_3) = 16,33 %
- Magnetite (Fe_3O_4) = 46,065 %
- Ilmenite (FeTiO_3) = 21,273 %

Apabila diasumsikan setiap briket pasir besi terdiri dari 200 gram ore pasir besi maka :

- Magnetite (Fe_3O_4) = 92,130 gram $\gg \frac{\text{Massa}}{\text{Mr Fe}_3\text{O}_4} = 0,397118017 \text{ mol}$
- Maghemite (Fe_2O_3) = 32,660 gram $\gg \frac{\text{Massa}}{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3} = 0,204125 \text{ mol}$

- Ilmenite (FeTiO_3) = 42,546 gram $\gg \frac{\text{Massa}}{\text{Mr FeTiO}_3} = 0,28027668$ mol
- Batu bara
Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi 42,35 %.
- Batu Kapur
Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur.

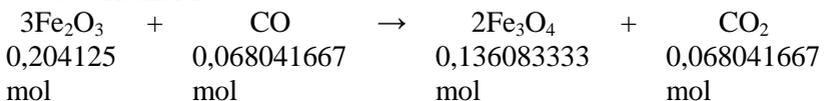
Hasil EDX Batu Kapur

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium	Ca	18.015
2.	Magnesium	Mg	14.30
3.	Karbon	C	12.6215
4.	Oksigen	O	55.0635

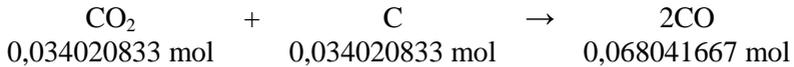
Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
Dalam penelitian ini reduksi besi oksida pada pasir besi bertahap seperti berikut.

I. Reaksi Reduksi Fe_2O_3

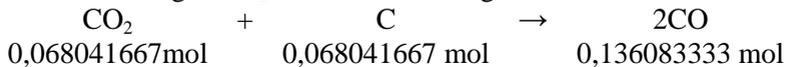
a. Reaksi 1



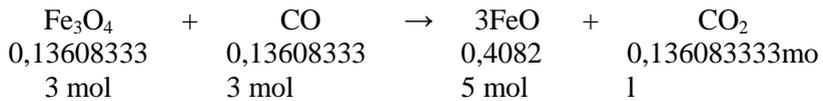
CO₂ hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



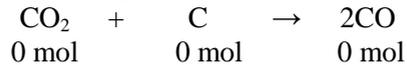
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan C batubara



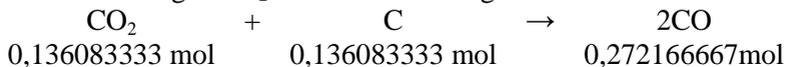
b. Reaksi 2



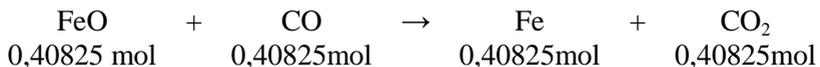
CO₂ hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



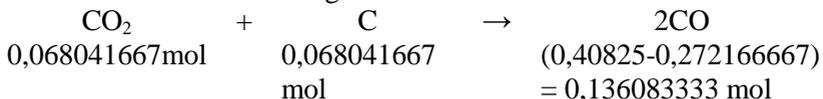
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 2 dengan C batubara



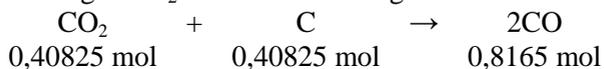
c. Reaksi 3



CO₂ hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara

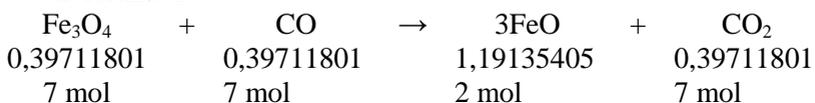


Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 3 dengan C batubara

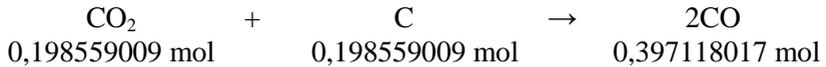


II. Reaksi Reduksi Fe₃O₄

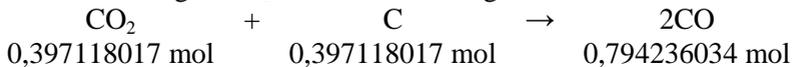
a. Reaksi 1



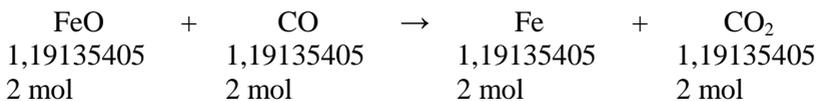
CO₂ hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



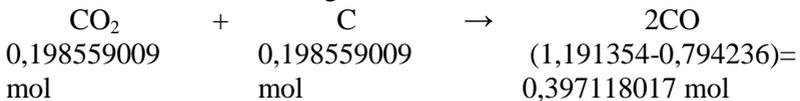
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 2 dengan C batubara



a. Reaksi 2



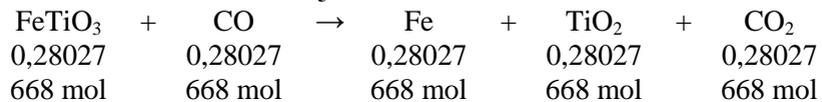
CO₂ hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



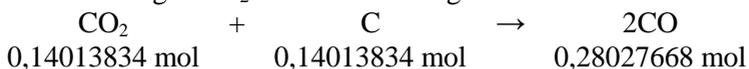
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 2 dengan C batubara



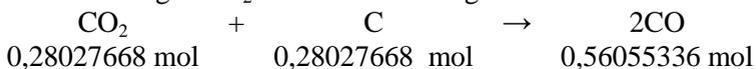
c. Reaksi Reduksi FeTiO₃



Reaksi gas CO₂ hasil reaksi dengan C batubara



Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 2 dengan C batubara



Perhitungan Kebutuhan Batubara

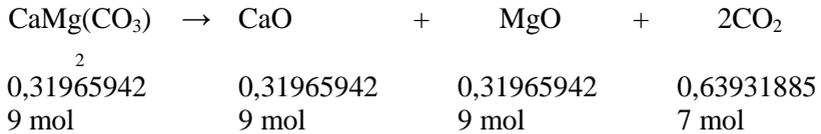
$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0,034020833 + 0,068041667 + 0 + 0,136083333 + \\ & 0,068041667 + 0,40825 + 0,198559009 + \\ & 0,397118017 + 0,198559009 + 1,191354052 + \\ & 0,14013834 + 0,28027668 \\ &= 3,120442606 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 3,120442606 \times 12,0 = \\ &37,44531127 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batubara yang dibutuhkan} &= \frac{1}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{1}{42,35\%} \times 37,44531127 \\ &= 88,41868069 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan Kebutuhan Kapur

$$\begin{aligned} \text{Total CO}_2 \text{ yang dibutuhkan} &= 0,034020833 + 0 + 0,068041667 + \\ &0,198559009 + 0,198559009 + \\ &0,14013834 = 0,639318857 \text{ mol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Massa dolomit} &= \text{mol CaMg(CO}_3\text{)}_2 \times \text{Mr CaMg(CO}_3\text{)}_2 \\ &= 0,319659429 \times 184,397 = 58,91323269 \\ &\text{gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Wt Dolomit} &= \frac{\text{Mr CaMg(CO}_3\text{)}_2}{\left(\frac{1}{18,015\%} \times \text{Ar Ca}\right) + \left(\frac{1}{14,6135\%} \times \text{Ar Mg}\right)} \times 100\% \\ &= \frac{58,91323269}{\left(\frac{1}{18,015\%} \times 40,078\right) + \left(\frac{1}{14,6135\%} \times 24,305\right)} \times 100\% \\ &= 47,01923305 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu kapur yang dibutuhkan} &= \frac{1}{47,02\%} \times \text{massa dolomite} \\ &= \frac{1}{47,02\%} \times 58,9132326 \\ &= 125,2960307 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka Perbandingan massa yang diperoleh adalah :

$$\begin{array}{l} \text{Pasir Besi : Batu Bara : Batu Kapur Dolomit} \\ 200 : 88,42 : 125,3 \\ 1 : 0,442 : 0,626 \end{array}$$

Perhitungan Neraca Massa Peleburan DRI

Berdasarkan pengujian XRD DRI terdapat fasa besi oksida. Sehingga dibutuhkan batubara untuk mereduksi besi oksida serta fluks SiO_2 untuk mengikat unsur pengotor yang terdapat pada DRI.

Hasil Pengujian XRD

Fasa	% wt
Fe	19,2
Fe_2O_3	30,2
Fe_3O_4	43,2
FeTiO_3	7,3

Pada peleburan, DRI yang digunakan sebanyak 40 gram.

Berdasarkan hasil tersebut maka mol yang didapat,

$$\text{Fe} = 7,68 \text{ gram} \quad \frac{\text{Massa Fe}}{\text{Ar Fe}} = 0,137 \text{ mol}$$

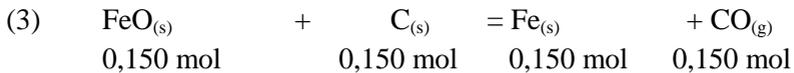
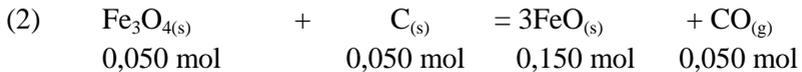
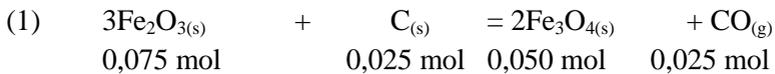
$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 12,08 \text{ gram} \quad \frac{\text{Massa Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3} = 0,075 \text{ mol}$$

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 = 17,28 \text{ gram} \quad \frac{\text{Massa Fe}_3\text{O}_4}{\text{Mr Fe}_3\text{O}_4} = 0,074 \text{ mol}$$

$$\text{FeTiO}_3 = 2,91 \text{ gram} \quad \frac{\text{Massa FeTiO}_3}{\text{Mr FeTiO}_3} = 0,019 \text{ mol}$$

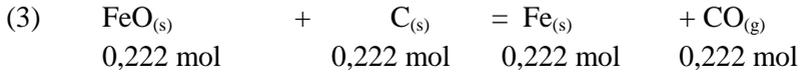
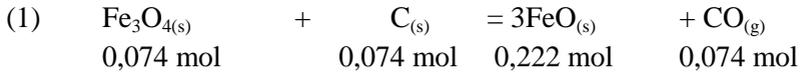
(i) Perhitungan kebutuhan batubara

1. Reaksi pada Fe_2O_3



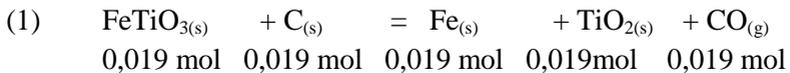
Jumlah unsur C yang dihasilkan = 0,025 mol

2. Reaksi pada Fe₃O₄



Jumlah unsur C yang dihasilkan = 0,074 mol

3. Reaksi pada FeTiO₃



Jumlah unsur C yang dihasilkan = 0,019 mol

Sehingga jumlah total unsur yang dibutuhkan sebanyak 0,118 mol atau 1,416 gram

$$\begin{aligned} \text{Massa batubara yang dibutuhkan} &= \frac{1}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{1}{42,35\%} \times 1,416 \\ &= 3,343 \text{ gram} \end{aligned}$$

Massa batubara ditambahkan safety factor sebesar 25%, sehingga kebutuhan batubara untuk melebur sebanyak 4,179 gram.

(ii) Perhitungan Kebutuhan Fluks

Mol TiO₂ dari reduksi ilmenite = mol fluks SiO₂

Mol TiO₂ = 0,019 mol

Mol SiO₂ = 0,019 mol

Massa fluks SiO₂ sebanyak 1,14 gram

Maka Perbandingan Massa yang diperoleh sebesar

$$\begin{array}{lll} \text{Sponge iron} & : & \text{Batubara} & : & \text{Fluks SiO}_2 \\ 1 & : & 0,104 & : & 0,0285 \end{array}$$

Perhitungan Neraca Panas Peleburan DRI

Berdasarkan pengujian EDX dan XRD diketahui bahwa komposisi senyawa yang terdapat pada DRI sebagai berikut.

Mol DRI yang terbentuk.

Senyawa	Mol
Fe ₃ O ₄	0,124
FeO	0,374
Fe	0,530
TiO ₂	0,019
Al ₂ O ₃	0,008
MgO	0,069
FeTiO ₃	0,019
Fe ₂ O ₃	0,075
SiO ₂	0,044

Entalphy pembentukan senyawa pada 298 K

Senyawa	ΔH_f (kJ/mol)
Fe ₃ O ₄	-1118
FeO	-272
Fe	0
TiO ₂	-944,7
SiO ₂	-910,86
Al ₂ O ₃	-1669,8
MgO	-601,6
CO ₂	-393,509
CO	-110,525
C	0
Fe ₂ O ₃	-824,2
CaO	-635,09

Kalor specific (Cp) dari unsur dan senyawa

Kalor Spesifik (cal/degreemol)				
Senyawa	a	bT	Ct ⁻²	Temperatur (K)
Fe3O4	41,17	0,01882	-979500	1065
FeO	12,26	0,001492	-76200	1173
Fe	4,13	0,00638		1041
Fe	6,12	0,00336		1179
Fe	8,4			1674
TiO2	11,81	0,00754	-41900	713
SiO2	10,87	0,008712	-241200	848
SiO2	10,95	0,0055		1873
Al2O3	22,08	0,008971	-522500	1973
MgO	10,86	0,001197	-208700	2073
CO2	10,34	0,00274	-195500	1200
CO	6,6	0,0012		2500
FeTiO3	177,857	0,540476	2,9E+07	4273
Fe2O3	24,73	0,01604	-423400	1097
C	2,673	0,002617	-116900	1373
CaTiSiO5	358,276	0,000114488	-45276	1683
CaO	10	0,00484	-108000	1173
CaMgSi2O6	54,46	0,005746	-1500000	1573

Berdasarkan data tersebut maka,

(i) Panas pembentukan untuk reaksi :

- (1) $\text{Fe}_3\text{O}_{4(s)} + \text{C}_{(s)} > 3\text{FeO}_{(l)} + \text{CO}_{(g)}$ $\Delta H = 722,07 \text{ kJ}$
- (2) $3\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)} + \text{C}_{(s)} = 2\text{Fe}_3\text{O}_{4(l)} + \text{CO}_{(g)}$ $\Delta H = -393,29 \text{ kJ}$
- (3) $\text{FeO}_{(s)} + \text{C}_{(s)} = \text{Fe}_{(l)} + \text{CO}_{(g)}$ $\Delta H = 144,35 \text{ kJ}$
- (4) $\text{FeTiO}_{3(s)} + \text{C}_{(s)} = \text{Fe}_{(s)} + \text{TiO}_{2(l)} + \text{CO}_{(g)}$ $\Delta H = -1079,46 \text{ kJ}$
- (5) $\text{CaO}_{(s)} + \text{TiO}_{2(s)} + \text{SiO}_{2(s)} = \text{CaTiSiO}_{5(l)}$ $\Delta H = 439,77 \text{ kJ}$
- (6) $\text{CaO}_{(s)} + \text{MgO}_{(s)} + 2\text{SiO}_{2(s)} = \text{CaMgSi}_2\text{O}_{6(l)}$ $\Delta H = 42,00 \text{ kJ}$
- (7) $\text{Al}_2\text{O}_{3(s)} = \text{Al}_2\text{O}_{3(l)}$ $\Delta H = 0,21 \text{ kJ}$

- (8) $\text{Fe}_{(s)} = \text{Fe}_{(l)}$ $\Delta H = 18,34 \text{ kJ}$
 (9) $\text{MgO}_{(s)} = \text{MgO}_{(l)}$ $\Delta H = 5,709 \text{ kJ}$
 (10) $\text{SiO}_{2(s)} = \text{SiO}_{2(l)}$ $\Delta H = 4,16 \text{ kJ}$
 (11) $\text{TiO}_{2(s)} = \text{TiO}_{2(l)}$ $\Delta H = 2,67 \text{ kJ}$
 (12) $\text{CaO}_{(s)} = \text{CaO}_{(l)}$ $\Delta H = 1,11 \text{ kJ}$

(ii) Panas Reaksi

- (13) $\frac{1}{3}\text{Fe}_3\text{O}_4(s) + \text{C}_{(s)} > 3/4\text{Fe}_{(l)} + \text{CO}_{(g)}$ $\Delta H = 993,57 \text{ kJ}$
 (14) $\text{FeO}_{(s)} + \text{C}_{(g)} > \text{Fe}_{(l)} + \text{CO}_{(g)}$ $\Delta H = 151,10 \text{ kJ}$

Sehingga total panas yang dibutuhkan sebesar **1055,25 kJ**.

Panas yang dihasilkan dari *electric arc furnace*

Arus (A)	Voltage (V)	Waktu (Sekon)	Energi (Kj)
140	16,2	360	816,48
160			933,12
180			1049,76
200			1166,4

Waktu (S)	Voltage (V)	Arus (A)	Energi (Kj)
120	16,2	180	349,920
240			699,840
360			1049,76
480			1399,680

Panas yang dihasilkan akan balance ketika menggunakan Arus 180 A dan pada saat waktu 6 menit.

Lampiran B (Hasil Uji XRD)

Hasil Uji XRD Pasir Besi



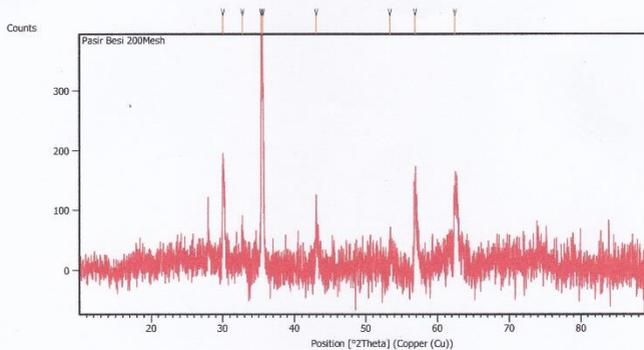
LABORATORIUM PENGOLAHAN MINERAL DAN MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Telp. (031) 5943645, 081232092373, Email : sungging@mat-eng.its.ac.id

Surabaya, 22 September 2016

No : 10/LTPMM/IX/2016
Hal : Laporan Hasil Pengujian XRD
Lampiran : -

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Berdasarkan permohonan pengujian yang diberikan, maka telah dilakukan pengujian X-Ray Diffractometer (XRD) untuk sampel pasir besi Sukabumi. Berikut ini ialah hasil pengujian XRD sampel pasir besi Sukabumi.



Gambar 1. Hasil pengujian X-Ray Diffractometer (XRD) sampel pasir besi Sukabumi

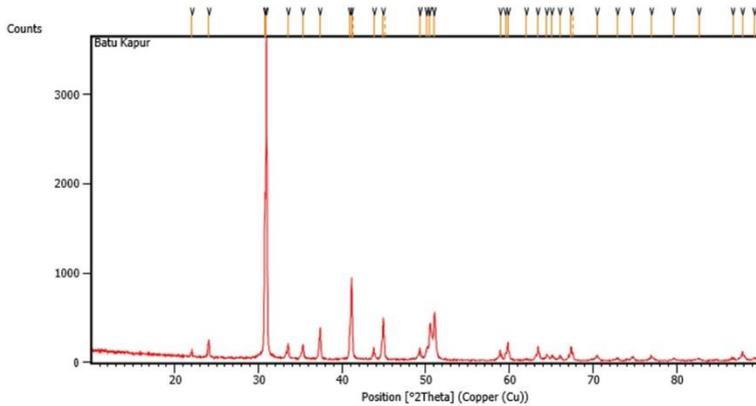
Dari grafik di atas, maka diperoleh senyawa – senyawa yang mungkin ada di dalam pasir besi Sukabumi. Tabel 1 menunjukkan senyawa – senyawa tersebut.

Tabel 1. Hasil analisa kandungan senyawa yang mungkin ada di dalam pasir besi

No	Senyawa	Formula	Wt %
1	Magnetite	Fe_3O_4	46,065
2	Maghemite	$Fe_2O_3 (\beta)$	16,33
3	Ilmenite	$FeTiO_3$	21,273
4	Magnesium oksida	MgO	4,588
5	Aluminium oksida	Al_2O_3	5,026
6	Silikon oksida	SiO_2	6,718

Sf

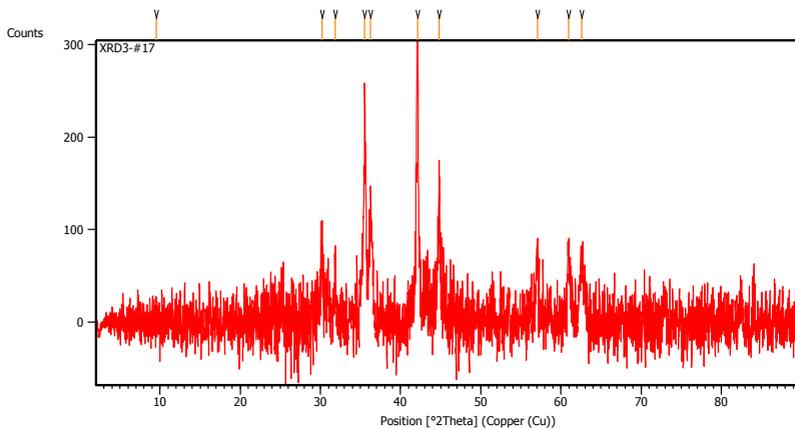
Hasil Uji XRD Batu Kapur



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.0550	73.23	0.0669	4.03040	2.03
24.0961	161.29	0.1004	3.69343	4.47
30.7582	1687.90	0.1004	2.90695	46.75
30.9449	3610.70	0.1004	2.88984	100.00
33.5597	129.23	0.1673	2.67042	3.58
35.3255	156.43	0.1004	2.54088	4.33
37.3633	330.77	0.0669	2.40685	9.16
40.8910	285.95	0.1004	2.20699	7.92
41.1275	917.37	0.1020	2.19303	25.41
41.2581	371.23	0.0612	2.19182	10.28
43.7981	121.38	0.1224	2.06530	3.36
44.9393	460.15	0.1224	2.01547	12.74
45.0573	228.55	0.0612	2.01546	6.33
49.2930	111.62	0.0816	1.84716	3.09
50.1110	131.89	0.2040	1.81891	3.65
50.4740	333.92	0.1632	1.80667	9.25
51.0180	496.42	0.1428	1.78868	13.75

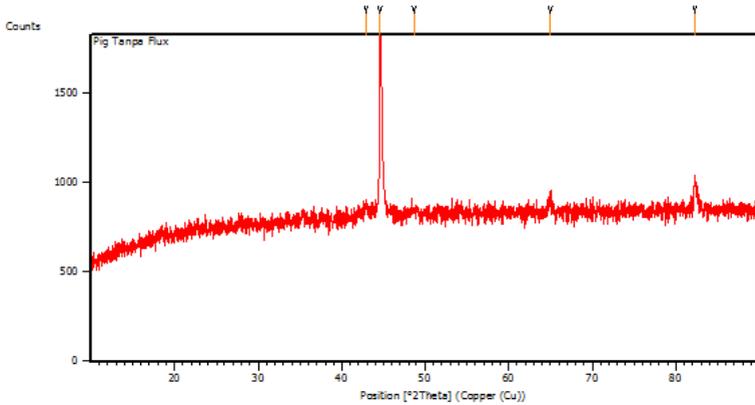
Hasil Uji XRD DRI



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
9.5047	13.16	0.9446	9.30531	4.53
30.1810	84.78	0.2362	2.96122	29.15
31.8666	40.35	0.4723	2.80833	13.87
35.5122	230.59	0.1968	2.52795	79.27
36.2542	110.06	0.3936	2.47789	37.84
42.1060	290.89	0.1968	2.14608	100.00
44.8270	149.76	0.1378	2.02193	51.48
57.0851	85.34	0.2362	1.61348	29.34
60.9542	76.90	0.2362	1.52000	26.44
62.5952	59.44	0.4723	1.48405	20.43

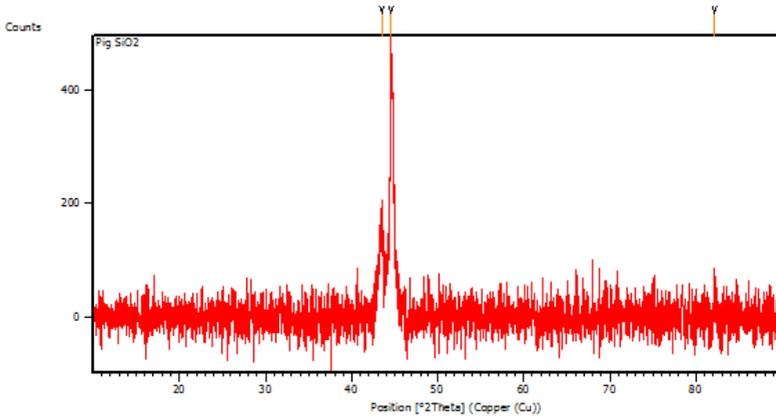
Hasil Uji XRD *Pig Iron Tanpa Flux*



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.8772	56.34	0.4015	2.10924	5.65
44.5996	997.92	0.1171	2.03171	100.00
48.6739	30.91	0.8029	1.87074	3.10
64.9817	93.50	0.2676	1.43520	9.37
82.2736	171.76	0.3346	1.17189	17.21

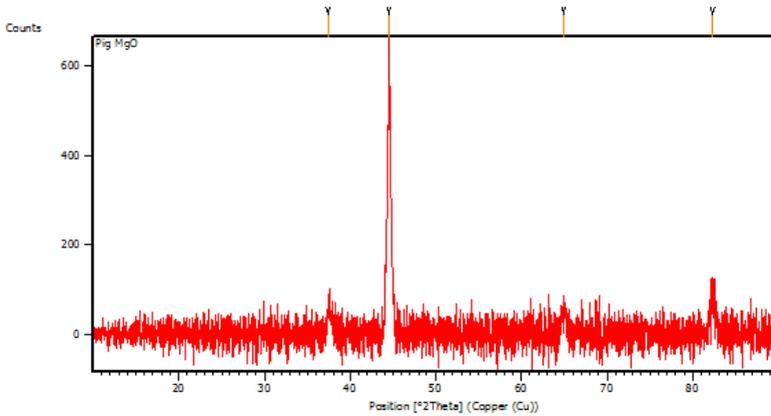
Hasil Uji XRD *Pig Iron Flux* SiO₂



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.4941	159.85	0.4684	2.08075	35.73
44.5841	447.37	0.2007	2.03238	100.00
82.2141	49.24	0.5353	1.17259	11.01

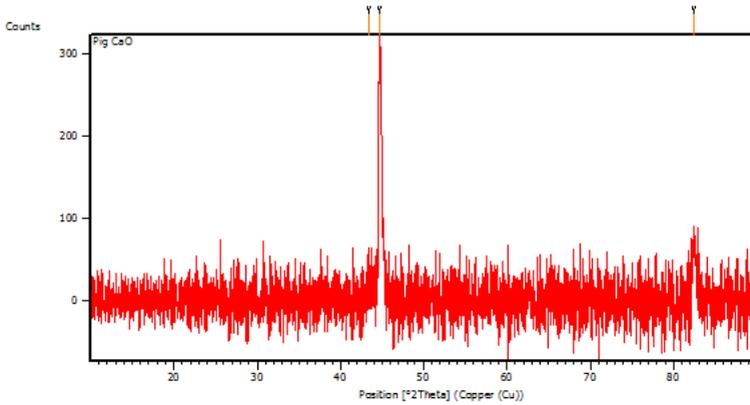
Hasil Uji XRD Pig Iron Flux MgO



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.4260	61.23	0.4015	2.40296	9.66
44.5184	634.13	0.1673	2.03522	100.00
64.9031	49.50	0.4015	1.43674	7.81
82.2857	74.03	0.3346	1.17175	11.67

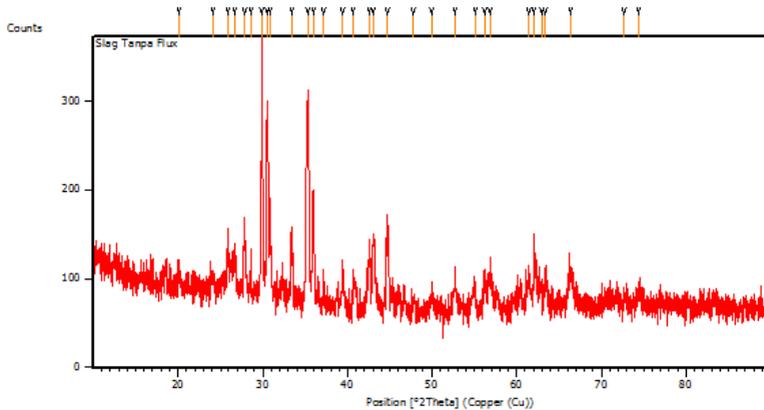
Hasil Uji XRD Pig Iron Flux CaO



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.3397	81.53	0.6691	2.08780	26.17
44.6325	311.56	0.1338	2.03028	100.00
82.4850	58.77	0.4684	1.16942	18.86

Hasil Uji XRD *Slag Tanpa Flux*

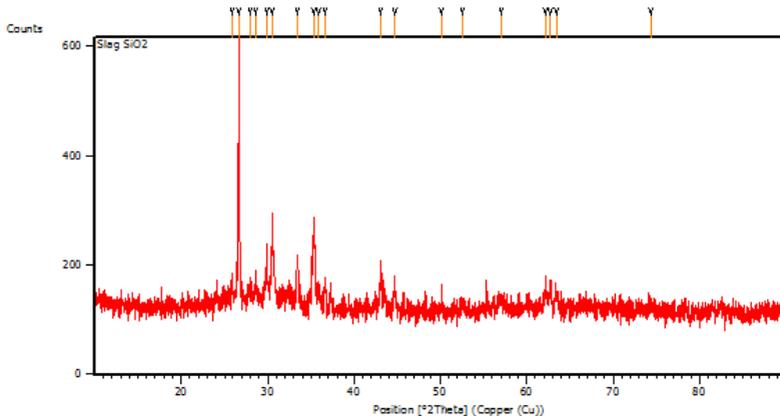


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.1532	13.59	0.4015	4.40624	5.15
24.1410	12.92	0.2676	3.68666	4.89
25.8995	66.02	0.1673	3.44021	24.99
26.7279	39.13	0.2676	3.33543	14.81
27.8432	68.19	0.2007	3.20431	25.81
28.5956	44.01	0.1673	3.12168	16.66
29.8413	264.18	0.0836	2.99415	100.00
30.4892	213.71	0.0502	2.93199	80.89
30.8417	106.77	0.1338	2.89927	40.41
33.4276	75.80	0.2007	2.68067	28.69
35.3295	214.86	0.3346	2.54060	81.33
35.9520	127.03	0.1004	2.49802	48.08
37.1701	32.45	0.1338	2.41892	12.28
39.4370	40.53	0.2007	2.28494	15.34
40.6739	34.29	0.2676	2.21827	12.98
42.6118	59.41	0.2007	2.12176	22.49
43.0260	79.90	0.1673	2.10229	30.24
44.7173	83.20	0.2007	2.02663	31.50

47.8417	9.58	0.4015	1.90132	3.63
50.0193	24.25	0.2007	1.82353	9.18
52.7303	40.65	0.2007	1.73599	15.39
55.1033	28.86	0.4684	1.66672	10.92
56.2152	41.87	0.2007	1.63636	15.85
56.8526	37.96	0.4684	1.61952	14.37
61.4594	36.23	0.3346	1.50872	13.71
62.1034	64.20	0.1004	1.49461	24.30
62.9553	25.22	0.1004	1.47642	9.55
63.3896	27.04	0.3346	1.46735	10.23
66.3550	34.87	0.6691	1.40879	13.20
72.7146	7.72	0.4015	1.30046	2.92
74.4056	19.76	0.5353	1.27504	7.48

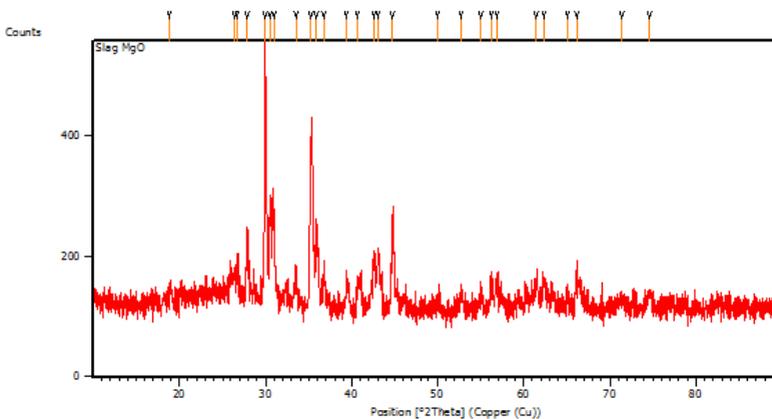
Hasil Uji XRD Slag Flux SiO₂



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.9131	37.90	0.2007	3.43843	7.92
26.6324	478.66	0.0836	3.34717	100.00
27.9766	29.60	0.3346	3.18934	6.18
28.5989	43.01	0.2007	3.12133	8.98
29.8705	95.44	0.1673	2.99129	19.94
30.5297	143.33	0.1338	2.92819	29.94
33.4429	82.31	0.1673	2.67948	17.20
35.3120	140.26	0.1338	2.54182	29.30
35.9378	44.91	0.2007	2.49898	9.38
36.6497	37.59	0.2007	2.45206	7.85
43.0898	83.51	0.1673	2.09933	17.45
44.6802	48.54	0.1338	2.02823	10.14
50.1428	51.14	0.0612	1.81783	10.68
52.5852	13.63	0.4684	1.74044	2.85
57.0691	14.02	0.8029	1.61389	2.93
62.1879	45.02	0.2007	1.49278	9.40
62.7673	41.49	0.2007	1.48039	8.67
63.4407	25.69	0.3346	1.46629	5.37
74.3051	8.51	0.6691	1.27651	1.78

Hasil Uji XRD Slag Flux MgO

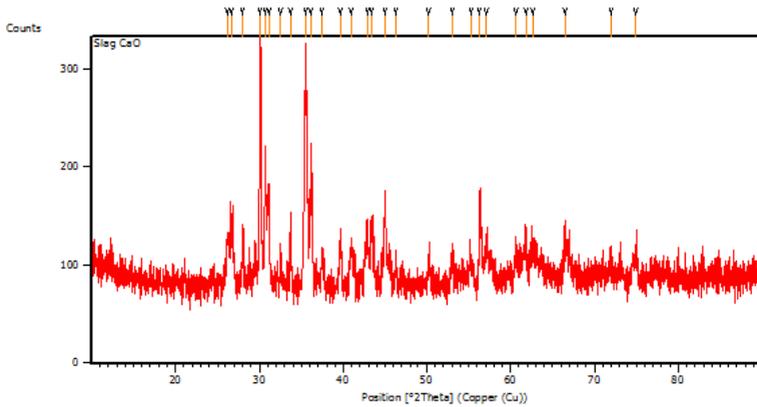


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18.8748	14.82	0.8029	4.70170	3.50
26.4315	33.66	0.5353	3.37216	7.96
26.7461	40.09	0.2007	3.33321	9.47
27.8855	113.64	0.1673	3.19954	26.86
29.9336	423.12	0.1338	2.98513	100.00
30.4931	150.28	0.2007	2.93162	35.52
30.9543	156.00	0.1673	2.88899	36.87
33.5383	48.64	0.2007	2.67207	11.50
35.2413	278.06	0.1004	2.54676	65.72
35.9505	137.51	0.1338	2.49812	32.50
36.7330	56.33	0.2007	2.44669	13.31
39.3856	44.15	0.4015	2.28780	10.43
40.6789	41.13	0.2676	2.21801	9.72
42.6160	81.51	0.2676	2.12156	19.26
43.0737	91.68	0.1004	2.10008	21.67
44.7273	148.97	0.1673	2.02620	35.21
50.0310	14.62	0.8029	1.82314	3.46
52.7646	26.09	0.4015	1.73494	6.17
55.0506	26.04	0.4015	1.66819	6.16
56.2705	38.93	0.3346	1.63489	9.20
56.9625	44.87	0.2676	1.61666	10.60

61.5101	38.58	0.4015	1.50760	9.12
62.3515	36.66	0.2676	1.48926	8.66
65.0550	25.84	0.2676	1.43376	6.11
66.1355	49.72	0.2676	1.41293	11.75
71.4115	11.46	0.8029	1.32095	2.71
74.6397	23.14	0.6691	1.27162	5.47

Hasil Uji XRD *Slag Flux CaO*



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.2046	52.56	0.2007	3.40084	22.54
26.6550	65.74	0.2007	3.34439	28.20
28.0258	50.79	0.2007	3.18384	21.79
30.0911	233.15	0.1004	2.96986	100.00
30.6865	132.94	0.1673	2.91359	57.02
31.0896	88.09	0.2007	2.87672	37.78
32.5588	24.01	0.2007	2.75019	10.30
33.6982	76.05	0.1004	2.65976	32.62
35.5050	229.08	0.3346	2.52844	98.26
36.1485	130.44	0.2007	2.48490	55.95
37.4846	28.04	0.3346	2.39934	12.03
39.6597	48.02	0.2007	2.27262	20.59
40.9391	46.69	0.2342	2.20451	20.02
42.8673	68.94	0.1004	2.10971	29.57

43.3907	62.71	0.3346	2.08547	26.90
44.9962	84.82	0.2007	2.01472	36.38
46.3230	26.97	0.2676	1.96006	11.57
50.2599	22.33	0.2676	1.81537	9.58
53.0769	28.01	0.2007	1.72547	12.02
55.3374	22.28	0.5353	1.66022	9.56
56.2711	85.45	0.1004	1.63487	36.65
57.1778	47.43	0.2007	1.61108	20.34
60.6428	20.25	0.4015	1.52706	8.69
61.7939	42.37	0.2676	1.50135	18.17
62.6546	22.68	0.4015	1.48278	9.73
66.4917	53.27	0.1673	1.40622	22.85
71.9505	17.64	0.4015	1.31238	7.57
74.9472	22.13	0.6691	1.26716	9.49

Referensi PDF Card

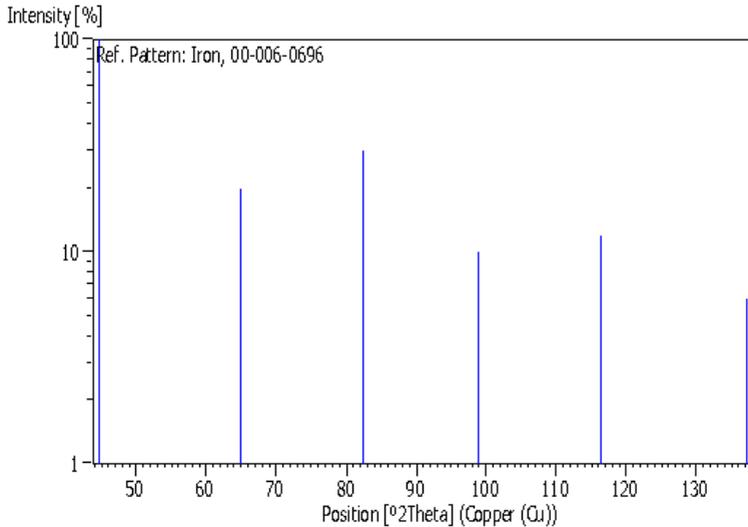
Fe (Iron)

Reference code: 00-006-0696
Mineral name: Iron, syn
Compound name: Iron
Common name: bainite, ferrite, ledkunitite
Empirical formula: Fe
Chemical formula: Fe

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	1	1	0	2.02680	44.674	100.0
2	2	0	0	1.43320	65.023	20.0
3	2	1	1	1.17020	82.335	30.0
4	2	2	0	1.01340	98.949	10.0
5	3	1	0	0.90640	116.390	12.0
6	2	2	2	0.82750	137.144	6.0

Stick Pattern



Fe (Iron)

Reference code: 01-089-4186

Mineral name: Iron, delta, ferrite, δ -Fe

Compound name: Iron

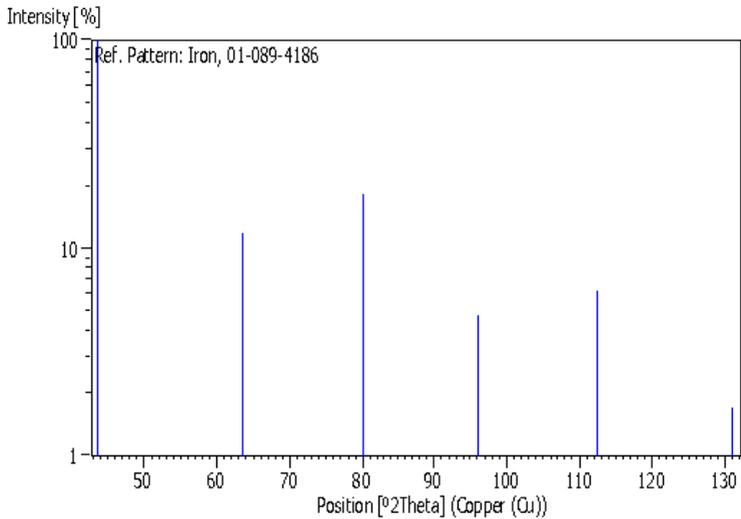
Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.07290	43.629	100.0
2	2	0	0	1.46580	63.406	11.9
3	2	1	1	1.19680	80.127	18.2
4	2	2	0	1.03640	96.017	4.7
5	3	1	0	0.92700	112.395	6.2
6	2	2	2	0.84630	131.065	1.7

Stick Pattern



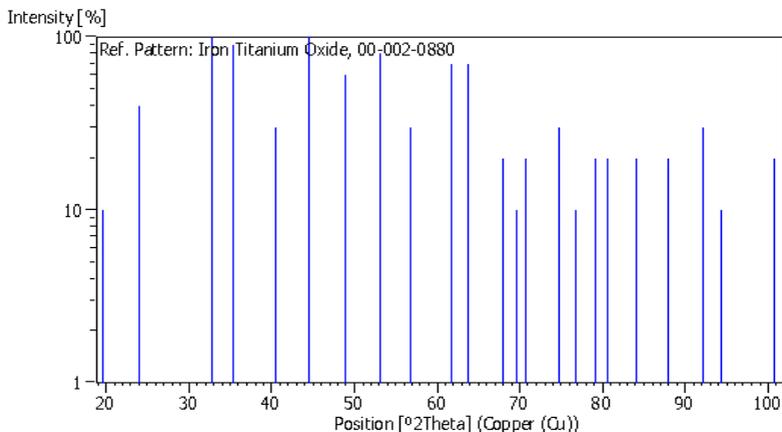
FeTiO₃ (Ilmenite)

Reference code: 00-002-0880
Mineral name: Ilmenite
Compound name: Iron Titanium Oxide
Empirical formula: FeO₃Ti
Chemical formula: Fe +₂TiO₃

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	0	0	3	4.50000	19.713	10.0
2	0	1	2	3.70000	24.033	40.0
3	1	0	4	2.73000	32.778	100.0
4	1	1	0	2.53000	35.452	90.0
5	1	1	3	2.23000	40.416	30.0
6				2.03000	44.600	100.0
7	0	2	4	1.86000	48.930	60.0
8	1	1	6	1.72000	53.212	80.0
9	1	2	2	1.62000	56.783	30.0
10	2	1	4	1.50000	61.799	70.0
11	3	0	0	1.46000	63.687	70.0

Stick Pattern



Magnetite(Fe₃O₄)

Reference code: 01-076-7165

Mineral name: Magnetite

Compound name: Iron Oxide

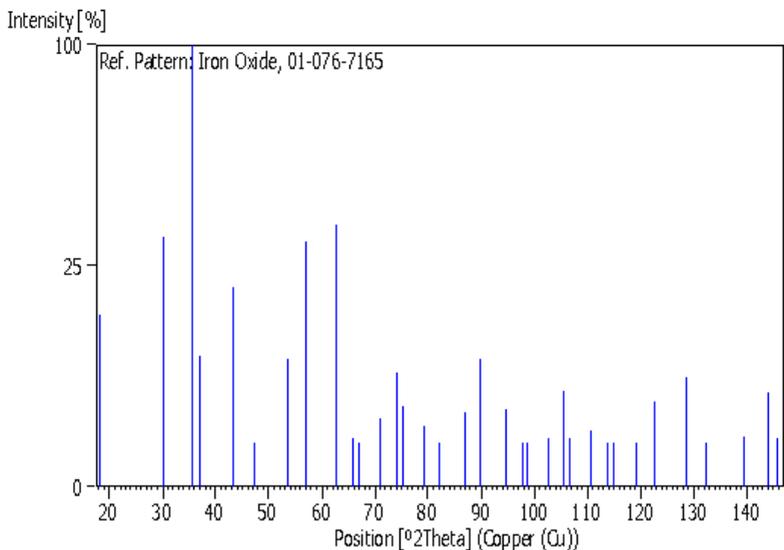
Common name: Iron diiron(III) oxide

Empirical formula: Fe₃O₄

Chemical formula: Fe₃O₄

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.83620	18.330	15.1
2	2	2	0	2.96160	30.152	32.0
3	3	1	1	2.52560	35.516	100.0
4	2	2	2	2.41810	37.151	8.8
5	4	0	0	2.09420	43.163	20.4
6	3	3	1	1.92170	47.262	0.1
7	4	2	2	1.70990	53.551	8.3



Maghemite (Fe₂O₃)

Reference code:

01-076-3169

Mineral name:

Maghemite-Q, syn

Compound name:

Iron Oxide

Common name:

γ-Fe₂O₃, Iron(III) oxide

Empirical formula:

Fe₂O₃

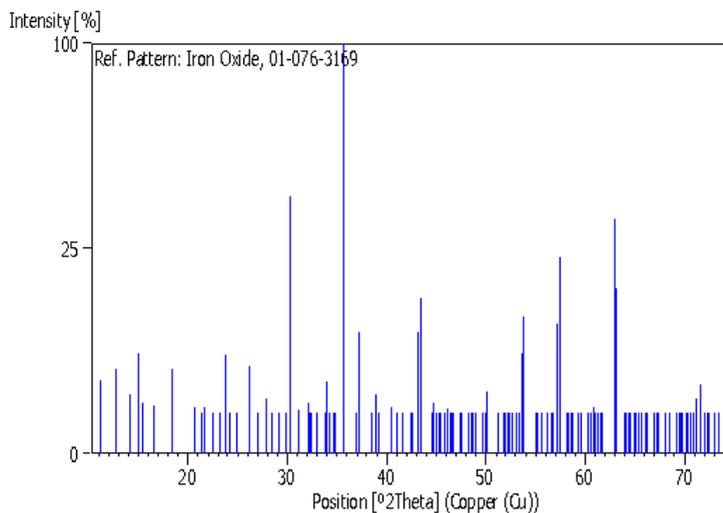
Chemical formula:

Fe₂O₃

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
28	2	2	0	2.95270	30.245	39.2
29	2	0	6	2.95270	30.245	39.2
30	2	2	2	2.86790	31.161	1.1
31	2	2	3	2.78310	32.136	1.5
32	2	1	6	2.78310	32.136	1.5
33	1	1	8	2.77040	32.287	0.3

34	3	0	1	2.76050	32.406	0.2
35	2	0	7	2.71850	32.921	0.4
36	3	0	2	2.71180	33.005	0.5
37	1	0	9	2.64590	33.851	0.8
38	3	0	3	2.63600	33.982	3.1
39	3	1	0	2.63600	33.982	3.1
40	3	1	1	2.62040	34.191	0.5
41	2	1	7	2.58440	34.682	0.6
42	3	1	2	2.57860	34.762	0.6
43	1	1	9	2.52180	35.571	69.4
44	3	1	3	2.51320	35.697	100.0



Fe₂O₃ (Hematit)

Reference code: 00-024-0072

Mineral name: Hematite
Compound name: Iron Oxide

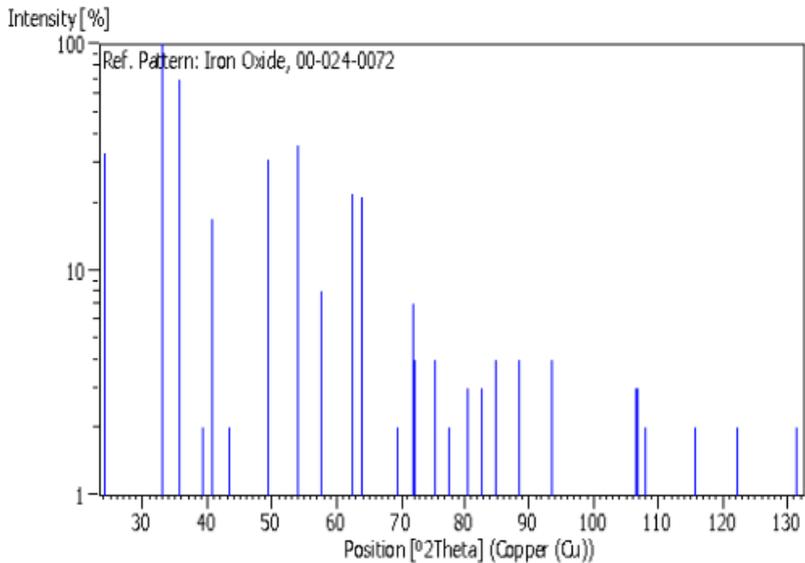
Empirical formula: Fe_2O_3

Chemical formula: Fe_2O_3

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.68600	24.125	33.0
2	1	0	4	2.70300	33.115	100.0
3	1	1	0	2.51900	35.612	70.0
4	0	0	6	2.29500	39.223	2.0
5	1	1	3	2.20800	40.836	17.0
6	2	0	2	2.08000	43.473	2.0
7	0	2	4	1.84280	49.417	31.0
8	1	1	6	1.69660	54.005	36.0
9	1	2	2	1.60130	57.508	8.0
10	0	1	8	1.60130	57.508	8.0
11	2	1	4	1.48730	62.385	22.0
12	3	0	0	1.45430	63.966	21.0

Stick Pattern



SiO₂ (Quartz)

Reference code:

00-001-0649

Mineral name:

Quartz

Compound name:

Silicon Oxide

Empirical formula:

O₂Si

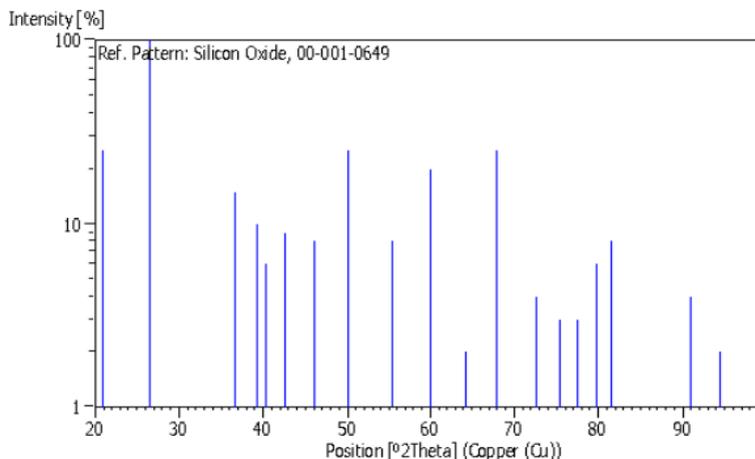
Chemical formula:

SiO₂

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4.25000	20.885	25.0
2	1	0	1	3.35000	26.587	100.0
3	1	1	0	2.45000	36.650	15.0
4	1	0	2	2.29000	39.312	10.0
5	1	1	1	2.23000	40.416	6.0
6	2	0	0	2.12000	42.612	9.0
7	2	0	1	1.97000	46.035	8.0
8	1	1	2	1.82000	50.079	25.0
9	1	0	3	1.66000	55.296	8.0
10	2	1	1	1.54000	60.026	20.0
11	1	1	3	1.45000	64.179	2.0
12	2	1	2	1.38000	67.861	25.0
13	1	0	4	1.30000	72.675	4.0
14	3	0	2	1.26000	75.374	3.0
15	2	2	0	1.23000	77.549	3.0
16	2	1	3	1.20000	79.870	6.0
17	1	1	4	1.18000	81.506	8.0
18	3	1	1	1.16000	83.219	1.0
19	3	1	2	1.08000	90.998	4.0
20	1	0	5	1.05000	94.381	2.0
21	4	0	1	1.04000	95.578	1.0
22	2	2	3	1.02000	98.085	1.0

Stick Pattern



Mg₂SiO₄(Forsterit)

Reference code:	00-034-0189
Mineral name:	Forsterite, syn
Compound name:	Magnesium Silicate
Empirical formula:	Mg ₂ O ₄ Si
Chemical formula:	Mg ₂ SiO ₄

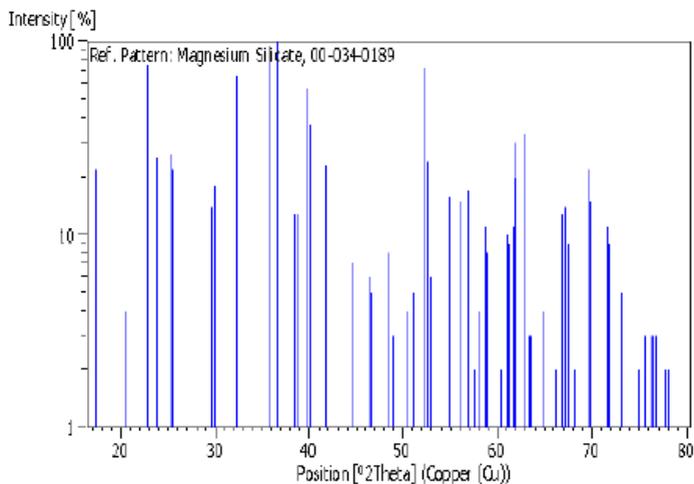
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	5.10210	17.367	22.0
2	0	1	1	4.30750	20.603	4.0
3	1	2	0	3.88120	22.895	76.0
4	1	0	1	3.72220	23.867	25.0
5	1	1	1	3.49600	25.458	26.0
6	0	2	1	3.47680	25.601	22.0
7	1	2	1	3.00650	29.691	14.0
8	2	0	0	2.99060	29.852	18.0
9	0	3	1	2.76530	32.348	66.0
10	1	3	1	2.50970	35.749	83.0
11	2	1	1	2.45670	36.547	100.0
12	1	4	0	2.34560	38.344	13.0
13	0	1	2	2.31500	38.871	13.0
14	2	2	1	2.26730	39.722	57.0
15	0	4	1	2.24700	40.097	37.0
16	1	1	2	2.15890	41.808	23.0
17	2	3	1	2.03030	44.593	7.0
18	0	3	2	1.94790	46.588	6.0
19	2	4	0	1.94070	46.771	5.0
20	0	5	1	1.87440	48.530	8.0
21	2	0	2	1.86080	48.908	3.0
22	3	2	0	1.85690	49.017	2.0

23	3	0	1	1.03060	49.532	1.0
24	2	1	2	1.82990	49.789	1.0
25	3	1	1	1.80900	50.405	4.0
26	1	5	1	1.78860	51.020	5.0
27	2	2	2	1.74830	52.284	73.0
28	0	4	2	1.73860	52.598	24.0
29	3	2	1	1.72940	52.900	6.0
30	1	4	2	1.66980	54.944	16.0
31	1	6	0	1.63470	56.227	15.0
32	3	3	1	1.61730	56.886	17.0
33	0	6	1	1.60080	57.527	2.0
34	2	5	1	1.58840	58.019	4.0
35	3	4	0	1.57080	58.732	11.0
36	0	1	3	1.56660	58.905	8.0
37	1	0	3	1.53230	60.359	2.0
38	1	1	3	1.51440	61.148	10.0
39	3	1	2	1.51110	61.296	9.0
40	2	4	2	1.50320	61.653	11.0
41	1	5	2	1.49900	61.845	20.0
42	4	0	0	1.49540	62.010	30.0
43	2	6	0	1.47800	62.823	33.0
44	1	2	3	1.46740	63.329	3.0
45	3	2	2	1.46380	63.503	3.0
46	0	3	3	1.43650	64.855	4.0
47	2	6	1	1.41110	66.170	2.0
48	1	3	3	1.39680	66.936	13.0
49	0	7	1	1.39300	67.143	14.0
50	3	3	2	1.39300	67.143	14.0
51	2	1	3	1.38740	67.451	9.0
52	2	5	2	1.37480	68.153	2.0
53	3	5	1	1.36570	68.670	1.0
54	2	2	3	1.35050	69.554	22.0
55	0	4	3	1.34640	69.796	15.0
56	4	3	1	1.31550	71.685	11.0
57	1	4	3	1.31310	71.836	9.0
58	3	6	0	1.29370	73.086	5.0
59	4	0	2	1.26610	74.948	2.0
60	2	7	1	1.26270	75.185	1.0
61	4	1	2	1.25610	75.649	3.0
62	0	5	3	1.25150	75.977	1.0
63	3	6	1	1.24780	76.242	3.0
64	4	4	1	1.24480	76.459	3.0
65	3	0	3	1.24110	76.729	3.0

66	3	1	3	1.23170	77.422	1.0
67	2	4	3	1.22760	77.730	2.0
68	3	5	2	1.22280	78.093	2.0
69	1	7	2	1.21600	78.613	1.0
70	1	8	1	1.20600	79.393	1.0

Stick Pattern



MgO (Periclase)

Reference code: 01-071-1176

Mineral name: Periclase

Compound name: Magnesium Oxide

Empirical formula: MgO

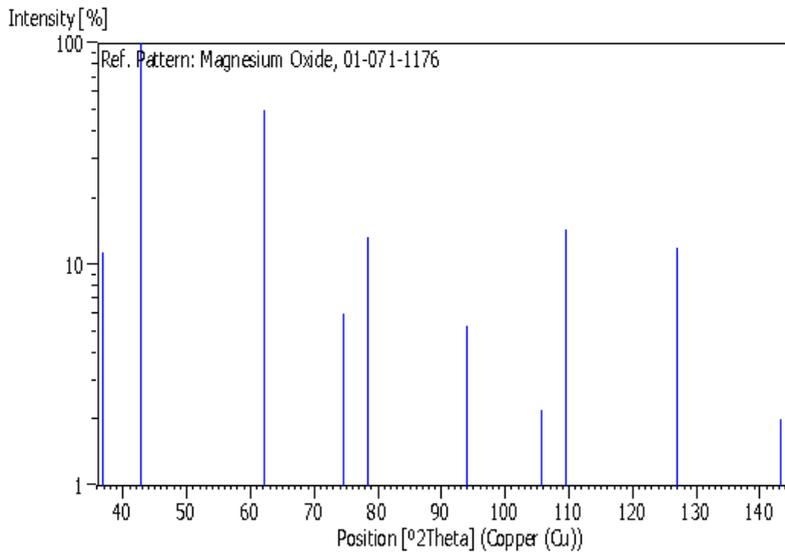
Chemical formula: MgO

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	1	1	1	2.43470	36.889	11.4

2	2	0	0	2.10850	42.856	100.0
3	2	2	0	1.49090	62.218	49.8
4	3	1	1	1.27150	74.576	6.0
5	2	2	2	1.21730	78.513	13.3
6	4	0	0	1.05420	93.890	5.3
7	3	3	1	0.96740	105.548	2.2
8	4	2	0	0.94300	109.544	14.4
9	4	2	2	0.86080	126.982	11.9
10	5	1	1	0.81160	143.286	2.0

Stick Pattern



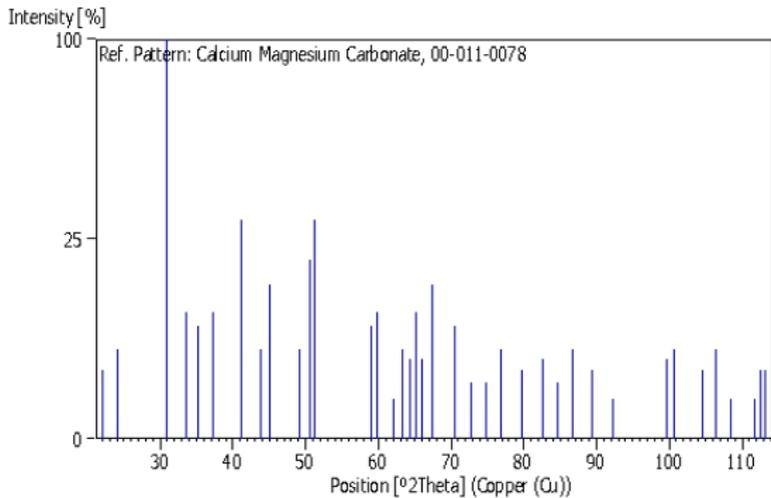
Dolomite (CaMg(CO₃)₂)

Reference code:	00-011-0078
Mineral name:	Dolomite
Compound name:	Calcium Magnesium Carbonate
Empirical formula:	C ₂ CaMgO ₆
Chemical formula:	CaMg (CO ₃) ₂

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	4.03000	22.039	3.0
2	0	1	2	3.69000	24.099	5.0
3	1	0	4	2.88600	30.961	100.0
4	0	0	6	2.67000	33.537	10.0
5	0	1	5	2.54000	35.308	8.0
6	1	1	0	2.40500	37.361	10.0
7	1	1	3	2.19200	41.148	30.0
8	0	2	1	2.06600	43.782	5.0
9	2	0	2	2.01500	44.950	15.0
10	0	2	4	1.84800	49.269	5.0
11	0	1	8	1.80400	50.554	20.0
12	1	1	6	1.78600	51.100	30.0
13	0	0	9	1.78100	51.254	30.0
14	2	1	1	1.56700	58.888	8.0
15	1	2	2	1.54500	59.812	10.0
16	1	0	10	1.49600	61.982	1.0
17	2	1	4	1.46500	63.445	5.0
18	2	0	8	1.44500	64.428	4.0
19	1	1	9	1.43100	65.135	10.0

20	1	2	5	1.41300	66.070	4.0
21	3	0	0	1.38900	67.362	15.0
22	0	0	12	1.33500	70.480	8.0
23	2	1	7	1.29700	72.870	2.0
24	0	2	10	1.26900	74.748	2.0
25	1	2	8	1.23800	76.956	5.0
26	2	2	0	1.20200	79.710	3.0
27	1	1	12	1.16800	82.524	4.0
28	3	1	2	1.14400	84.651	2.0
29	2	1	10	1.12300	86.618	5.0
30	2	2	6	1.09600	89.309	3.0
31	0	0	15	1.06800	92.316	1.0
32	4	0	4	1.00800	99.669	4.0
33	3	1	8	1.00100	100.623	5.0
34	1	0	16	0.97300	104.685	3.0
35	3	0	12	0.96200	106.399	5.0
36	2	3	2	0.94900	108.524	1.0
37	3	2	4	0.93000	111.845	1.0
38	1	2	14	0.92600	112.580	3.0
39	0	4	8	0.92300	113.140	3.0



CaTiSiO₅ (Titanite)

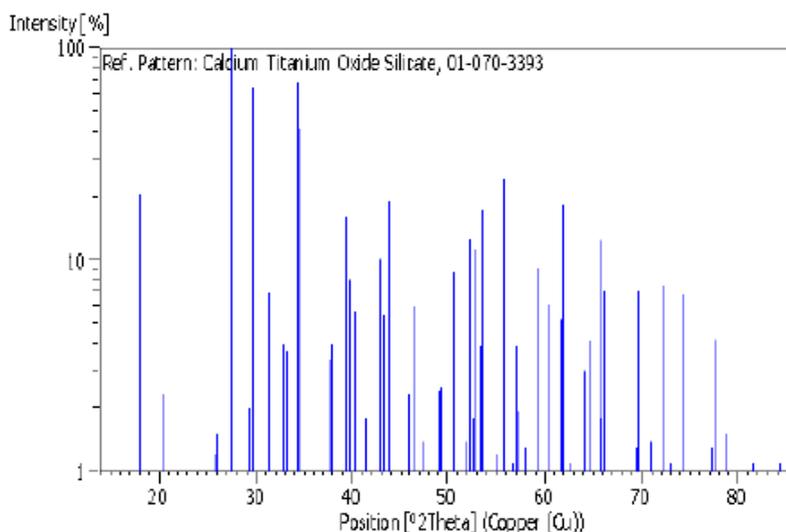
Reference code:	01-070-3393
Compound name:	Calcium Titanium Oxide Silicate
Common name:	titanite HP, syn
Empirical formula:	CaO ₅ SiTi
Chemical formula:	Ca (Ti) (SiO ₄)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	5.99670	14.761	0.7
2	1	1	0	5.18770	17.078	0.5
3	0	1	1	4.93940	17.944	20.4
4	1	1	-1	4.75990	18.626	0.4
5	0	2	0	4.35540	20.374	2.3
6	1	2	0	3.61090	24.635	0.1
7	0	2	1	3.52400	25.252	0.1
8	2	0	-1	3.49080	25.496	0.5
9	1	2	-1	3.45700	25.750	1.2
10	1	1	1	3.41400	26.060	1.5
11	2	1	-1	3.24030	27.505	100.0
12	2	1	0	3.02760	29.479	2.0
13	0	0	2	2.99840	29.773	65.5
14	2	0	-2	2.84180	31.455	6.9
15	0	1	2	2.84180	31.455	6.9
16	2	2	-1	2.72390	32.654	4.0
17	2	1	-2	2.70160	33.133	3.7
18	1	3	0	2.64820	33.821	0.9
19	0	3	1	2.61340	34.285	68.2
20	1	2	-2	2.61340	34.285	68.2
21	2	2	0	2.59380	34.552	41.5
22	0	2	2	2.46970	36.340	0.2
23	2	0	1	2.45900	36.511	0.8
24	2	2	-2	2.38000	37.768	3.4
60	1	5	0	1.60200	54.512	0.2
69	0	5	1	1.67300	54.830	1.0
70	3	2	1	1.66940	54.958	0.5
71	1	5	-1	1.66570	55.090	1.2
72	0	3	3	1.64650	55.768	24.4
73	2	4	1	1.63030	56.392	0.9
74	4	2	-1	1.62040	56.760	1.1
75	4	2	-2	1.62040	56.768	1.1
76	4	0	-3	1.61440	56.998	3.9
77	4	0	0	1.61440	56.990	3.9
78	1	4	2	1.60670	57.296	1.9
79	2	1	-4	1.60670	57.296	1.9
80	1	2	3	1.60240	57.464	0.3
81	3	4	-1	1.59720	57.669	0.3
82	4	1	0	1.58740	58.059	1.3
83	4	1	-3	1.58740	58.059	1.3
84	1	1	-4	1.58360	58.212	0.3
85	1	5	1	1.57700	58.479	0.1
86	2	3	2	1.56350	59.033	0.7
87	2	5	-1	1.55880	59.229	9.3
88	1	5	-2	1.53820	60.103	0.4
89	1	4	-3	1.53020	60.103	0.4
90	2	5	0	1.53440	60.268	1.9
91	3	3	1	1.53440	60.268	1.9
92	3	4	0	1.53050	60.437	6.1
93	2	2	-4	1.53050	60.437	6.1
94	2	4	-3	1.52130	60.841	0.2
95	4	2	0	1.51320	61.302	0.6

95	4	2	0	1.51320	61.202	0.6
96	4	2	-3	1.51320	61.202	0.6
97	1	2	-4	1.51050	61.323	0.3
98	0	5	2	1.50640	61.500	0.3
99	0	0	4	1.49920	61.836	5.2
100	4	3	-1	1.49610	61.978	18.3
101	4	3	-2	1.49610	61.978	18.3
102	2	5	-2	1.48530	62.479	0.9
103	1	3	3	1.48190	62.638	1.1
104	0	1	4	1.47750	62.846	0.2
105	0	4	3	1.47260	63.079	0.1
106	3	2	-4	1.46880	63.261	0.3
107	3	1	2	1.46620	63.387	0.9
108	2	0	3	1.45680	63.844	0.3
109	0	6	0	1.45180	64.090	3.0
110	2	1	3	1.43690	64.835	4.1

Stick Pattern



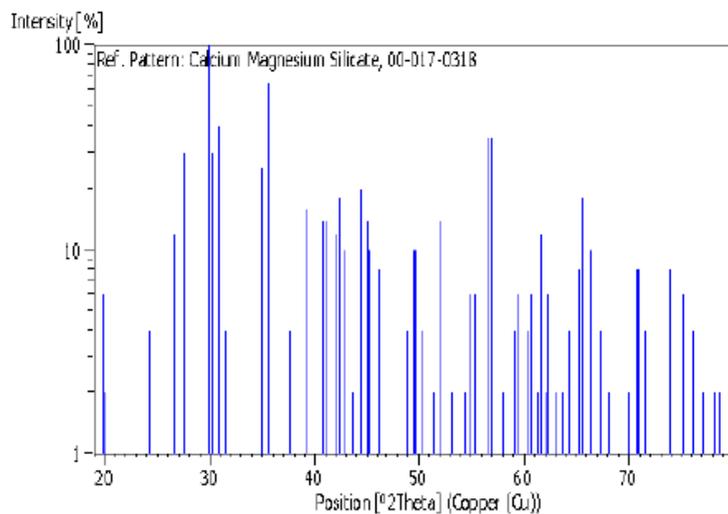
CaMgSi₂O₆ (Diopside)

Reference code:	00-017-0318
Mineral name:	Diopside
Compound name:	Calcium Magnesium Silicate
Empirical formula:	CaMgO ₆ Si ₂
Chemical formula:	CaMg (SiO ₃) ₂

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	4.46200	19.882	6.0
2	-1	1	1	4.40700	20.133	2.0
3	1	1	1	3.66000	24.299	4.0
4	0	2	1	3.34300	26.544	12.0
5	2	2	0	3.23100	27.585	30.0
6	-2	2	1	2.99200	29.838	100.0
7	3	1	0	2.95100	30.262	30.0
8	-3	1	1	2.89400	30.873	40.0
9	1	3	0	2.83800	31.498	4.0
10	-1	3	1	2.56600	34.939	25.0
11	0	0	2	2.52400	35.539	65.0
12	-1	1	2	2.51800	35.627	65.0
13	1	3	1	2.38900	37.621	4.0
14	3	1	1	2.30100	39.117	16.0
15	1	1	2	2.21500	40.701	14.0
16	0	2	2	2.19800	41.030	14.0
17	3	3	0	2.15600	41.867	12.0
18	-3	3	1	2.13300	42.340	18.0
19	-4	2	1	2.10800	42.867	10.0
20	4	2	0	2.07500	43.583	2.0
21	0	4	1	2.04200	44.324	20.0
22	-4	0	2	2.01400	44.974	14.0
23	2	0	2	2.00600	45.163	10.0
24	-1	3	2	1.96800	46.085	8.0
25	3	3	1	1.86000	48.930	4.0
26	5	1	0	1.83500	49.542	10.0
27	2	2	2	1.83100	49.757	10.0
28	1	3	2	1.81300	50.286	4.0
29	4	2	1	1.77400	51.471	2.0
30	1	5	0	1.75400	52.102	14.0
31	-5	1	2	1.72000	53.212	2.0
32	-1	5	1	1.68400	54.442	2.0
33	-2	4	2	1.67300	54.830	6.0
34	-3	1	3	1.65800	55.368	6.0
35	-2	2	3	1.62400	56.631	35.0
36	4	4	0	1.61700	56.898	35.0
37	5	3	0	1.58600	58.115	2.0
38	6	0	0	1.56200	59.096	4.0
39	3	5	0	1.55000	59.599	6.0
40	-6	0	2	1.52900	60.503	4.0
41	4	0	2	1.52300	60.766	6.0
42	-5	3	2	1.50960	61.363	2.0
43	-1	3	3	1.50340	61.644	12.0
44	2	4	2	1.49180	62.176	2.0

45	0	6	0	1.48770	62.367	6.0
46	6	2	0	1.47500	62.965	2.0
47	4	4	1	1.46090	63.643	2.0
48	-6	2	2	1.44690	64.333	4.0
49	0	6	1	1.42670	65.356	8.0
50	5	3	1	1.42250	65.573	18.0
51	-3	5	2	1.40960	66.303	10.0
52	1	5	2	1.40720	66.378	10.0
53	2	2	3	1.38950	67.335	4.0
54	-7	1	1	1.37550	68.114	2.0
55	0	4	3	1.34390	69.945	2.0
56	-7	1	2	1.33050	70.754	8.0
57	6	2	1	1.32690	70.975	6.0
58	-5	3	3	1.31680	71.603	4.0
59	-2	6	2	1.28240	73.836	8.0
60	0	0	4	1.26240	75.206	6.0
61	3	5	2	1.24800	76.228	4.0
62	-1	7	1	1.23620	77.089	2.0
63	5	3	2	1.22220	78.136	2.0
64	-4	2	4	1.21740	78.505	2.0
65	0	2	4	1.21470	78.714	2.0



CaMgSi₂O₆ (Diopside)

Reference code: 01-070-2129

Compound name: Calcium Aluminum Silicate
Common name: Tschermak's pyroxene, syn. calcium aluminium catena-alumosilicate

Empirical formula: Al₂CaO₆Si

Chemical formula: CaAl₂SiO₆

Peak list

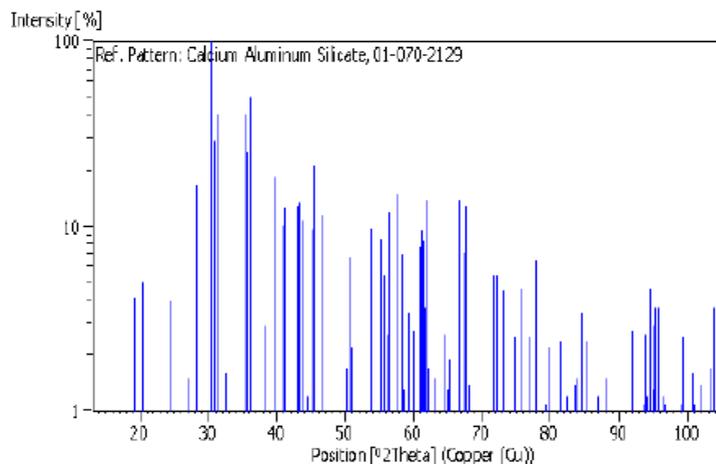
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	6.31360	14.016	0.2
2	2	0	0	4.61700	19.208	4.1
3	-1	1	1	4.37710	20.272	0.5
4	0	2	0	4.32600	20.514	5.0
5	1	1	1	3.63120	24.495	3.9
6	0	2	1	3.29040	27.078	1.5
7	2	2	0	3.15680	28.247	16.8
8	-2	2	1	2.94080	30.370	100.0
9	3	1	0	2.90000	30.808	29.1
10	-3	1	1	2.85860	31.265	40.4
11	1	3	0	2.75290	32.498	1.6
12	0	0	2	2.53410	35.393	40.8
13	-2	0	2	2.53410	35.393	40.8
14	-1	1	2	2.52240	35.563	3.7
15	-1	3	1	2.50730	35.784	25.2
16	2	2	1	2.47750	36.229	49.8
17	1	3	1	2.33950	38.448	2.9
18	4	0	0	2.30850	38.985	0.7
19	3	1	1	2.27440	39.593	18.7
20	1	1	2	2.21160	40.767	10.1
21	-2	2	2	2.18660	41.254	12.7
22	0	2	2	2.18660	41.254	12.7
23	0	4	0	2.16300	41.725	0.7
24	3	3	0	2.10450	42.941	13.0
25	-3	3	1	2.08860	43.285	13.6
26	-4	2	1	2.07290	43.629	10.9
27	4	2	0	2.03660	44.448	1.2
28	-4	0	2	2.00480	45.192	9.7
29	2	0	2	2.00030	45.299	9.4

30	0	4	1	1.98940	45.561	21.6
31	2	4	0	1.95870	46.316	0.4
32	-1	3	2	1.94610	46.634	11.5
33	-2	4	1	1.90370	47.736	0.5
34	-5	1	1	1.86870	48.688	0.3
35	3	3	1	1.82520	49.926	0.9
36	-4	2	2	1.81900	50.108	1.2
37	2	2	2	1.81560	50.209	1.7
38	5	1	0	1.80610	50.491	6.7
39	-3	3	2	1.79220	50.911	2.2
40	1	3	2	1.79220	50.911	2.2
41	2	4	1	1.75890	51.946	0.1
42	4	2	1	1.74790	52.297	0.2
43	-1	1	3	1.71500	53.379	0.1
44	-5	1	2	1.70480	53.724	3.8
45	3	1	2	1.70080	53.860	9.9
46	1	5	0	1.70080	53.860	9.9
47	-3	1	3	1.66000	55.296	8.4
48	-2	4	2	1.64520	55.836	5.4
49	0	4	2	1.64520	55.836	5.4
50	-1	5	1	1.63780	56.111	2.6
51	-2	2	3	1.62270	56.680	12.0
52	-5	3	1	1.59470	57.768	15.0
53	-4	4	1	1.59470	57.768	15.0
54	1	5	1	1.58820	58.037	0.7
55	4	4	0	1.57840	58.422	7.1
56	5	1	1	1.57360	58.617	1.3
57	0	2	3	1.57360	58.617	1.3
58	5	3	0	1.55520	59.380	3.4
59	6	0	0	1.53900	60.069	2.7
60	-6	0	2	1.51440	61.148	7.6
61	4	0	2	1.51110	61.296	9.6
62	3	5	0	1.50840	61.417	8.3
63	-3	5	1	1.50140	61.735	3.6
64	-6	2	1	1.50140	61.735	3.6
65	-1	3	3	1.49590	61.987	13.9
66	-4	2	3	1.49140	62.195	2.7
67	-5	3	2	1.48920	62.297	1.7
68	-4	4	2	1.46860	63.271	1.5
69	2	4	2	1.46860	63.271	1.5
70	-3	3	3	1.45900	63.736	0.1
71	6	2	0	1.45000	64.179	0.4
72	0	6	0	1.44200	64.578	2.6

73	4	4	1	1.43210	65.079	1.3
74	-6	2	2	1.42930	65.222	1.2
75	4	2	2	1.42660	65.361	1.9
76	5	3	1	1.39830	66.655	14.0
77	0	6	1	1.38700	67.473	3.8
78	2	2	3	1.38450	67.611	7.2
79	-3	5	2	1.38100	67.605	12.9
80	1	5	2	1.38100	67.805	12.9
81	2	6	0	1.37640	68.063	1.4
82	-2	4	3	1.36070	68.958	0.9
83	-2	6	1	1.35560	69.255	1.0
84	-7	1	1	1.35560	69.255	1.0
85	0	4	3	1.33140	70.699	1.0
86	-2	0	4	1.31800	71.528	1.0
87	3	1	3	1.31800	71.528	1.0
88	-7	1	2	1.31510	71.710	5.4
89	5	1	2	1.31250	71.874	0.8
90	-5	3	3	1.30690	72.230	5.4
91	6	2	1	1.30690	72.230	5.4
92	-3	1	4	1.29110	73.257	4.5
93	-1	1	4	1.29110	73.257	4.5
94	-6	4	1	1.28680	73.542	0.4
95	-5	5	1	1.28350	73.762	0.3
96	-4	4	3	1.28050	73.964	0.3
97	-6	2	3	1.27700	74.200	0.1
98	0	0	4	1.26700	74.886	2.5
99	5	5	0	1.26270	75.185	0.1
100	-2	2	4	1.26120	75.290	0.1
101	0	6	2	1.25330	75.848	4.6
102	-2	6	2	1.25330	75.848	4.6
103	4	4	2	1.23870	76.904	2.5
104	-7	3	1	1.23870	76.904	2.5
105	-4	6	1	1.23070	77.497	0.6
106	-1	5	3	1.23070	77.497	0.6
107	1	7	0	1.22520	77.911	6.5
108	3	5	2	1.22520	77.911	6.5
109	-4	2	4	1.21730	78.513	0.6
110	3	3	3	1.21040	79.048	0.2
111	-3	5	3	1.21040	79.048	0.2
112	-7	3	2	1.20820	79.220	0.6
113	5	3	2	1.20620	79.378	1.1
114	-7	1	3	1.20370	79.575	0.6
115	-5	1	4	1.20090	79.798	2.2

116	-1	7	1	1.20090	79.798	2.2
117	-1	3	4	1.18950	80.719	0.7
118	-3	3	4	1.18950	80.719	0.7
119	7	1	1	1.18700	80.925	0.4
120	-8	0	2	1.18090	81.430	2.4
121	1	7	1	1.18090	81.430	2.4
122	5	5	1	1.17430	81.986	0.4
123	1	5	3	1.16920	82.421	1.2
124	2	6	2	1.16920	82.421	1.2
125	-8	2	1	1.15600	83.572	1.4
126	8	0	0	1.15420	83.732	1.5
127	4	6	1	1.15100	84.018	0.2
128	-6	0	4	1.14600	84.469	3.4
129	3	7	0	1.14600	84.469	3.4
130	-8	2	2	1.13920	85.091	0.8
131	6	2	2	1.13700	85.295	2.4
132	-6	4	3	1.13700	85.295	2.4
133	-2	4	4	1.12580	86.349	0.2
134	-1	7	2	1.11920	86.985	0.7
135	-5	5	3	1.11810	87.092	1.2
136	-5	3	4	1.11810	87.092	1.2
137	8	2	0	1.11520	87.376	0.2
138	-2	6	3	1.11300	87.592	0.1
139	7	3	1	1.10580	88.310	1.5
140	2	2	4	1.10580	88.310	1.5
141	0	6	3	1.09680	89.226	0.6
142	-4	4	4	1.09480	89.433	0.6
143	5	1	3	1.09480	89.433	0.6

Stick Pattern



Lampiran C (Hasil Uji EDX)

Hasil Uji EDX Pasir Besi



LABORATORIUM PENGOLAHAN MINERAL DAN MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Telp. (031) 5943645, 081232092373, Email : sungging@mat-eng.its.ac.id

Surabaya, 22 September 2016

No : 09/LTPMM/IX/2016
Hal : Laporan Hasil Pengujian SEM-EDX
Lampiran : -

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Berdasarkan permohonan pengujian yang diberikan, maka telah dilakukan pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) - Electron Dispersive X-Ray (EDX) untuk sampel pasir besi Sukabumi. Berikut ini ialah hasil pengujian dan analisa uji SEM dan EDX tersebut.



Gambar 1. Hasil pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) sampel pasir besi Sukabumi

Tabel 1. Hasil Pengujian EDX Pasir Besi Sukabumi

No	Element	Wt%	At%
1	O	24.44	49.59
2	Mg	2.72	3.64
3	Al	2.66	3.20
4	Si	3.14	3.63
5	Ca	0.65	0.53
6	Ti	8.46	5.73
7	Fe	56.93	33.68

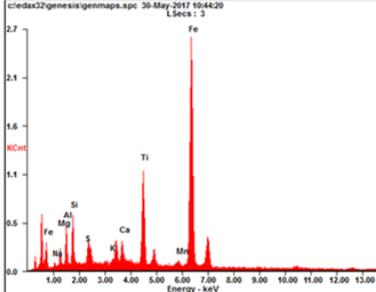
Hasil Uji EDX DRI

Microanalysis Report

Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

11/21/2017



Element	Wt %	At %
CaK	01.06	02.31
TiL	00.32	00.92
AlK	01.21	02.24
SiK	03.11	05.80
FeK	75.33	72.73
MgK	04.24	05.42
CaK	01.06	01.49

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE: DEFAULT

RV:12.51 TILT:0.00 TAKE-OFF:32.72 AMPT:6.4 DETECTOR TYPE
:SDD APOLLOX RESOLUTION:127.89

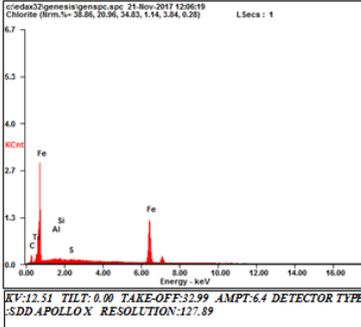
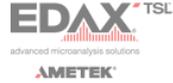
Hasil Uji EDX Pig Iron Tanpa Flux

Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here

11/21/2017



Element	Wt %	At %
CK	02.32	09.80
TiL	04.80	05.08
AlK	00.23	00.44
SiK	00.48	00.87
SK	00.18	00.29
FeK	91.98	83.52

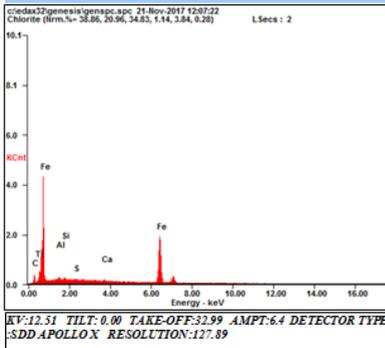
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT

Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here

11/21/2017



Element	Wt %	At %
CK	02.31	09.73
TiL	04.99	05.26
AlK	00.38	00.71
SiK	00.49	00.88
SK	00.21	00.33
CaK	00.56	00.70
FeK	91.07	82.39

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT

Hasil Uji EDX Pig Iron Flux SiO₂

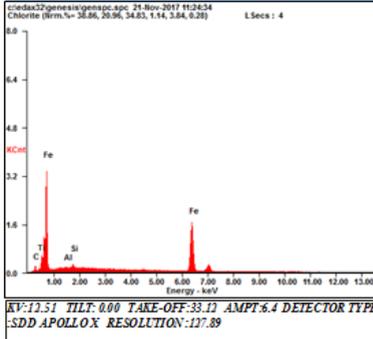
Microanalysis Report



Prepared for: Company Name Here

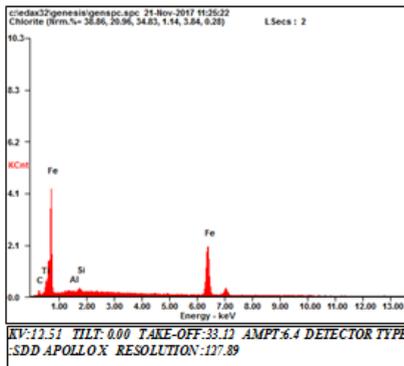
Prepared by: Your Name Here

11/21/2017



Element	Wt %	At %
CK	01.29	05.61
TiL	06.18	06.76
AlK	00.16	00.31
SiK	00.69	01.29
FeK	91.69	86.03

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
CK	01.40	06.07
TiL	06.01	06.53
AlK	00.21	00.41
SiK	00.90	01.68
FeK	91.48	85.32

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

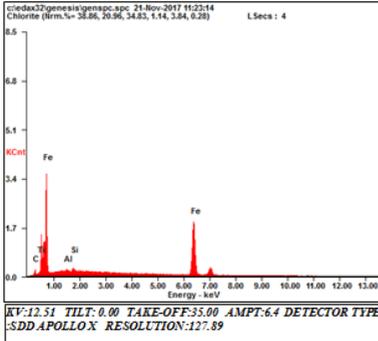
Hasil Uji EDX Pig Iron Flux MgO

Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

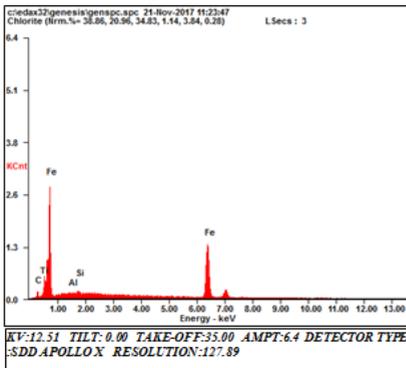
Prepared by: Your Name Here

11/21/2017



Element	Wt %	At %
CK	01.29	05.61
TiL	09.33	10.15
AlK	00.37	00.71
SiK	00.57	01.07
FeK	88.43	82.47

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
CK	01.56	06.73
TiL	07.04	07.64
AlK	00.05	00.10
SiK	00.52	00.96
FeK	90.84	84.57

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

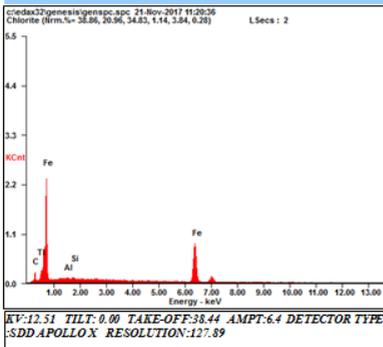
Hasil Uji EDX Pig Iron Flux CaO

Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here

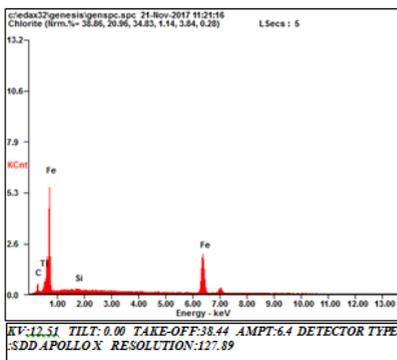
11/21/2017



+

Element	Wt %	At %
C K	02.56	10.70
Ti L	06.43	06.75
Al K	00.29	00.55
Si K	00.34	00.61
Fe K	90.38	81.39

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	02.41	10.15
Ti L	06.73	07.11
Si K	00.38	00.69
Fe K	90.48	82.05

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

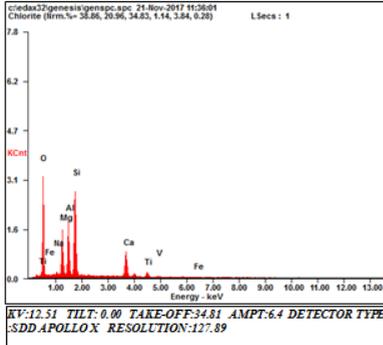
Hasil Uji EDX Slag Tanpa Flux

Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

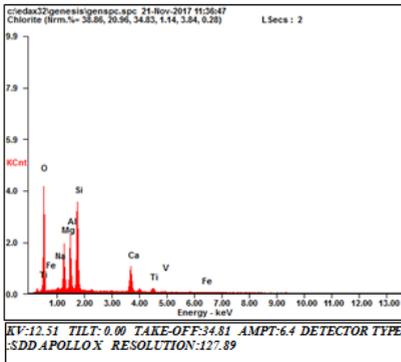
Prepared by: Your Name Here

11/21/2017



Element	Wt %	At %
O K	36.56	52.37
Na K	00.52	00.51
Mg K	09.05	08.53
Al K	11.39	09.67
Si K	21.77	17.76
Ca K	14.45	08.26
Ti K	04.68	02.24
V K	00.33	00.15
Fe K	01.26	00.52

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	37.12	52.86
Na K	00.41	00.40
Mg K	09.02	08.45
Al K	11.48	09.69
Si K	21.95	17.80
Ca K	14.43	08.20
Ti K	04.38	02.08
V K	00.28	00.13
Fe K	00.93	00.38

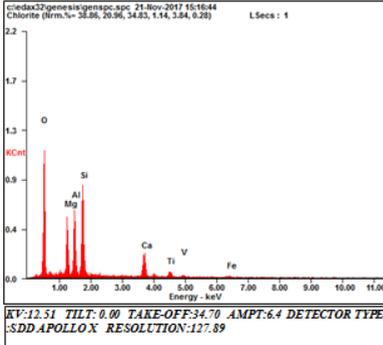
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

Hasil Uji EDX Slag Flux SiO₂

Microanalysis Report

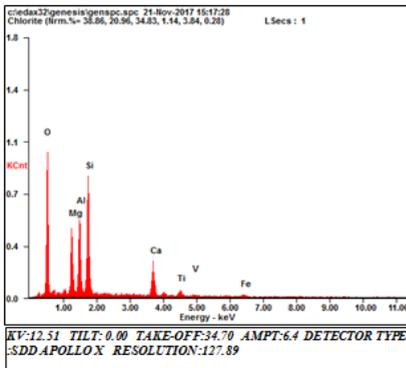
Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here 11/21/2017



Element	Wt %	At %
O K	39.44	55.83
MgK	09.37	08.73
AlK	11.32	09.50
SiK	18.91	15.25
CaK	11.29	06.38
TiK	05.22	02.47
V K	00.87	00.39
FeK	03.57	01.45

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	36.25	52.78
MgK	09.34	08.95
AlK	11.19	09.66
SiK	19.81	16.43
CaK	12.42	07.22
TiK	04.72	02.30
V K	01.22	00.56
FeK	05.04	02.10

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

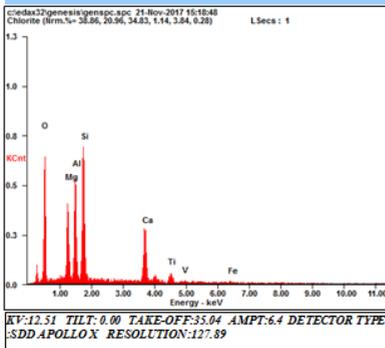
Hasil Uji EDX Slag MgO

Microanalysis Report

Prepared for: *Company Name Here*

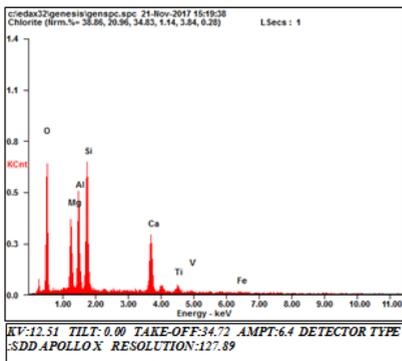
Prepared by: *Your Name Here*

11/21/2017



Element	Wt %	At %
<i>O K</i>	31.22	47.26
<i>Mg K</i>	09.35	09.31
<i>Al K</i>	12.09	10.85
<i>Si K</i>	19.69	16.98
<i>Ca K</i>	18.84	11.38
<i>Ti K</i>	05.20	02.63
<i>V K</i>	00.78	00.37
<i>Fe K</i>	02.85	01.23

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
<i>O K</i>	32.58	48.93
<i>Mg K</i>	09.03	08.93
<i>Al K</i>	11.65	10.38
<i>Si K</i>	18.63	15.94
<i>Ca K</i>	19.88	11.92
<i>Ti K</i>	04.71	02.36
<i>V K</i>	00.79	00.37
<i>Fe K</i>	02.71	01.17

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

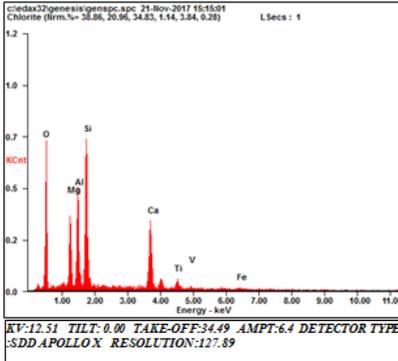
Hasil Uji EDX Slag 200 A

Microanalysis Report

Prepared for: *Company Name Here*

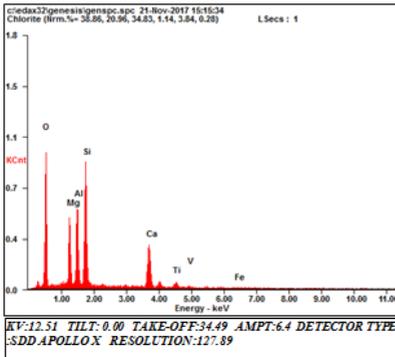
Prepared by: *Your Name Here*

11/21/2017



Element	Wt %	At %
O K	30.81	47.27
MgK	08.35	08.43
AlK	10.45	09.50
SiK	19.90	17.39
CaK	20.65	12.65
TiK	05.29	02.71
V K	00.89	00.43
FeK	03.67	01.61

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	35.78	52.06
MgK	08.90	08.52
AlK	11.27	09.72
SiK	19.52	16.18
CaK	18.12	10.52
TiK	04.17	02.03
V K	00.65	00.30
FeK	01.61	00.67

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

Hasil Uji EDX Batu Kapur

Date: October 2014

PT. ASIA RESOURCES SEJAHTERA
Testing Office
Sum 610, 6/9, Plaza BRJ
Jl. Basuki Rahmat No. 122 Surabaya 60271

REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : MATERIAL & METALLURGICAL ITS

THE FOLLOWING SAMPLE (S) WAS/WERE SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS:

TYPE OF SAMPLE : BATU KAPUR
DATE OF RECEIVED : October 16, 2014
DATE OF ANALYSIS : October 17, 2014
DESCRIPTION SAMPLE : FORM : powder
Weight / Volume : < 1 kg
Packing : sealed plastic bag

SAMPLE IDENTIFICATION (STATED BY CLIENT) : Codes : limestone #1

We have tested the sample (s) submitted and the following results were obtained:

No.	Parameter	Unit	Test Result	Test Method
1.	Calcium (Ca)	% wt	16,982	X - Ray Fluorescence
2.	Magnesium (Mg)	% wt	13,742	X - Ray Fluorescence
3.	Silicon (Si)	% wt	0,546	X - Ray Fluorescence
4.	Iron (Fe)	% wt	0,072	X - Ray Fluorescence
5.	Sulfur (S)	% wt	0,041	X - Ray Fluorescence
6.	Aluminium (Al)	% wt	0,004	X - Ray Fluorescence
7.	Zinc (Zn)	% wt	0,0007	X - Ray Fluorescence

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.asiaresources.com

Muzakki Firdausy
16/10/2014
Asisten Manufaktur

Lampiran D (Hasil Uji *Proximate Analysis* Batubara)

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : M. Rifqi Mahendra
Alamat Pemilik : T.Material & Metalurgi ITS
Nama Contoh : **Batubara** Tanggal Terima : 15 Ags 2016
Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 22 Ags 2016
Contoh : Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 13 Sep 2016
Kemasan : Plastik Jumlah Contoh : 1
Kode Contoh : **EI-0513**

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi – LPPM ITS.

Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Batubara	Total Moisture	4,17	% Ar	ASTM D 3302-15
		Moisture in Sample	3,30	% Adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	10,30		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	42,08		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	44,32		ASTM D 3172-13
		Kalori	6706	Cal/gr	Bomb kalorimeter
		HGI	28		ASTM D 409-11

Suhu : 20,3 °C

Humidity : 48 %

Analisis : MBB

Catatan:

- Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Energi.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
- Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Mengetahui,
Manajer Teknis



Vita Yuliana, S.Si
NIPH. 914014001

Lampiran G (Dokumentasi Penelitian)



Briket pasir besi



Muffle furnace ketika proses reduksi




Briket di dalam krusibel setelah akhir proses reduksi



Persiapan proses peleburan *sponge iron*



Proses sebelum peleburan *sponge iron*



Proses peleburan *sponge iron*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Treshna Satria Purnamawan, lahir di Jakarta pada tanggal 29 Agustus 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Jatimurni VI. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 20 Bulak Rantai Jakarta Timur. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan jenjang atas di SMAN 48 Jakarta Timur. Lalu, penulis melanjutkan pendidikan universitas di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Selama menempuh aktivitas perkuliahan, penulis juga tercatat Aktif di acara tingkat organisasi himpunan dan eksternal. Penulis juga tercatat sebagai staff departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS periode 2015/2016. Penulis juga mengemban amanah sebagai Wakil Ketua Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS periode 2016/2017. Penulis juga mengemban amanah sebagai *Streering Comeete* (SC) HMMT FTI-ITS periode 2016/2017. Selain itu juga mengemban amanah sebagai asisten Lab Pengolahan Material dan Metalurgi periode 2016/2017

Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. Indonesia Asahan Aluminium Persero (INALUM) dari bulan Juli sampai Agustus dengan Topik yang diambil “ Modifikasi *Teeth Blade* dengan *Redesign* Dimensi dan Penambahan Unsur Paduan (Ni, Cr Wt%) Serta Perlakuan *Heat Treatment* untuk Meminimalisir Terjadinya *Crack*”.

(halaman ini sengaja dikosongkan)