



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI BASA BERBAHAN  
DASAR MAGNESIA (MgO) DENGAN VARIASI *SINTERING*  
1200°C, 1300°C, DAN 1400°C GUNA *LINING* TUNGKU INDUKSI  
PENGECORAN BAJA PT SUYUTI SIDO MAJU CEPER KLATEN**

**TUGAS AKHIR**

**YUS DWI NOFIANTO  
L2E 006 094**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI BASA BERBAHAN  
DASAR MAGNESIA (MgO) DENGAN VARIASI *SINTERING*  
1200°C, 1300°C, DAN 1400°C GUNA *LINING* TUNGKU INDUKSI  
PENGECORAN BAJA PT SUYUTI SIDO MAJU CEPER KLATEN**

**TUGAS AKHIR**

**YUS DWI NOFIANTO  
L2E 006 094**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
DESEMBER 2010**

## TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Yus Dwi Nofianto  
NIM : L2E 006 094
- Dosen Pembimbing : 1. Dr. Sri Nugroho, ST, MT.  
2. Yusuf Umardhani, ST, MT.
- Jangka Waktu : 9 (sembilan) bulan.
- Judul : KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI BASA BERBAHAN DASAR MAGNESIA (MgO) DENGAN VARIASI *SINTERING* 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, DAN 1400<sup>0</sup>C GUNA *LINING* TUNGKU INDUKSI PENGECORAN BAJA PT SUYUTI SIDO MAJU CEPER KLATEN.
- Isi Tugas : Mengetahui dan menganalisa komposisi kimia senyawa penyusun refraktori basa yang digunakan untuk *lining* tungku induksi pengecoran baja serta pengaruh temperatur *sintering* terhadap densitas dan porositas dari material refraktori magnesia melalui pengujian komposisi kimia, pengujian densitas dan porositas serta pengujian mikrofafi.

Semarang, 20 Desember 2010

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Dr. Sri Nugroho, ST, MT  
NIP. 197501181999031001

Co. Pembimbing

Yusuf Umardhani, ST, MT  
NIP. 197008061998021001

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

**NAMA : Yus Dwi Nofianto**

**NIM : L2E 006 094**

**Tanda Tangan :**

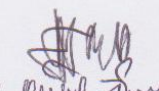
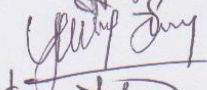
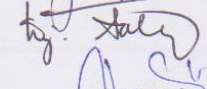
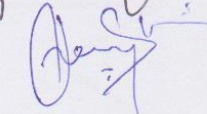
**Tanggal : 23 Desember 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : Yus Dwi Nofianto  
NIM : L2E 006 094  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Karakterisasi Material Refraktori Basa Berbahan Dasar Magnesia (MgO) dengan Variasi *Sintering* 1200<sup>o</sup>C, 1300<sup>o</sup>C, dan 1400<sup>o</sup>C guna *Lining* Tungku Induksi Pengecoran Baja PT Suyuti Sido Maju Ceper Klaten

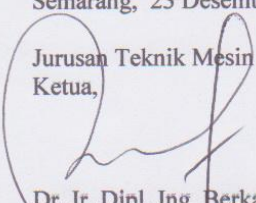
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Sri Nugroho, ST, MT (  )  
Pembimbing : Yusuf Umardhani, ST, MT (  )  
Penguji : Ir. Djoeli Satrijo, MT (  )  
Penguji : Dr. MSK Tony Suryo U, ST, MT (  )

Semarang, 23 Desember 2010

Jurusan Teknik Mesin  
Ketua,

  
Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK  
NIP. 1959072219870310003

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

---

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : YUS DWI NOFIANTO  
NIM : L2E 006 094  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : SKRIPSI

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Karakterisasi Material Refraktori Basa Berbahan Dasar Magnesia (MgO) dengan Variasi *Sintering* 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, dan 1400<sup>0</sup>C guna *Lining* Tungku Induksi Pengecoran Baja PT Suyuti Sido Maju Ceper Klaten.

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal : 23 Desember 2010

Yang menyatakan

( YUS DWI NOFIANTO )  
NIM: L2E006094

## ABSTRAK

Refraktori merupakan salah satu jenis keramik yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisinya baik secara fisik maupun kimia dan sangat stabil pada kondisi temperatur yang relatif tinggi. Refraktori digunakan sebagai isolasi yang melapisi *lining* tanur pada peleburan logam. Akan tetapi, kebanyakan industri pengecoran logam khususnya di Indonesia dalam membeli material refraktori didasarkan pada buku panduan atau *manual book* yang diajukan oleh produsen pembuat refraktori tanpa mengetahui sifat dan karakteristik dari material refraktori. Hal ini disebabkan oleh masih kurangnya pengetahuan tentang material refraktori. Penelitian karakterisasi material refraktori ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dan ukuran butir dengan cara pengayakan/*meshing*, mengetahui komposisi kimia dari senyawa penyusun refraktori dengan X-RD (*X-Ray Diffraction*), dan mengetahui densitas dan porositas dari bahan penyusun refraktori yang merupakan sifat fisis dari refraktori.

Material refraktori yang diteliti merupakan gabungan material yang terdiri dari agregat besar dan kecil yang digunakan untuk tungku induksi peleburan baja PT Suyuti Sido Maju Cepher Klaten. Material tersebut dicetak dengan tekanan sebesar 240 MPa dengan dimensi cetakan yaitu diameter 17,8 mm dan tinggi 50 mm. Proses pembuatan spesimen melalui proses *sintering* dengan variasi temperatur 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, dan 1400<sup>0</sup>C dengan waktu penahanan 2 jam pada temperatur maksimum. Sedangkan laju kenaikan temperatur/*heating rate* yaitu 10<sup>0</sup>C/menit dan laju pendinginan/*cooling rate* sebesar 20<sup>0</sup>C/menit.

Hasil yang didapat dari karakterisasi ini yaitu untuk material refraktori yang agregat besar memiliki ukuran lebih besar dari 0,150 mm sedangkan agregat kecil berukuran lebih kecil dari 0,150mm. Komposisi kimia utama penyusun material refraktori adalah magnesia (MgO) dengan fraksi berat ~95%. Nilai densitas untuk refraktori magnesia pada temperatur 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, dan 1400<sup>0</sup>C yaitu 3,04 g/cm<sup>3</sup>, 3,08 g/cm<sup>3</sup> dan 3,11 g/cm<sup>3</sup>. Dan secara teoritis, nilai densitas untuk magnesia yaitu 3,58 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan nilai porositas untuk refraktori magnesia yang diteliti sebesar 15,7%, 12,4% dan 9,2% untuk temperatur *sintering* 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, dan 1400<sup>0</sup>C. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur *sintering* akan berpengaruh terhadap kenaikan densitas dan menurunkan porositas dari material refraktori.

Kata kunci : refraktori, magnesia (MgO), *sintering*, XRD, densitas, porositas

## ABSTRACT

Refractory is one type of ceramic that has ability to maintain its condition both physically and chemically and very stable at high temperature conditions. Refractory are used as insulation lining the furnace in metal smelting. However, most of the metal casting industry, particularly in Indonesia in the purchase of refractory materials based on a manual book submitted by the manufacturer of refractory without knows the properties and characteristics of refractory materials. This is caused by the lack of knowledge of refractory materials. This refractory material characterization study aims to determine the shape and grain size by meshing, the chemical composition refractory compounds with X-RD (X-Ray Diffraction), and the density and porosity of the refractory which are the physical properties of refractory.

Refractory material in this research is consists of large and small aggregate that is used for induction furnace steel making PT Suyuti Sido Maju Ceper, Klaten. These materials are formed with a pressure of 240 MPa with mold dimensions are 17,8 mm diameter and 50 mm in height. The process of making the specimen through sintering process with variation of temperature at 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, and 1400<sup>0</sup>C and holding time 2 hours at maximum temperature. Heating rate for sintering this material is 10<sup>0</sup>C/min and cooling rate of 20<sup>0</sup>C/min.

The results of refractory characterization is for a large aggregate refractory material has a grain size greater than 0,150 mm while the grain size for small aggregates are smaller than 0,150 mm. The grain shape for this refractory is rounded and well-rounded.. The chemical composition of the main constituent of refractory material is magnesia (MgO) with weight fraction ~ 95%. Density values for refractory magnesia (MgO) at a temperature of 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C and 1400<sup>0</sup>C are 3,04 g/cm<sup>3</sup>, 3,08 g/cm<sup>3</sup> and 3,11 g/cm<sup>3</sup>. And theoretically, the density values for magnesia (MgO) is 3,58 g/cm<sup>3</sup>. While the value of porosity for refractory magnesia (MgO) studied by 15,7%, 12,4% and 9,2% for the sintering temperature of 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C and 1400<sup>0</sup>C. This shows that with increasing sintering temperature will affect the increase in density and lower porosity of the refractory material.

Keywords: refractory, magnesia (MgO), sintering, XRD, density, porosity



## MOTTO

Maka sesungguhnya bersama kesulitan terdapat kemudahan. Sesungguhnya

bersama kesulitan itu terdapat kemudahan. Maka apabila  
kamu telah selesai (dari suatu pekerjaan) maka bekerja keraslah.

Dan hanya kepada Allah hendaklah kamu berharap

(Qs.94-Al Insyiroh 5-8)

Persahabatan bisa melipatgandakan kebahagiaan

dan mengurangi kesedihan

(Thomas Fuller)

Guru adalah mereka yang menjadikan dirinya jembatan, para murid

diundang untuk menyeberanginya, setelah semua menyebrang,

dengan senang hati mereka menyeberanginya dan

mendorong para murid untuk menciptakan jembatan sendiri

(Nikos Kazantzakis)

Tempat pertama untuk memperbaiki keadaan dunia adalah di hati,

kepala dan tangan kita sendiri

(Robert M. Pirsig)

## PERSEMBAHAN

Dengan Sepenuh Hati, Cinta dan Kasih Sayang  
Kupersembahkan Tugas Sarjana ini Kepada :

“Kedua Orangtuaku Tercinta”

Ayahanda H. Kuwat Somo dan Ibunda Hj. Suliyah S.Pd

Yang dengan Sepenuh Hati Berjuang Mendidik  
dan Membesarkan Anak-Anakmu,  
Memberikan Dorongan dan Pengarahan  
dan Selalu Mendoakanku dengan Segenap Cintamu.  
Semoga Allah Selalu Melindungimu.

Kakak dan Adikku Tersayang:

Iyus Hardiyanto,ST dan Aulia Tri Wahyudhi

Yang Telah Memberikan Warna-Warni Dalam Hidupku

Kekasihku :

Nugraheni Swariloka

Anugerah Terindah yang Allah Berikan Bagiku

Semua Sahabat-Sahabatku ,

Terimakasih atas Segala Inspirasi, Ilmu, Persahabatan dan Kasih Sayang  
yang Selama Ini Telah Kita Jalani.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, hidayah dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Sarjana ini. Tugas Sarjana yang berjudul “ **karakterisasi material refraktori basa berbahan dasar magnesia (MgO) dengan variasi temperatur sintering 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C dan 1400<sup>0</sup>C guna lining tungku induksi pengecoran baja PT Suyuti Sido Maju Ceper Klaten**” ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan selama penyusunan Tugas Sarjana ini, antara lain :

1. Bapak Dr. Sri Nugroho, ST, MT. dan Bapak Yusuf Umardhani, ST, MT. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penulis untuk menyusun Tugas Sarjana ini.
2. Bapak Margono selaku teknisi Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Diponegoro atas nasehat dan bantuannya.
3. Kedua orang tuaku ayahanda Bapak H. Kuwat Somo dan Ibunda Hj. Suliyah, S.Pd atas segala pengorbanan yang tidak terkira jasanya, yang telah memberikan dukungan, semangat, doa yang tulus ikhlas dan kepercayaan kepada penulis untuk mengemban amanah yang mulia ini.
4. Teman seperjuanganku Adriansyah Sholeh R, Dwi Adi Waskito dan Dandi Sukma Rahadi.
5. Keluarga besar angkatan 2006 dan semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya Tugas Sarjana ini.
6. Semua pihak yang sudah membantu penyusun dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusun menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki sehingga tentu saja penyusunan Tugas

Sarjana ini jauh dari sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan penulis untuk masa yang akan datang.

Akhir kata semoga Tugas Sarjana ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, Desember 2010

Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMANPERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK.....	v
HALAMAN ABSTRAK.....	vi
HALAMAN <i>ABSTRACT</i> .....	vii
HALAMAN MOTTO .....	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Metode Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Tanur Induksi/ <i>Induction Furnace</i> .....	6
2.2. Proses Peleburan Baja dan Besi Tuang.....	10
2.3. Refraktori.....	15
2.4. Bahan Baku Refraktori.....	18
2.5. Klasifikasi Refraktori.....	22
2.6. Karakteristik Material Refraktori.....	22

2.6.1. Karakteristik Komposisi Kimia Material Refraktori.....	22
2.6.2. Karakteristik Fisik Material Refraktori.....	23
2.6.3. Titik Cair Material Refraktori.....	27
2.7. Ikatan Kimia Refraktori.....	28
2.8. <i>Sintering</i> .....	30
2.9. Faktor yang Berpengaruh pada Kekuatan Refraktori.....	35
2.10. Kerusakan pada Material Refraktori.....	36
2.10.1. <i>Slagging</i> dan <i>Spalling</i> .....	36
2.10.2. Pengkerutan ( <i>shrinkage</i> ).....	37
2.10.3. Sistem Sambungan Bata Refraktori.....	37
2.10.4. Retakan ( <i>crack</i> ).....	38
2.10.5. Abrasi/Pengikisan dan Korosi.....	39
2.11. Refraktori Magnesia (MgO).....	39
2.12. Karakterisasi Material Keramik Refraktori Magnesia (MgO).....	43
2.12.1. Bentuk dan Ukuran Butir.....	43
2.12.2. Komposisi Kimia dengan XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	46
2.12.3. Densitas.....	49
2.12.4. Porositas.....	50

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian.....	52
3.1.1. Diagram Alir Penelitian Tahap Pertama.....	52
3.1.2. Diagram Alir Penelitian Tahap Kedua.....	54
3.2. Bahan Baku Refraktori yang Digunakan.....	56
3.3. Peralatan yang Digunakan.....	56
3.4. Variabel dan Parameter Penelitian.....	63
3.4.1. Variabel.....	63
3.4.2. Parameter.....	63
3.5. Pembuatan Spesimen Pengujian.....	64
3.5.1. Pembuatan Spesimen Pengujian Tahap Pertama.....	64
3.5.2. Pembuatan Spesimen Pengujian Tahap Kedua.....	64

3.6	Karakterisasi Material.....	69
3.6.1.	Karakterisasi Material Penelitian Tahap Pertama.....	69
3.6.1.1.	Karakterisasi Bentuk dan Ukuran Butir.....	69
3.6.1.2.	Karakterisasi Komposisi Kimia.....	70
3.6.2	Karakterisasi Material Penelitian Tahap Kedua.....	71
3.6.2.1.	Karakterisasi Komposisi Kimia.....	71
3.6.2.2.	Analisa Struktur Mikro.....	72
3.6.2.3.	Analisis <i>Bulk Density</i> .....	72
3.6.2.4.	Analisis <i>Apparent Porosity</i> .....	73

#### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Hasil Penelitian.....	76
4.1.1.	Hasil Penelitian Tahap Pertama.....	76
4.1.1.1.	Pengujian Bentuk dan Ukuran Butir Material Refraktori... Tahap Pertama dengan X-RD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	76
4.1.1.2.	Hasil Pengujian Komposisi Kimia Material Refraktori Tahap Pertama dengan X-RD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	79
4.1.2.	Hasil Penelitian Tahap Kedua.....	82
4.1.2.1.	Hasil Pengujian Komposisi Kimia Material Refraktori Tahap Kedua dengan X-RD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	82
4.1.2.2.	Hasil Pengujian Mikrografi Material Refraktori Hasil <i>Sintering</i> dan Bekas Lining Tanur Proses Peleburan.....	85
4.1.2.3.	Hasil Pengujian Densitas.....	87
4.1.2.4.	Hasil Pengujian Porositas.....	87
4.2.	Pembahasan Hasil Penelitian.....	88
4.2.1.	Pembahasan Hasil Penelitian Tahap Pertama.....	88
4.2.1.1.	Bentuk dan Ukuran Butir Material Refraktori.....	88
4.2.1.2.	Komposisi Kimia Awal Material Refraktori dengan X-RD.....	91
4.2.2.	Pembahasan Hasil Penelitian Tahap Kedua.....	93
4.2.2.1.	Analisa Komposisi Kimia Material Refraktori Setelah <i>Sintering</i> dengan X-RD.....	94

4.2.2.2. Analisa Material Refraktori Bongkaran <i>Lining</i> Tanur	
Peleburan Baja.....	96
4.2.2.3. Analisa Densitas dan Porositas Material Refraktori	
Magnesia (MgO).....	99

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	105
5.2. Saran.....	106

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tungku induksi.....	6
Gambar 2.2.	Konsep arus induksi pada tungku induksi.....	7
Gambar 2.3.	Tungku induksi <i>coreless</i> .....	7
Gambar 2.4.	Tungku induksi <i>channel</i> .....	8
Gambar 2.5.	Ilustrasi tungku induksi PT Suyuti Sido Maju Ceper Klaten.....	10
Gambar 2.6.	Diagram fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	11
Gambar 2.7.	Proses pengolahan baja.....	14
Gambar 2.8.	Konstruksi refraktori untuk <i>lining</i> tungku induksi.....	17
Gambar 2.9.	Diagram enam oksida yang menjadi dasar material refraktori.....	18
Gambar 2.10.	Tabel sistem periodik unsur.....	29
Gambar 2.11.	Model dua bola saling kontak dengan pembentukan leher kontak ( <i>neck</i> ).....	31
Gambar 2.12.	Mekanisme perpindahan materi pada proses <i>sintering</i> .....	31
Gambar 2.13.	Tahapan perubahan mikrostruktur refraktori selama proses <i>sintering</i> .....	32
Gambar 2.14.	Mekanisme proses <i>sintering</i> .....	33
Gambar 2.15.	Kurva hubungan antara ukuran partikel dengan densitas.....	34
Gambar 2.16.	Hubungan temperatur <i>sintering</i> terhadap perubahan sifat material.....	34
Gambar 2.17.	Tertutupnya permukaan refraktori oleh <i>slag</i> .....	36
Gambar 2.18.	Sistem sambungan refraktori konstruksi bata.....	37
Gambar 2.19.	Retakan pada permukaan refraktori.....	38
Gambar 2.20.	Sel satuan struktur kristal <i>rock salt</i> .....	40
Gambar 2.21.	Pengkategorian bentuk butir berdasarkan kebulatan.....	43
Gambar 2.22.	Klasifikasi ukuran butir <i>Wentworth</i> .....	45
Gambar 2.23.	Prinsip difraksi sinar-X.....	46
Gambar 2.24.	Skema instrumen <i>X-Ray Diffractometer</i> .....	48
Gambar 2.25.	Pola difraksi sinar-X untuk magnesita (MgO).....	49
Gambar 3.1.	Diagram alir proses penelitian tahap pertama.....	52

Gambar 3.2.	Diagram alir proses penelitian tahap kedua.....	54
Gambar 3.3.	<i>Mesh</i> .....	57
Gambar 3.4.	Mortar tangan.....	57
Gambar 3.5.	(a) Instrumen Rigaku <i>X-Ray Diffractometer</i> .....	58
	(b) Komponen optik <i>X-Ray Diffractometer</i> .....	58
Gambar 3.6.	Mikroskop optik dan kamera.....	58
Gambar 3.7.	Cetakan specimen.....	59
Gambar 3.8.	Mesin kompresi/ <i>compression hydraulic press</i> .....	59
Gambar 3.9.	Skema temperatur <i>sintering</i> untuk temperatur 1400°C.....	60
Gambar 3.10.	Tungku listrik/ <i>Furnace Carbolite Type RHF 16/3</i> .....	60
Gambar 3.11.	Mesin pemotong batuan.....	61
Gambar 3.12.	Mesin penghalus batuan.....	61
Gambar 3.13.	Mikroskop polarisasi.....	62
Gambar 3.14.	Oven.....	62
Gambar 3.15.	Neraca analitis.....	63
Gambar 3.16.	Gelas ukur.....	62
Gambar 3.17.	Alur pembuatan specimen X-RD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) tahap pertama.....	64
Gambar 3.18.	Alur pembuatan specimen pengujian.....	65
Gambar 3.19.	Skema proses <i>sintering</i> temperatur 1200 <sup>0</sup> C.....	66
Gambar 3.20.	Skema proses <i>sintering</i> temperatur 1300 <sup>0</sup> C.....	66
Gambar 3.21.	Skema proses <i>sintering</i> temperatur 1400 <sup>0</sup> C.....	67
Gambar 3.22.	Alur pembuatan specimen X-RD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) tahap kedua.....	67
Gambar 3.23.	Alur pembuatan specimen mikrografi.....	68
Gambar 3.24.	Alur pembuatan specimen densitas dan porositas.....	69
Gambar 4.1.	Butir refraktori hasil <i>mesh</i> 10.....	77
Gambar 4.2.	Butir refraktori hasil <i>mesh</i> 20.....	77
Gambar 4.3.	Butir refraktori hasil <i>mesh</i> 100 (perbesaran lensa 100x).....	77
Gambar 4.4.	Butir refraktori hasil <i>mesh</i> 200 (perbesaran lensa 100x).....	78
Gambar 4.5.	Butir refraktori hasil <i>mesh</i> 500 (perbesaran lensa 100x).....	78

Gambar 4.6.	Butir refraktori hasil <i>mesh</i> <500 (perbesaran lensa 100x).....	78
Gambar 4.7.	Pola difraksi material refraktori agregat kecil hasil pengujian X-RD.....	81
Gambar 4.8 .	Pola difraksi material refraktori agregat besar hasil pengujian X-RD.....	81
Gambar 4.9.	Pola difraksi material refraktori setelah <i>sintering</i> 1400 <sup>0</sup> C hasil pengujian X-RD.....	84
Gambar 4.10.	Pola difraksi material refraktori bongkaran <i>lining</i> tungku peleburan baja bongkah putih hasil pengujian X-RD.....	84
Gambar 4.11.	Pola difraksi material refraktori bongkaran <i>lining</i> tungku peleburan baja bongkah hitam hasil pengujian X-RD.....	85
Gambar 4.12 .	Struktur mikro material refraktori hasil <i>sintering</i> 1200 <sup>0</sup> C.....	85
Gambar 4.13.	Struktur mikro material refraktori hasil <i>sintering</i> 1300 <sup>0</sup> C.....	86
Gambar 4.14.	Struktur mikro material refraktori hasil <i>sintering</i> 1400 <sup>0</sup> C.....	86
Gambar 4.15.	Struktur mikro material refraktori bongkaran <i>lining</i> tungku peleburan baja bongkah putih.....	86
Gambar 4.16.	Struktur mikro material refraktori bongkaran <i>lining</i> tungku peleburan baja bongka hitam.....	87
Gambar 4.17.	Klasifikasi skala ukuran butir Wentworth.....	88
Gambar 4.18.	Butir refraktori hasil <i>meshing</i> nomor <i>mesh</i> 10 dan 20.....	90
Gambar 4.19.	Kebulatan bentuk butiran.....	90
Gambar 4.20.	Pola difraksi material refraktori agregat kecil hasil pengujian X-RD.....	91
Gambar 4.21.	Pola difraksi material refraktori agregat besar hasil pengujian X-RD.....	92
Gambar 4.22.	Data 2 $\theta$ senyawa magnesia (MgO) dari JCPDS.....	92
Gambar 4.23.	Pola difraksi dari senyawa magnesia (MgO).....	93
Gambar 4.24.	Pola difraksi refraktori setelah <i>sintering</i> 1400 <sup>0</sup> C hasil pengujian X-RD.....	94
Gambar 4.25.	Gabungan pola difraksi senyawa magnesia sebelum dan sesudah <i>sintering</i> hasil pengujian X-RD.....	95

Gambar 4.26.	Perbandingan pola difraksi material refraktori sebelum <i>sintering</i> dan bongkaran <i>lining</i> tungku proses peleburan baja.....	97
Gambar 4.27.	Struktur mikro refraktori magnesia bongkaran akibat <i>slag attack</i> .....	99
Gambar 4.28.	Grafik hubungan temperatur <i>sintering</i> terhadap densitas.....	100
Gambar 4.29.	Grafik hubungan temperatur <i>sintering</i> terhadap porositas.....	101
Gambar 4.30.	Grafik hubungan temperatur <i>sintering</i> terhadap densitas dan porositas.....	102
Gambar 4.31.	Struktur mikro material refraktori magnesia.....	103

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi Kimia dan Porositas Material Refraktori .....	25
Tabel 2.2. Sifat Fisik dan Mekanik beberapa Material Rekraktori .....	26
Tabel 2.3. Hubungan Jenis Ikatan Material Refraktori terhadap Titik Cair dan Energi Ikatannya .....	27
Tabel 2.4. Struktur Kristal beberapa Keramik .....	41
Tabel 2.5. Pola Puncak/ <i>Peak</i> Utama Magnesia (MgO) dari JCPDS.....	49
Tabel 3.1. Ukuran <i>Mesh</i> yang Digunakan.....	69
Tabel 4.1. Hasil <i>Meshing</i> Sampel Refraktori .....	76
Tabel 4.2. Data X-RD untuk Material Refraktori Agregat Kecil.....	79
Tabel 4.3. Data X-RD untuk Material Refraktori Agregat Besar .....	80
Tabel 4.4. Data X-RD untuk Material Refraktori dengan Temperatur <i>Sintering</i> 1400 <sup>0</sup> C .....	82
Tabel 4.5. Data X-RD untuk Material Refraktori Bongkaran <i>Lining</i> Tungku Induksi Peleburan Baja Bongkah Putih.....	83
Tabel 4.6. Data X-RD untuk Material Refraktori Bongkaran <i>Lining</i> Tungku Induksi Peleburan Baja Bongkah Hitam .....	83
Tabel 4.7. Nilai Densitas dari Material Refraktori Setelah Mengalami <i>Sintering</i>	87
Tabel 4.8. Nilai Porositas dari Material Refraktori Setelah Mengalami <i>Sintering</i>	87
Tabel 4.9. Penggolongan Ukuran Butir Material Refraktori yang Diteliti.....	89