



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI JENIS SILIKA  
DENGAN BERBAGAI VARIASI TEMPERATUR *SINTERING***

**TUGAS AKHIR**

**DANDI SUKMARAHADI  
L2E 006 027**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
MARET 2011**

## TUGAS AKHIR

Diberikan Kepada : Nama : Dandi Sukmarahadi  
NIM : L2E 006 027

Dosen Pembimbing : 1. Sri Nugroho, ST, MT, PhD  
: 2. Yusuf Umardhani, ST, MT

Jangka Waktu : 6 Bulan

Judul : **Karakterisasi Material Refraktori Jenis Silika dengan Berbagai Variasi Temperatur Sintering.**

Isi Tugas : Mengetahui dan menganalisis pengaruh *sintering* terhadap sifat fisis dari refraktori jenis silika yang digunakan pada *lining* tungku induksi meliputi bentuk butir dan distribusi ukuran serbuk, komposisi kimia, densitas dan porositas, serta struktur mikro, sehingga hasil analisa dapat dijadikan sebagai referensi pada suatu perusahaan peleburan logam.

Pembimbing I



Sri Nugroho, ST, MT, PhD  
NIP. 197501181999031001

Semarang, 23 Maret 2011

Pembimbing II



Yusuf Umardhani, ST, MT  
NIP. 197008061998021001

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

---

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

Nama : DANDI SUKMARAHADI  
NIM : L2E 006 027  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : SKRIPSI

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

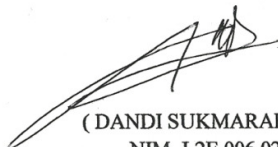
KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI JENIS SILIKA DENGAN BERBAGAI VARIASI TEMPERATUR *SINTERING*.

berserta 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 Maret 2011

Yang menyatakan

  
(DANDI SUKMARAHADI)  
NIM. L2E 006 027

v


## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Dandi Sukmarahadi  
NIM : L2E 006 027  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Karakterisasi Material Refraktori Jenis Silika dengan  
Berbagai Variasi Temperatur *Sintering*.

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.

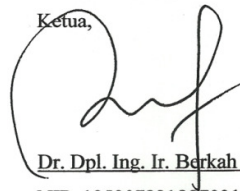
### TIM PENGUJI

Pembimbing	: Sri Nugroho, ST, MT, PhD	(  )
Pembimbing	: Yusuf Umardhani, ST, MT	(  )
Penguji	: Dr. Ir. A.P Bayuseno, MSc	(  )
Penguji	: Rusnaldy, ST, MT, PhD	(  )

Semarang, 23 Maret 2010

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



Dr. Dpl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

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

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

Nama : DANDI SUKMARAHADI  
NIM : L2E 006 027  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : SKRIPSI

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

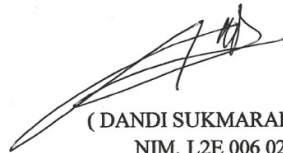
KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI JENIS SILIKA DENGAN BERBAGAI VARIASI TEMPERATUR *SINTERING*.

berserta 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 Maret 2011

Yang menyatakan

  
( DANDI SUKMARAHADI )  
NIM. L2E 006 027

## MOTTO

**“Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua”**

*(Aristoteles)*

**“Hidup memberikan banyak peluang sukses, asal ada kemauan disitu  
pasti ada jalan”**

**“Investasikan waktu masa depan dengan mengerjakan hal-hal positif  
tidak ada kata terlambat untuk memulai hal baru”**

## PERSEMBAHAN

*Tugas Akhir ini kusembahkan kepada :*

*Kedua orang tuaku, Ibu Bindarsih dan Bapak Wahadi yang telah  
memberikan kasih sayang serta dukungannya tanpa kenal lelah.*

## ABSTRAK

Sulitnya memperoleh kokas sebagai bahan bakar dapur peleburan jenis kupola membuat industri pengecoran logam di daerah Cepher Klaten mulai beralih menggunakan tungku induksi sebagai dapur peleburan logam utama. Penggunaan tungku induksi pada industri tersebut merupakan hal yang baru sehingga pengetahuan tentang tungku induksi terutama bahan *lining* tungku induksi seperti refraktori jenis silika juga belum terlalu banyak. Penelitian karakterisasi material refraktori ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisis refraktori meliputi analisis komposisi kimia, bentuk butir dan distribusi ukuran serbuk, densitas porositas, serta analisis struktur mikro diharapkan dapat memberikan informasi kepada industri pengecoran logam di Cepher Klaten sehingga dapat meminimalisir kesalahan dalam penggunaan material refraktori tersebut. Dalam penelitian ini, bahan baku refraktori yang berupa serbuk dicetak menggunakan cetakan berdiameter 17,8 mm dan tinggi 50 mm dengan tekanan kompaksi sebesar 240 MPa. Proses *sintering* dilakukan dengan variasi temperatur 1200 °C, 1250 °C, 1300 °C, 1350 °C, 1400 °C dan 1450 °C dengan laju kenaikan temperatur / *heating rate* yaitu 10 °C/min dan laju pendinginan / *cooling rate* sebesar 20 °C/min.

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa komposisi yang terkandung dalam serbuk bahan baku adalah *quartz low* (SiO<sub>2</sub>), sedangkan pada spesimen yang telah *disinter* pada temperatur 1400°C terjadi perubahan fasa menjadi *crystalite* (SiO<sub>2</sub>) sebesar 26,53% dan meningkat pada spesimen yang telah *disinter* pada temperatur 1450°C sebesar 54,89%. Hasil pengujian bentuk butir silika berupa *sub rounded* dan distribusi ukuran serbuk tersebar merata pada seluruh *mesh*. Nilai densitas dan porositas berturut-turut adalah 2,10 g/cm<sup>3</sup>; 2,06 g/cm<sup>3</sup>; 2,22 g/cm<sup>3</sup>; 2,26 g/cm<sup>3</sup>; 2,24 g/cm<sup>3</sup>; 2,15 g/cm<sup>3</sup> dan 18,47 %; 18,43 %; 18,25 %; 17,62 %; 16,62 %; 16,40 %. Hasil analisis struktur mikro menunjukkan bahwa pori-pori refraktori semakin mengecil seiring dengan peningkatan temperatur *sintering*.

Kata Kunci: Refraktori, SiO<sub>2</sub>, *Sintering*, *X-Ray Diffraction*, Densitas, Porositas

## **ABSTRACT**

*Finding some difficulties to obtain coke as a fuel of blast furnace makes metal melting industry in Ceper Klaten decided to using induction furnace as the primary metal melting equipment. Usage of induction furnaces is a new technology for them. So, there are less knowledge about induction furnace mainly about lining material like silica. This research aimed to determine the physical properties of refractory include chemical composition, grain shapes, distribution size of powder, density, porosity and microstructure. Result of this research is expected to minimize of errors in the usage of refractory material. In this research, refractory powders printed using a mold with diameter of 17.8 mm and height of 50 mm with a compacting pressure of 240 MPa. Sintering process was done by varying the temperature 1200°C, 1250°C, 1300°C, 1350°C, 1400°C and 1450°C with heating rate of 10°C/min and cooling rate of 20°C/min.*

*Result of the tests showed that the composition contained in the raw material powder is quartz low (SiO<sub>2</sub>), while in the specimens that have been sintered at 1400°C, phase changed into cristobalite (SiO<sub>2</sub>) of 26.53% and increased in specimens that have been sintered at 1450°C by 54.89%. The grains shape of silica is sub-rounded and distribution of powder size spread evenly on the entire mesh. Values of density in a row are 2.10 g/cm<sup>3</sup>; 2.06 g/cm<sup>3</sup>; 2.22 g/cm<sup>3</sup>; 2.26 g/cm<sup>3</sup>; 2.24 g/cm<sup>3</sup>; 2.15 g/cm<sup>3</sup> and porosity are 18.47%; 18.43%; 18.25%; 17.62%; 16.62%; 16.40%. Microstructure analysis showed that the pores of refractories has narrowed in line with increasing sintering temperature.*

*Keywords: Refractory, SiO<sub>2</sub>, Sintering, X-Ray Diffraction, Density, Porosity*



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin.* Semoga puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang tiada hentinya mencurahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga dengan segala karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **"Karakterisasi Material Refraktori Jenis Silika dengan Berbagai Variasi Temperatur Sintering"** ini. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada panutan kita Rosulullah Muhammad SAW.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Sri Nugroho, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan-masukan kepada penulis untuk menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak Yusuf Umardani, ST, MT selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan-masukan serta membantu dalam memperoleh material penelitian.
3. Kedua orang tua Bapak Wahadi dan Ibu Bindarsih yang tercinta, serta keluarga di rumah yang senantiasa mendoa'kan dan menyemangati penulis.
4. Teman seperjuangan Adriansyah Sholeh Ritonga, Dwi Adi Waskito dan Yus Dwi Nofianto yang selalu mendukung dan membantu dalam pelaksanaan tugas akhir maupun penyelesaian laporan ini.
5. Bapak Aji selaku teknisi Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada yang telah membantu dalam proses pembuatan spesimen.
6. Bapak Margono selaku teknisi Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah membantu dalam proses pengujian karakterisasi.

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

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

Terakhir, dengan selesainya tugas akhir ini berarti selesai pula masa studi penulis di Teknik Mesin UNDIP. Semoga dapat memberikan manfaat bagi penulis dan juga kepada orang lain.

Semarang, 23 Maret 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	i
<b>Halaman Tugas Akhir</b> .....	ii
<b>Halaman Pernyataan Orisinalitas</b> .....	iii
<b>Halaman Pengesahan</b> .....	iv
<b>Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir untuk Kepentingan Akademis</b> .....	v
<b>Abstrak</b> .....	vii
<b>Kata Pengantar</b> .....	ix
<b>Daftar isi</b> .....	xi
<b>Daftar Gambar</b> .....	xv
<b>Daftar Tabel</b> .....	xviii
<b>Nomenklatur</b> .....	xix

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Metode Penulisan .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4

### BAB II DASAR TEORI

2.1 Tungku Induksi.....	5
2.1.1 Prinsip Dasar Pemanasan dengan Induksi .....	5
2.1.2 Penggunaan Tungku Induksi.....	7
2.1.3 <i>Lining</i> Tungku Induksi .....	10
2.2 Refraktori .....	12
2.2.1 Jenis Refraktori .....	12
2.2.2 Komposisi Penyusun Refraktori .....	14
2.2.3 Kekuatan Fisis Refraktori .....	15

2.2.4	Refraktori Monolitik.....	16
2.2.5	Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Kekuatan Refraktori....	18
2.2.6	Sifat-Sifat Refraktori .....	19
2.2.7	Ikatan Kimia Refraktori.....	21
2.2.8	Kerusakan Refraktori.....	22
2.3	<i>Polimorf Silika</i> .....	24
2.3.1	<i>Low Quartz</i> .....	26
2.3.2	<i>High Quartz</i> .....	26
2.3.3	<i>Tridymite</i> .....	26
2.3.4	<i>Cristobalite</i> .....	26
2.3.5	<i>Coasite</i> .....	27
2.3.6	<i>Stishovite</i> .....	27
2.4	Struktur Kristal .....	27
2.4.1	Kisi Kubik.....	28
2.4.2	Heksagonal.....	31
2.4.3	Tetragonal .....	32
2.4.4	Rombohedral.....	32
2.4.5	Ortorombik.....	33
2.4.6	Monoklinik.....	33
2.4.7	Triklinik .....	34
2.5	<i>Sintering</i> .....	35
2.5.1	<i>Liquid-Phase Sintering</i> .....	35
2.5.2	<i>Solid-State Sintering</i> .....	35
2.5.3	<i>Sintering Refraktori Jenis Silika</i> .....	36
2.6	Karakterisasi Material .....	37
2.6.1	Bentuk Butir dan Ukuran Serbuk .....	37
2.6.2	Difraksi Sinar-X (XRD) .....	40
2.6.3	Densitas.....	41
2.6.4	Porositas.....	42

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	44
3.2	Peralatan yang Digunakan .....	47
3.3	Pengujian Bahan Baku Refraktori Silika .....	54
3.3.1	Pengujian XRD pada Serbuk Refraktori Silika .....	55
3.3.2	Pengujian Bentuk Butir dan Distribusi Ukuran Serbuk .....	55
3.4	Pembuatan Spesimen .....	56
3.4.1	Pencetakan dan Kompaksi Serbuk .....	56
3.4.2	<i>Sintering</i> .....	57
3.5	Pengujian Karakterisasi Material .....	59
3.5.1	Pengujian XRD .....	59
3.5.2	Pengujian Porositas .....	62
3.5.3	Pengujian Densitas .....	62
3.5.4	Pengujian Struktur Mikro .....	63

### **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1	Bahan Baku Refraktori Jenis Silika .....	65
4.1.1	Bentuk Butir dan Distribusi Ukuran Serbuk .....	65
4.1.2	Pengujian Komposisi Kimia pada Bahan Baku Refraktori Jenis Silika menggunakan XRD .....	69
4.2	Refraktori Jenis Silika yang Telah <i>Disinter</i> .....	75
4.2.1	Pengujian XRD Refraktori Jenis Silika yang Telah <i>Disinter</i> 1400 °C .....	75
4.2.2	Pengujian XRD Refraktori Jenis Silika yang Telah <i>Disinter</i> 1450 °C .....	78
4.2.3	Perbandingan Grafik Pengujian XRD pada Serbuk Bahan Baku dengan Spesimen yang Telah <i>Disinter</i> pada Temperatur 1400 °C dan 1450 °C .....	83
4.2.4	Pengaruh Temperatur terhadap Porositas.....	84
4.2.5	Pengaruh Temperatur terhadap Densitas.....	85

4.2.6 Pengujian Struktur Mikro Refraktori Jenis Silika yang Telah Disinter .....	87
---	----

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	89
5.2 Saran .....	90

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tungku Induksi .....	5
Gambar 2.2	Variasi Kedalaman Penetrasi Arus pada Material yang Memiliki Permeabilitas Magnetis Seragam .....	6
Gambar 2.3	Daerah Kerja Frekuensi terhadap Kapasitas Muat Tanur.....	7
Gambar 2.4	(a) <i>Stirring</i> pada Listrik 1 Fasa (b) <i>Stirring</i> pada Listrik 3 Fasa .....	9
Gambar 2.5	<i>Lining</i> Setelah Proses <i>Sintering</i> .....	10
Gambar 2.6	<i>Lining</i> Setelah Digunakan Berkali-kali .....	11
Gambar 2.7	Refraktori Oksida dengan Titik Leleh dan Tingkat Keasaman.....	13
Gambar 2.8	Retakan pada Refraktori .....	22
Gambar 2.9	Penutupan Refraktori oleh <i>Slag</i> .....	23
Gambar 2.10	Diagram Fasa <i>Polimorf</i> Silika.....	25
Gambar 2.11	Struktur Kubik Pemusatan Ruang Logam yang Menunjukkan Adanya Atom yang Terletak pada Titik Pusat .....	29
Gambar 2.12	Sel Satuan Kubik Pemusatan pada Logam .....	29
Gambar 2.13	Struktur Kubik Pemusatan Sisi pada Logam Memperlihatkan Tata Letak Atom.....	30
Gambar 2.14	Sel Satuan Kubik Pemusatan Sisi (Logam) .....	30
Gambar 2.15	Sel Satuan Heksagonal Sederhana, (a) Kisi Heksagonal (b) Kisi Rombik.....	31
Gambar 2.16	Struktur Heksagonal Tumpukan Padat, (a) Gambaran Skematik yang Menampilkan Pusat Atom, (b) Model Bola Padat.....	31
Gambar 2.17	Sel Satuan Tetragonal.....	32
Gambar 2.18	Sel Satuan Rombohedral.....	32
Gambar 2.19	Sel Satuan Ortorombik .....	33
Gambar 2.20	Sel Satuan Monoklinik .....	34
Gambar 2.21	Sel Satuan Triklinik.....	34
Gambar 2.22	(a) <i>Liquid-Phase Sintering</i> ; (b) <i>Solid-State Sintering</i> .....	35
Gambar 2.23	Mekanisme <i>Solid-State Sintering</i> .....	36
Gambar 2.24	Diagram <i>Sintering</i> untuk Refraktori Jenis Silika .....	37

Gambar 2.25	Berbagai Jenis Bentuk Butiran.....	38
Gambar 2.26	Pengklasifikasian Ukuran Butir <i>Standard Wentworth</i> (1922) .....	39
Gambar 2.27	<i>X-Ray Diffraction</i> .....	40
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	45
Gambar 3.2	Cetakan .....	48
Gambar 3.3	<i>Mesh</i> .....	48
Gambar 3.4	<i>Mortar</i> Tangan .....	49
Gambar 3.5	Mesin <i>X-Ray Diffraction (XRD) Rigaku Corporation</i> .....	50
Gambar 3.6	Mesin Uji Tekan .....	50
Gambar 3.7	Tungku Pemanas / <i>Furnace</i> .....	51
Gambar 3.8	Oven .....	51
Gambar 3.9	Timbangan Digital .....	52
Gambar 3.10	Gelas Ukur .....	53
Gambar 3.11	Mesin Amplas .....	53
Gambar 3.12	Mikroskop dan Kamera .....	54
Gambar 3.13	Serbuk Refraktori Silika .....	54
Gambar 3.14	Spesimen Hasil Kompaksi .....	57
Gambar 3.15	Skema Pemanasan dan Pendinginan pada Temperatur <i>Sintering</i> 1200°C dan 1250°C .....	58
Gambar 3.16	Skema Pemanasan dan Pendinginan pada Temperatur <i>Sintering</i> 1300°C dan 1350°C .....	58
Gambar 3.17	Skema Pemanasan dan Pendinginan pada Temperatur <i>Sintering</i> 1400°C dan 1450°C .....	58
Gambar 3.18	Penumbukan Spesimen .....	60
Gambar 3.19	Penuangan Serbuk pada <i>Sample Holder</i> .....	60
Gambar 3.20	Perataan Serbuk dengan <i>Mikro Slide Glass</i> .....	61
Gambar 3.21	Meletakkan Spesimen Uji Pada Mesin <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> <i>Rigaku Corporation</i> .....	61
Gambar 3.22	Spesimen Uji Porositas dan Uji Densitas .....	63
Gambar 4.1	Grafik Distribusi Ukuran Serbuk .....	66
Gambar 4.2	Pengklasifikasian Ukuran Butir <i>Standard Wenworth</i> (1922) .....	67



Gambar 4.3	Bentuk Butir (a) <10 <i>mesh</i> , (b) 10 <i>mesh</i> , (c) 20 <i>mesh</i> , (d) 100 <i>mesh</i> , (e) 200 <i>mesh</i> .....	68
Gambar 4.4	Berbagai Jenis Bentuk Butiran.....	69
Gambar 4.5	Grafik Hasil Pengujian XRD Bahan Baku Refraktori Jenis Silika ....	70
Gambar 4.6	Kecocokan Grafik Hasil XRD dengan <i>Standard Database Quartz</i> ...	71
Gambar 4.7	Kristal <i>Quartz</i> .....	73
Gambar 4.8	<i>Sulfur</i> .....	74
Gambar 4.9	Grafik Hasil Pengujian XRD Bahan Baku Refraktori Jenis Silika yang Telah Disinter 1400 °C.....	76
Gambar 4.10	Kecocokan Grafik Hasil XRD dengan <i>Standard Database Quartz</i> dan <i>Cristobalite</i> Berupa <i>Peak</i> .....	77
Gambar 4.11	Grafik Hasil Pengujian XRD Bahan Baku Refraktori Jenis Silika yang Telah Disinter 1450 °C.....	80
Gambar 4.12	Kecocokan Grafik Hasil XRD dengan <i>Standard Database Quartz</i> dan <i>Cristobalite</i> Berupa <i>Peak</i> .....	81
Gambar 4.13	Grafik Perubahan Hasil XRD pada Serbuk Bahan Baku, Refraktori yang Telah Disinter pada Temperatur 1400 °C dan Refraktori yang Telah Disinter pada Temperatur 1450 °C.....	83
Gambar 4.14	Kurva Hubungan Porositas terhadap Temperatur <i>Sintering</i> .....	85
Gambar 4.15	Kurva Hubungan Densitas terhadap Temperatur <i>Sintering</i> .....	86
Gambar 4.15	Pengujian Struktur Mikro Refraktori Jenis Silika yang Telah Disinter pada temperatur (a) 1200°C; (b) 1250 °C; (c) 1300 °C; (d) 1350 °C; (e) 1400 °C; dan (f) 1450 °C .....	88

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ukuran Minimum Material pada Berbagai Frekuensi Kerja.....	9
Tabel 2.2	Jenis Refraktori Menurut Sifat Kimia yang Dikandung .....	13
Tabel 2.3	Komposisi Penyusun Refraktori .....	14
Tabel 2.4	Kekuatan Fisis dari Berbagai Jenis Refraktori.....	16
Tabel 2.5	Kisi <i>Bravais</i> .....	27
Tabel 3.1	<i>Sieve Size</i> dan <i>Opening Mesh</i> .....	55
Tabel 4.1	Distribusi Ukuran Serbuk.....	66
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian XRD pada Bahan Baku Refraktori Jenis Silika ...	70
Tabel 4.3	Perbandingan <i>Peak</i> yang Dihasilkan dari Pengujian XRD dengan <i>Database Quartz low</i> [ $\text{SiO}_2$ ] pada JCPDS-ICDD.....	72
Tabel 4.4	Perbandingan <i>Peak</i> yang Dihasilkan dari Pengujian XRD dengan <i>Database Sulfur [S]</i> pada JCPDS-ICDD.....	72
Tabel 4.5	Sifat Mineral <i>Quartz</i> .....	73
Tabel 4.6	Sifat Mineral <i>Sulfur</i> .....	74
Tabel 4.7	Data Hasil Pengujian XRD pada Bahan Baku Refraktori Jenis Silika yang Telah <i>Disinter</i> 1400 °C .....	75
Tabel 4.8	Perbandingan <i>Peak</i> yang Dihasilkan dari Pengujian XRD dengan <i>Database Quartz low</i> dan <i>Cristobalite</i> pada JCPDS-ICDD.....	77
Tabel 4.9	Sifat Mineral <i>Cristobalite</i> .....	78
Tabel 4.10	Data Hasil Pengujian XRD pada Bahan Baku Refraktori Jenis Silika yang Telah <i>Disinter</i> 1450 °C .....	79
Tabel 4.11	Perbandingan <i>Peak</i> yang Dihasilkan dari Pengujian XRD dengan <i>Database Quartz low</i> dan <i>Cristobalite</i> pada JCPDS-ICDD.....	81
Tabel 4.12	Data Hasil Pengujian Porositas dan Densitas .....	84

## NOMENKLATUR

Simbol	Definisi	Satuan
$\delta$	Kedalaman penetrasi elektromagnetik	(m)
$k$	Konstanta bahan baku	(-)
$f$	Frekuensi kerja	(Hz)
$a$	Konstanta kisi	(-)
$d$	Jarak antar bidang	(Å)
$D$	Berat sampel kering	(kg, g)
$n$	Orde difraksi	(-)
$R$	Radius atom	(Å)
$S$	Berat sampel setelah direndam dalam air selama 10 menit	(kg, g)
$V$	Volume	(m <sup>3</sup> , cm <sup>3</sup> )
$W$	Berat sampel di udara terbuka	(kg, g)
$\theta$	Sudut difraksi bragg	( <sup>0</sup> )
$\lambda$	Panjang gelombang dari sinar-x	(Å)
$\rho$	Massa jenis	(gr/cm <sup>3</sup> )