



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI  
PADA *LINING* TUNGKU INDUKSI PELEBURAN BESI COR  
PT. SUYUTI SIDO MAJU CEPER KLATEN  
DENGAN VARIASI TEMPERATUR *SINTERING***

**TUGAS SARJANA**

**DWI ADI WASKITO  
L2E 006 031**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
DESEMBER 2010**

## TUGAS SARJANA

Diberikan Kepada : Nama : Dwi Adi Waskito  
NIM : L2E 006 031

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

Jangka Waktu : 9 Bulan (sembilan bulan)

Judul : **Karakterisasi Material Refraktori pada *Lining* Tungku Induksi Peleburan Besi Cor PT. Suyuti Sido Maju Ceper Klaten dengan Variasi Temperatur *Sintering*.**

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

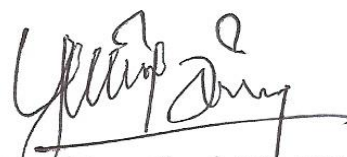
Pembimbing I



Dr. Sri Nugroho, ST, MT  
NIP. 197501181999031001

Semarang, 20 Desember 2010

Pembimbing II




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 : Dwi Adi Waskito

NIM : L2E 006 031

Tanda Tangan : 

Tanggal : 20 Desember 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Dwi Adi Waskito





NIM : L2E 006 031

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Karakterisasi Material Refraktori pada *Lining* Tungku Induksi Peleburan Besi Cor PT. Suyuti Sido Maju Cepher Klaten dengan 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.**

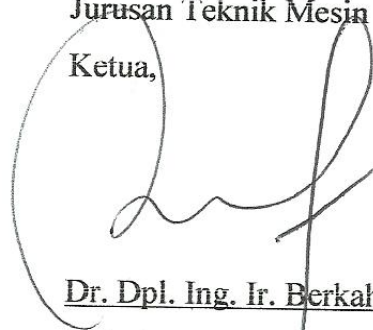
### TIM PENGUJI

Pembimbing	: Dr. Sri Nugroho, ST, MT	(  )
Pembimbing	: Yusuf Umardhani, ST, MT	(  )
Penguji	: Muchammad, ST, MT	(  )
Penguji	: Ir. Yuriyanto, MT	(  )

Semarang, 20 Desember 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 : Dwi Adi Waskito  
NIM : L2E 006 031  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Universitas Diponegoro  
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 PADA *LINING* TUNGKU INDUKSI PELEBURAN BESI COR PT. SUYUTI SIDO MAJU CEPER KLATEN DENGAN VARIASI TEMPERATUR *SINTERING*.**

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 : 20 Desember 2010

Yang menyatakan



( Dwi Adi Waskito )  
NIM. L2E 006 031

## *Persembahkan*

*Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada :*

*Bapak Sukawi dan Ibu Sri Pratiwi yang telah membesarkan dan mendidikku, cinta dan kasih sayangnya sepanjang masa serta doa restunya yang selalu menyertaku.*

*Kakak yang telah memberikan dukungan dan bantuan hingga selesainya Tugas Sarjana ini.*

*Cela Mahagustiara yang telah memberi semangat kepada penulis dan kerelaan hati untuk selalu menemani serta membantu dalam pembuatan laporan ini.*

## MOTTO

*"...Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri ..."* (QS Ar-Ra'd: 11)

*"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain"*  
(QS Al-Insyirah : 6-7)

*"tidak makan seorang satu makanan sedikitpun yang lebih baik, selain di makan dari usahanya sendiri..."* (Al Hadist)

*"apapun yang bisa anda lakukan atau anda bayangkan anda bisa, lakukanlah. Di dalam kebernian terdapat kejeniusan, kekuatan dan keajaiban"* (Goethe)

- *Rahasia kebahagiaan bukan pada melakukan apa yang disenangi melainkan menyenangkan apa yang dilakukan*
- *Dream it and get it...!!!*

## ABSTRAK

Di sektor Industri bahan refraktori cukup dibutuhkan karena adanya peningkatan jumlah pemakaian tungku temperatur tinggi, khususnya pada industri peleburan logam di PT. Suyuti Sido Maju Cepur Klaten. Penggunaan bahan refraktori berfungsi sebagai *insulator* panas tungku, supaya panas yang dibutuhkan tetap stabil pada temperatur 1300<sup>0</sup>C. Dalam penggunaan refraktori harus disesuaikan dengan karakteristik material logam yang dilebur, sehingga kesalahan pemilihan bahan refraktori dapat di minimalisir dan bahan yang dipakai lebih efisien. Oleh karena itu dibutuhkan karakterisasi material refraktori yang bertujuan untuk mengetahui analisa komposisi kimia dengan menggunakan XRD, bentuk dan ukuran butir dengan menggunakan *mesh*, densitas, porositas, serta analisa struktur mikro dengan menggunakan Mikroskop Optik.

Dalam penelitian ini, bahan material refraktori yang berupa serbuk dicetak dengan tekanan kompaksi sebesar 240 MPa, dengan dimensi cetakan yaitu diameter 17,8 mm dan tinggi 50 mm. Proses pembuatan spesimennya melalui proses *sintering* dengan variasi temperatur 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, 1400<sup>0</sup>C dan waktu penahanan/*holding time* 2 jam pada masing-masing temperatur. Sedangkan laju kenaikan temperatur/*heating rate* yaitu 10<sup>0</sup>C/min dan laju pendinginan/*cooling rate* sebesar 20<sup>0</sup>C/min.

Hasil difraksi sinar-X menunjukkan bahwa komposisi kimia utama serbuk refraktori adalah kwarsa silika (SiO<sub>2</sub>) dengan fasa *quartz low*, sedangkan pada spesimen refraktori yang sudah dicetak dan *disinter* pada temperatur 1400<sup>0</sup>C muncul adanya fasa *crystalite*. Hasil penelitian bentuk dan ukuran butir menunjukkan bahwa serbuk refraktori tergolong jenis *Sub Angular* dengan besar ukuran butir antara 0,062 – 4 mm. Nilai densitas dan porositas pada temperatur 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, 1400<sup>0</sup>C berturut-turut adalah 2,16 g/cm<sup>3</sup>; 2,22 g/cm<sup>3</sup>; 2,28 g/cm<sup>3</sup> dan 18,47 %; 18,25 %; 16,62 %. Hasil analisa struktur mikro menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *sintering* maka pori-pori refraktori semakin mengecil.

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



## **ABSTRACT**

*In the industrial sector refractory material is required due to an increased amount of usage of high temperature furnace, particularly in the metal smelting industry at PT. Suyuti Sido Maju Cepur Klaten. The refractory materials use as a furnace heat insulator, so that it can stabilize the heat 1300<sup>0</sup>C. The use of refractory material should be adjusted to the characteristics of the melted metal, so that the errors can be minimized and the material can be more efficient. Therefore, refractory material characterization is needed in order to determine the chemical composition analysis using XRD, grain size, and shape using the mesh, bulk density, apparent porosity, and microstructure analysis using optical microscope.*

*In this study, refractory material in the form powder made by 240 MPa compaction pressure, with 17.8 mm dimension of mold and the height 50 mm. The process of making the specimen through the sintering process by temperature variation 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, 1400<sup>0</sup>C and time of detention/holding time 2 hours at each temperature, while the heating rate of 10<sup>0</sup>C/min and cooling rate of 20<sup>0</sup>C/min.*

*The x-ray diffraction results showed that the main chemical composition refractory powder is quartz (SiO<sub>2</sub>) with low quartz phase, whereas the refractory specimens that have been printed and sintered at 1400<sup>0</sup>C appears the cristobalite phase. The results form and grain size showed that the refractory powder classified by major types of sub-angular grain size between 0.062 to 4 mm. density and porosity values at a temperature of 1200<sup>0</sup>C, 1300<sup>0</sup>C, 1400<sup>0</sup>C in a row is 2.16 g/cm<sup>3</sup>, 2.22 g/cm<sup>3</sup>, 2.28 g/cm<sup>3</sup> and 18.47%, 18.25 %, 16.62%. the results of microstructure analysis show that increasing the sintering temperature refractory pores has narrowed.*

*Keywords: Refractories, SiO<sub>2</sub>, Temperature 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 Sarjana dengan judul **"Karakterisasi Refraktori Pada Lining Tungku Induksi Peleburan Besi Cor PT. Suyuti Sido Maju Cepher Klaten Dengan 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 Sarjana 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 Sarjana 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 Sukawi dan Ibu Sri Pratiwi yang tercinta, serta keluarga di rumah yang senantiasa mendoa'kan, menyemangati, dan selalu memberi dukungan moril dan materiil serta kasih sayang kepada penulis.
4. Teman seperjuangan Adriansyah Sholeh Ritonga, Dandi Sukmarahardi dan Yus Dwi Nofianto yang selalu mendukung dan membantu kami dalam pelaksanaan Tugas Sarjana maupun penyelesaian laporan ini.
5. Teman-teman seangkatan 2006 dan semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya Tugas Sarjana ini.
6. Cela Mahagustiara yang telah memberi semangat kepada penulis dan kerelaan hati untuk selalu menemani serta membantu dalam pembuatan laporan 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.

Terakhir, dengan selesainya Tugas Sarjana ini berarti selesai pula masa studi penulis di Teknik Mesin UNDIP. Semoga sepenggal episode kehidupan penulis di kampus dapat memberikan manfaat bagi penulis dan juga kepada orang lain dan dapat dijadikan persiapan untuk menjalani penggalan episode kehidupan selanjutnya Amiin..

Semarang, 20 Desember 2010 ,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fumi', with a stylized flourish above the name.

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Halama Judul</b> .....	i
<b>Halam Tugas Sarjana</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> .....	viii
<b>Kata Pengantar</b> .....	x
<b>Daftar isi</b> .....	xii
<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 Refraktori .....	5
2.1.1 Refraktori Batu Bata .....	6
2.1.2 Refraktori Monolitik .....	6
2.1.3 Fungsi dan Penggunaan Refraktori Secara Umum .....	8
2.1.4 Sifat-sifat Kimiawi Refraktori .....	8
2.1.5 Komposisi Penyusun Refraktori .....	9
2.1.6 Faktor yang Berpengaruh pada Kekuatan Refraktori .....	11
2.1.7 Kekuatan Fisis Refraktori .....	12

2.1.8	Kerusakan pada Refraktori .....	13
2.2	Tanur Induksi .....	16
2.2.1	<i>Stirring</i> pada Tanur Induksi .....	18
2.2.2	<i>Lining</i> Tanur Induksi .....	19
2.2.3	Tahapan <i>Sintering</i> Tanur Induksi Berbahan Dasar Silikat .....	21
2.3	Mekanisme Perpindahan Materi (Difusi) Selama Proses <i>Sintering</i> ....	22
2.4	Kristal .....	24
2.5	Sistem Kristal .....	25
2.5.1	Kisi Kubuk ( <i>Cubic Lattises</i> ) .....	26
2.5.2	Heksagonal .....	29
2.5.3	Tetragonal .....	30
2.5.4	Rombohedral .....	30
2.5.5	Ortorombik .....	30
2.5.6	Monoklinik .....	31
2.5.7	Triklinik .....	32
2.6	Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	32
2.6.1	<i>Low Quartz</i> .....	35
2.6.2	<i>High Quartz</i> .....	35
2.6.3	<i>Tridimite</i> .....	35
2.6.4	<i>Cristobalite</i> .....	36
2.7	Karakterisasi Material Refraktori .....	36
2.7.1	Bentuk dan Ukuran Butir .....	36
2.7.2	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	38
2.7.3	Densitas .....	40
2.7.4	Porositas .....	41

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	42
3.2	Peralatan yang Digunakan .....	46
3.3	Pembuatan Spesimen .....	52
3.3.1	Proses Pembuatan Spesimen Refraktori Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	52

3.3.2	<i>Sintering</i> Spesimen Refraktori Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	53
3.3.3	Pendinginan Spesimen Refraktori Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	54
3.4	Karakterisasi Material .....	55
3.4.1	Analisa Komposisi Kimia dengan Metode Difraksi Sinar-X (XRD) .....	55
3.4.2	Penentuan Distribusi Ukuran Butir .....	58
3.4.3	Penentuan Bentuk Butir .....	58
3.4.4	Analisa <i>Bulk Density</i> .....	59
3.4.5	Analisa <i>Apparent Porosity</i> .....	59
3.4.6	Analisa Mikrografi .....	60

#### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Data Hasil Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	61
4.1.1	Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Sebelum Diberi Perlakuan .....	61
4.1.2	Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Setelah <i>Sintering</i> 1400 <sup>0</sup> C .....	67
4.2	Penentuan Ukuran dan Bentuk Butir .....	72
4.2.1	Penentuan Ukuran Butir .....	72
4.2.2	Penentuan Bentuk Butir .....	73
4.3	Hasil Analisa Porositas dan Densitas .....	75
2.2.1	Hasil Analisa Porositas .....	76
2.2.2	Hasil Analisa Densitas .....	77
4.4	Hasil Analisa Mikrografi .....	78

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	80
5.2	Saran .....	81

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	82
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	84
-----------------------	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh Berbagai Jenis Refraktori (a) <i>Castable</i> (b) <i>Mortar</i> (c) <i>Coatings</i> .....	6
Gambar 2.2	Pengelompokan Refraktori Oksida Terhadap <i>Basicity</i> dan <i>Melting Point</i> .....	9
Gambar 2.3	Penutupan Refraktori Oleh <i>Slag</i> .....	14
Gambar 2.4	Retakan pada Permukaan Refraktori .....	15
Gambar 2.5	Permukaan Kontak Bahan Refraktori dengan <i>Slag</i> .....	16
Gambar 2.6	Tanur Induksi .....	17
Gambar 2.7	<i>Stirring</i> (a) 1 Fasa (b) 3 Fasa .....	18
Gambar 2.8	<i>Lining</i> Setelah Proses <i>Sintering</i> .....	19
Gambar 2.9	<i>Lining</i> Setelah Digunakan Berkali-kali .....	20
Gambar 2.10	Diagram <i>Sinter</i> Untuk Silikat .....	21
Gambar 2.11	Model Empat Bola Saling Kontak Dengan Pembentukan Leher Kontak ( <i>Neck</i> ) .....	22
Gambar 2.12	Perubahan Mikrostruktur Keramik Selama Proses <i>Sintering</i> .....	23
Gambar 2.13	Perkembangan Kristal Pada Bunga Salju yang Membentuk Susunan Bintang Enam .....	24
Gambar 2.14	Struktur Kubik Pemusatan Ruang Logam yang Menunjukkan Adanya Atom yang Terletak pada Titik Pusat .....	27
Gambar 2.15	Sel Satuan Kubik Pemusatan Pada Logam .....	27
Gambar 2.16	Struktur Kubik Pemusatan Sisi pada Logam Memperlihatkan Tata Letak Atom .....	28
Gambar 2.17	Sel Satuan Kubik Pemusatan Sisi (Logam) .....	28
Gambar 2.18	Gambar Sel Satuan Heksagonal Sederhana, (a) Kisis Heksagonal (b) Kisi Rombik .....	29
Gambar 2.19	Struktur Heksagonal Tumpukan Padat, (a) Gambaran Skematik yang Menampilkan Pusat Atom, (b) Model Bola Padat .....	29
Gambar 2.20	Sel Satuan Tetragonal .....	30
Gambar 2.21	Sel Satuan Rombohedral .....	30

Gambar 2.22	Sel Satuan Ortorombik .....	31
Gambar 2.23	Sel Satuan Monoklinik .....	32
Gambar 2.24	Sel Satuan Triklinik .....	32
Gambar 2.25	Diagram Fasa Dari Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	34
Gambar 2.26	Berbagai Jenis Bentuk Butiran .....	37
Gambar 2.27	Pengklasifikasian Ukuran Butir <i>Standard Wentworth</i> (1922) .....	38
Gambar 2.28	<i>X-Ray Diffraction</i> .....	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	43
Gambar 3.2	<i>Mesh</i> .....	46
Gambar 3.3	Mikroskop Optik dan Kamera .....	47
Gambar 3.4	Tuas Penekan, Silinder Berongga dan Penutup Lubang Silinder .....	47
Gambar 3.5	Mesin Kompaksi .....	48
Gambar 3.6	<i>Furnace</i> .....	49
Gambar 3.7	Mortar Tangan .....	49
Gambar 3.8	Mesin <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	50
Gambar 3.9	Oven .....	50
Gambar 3.10	Neraca Digital .....	51
Gambar 3.11	Gelas Ukur .....	51
Gambar 3.12	Serbuk Silika .....	52
Gambar 3.13	Hasil Cetak Spesimen Refraktori Silika .....	53
Gambar 3.14	Hasil <i>Sintering</i> Refraktori Silika .....	53
Gambar 3.15	Skema <i>Sintering</i> dan Pendinginan Temperatur 1200 <sup>0</sup> C .....	54
Gambar 3.16	Skema <i>Sintering</i> dan Pendinginan Temperatur 1300 <sup>0</sup> C .....	54
Gambar 3.17	Skema <i>Sintering</i> dan Pendinginan Temperatur 1400 <sup>0</sup> C .....	55
Gambar 3.18	Penumbukan Spesimen .....	56
Gambar 3.19	Penuangan Serbuk pada <i>Sample Holder</i> .....	56
Gambar 3.20	Perataan Serbuk dengan <i>Mikro Slide Glass</i> .....	57
Gambar 3.21	Meletakkan <i>Sample Holder</i> pada Mesin XRD .....	57
Gambar 4.1	Pola Difraksi Serbuk SiO <sub>2</sub> Sebelum Diberi Perlakuan .....	62
Gambar 4.2	<i>Standard Database Quartz</i> Berupa <i>Peack</i> .....	63
Gambar 4.3	Kristal <i>Quartz</i> .....	65



Gambar 4.4	Sulfur .....	66
Gambar 4.5	Pola Difraksi Speimen Cetak SiO <sub>2</sub> Setelah <i>Sinterring</i> 1400 <sup>0</sup> C .....	68
Gambar 4.6	<i>Standard Database Cristobalite</i> Berupa <i>Peack</i> .....	69
Gambar 4.7	Grafik X-RD Sebelum Diberikan Perlakuan dan Setelah Dicetak serta <i>Disinter</i> Pada Temperatur 1400 <sup>0</sup> C .....	71
Gambar 4.8	Pengklasifikasian Ukuran Butir <i>Standard Wenworth</i> .....	73
Gambar 4.9	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> .....	74
Gambar 4.10	Berbagai Jenis Bentuk Butiran .....	75
Gambar 4.11	Kurva Hubungan Porositas Terhadap Temperatur <i>Sintering</i> .....	76
Gambar 4.12	Kurva Hubungan Densitas Terhadap Temperatur <i>Sintering</i> .....	77
Gambar 4.13	Foto Mikroskop Optik Temperatur 1200 <sup>0</sup> C .....	78
Gambar 4.14	Foto Mikroskop Optik Temperatur 1300 <sup>0</sup> C .....	79
Gambar 4.15	Foto Mikroskop Optik Temperatur 1400 <sup>0</sup> C .....	79

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Penyusun Refraktori .....	10
Tabel 2.2	Kekuatan Fisis dari Berbagai Jenis Refraktori .....	12
Tabel 2.3	Daerah kerja Frekuensi Terhadap Kapasitas Muat Tanur .....	17
Tabel 2.4	Sistem Kristal .....	25
Tabel 2.5	Kisi <i>Bravais</i> .....	26
Tabel 3.1	<i>Sieve Size</i> dan <i>Opening Mesh</i> .....	58
Tabel 4.1	Data Puncak Tertinggi Hasil Pengujian XRD Sebelum Diberi Perlakuan .....	61
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian X-RD Sebelum Diberi Perlakuan .....	61
Tabel 4.3	Pembandingan Antara Data Hasil Penelitian dengan Data JCPDS-ICDD Pada Mineral SiO <sub>2</sub> Fasa $\alpha$ -quartz .....	64
Tabel 4.4	Sifat Mineral <i>Quartz</i> .....	65
Tabel 4.5	Pembandingan Antara Data Hasil Penelitian dengan Data JCPDS-ICDD Pada Mineral Sulfur .....	66
Tabel 4.6	Sifat dari sulfur .....	67
Tabel 4.7	Data Hasil Pengujian X-RD Setelah <i>Sintering</i> 1400 <sup>0</sup> C .....	67
Tabel 4.8	Pembandingan Antara Data Hasil Penelitian dengan Data JCPDS-ICDD pada Mineral SiO <sub>2</sub> Fasa <i>Cristobalite</i> .....	70
Tabel 4.9	Sifat dari <i>Cristobalite</i> .....	71
Tabel 4.10	Data Hasil <i>Mesh</i> dengan Berat Awal 300 g.....	72
Tabel 4.11	Densitas dan Porositas .....	76

## NOMENKLATUR

Simbol	Definisi	Satuan
$a$	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> )