

**KARAKTERISTIK TERMAL (DTA/TGA) DAN KONDUKTIVITAS
TERMAL *CORDIERITE* ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) BERBASIS SILIKA
SEKAM PADI AKIBAT PENAMBAHAN MgO (0, 10, 15%berat)**

(Skripsi)

Oleh

ANNISA RIZKA AMALIA



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK TERMAL (DTA/TGA) DAN KONDUKTIVITAS TERMAL *CORDIERITE* ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI AKIBAT PENAMBAHAN MgO (0, 10, 15%berat)

Oleh

Annisa Rizka Amalia

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan MgO pada karakteristik fisik *cordierite* yang disintesis dari silika sekam padi, MgO dan Al_2O_3 . *Cordierite* dibuat dengan menggunakan reaksi *solid state* dengan rasio molar MgO: Al_2O_3 : SiO_2 sebanyak 2: 2: 5, kemudian MgO ditambahkan untuk menghasilkan sampel dengan penambahan 10 dan 15% MgO. Sampel dilakukan sintering pada suhu 1250°C selama 3 jam. Selanjutnya sampel dikarakterisasi untuk menentukan konduktivitas termal, densitas, porositas dan penyusutan. Nilai konduktivitas termal diperoleh pada rentang 2,91-3,16 (W/m.K). Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa penambahan MgO pada *cordierite* meningkatkan konduktivitas termal dan porositas, sedangkan untuk densitas dan penyusutan menalami penurunan.

Kata Kunci: *Cordierite*, magnesium oksida, metode padatan, silika sekam padi.

ABSTRACT

THERMAL CHARACTERISTIC (DTA/TGA) AND THERMAL CONDUCTIVITY OF CORDIERITE ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) BASED RICE HUSK SILICA EFFECT ADDITION OF MgO (0, 10, 15wt%)

By

ANNISA RIZKA AMALIA

This study was carried out to investigate the effect of MgO addition on some physical characteristics of cordierite synthesized from rice husk silica, MgO, and Al_2O_3 . Cordierite was prepared using solid state reaction with the molar ratio of MgO : Al_2O_3 : SiO_2 of 2 : 2 : 5, and then extra MgO was added to produce the samples with 10 and 15 % MgO addition. The samples were subjected to sintering treatment at 1250°C for 3 hours. The samples were further characterized to determine thermal conductivity, density, porosity, and shrinkage. Thermal conductivity values obtained are in the range of 2.91-3.16 (W/m.K). Overall it was found that addition of MgO to cordierite increased thermal conductivity and porosity, while for density and shrinkage the opposite is true.

Keywords: Cordierite, magnesium oxide, rice husk silica, solid state method.

**KARAKTERISTIK TERMAL (DTA/TGA) DAN KONDUKTIVITAS
TERMAL *CORDIERITE* ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) BERBASIS SILIKA
SEKAM PADI AKIBAT PENAMBAHAN MgO (0, 10, 15% berat)**

Oleh

ANNISA RIZKA AMALIA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

: **KARAKTERISTIK TERMAL (DTA/TGA) DAN KONDUKTIVITAS TERMAL CORDIERITE ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) BERBASIS SILIKA SEKAMPADI AKIBAT PENAMBAHAN MgO (0, 10, 15% berat)**

Nama Mahasiswa

: **Annisa Rizka Amalia**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1217041007**

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Prof. Simon Sembiring, Ph.D.

NIP 19801010 200510 1 002

Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.

NIP 19590706 198811 1 001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Arif Surtoto, S.Si., M.Si., M.Eng.

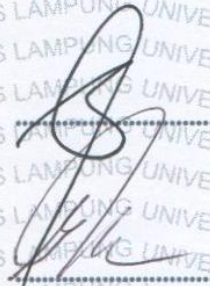
NIP 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

Tim Penguji

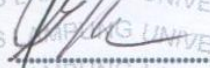
Ketua

: Prof. Simon Sembiring, Ph.D.



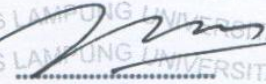
Sekretaris

: Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.



Penguji

Bukan Pembimbing : Prof. Posman Manurung, Ph.D.



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 02 November 2016

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, September 2016



Annisa Rizka Amalia
NPM. 1217041007

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 23 Oktober 1994, anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Wasiman dan Ibu Mukayanah. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Al-Fajar Sukarame, Bandar Lampung pada tahun 2000, SDN 2 Way Dadi, Bandar Lampung pada 2006, SMPN 21 Bandar Lampung pada 2009 dan SMAN 6 Bandar Lampung pada 2012.

Selanjutnya, pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus antara lain sebagai Garuda BEM FMIPA Unila, Anggota Bidang Keputrian ROIS FMIPA Unila pada 2012/2013, Anggota Bidang Kesekretariatan Himafi FMIPA Unila pada 2013/2014. Penulis pernah melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik (BBKKP), Yogyakarta. Penulis melakukan KKN di Lampung Timur tepatnya di Kecamatan Marga Tiga, Desa Negeri Agung. Selanjutnya Penulis melakukan penelitian dengan judul "***Karakteristik Termal (DTA/TGA) dan Konduktivitas Termal Cordierite (2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂) Berbasis Silika Sekam Padi akibat Penambahan MgO (0, 10, 15%berat)***" sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

MOTTO

**“Lakukan yang Terbaik untuk Hari Ini,
Teruslah Berusaha dan Berdo’a.
Bersemangatlal dan Jangan Pernah
Menyerah!!”**

Kuniatkan Karya Kecilku Ini Karena

ALLAH SWT

Kupersembahkan Karya Ini Untuk:

Kedua Orang Tua dan Keluarga, yang Selalu Mendo'akan
dan Mendukungku

Dosenku, yang Mengajarkan Banyak Ilmu, Mendidik dan
Membimbingku

Sahabat dan Teman Seperjuangku

Almamater Tercinta.

“Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Karakteristik Termal dan Konduktivitas Termal *Cordierite* (2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂) Berbasis Silika Sekam Padi akibat Penambahan MgO (0, 20, 15%berat)”. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.**

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, September 2016

Penulis,

Annisa Rizka Amalia

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas kuasa-Nya penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D sebagai pembimbing I yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D sebagai pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan-masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Prof. Posman Manurung, Ph.D sebagai penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Drs Ediman Ginting, M.Si sebagai Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku ketua jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Prof. Drs. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

7. Para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Kedua orang tuaku Bapak Wasiman dan Ibu Mukayanah yang tiada henti memberiku semangat dan doa.
9. Saudara tersayang Adik Hafiz Aji Kusuma, terimakasih untuk setiap hal yang telah diberikan.
10. Sahabat terkasih: Arizka, Aprilia, Mia, Anny Ayu, Emmy, Fidelia, Icsni dan Revi, terimakasih atas semangat, doa dan semua bantuan yang telah diberikan.
11. Teman-teman satu tim: Adelia, Anggita, Fransiska, Juniati dan Mirawati yang telah membantu dan menjadi teman diskusi yang baik.
12. Teman–teman Jurusan Fisika angkatan 2012 serta kakak-kakak dan adik-adik tingkat yang membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan tugas akhir.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta memberkahi hidup kita. Amin.

Bandar Lampung, September 2016

Penulis,

Annisa Rizka Amalia

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWANCANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	5
F. Sistematika Penulisan.	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. <i>Cordierite</i>	7
1. Keramik <i>Cordierite</i>	7
2. Karakteristik <i>Cordierite</i>	8
3. Struktur <i>Cordierite</i>	8
4. Aplikasi <i>Cordierite</i>	9
5. Sintesis <i>Cordierite</i>	10
B. Silika	11
1. Definisi Silika	11
2. Struktur Silika.....	11
3. Karakteristik silika.....	12
C. Magnesium Oksida (MgO)	13
1. Mineral MgO.	13
2. Struktur Kristal MgO	14
3. Aplikasi MgO.....	14
4. Karakteristik MgO.....	15
D. Alumina (Al ₂ O ₃)	16
1. Struktur Alumina	16
2. Karakteristik Alumina.....	16
E. Karakteristik <i>Spinel</i> (MgAl ₂ O ₄).....	17
F. Karakteristik <i>Forsterite</i> (MgAl ₂ O ₄).....	17
G. Pengaruh Penambahan Bahan pada <i>Cordierite</i>	18
1. Pengaruh Penambahan MgO pada <i>Cordierite</i>	18
2. Pengaruh Penambahan Alumina pada <i>Cordierite</i>	21
H. Ekstraksi Silika Sekam Padi	22
I. Metode <i>Sol Gel</i>	23
J. Sintering.....	24
K. Karakterisasi Material Keramik.....	25
1. Densitas dan Porositas	25
2. Penyusutan	26
3. Konduktivitas Termal	27
4. Analisis Termal dengan DTA/TGA.....	27

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu penelitian.....	30
B. Bahan dan Alat Penelitian	30
C. Preparasi Bahan	31
1. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi	31
2. Preparasi <i>Cordierite</i>	32
3. Preparasi Paduan <i>Cordierite</i> -MgO.....	33
D. <i>Pressing</i>	33
E. Sintering	34
F. Densitas dan Porositas.....	34
G. Penyusutan (<i>Shrinkage</i>).....	35
H. Uji Konduktivitas Termal.....	35
I. Analisis Sampel Menggunakan DTA/TGA	36

J. Diagram Alir.....	37
----------------------	----

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengantar.....	41
B. Hasil Ekstraksi Silika.....	41
C. Hasil Sintesis <i>Cordierite</i>	43
D. Proses Peletisasi, Sintering dan Karakterisasi	45
E. Pengaruh Penambahan MgO terhadap Karakteristik Termal (DTA/TGA)	47
F. Pengaruh Penambahan MgO terhadap Densitas dan Porositas.....	52
G. Pengaruh Penambahan MgO terhadap Penyusutan (<i>Shrinkage</i>)	54
H. Pengaruh Penambahan MgO terhadap Konduktivitas Termal.....	56

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	59
B. Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kristal <i>cordierite</i>	9
2. Struktur silika tetrahedral	12
3. Struktur kristal MgO.....	14
4. Skematik perangkat DTA.	28
5. Pengukuran konduktivitas termal.	36
6. Instrumen DTA/TGA.....	37
7. Diagram alir pembuatan serbuk silika.	38
8. Diagram alir pembuatan serbuk <i>cordierite</i>	39
9. Diagram alir pembuatan serbuk paduan <i>cordierite</i> -MgO.....	39
10. Diagram alir pembuatan dan karakterisasi sampel <i>cordierite</i> dengan penambahan MgO.....	40
11. (a) Sekam padi yang dididihkan (b) <i>Sol</i> silika yang disaring menggunakan kertas saring.....	42
12. (a) <i>Sol</i> silika (b) <i>Gel</i> silika	43
13. Proses penggerusan padatan silika.....	43
14. Proses penyaringan serbuk	44
15. Proses pencampuran <i>cordierite</i> dan MgO.	45

16. Serbuk paduan <i>cordierite</i> -MgO.....	45
17. Proses peletisasi.....	46
18. Hasil peletisasi (a) Sebelum sintering (b) Sesudah sintering.....	46
19. Proses sintering pada suhu 1250°C	46
20. Proses karakterisasi konduktivitas termal.....	47
21. Grafik perbedaan TGA pada <i>cordierite</i> dengan penambahan MgO 0%(a) 10%(b) dan 15%(c).....	48
22. Analisis termal DTA keramik <i>cordierite</i> paduan MgO 0%(a), 10%(b) dan 15%(c).....	49
23. Pengaruh penambahan MgO terhadap densitas dan porositas sampel <i>cordierite</i>	53
24. Pengaruh penambahan MgO terhadap nilai penyusutan sampel <i>cordierite</i>	55
25. Pengaruh penambahan MgO terhadap konduktivitas termal sampel <i>cordierite</i>	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik <i>cordierite</i>	8
2. Bentuk kristal utama silika	12
3. Karakteristik silika amorf	13
4. Karakteristik MgO	15
5. Karakteristik alumina	17
6. Karakteristik <i>spinel</i>	17
7. Karakteristik <i>forsterite</i>	18
8. Komposisi massa campuran <i>cordierite</i> dan MgO	44
9. Analisis TGA sampel <i>cordierite</i> dengan penambahan MgO	48
10. Analisis DTA sampel <i>cordierite</i> dengan penambahan MgO	49
11. Hasil uji densitas dan porositas sampel <i>cordierite</i>	52
12. Hasil uji penyusutan sampel <i>cordierite</i>	54
13. Hasil uji konduktivitas termal sampel <i>cordierite</i>	56

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Cordierite merupakan keramik dengan material pembentuknya adalah SiO_2 , Al_2O_3 dan MgO , dengan rumus molekul $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ atau $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ (Kingery dkk, 1976). *Cordierite* memiliki jumlah yang tidak melimpah di alam, hanya ditemukan pada batuan yang telah mengalami metamorfosis seperti batuan lumpur, batuan vulkanik dan batuan beku (Carey dan Novrotsky, 1992) sehingga perlu dilakukan sintesis *cordierite*. Metode yang digunakan dalam mensintesis *cordierite* antara lain metode padatan (*solid state*), peleburan (*melting*) dan *sol gel*. Dalam penelitian ini, digunakan metode *solid state* untuk mensintesis *cordierite*. Metode *solid state* merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan keramik homogen dengan cara mereaksikan bahan-bahan penyusunnya dalam bentuk padatan (Kurama dan Kurama, 2006). Metode *solid state* memiliki beberapa keuntungan, yaitu tidak memerlukan banyak prekursor dan metodenya cukup mudah dan sederhana, namun pada metode ini digunakan suhu yang relatif tinggi.

Cordierite dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, salah satunya yaitu sebagai bahan refraktori tinggi. Keramik refraktori merupakan material keramik yang mampu digunakan pada suhu tinggi tanpa terjadi perubahan bentuk maupun

struktur kristalnya (Stephen dkk, 1992). *Cordierite* memiliki ekspansi termal yang rendah $1,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, sehingga memiliki *thermal shock* yang sangat baik (Goren, 2006) dan memiliki konduktivitas termal yang cukup stabil pada suhu kamar 18 W/m.K (Quakertown, 2007). Namun *cordierite* memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi yang masih cukup rendah yaitu sekitar 1460°C (Quakertown, 2007), jika diaplikasikan sebagai bahan dengan ketahanan panas yang baik seperti isolator.

Pada penelitian ini, magnesium oksida (MgO) ditambahkan sebagai bahan paduan *cordierite*. Magnesium oksida memiliki titik leleh yang tinggi yaitu berkisar sekitar 2800°C sehingga magnesium oksida stabil pada temperatur tinggi, memiliki konduktivitas panas yang cukup baik yaitu 42 W/m.K (Charles, 2001). Magnesium oksida ditambahkan pada bahan *cordierite* dengan harapan diperoleh sifat yang lebih baik pada *cordierite*, seperti lebih tahan terhadap suhu tinggi dan konduktivitas panas yang lebih baik.

Bahan utama yang digunakan dalam mensintesis *cordierite* antara lain magnesium oksida (MgO), alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2). Silika yang digunakan adalah silika hasil ekstraksi sekam padi, karena sumbernya yang melimpah dan mudah didapatkan. Menurut penelitian sebelumnya, silika hasil ekstraksi sekam padi memiliki tingkat kemurnian silika hingga 95% (Della dkk, 2002). Silika yang terdapat di dalam sekam padi memiliki sifat amorf, memiliki ukuran yang sangat halus dan sangat reaktif (Chandrasekhar, 2003). Silika amorf dapat memberikan kekuatan keramik yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan silika kristalin (Hanafi, 2010).

Metode ekstraksi didasarkan pada kelarutan silika amorf yang besar dalam larutan alkali seperti NaOH, KOH, dan Na₂CO₃. Sedangkan untuk menghilangkan zat-zat inorganik dalam sekam padi seperti mineral-mineral dalam jumlah yang sedikit dilakukan dengan perlakuan asam menggunakan HNO₃, H₂SO₄ dan HCl (Chakraverty, 1988). Dalam penelitian ini digunakan senyawa alkali NaOH sebagai media pengekstraksiannya dan penambahan larutan asam yang digunakan adalah HNO₃.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik termal, konduktivitas termal dan sifat fisis *cordierite* akibat penambahan MgO (0, 10, 15%berat). *Cordierite* disintesis dengan campuran bahan dasar MgO, Al₂O₃ dan silika sekam padi dengan metode *solid state* dan disintering pada suhu 1250°C. Untuk mengetahui karakteristik termal *cordierite*, digunakan *Differential Thermal Analysis/Thermo Gravimetry Analysis* (DTA/TGA) dan untuk mengetahui sifat fisis *cordierite* dilakukan analisis penyusutan (*shrinkage*), densitas dan porositas.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh penambahan MgO (0, 10, 15%berat) terhadap karakteristik termal bahan *cordierite* yang dianalisis menggunakan DTA/TGA?

- b. Bagaimana pengaruh penambahan MgO terhadap konduktivitas termal bahan *cordierite*?
- c. Bagaimana pengaruh penambahan MgO terhadap sifat fisis (penyusutan, densitas dan porositas) bahan *cordierite*?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui karakteristik termal bahan *cordierite* akibat penambahan MgO (0, 10, 15% berat) yang disintering pada suhu 1250°C.
- b. Mengetahui konduktivitas termal bahan *cordierite* akibat penambahan MgO yang disintering pada suhu 1250°C.
- c. Mengetahui sifat fisis (penyusutan, densitas dan porositas) bahan *cordierite* akibat penambahan MgO.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Silika yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika dari sekam padi diekstraksi dengan larutan NaOH 1,5%, dan diendapkan dengan larutan asam HNO₃ 10%.
- b. *Cordierite* disintesis dengan campuran bahan dasar MgO, Al₂O₃ dan silika sekam padi dengan menggunakan metode padatan (*solid state*).
- c. MgO ditambahkan pada *cordierite* dengan variasi 0, 10 dan 15% berat disintering pada suhu 1250°C.

- d. Analisis yang dilakukan meliputi analisis termal, konduktivitas termal dan sifat fisis bahan *cordierite*.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai bahan referensi dalam mensintesis *cordierite* berbasis silika sekam padi.
- b. Sebagai acuan dalam pengetahuan mengenai paduan bahan alternatif lain dalam meningkatkan ketahanan dan konduktivitas panas.
- c. Bahan referensi mengenai karakteristik termal dari setiap perubahan yang terjadi pada sampel.

F. Sistematika Penulisan

BAB I. PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan teori dasar mengenai informasi ilmiah tentang ekstraksi silika sekam padi, silika, *cordierite*, MgO, sintering, densitas, porositas, penyusutan, konduktivitas termal, DTA/TGA.

BAB III. METODE PENELITIAN

Berisi waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, menjelaskan prosedur penelitian serta diagram alir penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang hasil analisis dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB V. KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan juga berisi saran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Cordierite*

1. Keramik *Cordierite*

Cordierite merupakan jenis keramik oksida yang dibentuk dari tiga macam oksida yaitu MgO, Al₂O₃ dan SiO₂ dengan formula 2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂. Mekanisme pembentukan *cordierite* melalui reaksi padatan oksida-oksida pada suhu tinggi sekitar 1100°C-1200°C (Charles, 2001). Beberapa jenis *cordierite* lain juga terdapat di alam antara lain enstatit (MgSiO₃), tremolit (Ca₂Mg₅(Si₄O₁₁)(OH)₂), muskovit (KAl₂(Si₃AlO₁₀)(OH)₂), beril (Be₃Al₂Si₆O₁₈) (Clyde dan Selbin, 1962), kaolin [(Al₂SiO₅OH)₄], talk [Mg₃(Si₂O₅)(OH)₂], kwarsa (SiO₂) serta bahan-bahan lain yang dapat dibeli di pasaran, seperti Al(OH)₃, Al₂O₃, MgCO₃, dan aerosol (Charles, 2001).

Cordierite merupakan salah satu material keramik yang berbasis silika, beberapa sifat spesifik yang dimiliki *cordierite* antara lain mempunyai koefisien ekspansi termal dan konduktivitas yang rendah, memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, resistivitas tinggi (Naskar and Charterjee, 2004).

2. Karakteristik *Cordierite*

Cordierite memiliki ciri-ciri sifat fisik yaitu bentuk padatan atau serbuk berwarna putih, biru muda, violet dan kuning (Quakertown, 2007). Karakteristik *Cordierite* lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

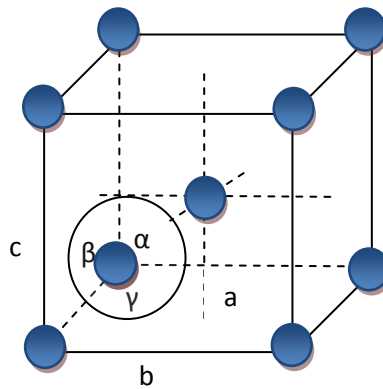
Tabel 1. Karakteristik *cordierite* (Quakertown, 2007).

Karakteristik	Nilai
Konduktivitas termal (W/m.K)	18
Konduktivitas listrik (S/cm)	$10^{-12} - 10^{-14}$
Kekerasan (kgf/mm ²)	700 – 800
Densitas (gr/cm ³)	2,5-2,7
Titik lebur (°C)	1460

Cordierite adalah bahan yang tidak radioaktif, mempunyai sifat yang keras dan getas. Berdasarkan karakteristik pada Tabel 1, *cordierite* sangat baik digunakan sebagai isolator suhu tinggi (Smallman dan Bishop, 2000).

3. Struktur *Cordierite*

Cordierite dapat dibentuk dari pencampuran oksida-oksida logam antara lain *magnesium oxide* (MgO), *aluminium trioxide* (Al₂O₃), dan *silicon dioxide* (SiO₂), *ferrum trioxide* (Fe₂O₃), dan *calcium oxide* (CaO) (Trumbulvoic, 2003). Dari penelitian sebelumnya, diketahui bahwa *cordierite* memiliki parameter sel $a = 17,03 \text{ \AA}$, $b = 9,67 \text{ \AA}$, $c = 9,35 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Cohen 1997). Bentuk kristal *cordierite* adalah *orthorhombic* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur kristal *orthorhombic* (Hammond, 2009).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Naskar dan Chatterjee (2004) menunjukkan bahwa pertumbuhan kristal *cordierite* dari sumber silika berasal dari sekam padi terjadi secara berkelanjutan yaitu pertumbuhan *crystalite* dan *spinel* ($MgAl_2O_4$). Morfologi dari partikel yang diamati dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

4. Aplikasi *Cordierite*

Cordierite merupakan bahan refraktori tinggi (Ganguli dan Chatterjee, 1997), sehingga sudah banyak diaplikasikan sebagai penukar panas, bahan *furnace* dan bahan pelapis logam (Lin dan Wang, 1995). Penelitian sebelumnya telah mempelajari perilaku ekspansi termal keramik *cordierite* sebagai pelapis peralatan elektronik pada fase gelas, diperoleh koefisien ekspansi termal $1,5 \times 10^{-6}/^{\circ}C$, sehingga sangat baik digunakan sebagai bahan isolator panas (Bridge dkk, 1985). *Cordierite* juga memiliki nilai konstanta dielektrik $\epsilon = 5-6$ (Mussler dan Shafter, 1984) dan nilai resistivitas (ρ) $> 10^{12} \Omega cm$, sehingga keramik *cordierite* sangat baik digunakan sebagai bahan isolator listrik tegangan tinggi (Bridge dkk, 1985).

Selain itu, *cordierite* memiliki kestabilan termal dan daya tahan terhadap kimia yang tinggi (Bragmann dan Goncalves, 2006; Mussler dan Shafer, 1984), memiliki kapasitas induksi yang rendah serta resistansi tinggi (Trumbulvoic, 2003) dan merupakan bahan yang cocok untuk pembuatan piranti elektronik (Naskar dan Chatterjee, 2004).

5. Sintesis *Cordierite*

Keramik *cordierite* dapat disintesis dari bahan baku silika. Silika yang digunakan dapat dihasilkan dari berbagai sumber seperti *Tetraethylortosilikat* (TEOS), *Tetramethylortosilikat* (TMOS), dan sekam padi. Pada penelitian yang telah dilakukan, *cordierite* disintesis dengan menggunakan bahan baku kaolinite-alumina-talk melalui reaksi padatan (*solid state reaction*) menunjukkan bahwa *cordierite* terbentuk pada optimum suhu sintering 1350°C dan mengalami transformasi dari μ -*cordierite* ke α -*cordierite* terjadi pada suhu 1250°C (Kurama dan Kurama, 2006).

Selain itu, penelitian sebelumnya mempelajari evolusi fasa *cordierite* yang dibuat dari bahan magnesium nitrat, aluminium nitrat dengan sumber silika dari TEOS dan *fumed silica*. Hasil yang dilaporkan adalah pada suhu sintering 1300°C fasa yang dominan adalah α -*cordierite* dengan tambahan minor μ -*cordierite* dan MgAl_2O_4 *spinel*, kemudian setelah sintering pada suhu 1400°C fasa yang diperoleh adalah fasa tunggal α -*cordierite* (Naskar dan Chatterjee, 2004).

B. Silika

1. Definisi Silika

Silika adalah senyawa kimia dengan rumus molekul SiO_2 (*silicon dioxide*) yang dapat diperoleh dari silika mineral, nabati dan sintesis kristal. Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang atau galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2) (Bragmann dan Goncalves, 2006). Selain terbentuk secara alami, silika dengan struktur kristal tridimit dapat diperoleh dengan cara memanaskan pasir kuarsa pada suhu 870°C dan bila pemanasan dilakukan pada suhu 1470°C dapat diperoleh silika dengan struktur kristobalit (Cotton dan Wilkinson, 1989). Silika juga dapat dibentuk dengan mereaksikan silikon dengan oksigen atau udara pada suhu tinggi (Iler, 1979).

Silika murni terdapat dalam dua bentuk yaitu kuarsa dan kristobalit. Silikon selalu terikat secara tetrahedral kepada empat atom oksigen, namun ikatan-ikatannya mempunyai sifat yang cukup ionik. Dalam kristobalit, atom-atom silikon ditempatkan seperti halnya atom-atom karbon dalam intan dengan atom-atom oksigen berada di tengah dari setiap pasangan (Cotton dan Wikinson, 1989).

2. Struktur Silika

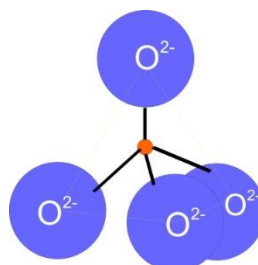
Pada umumnya silika adalah dalam bentuk amorf terhidrat, namun bila pembakaran berlangsung terus-menerus pada suhu diatas 650°C maka tingkat kristalinitasnya akan cenderung naik dengan terbentuknya fasa *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* (Hara, 1986). Bentuk struktur *quartz*, *crystobalite* dan

tridymite yang merupakan jenis kristal utama silika memiliki stabilitas dan kerapatan yang berbeda (Brindley dan Brown, 1980). Ketiga tipe tersebut masing-masing mempunyai dua struktur, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Bentuk kristal utama silika (Smallman dan Bishop, 2000).

Bentuk	Rentang Stabilitas(°C)	Struktur
Kristobalit	1470-1723	β - (kubik) α - (tetragonal)
Tridimit	870-1470	β - (heksagonal) α - (ortorombik)
Kuarsa	<870	β - (heksagonal) α - (trigonal)

Silikon dioksida terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat, empat atom oksigen terikat pada posisi sudut *tetrahedral* di sekitar atom pusat yaitu atom silikon. Berikut ini struktur lokal dari silikon dioksida yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur silika tetrahedral (Egger, 2006).

3. Karakteristik Silika

Karakteristik silika dapat dikendalikan meliputi jenis kekeristalan yang variatif dan porositas, ukuran partikel, luas permukaan dengan homogenitas tinggi dan kestabilan termal yang bervariasi hingga mencapai kestabilan termal. Karakteristik silika amorf diperlihatkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik silika amorf (Surdia dkk, 2000).

Karakteristik	Nilai
Konduktivitas termal (W/m.K)	1,89 - 3,61
Konduktivitas listrik (S/cm)	10^{-12}
Kekerasan (kgf/mm ²)	650
Densitas (gr/cm ³)	2,6
Titik lebur (°C)	1600

C. Magnesium Oksida (MgO)

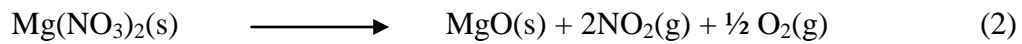
1. Mineral MgO

Magnesium Oksida (MgO) atau *periclase* merupakan mineral padatan putih higroskopis. Mayoritas magnesium oksida (MgO) yang dihasilkan diperoleh dari pengolahan mineral alami seperti *magnesite* (MgCO₃), magnesium *chloride* (MgCl₂), dan air laut (Gana, 2010).

Magnesium oksida banyak diperoleh dari magnesit yang mengandung antara 88-98% MgO, dengan berbagai jumlah alumina, kalsium, zat besi, dan kotoran silika didalamnya (Kramer, 2000). Untuk menghasilkan MgO, magnesit (MgCO₃) didekomposisikan melalui pemanasan yang menghasilkan MgO dan gas karbon dioksida. Reaksi dekomposisi MgCO₃ dapat dilihat pada persamaan 1:



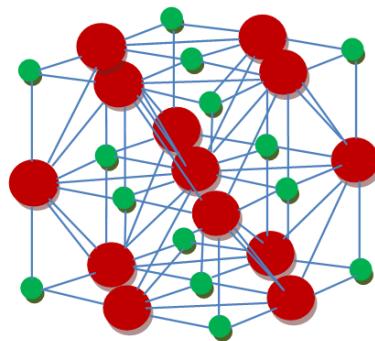
Reaksi yang terjadi adalah endotermik (menyerap panas), maka panas harus diberikan untuk kelangsungan dekomposisi. Bahan lain yang dapat digunakan untuk mendapatkan MgO adalah magnesium nitrat dengan rumus kimia Mg(NO₃)₂. Melalui proses pemanasan, reaksi magnesium nitrat dapat dilihat pada persamaan 2:



Pada saat pemanasan terjadi penguraian senyawa nitrat menjadi gas NO_2 , sehingga terbentuk senyawa MgO (Fu dan Song 1999).

2. Struktur Kristal MgO

MgO memiliki berat molekul sebesar 40,30 gr/mol (Lide, 1995), tipe struktur NaCl , *space group* $Fm-3m$ dengan parameter sel $a = b = c = 4,2112 \text{ \AA}$ dengan sudut $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. MgO mempunyai struktur kristal kubik dengan sistem kristal *Face Center Cubic* (FCC) dengan jari-jari atom Mg^{2+} sebesar $0,75 \text{ \AA}$ dan O^{2-} sebesar $1,35 \text{ \AA}$. Struktur kristal MgO dapat dilihat pada Gambar 3. Mg^{2+} ditunjukkan dengan warna hijau sedangkan untuk O^{2-} warna merah.



Gambar 3. Struktur kristal MgO (Villars dan Calvert, 1991).

3. Aplikasi MgO

Tingginya tingkat kemurnian MgO hasil produksi dari air laut atau air garam, membuat penggunaan MgO bervariasi. Sekitar 65% dari total konsumsi, MgO cenderung digunakan untuk keperluan refraktori atau industri karena titik leburnya yang tinggi. Selain itu, pemanfaatan MgO juga didasarkan pada sifat resistivitas

listrik yang baik sehingga dapat digunakan sebagai bahan isolator listrik, seperti bahan pembuat elemen pemanas, lapisan tungku baja, mesin las, dan dalam sirkuit rangkaian optik (Kramer, 2000; Lacson dkk, 2000). Dalam dunia industri, MgO memiliki beberapa karakteristik yang menarik, seperti tahan api, tahan air, dan kekuatan patah yang baik yakni sekitar $2,5 \text{ Mpa.m}^{1/2}$ sehingga dapat digunakan sebagai bahan konstruksi. MgO juga mampu menetralkan asam oksida sulfur dalam pengolahan kertas dapat meningkatkan kualitas kertas.

4. Karakteristik MgO

Magnesium oksida stabil dalam atmosfer oksida hingga 2300°C dan 1700°C dalam atmosfer reduksi. Sifat fisik magnesium oksida adalah titik lebur 2800°C , entalpi pembentukan $298 \text{ K} = -14900 \text{ KJ/kg}$. Adapun sifat fisik dan karakteristik dari magnesium oksida dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik MgO (Charles, 2001).

Karakteristik	Nilai
Konduktivitas termal (W/m.K)	42
Konduktivitas listrik (S/cm)	$4,2 \times 10^{-5}$
Kekerasan (kgf/mm)	561-612
Densitas (gr/cm^3)	3,65
Titik lebur ($^\circ\text{C}$)	2800

Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa tingginya temperatur leleh pada MgO yaitu sebesar 2800°C membuat MgO menjadi salah satu material baku yang penting di bidang keramik tahan panas, produk keramik tahan panas atau api ini hampir sebagian besar dipasok dari luar negeri. Umumnya material bukunya diperoleh dari hasil pertambangan (Gana, 2010).

D. Alumina (Al_2O_3)

1. Struktur Alumina

Aluminium oksida (alumina) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Secara umum alumina ditemukan dalam tiga fasa, yang dikenal sebagai γ , β , dan α alumina. Alfa alumina (α - Al_2O_3) mempunyai struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi $a = 4,758 \text{ \AA}$ dan $c = 12,982 \text{ \AA}$. Alfa alumina banyak digunakan sebagai salah satu bahan refraktori dari kelompok oksida, karena bahan tersebut mempunyai sifat fisik, mekanik dan termal yang sangat baik (Mirjalili dkk, 2011).

Alumina bersifat polimorfi yaitu memiliki beberapa bentuk struktur kristal tetapi dengan formula yang sama Al_2O_3 . Macam dari alumina antara lain: δ - Al_2O_3 , θ - Al_2O_3 dan α - Al_2O_3 (Sijabat, 2007). Bentuk alumina yang paling umum dan stabil adalah korundum atau α - Al_2O_3 (Timnings, 1991).

2. Karakteristik Alumina

Karakteristik alumina diantaranya yaitu memiliki kekuatan mekanik (*flexural strength*), kekakuan, dan kekerasan yang tinggi, ketahanan terhadap serangan kimia dari asam kuat dan alkali hingga suhu yang tinggi. Selain itu, alumina juga memiliki ketahanan pakai yang tinggi, koefisien ekspansi termal yang rendah, sifat isolasi dan konduktivitas termal yang baik, koefisien ekspansi termal yang rendah, struktur pori-pori yang besar, mudah dibentuk dan memiliki kemurnian yang tinggi hingga 99,99%, partikel yang halus dan homogen (Fujiwara dkk, 2007). Berikut adalah karakteristik alumina yang diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik alumina (Kostorz, 1988).

Parameter	Nilai
Konduktivitas termal (W/mK)	24-26
Konduktivitas listrik (S/cm)	$7,8 \times 10^{-2}$
Kekerasan (kgf/mm ²)	1500-1800
Densitas (gr/cm ³)	3,96
Titik lebur (°C)	2050

E. Karakteristik *Spinel*

Spinel (MgAl₂O₄) dikenal sebagai material refraktori yaitu material yang memiliki daya tahan terhadap temperatur tinggi dengan titik leleh 2135°C, tahan korosi dan memiliki resistivitas listrik yang baik (Valdez dan Aquiler, 1997). Sifat dan karakteristik fasa *spinel* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik *spinel* (Charles, 2001).

Parameter	Nilai
Konduktivitas termal (W/(m.K))	7,6-15
Konduktivitas listrik (S/cm)	$4,92 \times 10^{-13}$
Densitas (gr/cm ³)	3,6
Kekerasan (kgf/cm)	1326
Titik lebur (°C)	2135

Spinel mempunyai kekuatan mekanik yang baik, titik lebur tinggi, bersifat termal, kimia dan optik. *Spinel* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti metalurgi, kimia, katalisis, dan elektronik (Zawrah, 2007).

F. Karakteristik *Forsterite*

Forsterite dikenal dengan rumus kimia Mg₂SiO₄. *Forsterite* memiliki karakteristik diantaranya berwarna hijau, kuning, hijau kuning, dan putih, *streak* (lapisan), berwarna putih, kekuatan lentur (*bending strength*) dan ketangguhan

patah (*fracture toughness*) *forsterite* masing-masing sebesar 203 MPa dan 2,4 MPa.m^{1/2}. Struktur kristal dari *forsterite* adalah *orthorhombik* dengan *cell dimensions* terdiri dari a= 4,756 Å, b= 10,195 Å, c= 5,981 Å (Robert, 1976).

Karakteristik *forsterite* lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Karakteristik *forsterite* (Mg₂SiO₄) (Charles, 2001).

Karakteristik <i>Forsterite</i>	Nilai
Konduktivitas termal (W/m.K)	3,3-4,6
Konduktivitas listrik (S/cm)	1x10 ⁻⁴
Kekerasan (kgf/mm ²)	724
Densitas (gr/cm ³)	2,9-3,22
Titik lebur (°C)	1890

G. Pengaruh Penambahan Bahan terhadap *Cordierite*

1. Pengaruh Penambahan MgO terhadap *Cordierite*

Pada penelitian yang dilakukan oleh Banjuraizah dkk (2011), analisis DTA menunjukkan bahwa puncak kristalisasi menjadi lebih intens dan lebih tinggi dengan semakin meningkatnya jumlah MgO. Analisis DTA dengan penambahan MgO, ditunjukkan dibawah kondisi nonisothermal. Hanya terdapat satu puncak eksotermik yang hadir dalam sampel. Sebuah puncak endotermik merupakan suhu transisi (T_g), tidak hadir dibawah kondisi pada percobaan. Ketidakhadiran puncak endotermik disebabkan aktivitaas yang tinggi dari sampel. Puncak eksotermik menunjukkan tahap kristalisasi tertentu. Puncak eksotermal dapat digunakan untuk menganalisis kristalisasi dari sampel.

Pada *thermogravimetri analysis* (TGA), menunjukkan persentase kehilangan berat sampel dengan penambahan mol rasio MgO terhadap temperatur. Penurunan

persentase berat pertama terjadi pada kisaran suhu 20-200°C. Hal ini disebabkan oleh perpindahan fisik karena penyerapan air. Penurunan persentase berat kedua terjadi pada kisaran suhu 400-450°C. Hal ini terjadi karena proses penghilangan ikatan kimia dari air. Penurunan persentase berat ketiga terjadi pada kisaran suhu 800-1000°C yang mengacu pada densifikasi dan perilaku kristalisasi. Pengaruh penambahan rasio mol MgO pada persentase berat menunjukkan bahwa terjadi penurunan berat pada pemanasan sampai rasio 3 mol MgO dari (2 :2,4 :2,6 : 2,8 :3 :3,4 :4) mol MgO, selanjutnya persentase berat meningkat dan terjadi pembentukan *forsterite* (Banjuraizah dkk, 2011).

Pada penelitian Tang dkk (2012) dengan meningkatnya penambahan MgO, ketahanan *thermal shock* meningkat, begitu pula dengan konduktivitas termalnya. Semakin meningkatnya persentasi MgO, nilai densitas meningkat kemudian menurun secara bertahap. Sedangkan nilai porositas menurun, kemudian meningkat secara bertahap. Selanjutnya, terdapat perubahan kecil dalam ukuran butir dari keramik, dan sejumlah kecil endapan magnesium aluminat *spinel*. Penambahan MgO terhadap *cordierite* juga dapat menaikkan konstanta dielektrik dan menurunkan koefisien ekspansi termal (Banjurizah dkk, 2010).

Menurut penelitian Torres dan Javier (2005) efek penambahan MgO terhadap struktur mikro *glass*-keramik *cordierite* pada kisaran suhu antara 1160 dan 1190°C, fasa kristal yang terdeteksi adalah α -*cordierite*. Untuk jumlah yang lebih tinggi dari fasa ini, terbentuk kristal yang lebih baik dan *microhardness* tertinggi diperoleh dengan rasio MgO/CaO menengah, yaitu dengan $x = 4,6$.

Menurut Lambrinou dkk (1996) densifikasi (pemadatan) harus terjadi sebelum kristalisasi untuk mencapai kepadatan penuh karena kristalisasi akan meningkatkan viskositas berdasarkan fase kristal (s), dengan demikian akan menghambat densifikasi lanjut. Analisis densitas menunjukkan bahwa densifikasi pada *cordierite* murni memiliki nilai yang tinggi kemudian menurun drastis, selanjutnya seiring dengan meningkatnya penambahan MgO, nilai densitas semakin meningkat. Kepadatan yang tinggi pada *cordierite* murni disebabkan karena tidak lengkapnya densifikasi dan kristalisasi. Perilaku densifikasi sangat tergantung pada viskositas selama sintering. Kedua sampel dengan mol rasio MgO paling tinggi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan porositas karena adanya fase *forsterite* yang memiliki kerapatan kristal yang lebih tinggi.

Pada penelitian Banjuraizah dkk (2011) porositas tertinggi ditunjukkan oleh sampel dengan mol rasio MgO rendah yaitu 2 mol MgO dan 2,4 mol MgO. Kedua sampel memiliki porositas tinggi meskipun suhu kristalisasinya lebih tinggi dari suhu densifikasinya. Hal ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa kedua sampel disinter pada suhu yang lebih rendah dari suhu densifikasi. Selanjutnya pada analisis penyusutan, persentase penyusutan sampel dilakukan pada kondisi nonisotermal dipanaskan pada suhu tinggi (dari suhu kamar hingga 1300°C). Pengaruh penambahan mol rasio MgO diantaranya semakin meningkatnya mol rasio MgO, maka nilai persentase penyusutan semakin kecil.

2. Pengaruh Penambahan Alumina terhadap *Cordierite*

Menurut penelitian yang dilakukan Senguttuvan dkk (2001) *cordierite* dengan paduan alumina yang paling baik dihasilkan yaitu pada suhu 1380°C dengan kepadatan struktur 2,5 g cm⁻³. Menurut penelitian Smart dan Glasser (1976) paduan *cordierite* dengan α -alumina setara dengan paduan *mullite-spinel* yang sifatnya *reversible*, yaitu reaksi yang dapat balik, berjalan pada dua arah (pembentukan produk sekaligus penguraian kembali produk menjadi reaktan), tetapi reaksinya lambat.

Pada penelitian Li dkk (2014) *cordierite* dibuat dengan variasi mol alumina pada suhu 1200°C. Terjadi kenaikan densitas dan penyusutan serta penurunan porositas seiring dengan berkurangnya mol alumina pada *cordeirite*. *Cordierite* dengan variasi mol alumina pada suhu 1200°C terjadi kenaikan densitas dan penyusutan serta penurunan porositas seiring dengan berkurangnya mol alumina pada *cordeirite*. *Cordierite* merupakan fasa dominan dan muncul fasa lain seperti *sapphirine* dan *mullite*. Penelitian lain oleh Goren dkk (2005), membuat *cordierite* dengan bahan α -alumina pada suhu 1200°C. Hasil XRD menunjukkan adanya fasa α -*cordierite*, *spinel*, *corundum*, *crystalite*, dan *protoenstatite* (Li dkk, 2014).

Menurut penelitian Pinero dkk (1992), berdasarkan hasil DTA dan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa pada suhu 850-980°C, terdapat kehadiran fasa μ -*cordierite* (*hexagonal*) dengan sifat metastabil pada suhu rendah, dan fasa α -*cordierite* (*orthorhombic*) pada suhu 980-1465°C dengan sifat stabil pada suhu tinggi. Pada penelitian Salwa, (2007) fasa yang sama juga diperoleh, yaitu fasa μ -*cordierite* (*hexagonal*) dan fase α -*cordierite* (*orthorhombic*), hanya saja terdapat

kehadiran fasa lain yang lebih dominan yaitu α -Al₂O₃ (*corundum*), pada suhu 1100°C selama 3 jam. Sedangkan menurut (Marghussian dkk, 2008), dengan bertambahnya persentase alumina dan suhu sintering, akan muncul fasa baru yaitu *mullite* pada suhu 1045-1055°C.

H. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Sekam padi dapat diperoleh dengan sangat mudah, biaya yang relatif murah dan suhu yang rendah yakni dengan metode ekstraksi alkalis (Kalapathy dkk, 2000; Daifullah dkk, 2003), silika yang diperoleh melalui proses ekstraksi adalah berupa larutan *sol* dimana silika pada fasa larutan adalah fasa amorf atau mudah reaktif terhadap zat lain, bersifat porous (Khopkar, 1990) dan memiliki kehomogenitasan yang tinggi (Brinker dan Scherer, 1990).

Metode ekstaksi didasarkan pada kelarutan silika amorf yang besar dalam larutan alkali seperti KOH, Na₂CO₃ atau NaOH dan silika terlarut dapat dihasilkan dengan penambahan larutan asam seperti asam klorida (HCl), asam sitrat dan asam oksalat. Dengan metode ekstraksi, berat padatan silika yang diperoleh mencapai 10,2 gram dari 50 gram berat sekam atau 20,4% berat sekam padi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, silika yang terkandung dalam sekam padi maupun abu sekam padi sebesar 93-97% dengan ciri fisik yaitu berbentuk padatan atau serbuk yang halus, berwarna putih, memiliki daya tahan terhadap asam dan basa seperti H₂SO₄, KOH, NaOH dan HCl (Katsuki dkk, 2005).

Selain itu, silika sekam padi memiliki beberapa sifat diantaranya luas permukaan yang tinggi yaitu 232 m²/gr, ketahanan panas yang baik dan kekuatan mekanik

yang tinggi, silika sekam padi diketahui mempunyai struktur ortosilikat (Kalapathy dkk, 2000), yang mempunyai kesamaan dengan silika yang terdapat dalam TEOS atau TMOS dan silika sekam padi memiliki kelebihan dibanding dengan silika mineral yaitu memiliki butiran yang lebih halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah (Larby, 2010).

I. Metode *Sol Gel*

Proses *sol gel* merupakan proses larutan serba guna yang awalnya digunakan dalam pembuatan material anorganik seperti gelas dan keramik dengan kemurnian dan homogenitas tinggi. Proses ini meliputi transisi sistem dari fasa larutan “*sol*” menjadi fasa padat “*gel*”. Secara umum, proses *sol gel* biasanya dibagi menjadi beberapa tahap yang meliputi pembentukan larutan, pembentukan *gel*, penuaan (*aging*), pengeringan dan pemadatan (*densification*) (Brinker dan Scherer, 1990). Dengan menggunakan proses *sol gel* ini dapat diperoleh material dengan pori seragam dan luas permukaan tinggi serta dapat berlangsung pada temperatur rendah sekaligus komposisi bahan dapat langsung dikontrol dengan mudah.

Keuntungan metode *sol gel* antara lain yaitu:

- Metode *sol gel* dapat menghasilkan lapisan yang homogenitasnya tinggi, murni dan stokiometris akibat pencampuran dalam skala molekuler, sehingga dapat mengurangi suhu kristalisasi dan mencegah dari pemisahan fasa selama pemanasan (Saber dkk, 2007).
- Metode *sol gel* bisa menghasilkan partikel ukuran nano yang seragam serta peralatan yang digunakan relatif sederhana (Sunendar, 2007).

- Metode *sol gel* ini relatif mudah dilakukan, tidak memerlukan waktu yang lama dan interaksi antara padatan dan bahan yang dimobilkan relatif kuat (Sriyanti dkk, 2005).

J. Sintering

Sintering merupakan proses pengikatan secara termal yang bertujuan untuk merubah bentuk partikel-partikel kecil yang seragam sehingga membentuk ikatan yang kuat dan keras. Tujuan dari proses sintering adalah untuk menghasilkan ikatan antar partikel sehingga koheren dimana struktur padat yang terbentuk didominasi oleh mekanisme perpindahan massa pada skala atomik (Vlack, 1994).

Selama proses sintering, mekanisme perpindahan materi (difusi) dapat berlangsung melalui difusi volume, difusi permukaan, difusi batas butir, difusi secara penguapan dan kondensasi. Tiap-tiap difusi akan memberikan efek terhadap perubahan sifat fisis bahan setelah sintering, antara lain perubahan densitas, porositas, penyusutan, dan pembesaran butir. Dengan adanya difusi, maka terjadi kontak antara partikel dan terjadi suatu ikatan yang kuat diantara partikel-partikel. Selain itu terjadi juga rekonstruksi susunan partikel yang dapat menghilangkan atau mengurangi pori-pori yang berada diantara partikel. Umumnya peningkatan densitas, pengurangan dan penyusutan disebabkan karena adanya difusi volume dan difusi antar butir (Ristic, 1989).

Beberapa hal yang mempengaruhi proses sintering antara lain:

- a. Ukuran Butir

Semakin kecil ukuran butir akan menghasilkan densifikasi yang semakin baik.

Bentuk dan ukuran butir yang seragam akan memberikan densitas yang rendah.

b. Suhu dan Waktu Pembakaran

Tingkat densifikasi optimal akan tercapai bila kecepatan pembakarannya konstan hingga mencapai suhu maksimal pembakaran. Kemudian ditahan pada suhu tersebut dalam waktu tertentu.

c. Tekanan

Metode penekanan yang efektif adalah dengan hot pressing. Sehingga dapat menghasilkan kepadatan produk yang tinggi (Vlack, 2001).

K. Karakterisasi Material Keramik

1. Densitas dan Porositas

Densitas merupakan jumlah massa persatuan volume yang menunjukkan nilai kerapatan suatu bahan. Densitas terjadi akibat perpindahan partikel ketika partikel mengalami pertumbuhan butir dan perubahan bentuk butiran. Penyusutan akan terjadi ketika slip cairan antara partikel dan peningkatan tekanan pada titik kontak yang menyebabkan material menjauh dari daerah kontak dan memaksa pusat partikel untuk mendekat satu sama lain (Kingery dkk, 1976). Sedangkan porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume lubang-lubang kosong yang dimiliki oleh zat padat dengan jumlah dari volume zat padat yang ditempati oleh zat padat.

Untuk mengetahui nilai densitas dan porositas suatu bahan digunakan pengujian menggunakan prinsip Archimides dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{W_k}{W_j - W_b} \times \rho \text{ air} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{W_j - W_k}{W_j - W_b} \times 100\% \quad (4)$$

dimana:

ρ = densitas (gr/cm³)

W_k = berat sampel kering (gr)

W_j = berat sampel jenuh (gr)

W_b = berat sampel basah (gr)

$W_j - W_b$ = berat benda yang hilang (gr)

ε = porositas (%)

ρ untuk air = 1 g/cm³

2. Penyusutan

Penyusutan terjadi akibat perubahan densitas dari temperatur proses ke temperatur ruang (Amri, 2009), yang ditandai dengan berkurangnya volume, massa, dan dimensi (panjang, lebar dan tebal) suatu bahan. Penyusutan massa dapat diukur dengan menggunakan persamaan 5.

$$S = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

S = Susut massa (%)

M_0 = Massa sebelum disintering (gr)

M_1 = Massa sesudah disintering (gr).

3. Konduktivitas Termal

Konduksi termal merupakan fenomena transport yang mana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah material yang memiliki temperatur yang lebih panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah (Callister dkk, 2003) secara sederhana konduktivitas termal dapat diperoleh dari persamaan 6 dibawah ini:

$$k = \frac{Q}{t} \times \frac{L}{A \Delta T} \quad (6)$$

Besaran ini didefinisikan sebagai panas (Q), yang dihantarkan selama waktu (t) melalui ketebalan (L) dengan arah normal ke permukaan dengan luas (A) yang disebabkan oleh perbedaan temperatur (ΔT) dalam kondisi konstan.

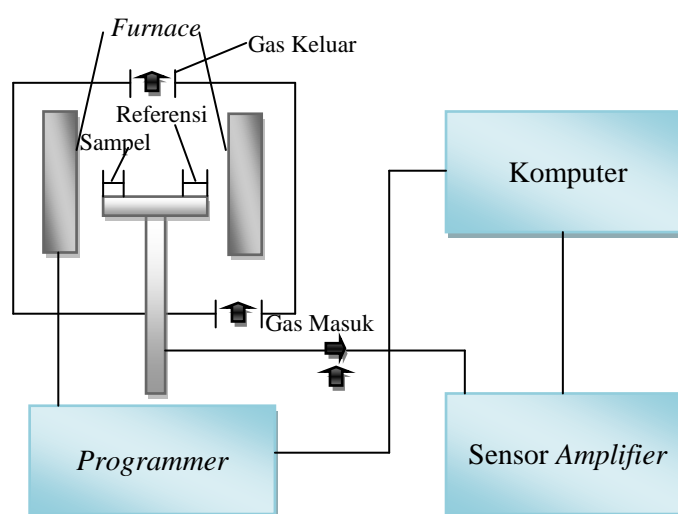
Konsep dasar konduktivitas termal adalah kecepatan dari proses difusi energi kinetik molekular pada suatu material yang menghantarkan panas. Walaupun mekanisme perambatan gerakan secara molekular pada perambatan panas hampir sama dengan perambatan dari suara dan sifat elektrik dari material itu, tetapi hanya ada sebagian dari hubungan secara teoritis yang bisa dicapai (Rafael, 2008).

4. Analisis Termal dengan DTA/TGA

Analisis termal merupakan suatu analisis yang melibatkan pengukuran sifat fisik dan sifat kimia sebagai sebuah fungsi temperatur. Teknik-teknik yang dicakup dalam metode analisis termal ini adalah analisis termometri TGA dan analisis diferensial termal DTA. Analisis DTA merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengukur perubahan kandungan panas dengan cara merekam secara terus-

menerus perbedaan temperatur antara sampel yang di uji materi pembanding yang inert sebagai suatu fungsi dari perubahan temperatur (Khopkar, 1990).

Adapun komponen peralatan utama dari DTA yaitu: pemegang sampel yang dilengkapi dengan termokopel, wadah sampel, *furnace*, program temperatur dan sistem perekam. Pada setiap pemegang sampel yaitu sampel uji dan sampel pembanding terdiri dari sebuah termokopel untuk menjamin sebuah distribusi panas yang rata. Termokopel ini tidak dapat ditempatkan secara langsung dengan sampel, hal ini digunakan untuk menghindari terjadinya kontaminasi dan degradasi. Berikut ini adalah Gambar 4 yang merupakan skema dari perangkat DTA.



Gambar 4. Skematik perangkat DTA (Bhadesia, 2002).

Adapun cara untuk memperoleh data DTA yaitu keadaan sebuah tabung yang berisi sampel (berdiameter 2 mm, kapasitas 0,1-10 mg sampel) dimasukkan sebuah termokopel sangat tipis, begitu juga selanjutnya, hal yang sama juga dilakukan pada tabung atau wadah yang berisi sampel pembanding. Untuk pemanasan atau wadah yang berisi sampel pembanding. Untuk pemanasan atau

pendinginan sampel dilakukan dengan laju seragam. Untuk memperoleh hasil data yang produksibel maka materi sampel harus halus yaitu dengan ukuran 100 *mesh* (Khopkar, 1990).

Sedangkan hasil pengukuran antara T sebagai fungsi T merupakan suatu petunjuk perolehan ataupun kehilangan energi dari sampel yang diuji. Bila dalam pengamatan ternyata suhu bahan acuan lebih tinggi daripada suhu sampel maka diperoleh T negatif atau terjadi perubahan *endothermis* dan sebaliknya jika suhu bahan acuan lebih rendah daripada suhu sampel maka diperoleh T positif atau terjadi perubahan eksotermis. Bila suhu sampel dengan suhu acuan sama berarti tidak terjadi perubahan, dalam hal ini hanya ditunjukkan berupa garis lurus (*base line*) (Robert, 1994).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Juni 2016 hingga Agustus 2016 di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Kimia Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Tanjung Bintang, karakterisasi sampel dilakukan di BATAN (Badan Tenaga Nuklir) Serpong dan ITS (Institut Teknologi Sepuluh November) Surabaya.

B. Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: sekam padi, aquades, alkohol, pemutih, larutan NaOH 1,5% sebagai media ekstraksi, HNO₃ 10%, Magnesium oksida (MgO) *Sigma-Aldrich*, Alumina (Al₂O₃) *Sigma-Aldrich*.

2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas ukur, gelas *beaker*, labu ukur, labu *elemeyer*, corong kaca, tabung reaksi, pipet tetes, kertas saring, cawan petri, spatula, kompor listrik, aluminium foil, kertas *tissue*, pH indikator, oven,

magnetic stirer, pengayak/saringan 63 μm , neraca digital, alat press hidrolik *Graseby Specac*, *furnace*, pengukur konduktivitas termal ASTM E1530, dan DTA/TGA.

C. Preparasi Bahan

Sebelum melakukan preparasi, sekam padi dicuci terlebih dahulu menggunakan air panas, pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan zat-zat pengotor dan zat organik seperti debu, pasir, tanah, sisa-sisa batang padi dan zat pengotor lain. Setelah bersih, kemudian sekam padi dikeringkan dibawah panas sinar matahari selama dua hari, dengan suhu $\pm 35^{\circ}\text{C}$. Setelah sekam padi benar-benar kering, kemudian ditimbang sebanyak 50 gram dengan banyak sesuai yang dibutuhkan.

1. Ekstraksi Silika dari Sekam Padi

Ekstraksi silika dari sekam padi dilakukan untuk mendapatkan silika terlarut (*sol*) dalam filtrat. Dalam metode ini, digunakan larutan NaOH 1,5% sebagai media pengekstraksiannya. Tahapan ekstraksinya yaitu, sekam padi yang telah bersih dan kering ditimbang sebanyak 50 gram dengan menggunakan neraca digital, setelah itu dimasukkan kedalam gelas *buncher* dan ditambahkan aquades beserta larutan NaOH 1,5% hingga 500 ml. Kemudian dididihkan selama ± 30 menit dengan menggunakan kompor listrik dengan daya 600 watt sambil diaduk agar panasnya merata. Setelah dididihkan, rebusan sekam padi tersebut didiamkan beberapa saat hingga uap airnya menghilang. Setelah uap airnya menghilang, ditutup menggunakan aluminium foil dan didiamkan (*aging*) selama ± 24 jam.

Selanjutnya memisahkan ampas sekam padi dari ekstrak sekam. Sekam padi diambil dan disaring terlebih dahulu menggunakan saringan, selanjutnya disaring kembali menggunakan kertas saring dan corong *bucher* dan diperoleh filtrat silika yang terlarut (*sol*). Tahapan selanjutnya yaitu menambahkan setetes demi setetes larutan HNO_3 10% ke dalam filtrat silika terlarut dalam 100 ml air dan diputar menggunakan *magnetic stirrer* agar larutan tersebut merata. Setelah diperoleh *gel* silika, *gel* tersebut di aging selama ± 24 jam agar lebih pekat. Setelah itu, *gel* tersebut disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan *gel* dengan air yang masih tersisa. *Gel* yang didapatkan masih berwarna kuning kecoklatan, sehingga diberikan sedikit larutan pemutih pada saat proses penyaringan agar *gel* berwarna putih. Kemudian *gel* tersebut di kalsinasi selama ± 5 jam pada suhu 110°C untuk menghilangkan zat-zat volatil yang mudah menguap hingga diperoleh padatan. Tahapan terakhir yaitu menggerus silika tersebut agar diperoleh serbuk silika.

2. Preparasi Cordierite

Bahan-bahan yang digunakan dalam preparasi *cordierite* adalah MgO , Al_2O_3 , dan SiO_2 dengan perbandingan molar 2 : 2 : 5 atau perbandingan berat 14 : 35 : 51%. Preparasi *cordierite* dilakukan dengan menggunakan metode padatan (*solid state*). Bahan-bahan tersebut digerus, kemudian masing-masing bahan diayak dengan menggunakan pengayak berdiameter $63 \mu\text{m}$ agar didapatkan serbuk yang lebih halus. Selanjutnya bahan-bahan tersebut dicampur dan digerus kembali sehingga diperoleh serbuk *cordierite*.

3. Preparasi Paduan *Cordierite*-MgO

Cordierite yang telah dipreparasi, selanjutnya ditambahkan MgO dengan persentase berat 0, 10 dan 15%. Kedua bahan tersebut dicampur dengan menggunakan alkohol sebagai media pencampurannya dan distirer selama 4 jam. Kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan residu *cordierite* dengan larutan alkohol. Selanjutnya residu tersebut dikeringkan dengan suhu 70°C selama 2,5 jam. Tahapan selanjutnya adalah menggerus dan mengayak dengan pengayak 63 μm dan diperolehlah serbuk paduan *cordierite*-MgO.

D. *Pressing*

Sampel *cordierite*-MgO yang masih berupa serbuk, sebagian dijadikan bentuk pelet. Proses peletisasi merupakan proses pemadatan atau pencetakan dengan menggunakan alat *pressing hidrolis*. Sebelum dipadatkan, sampel dikalsinasi pada suhu 110°C selama 3 jam agar benar-benar kering sehingga memudahkan pada proses peletisasi. Sampel ditimbang terlebih dahulu sebanyak ± 3 gram. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam cetakan *pressing* yang berbentuk silinder, kemudian mengunci alat *pressing* dengan memutar skrup bagian atas dan samping dan ditekan dengan alat *pressing* seberat 5 ton. Setelah itu memutar kembali skrup untuk membuka alat *pressing* dan memompa tuas untuk mengeluarkan pelet.

E. Sintering

Proses sintering dilakukan dengan menggunakan alat bernama *furnace* listrik yang memiliki pengaturan suhu. Sampel yang akan disintering berupa sampel pelet dan serbuk. Sampel tersebut ke dalam cawan tahan panas dan dimasukkan ke dalam tungku pembakaran. Selanjutnya aliran listrik dihubungkan dengan tungku pembakaran dan tungku listrik dengan menekan saklar pada posisi “on”. Suhu dinaikkan 5°C per menit hingga 1250°C dengan waktu tahan selama 3 jam. Kemudian tungku listrik dimatikan setelah proses sintering selesai dengan menurunkan suhu 5°C per menit dan sampel dari tungku pembakaran.

F. Densitas dan Porositas

Sampel yang akan diuji disiapkan beserta alat dan bahan. Kemudian sampel ditimbang dalam keadaan kering dengan neraca digital untuk menentukan berat sampel kering (M_k). Sampel kering dimasukkan ke dalam *beaker glass* berisi air dan direbus selama 5 jam. Setelah perebusan selama 5 jam, sampel didiamkan selama 24 jam agar terjadi penjenuhan. Setelah yang telah dijenuhkan kemudian dilap menggunakan *tissue* dan dilakukan penimbangan untuk memperoleh berat sampel jenuh (M_j). Selanjutnya sampel diikat dengan benang dan melakukan penimbangan dengan sampel berada di tengah-tengah air pada gelas, untuk memperoleh berat sampel basah (M_b). Kemudian densitas dan porositas dihitung dengan persamaan (3) dan (4).

G. Penyusutan (*Shrinkage*)

Untuk mengetahui nilai penyusutan, dilakukan langkah-langkah diantaranya, masing-masing sampel disiapkan sebelum dan sesudah sintering. Selanjutnya masing-masing sampel ditimbang menggunakan neraca digital untuk mengetahui massa sampel. Kemudian nilai tersebut dicatat. Setelah diketahui nilai penyusutan, dihitung dengan persamaan (5).

H. Uji Konduktivitas Termal

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran konduktivitas termal adalah diantaranya, rangkaian alat disusun terlebih dahulu. Tegangan diatur dengan memutar *slide regulator*. Selanjutnya benda uji dimasukkan dan termometer kopel, dan memastikan suhu T_1 dan T_2 harus sama. Kemudian saklar elemen dinyalakan pemanas bersamaan dengan menyalakan *stopwatch*. Setelah itu perubahan suhu yang ditampilkan oleh termometer kopel dicatat dalam satuan waktu tertentu. Tegangan (V), arus (I), suhu titik pertama (T_1), suhu titik kedua (T_2), waktu (t) dan jenis bahan uji dicatat pada lembar pengujian.

Pengukuran konduktivitas termal dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengukuran konduktivitas termal.

Pengukuran konduktivitas termal bertujuan untuk mengetahui sampel dalam menghantarkan panas. Salah satu metode untuk menentukan besar konduktivitas termal suatu bahan adalah dengan metode *Hot Wire Test*. *Hot Wire Test* mengikuti prosedur dari ASTM C 1113-99 tentang *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire*. Benda uji berupa batangan berbentuk silinder dengan diameter 4,8 cm dan tebal 2 cm.

I. Analisis Sampel Menggunakan DTA/TGA

Uji DTA/TGA dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia dari sampel sebagai fungsi temperatur. Langkah-langkah uji DTA/TGA diantaranya, sampel yang akan dianalisis disiapkan, kemudian merekatkannya pada *specimen holder*. Cawan platina kosong yang digunakan sebagai sampel referensi disiapkan dan serbuk kedalam cawan platina dimasukkan sebagai sampel yang akan diuji. Kedua cawan platina diletakkan pada posisi vertikal di sampel holder dengan posisi *furnace* diputar ke arah sampel holder yang dilanjutkan dengan mengatur temperatur yaitu $T_{awal} = 50^{\circ}\text{C}$, $T_{pengukuran} = 1300^{\circ}\text{C}$ *heating read* (kenaikan suhu =

10°C/menit). Selanjutnya tombol power *furnace* ditekan pada posisi “on” untuk pemanasan, dan pemanasan akan bekerja sesuai dengan program yang telah diatur, saat inilah grafik pada monitor komputer akan terlihat dan akan diamati sampai temperatur $T_{\text{pengukuran}}$ tercapai menurut program yang telah diatur. Apabila $T_{\text{pengukuran}}$ telah tercapai maka power *furnace* dapat dimatikan yaitu pada posisi “off” dan selanjutnya dilakukan print hasil pengukuran.

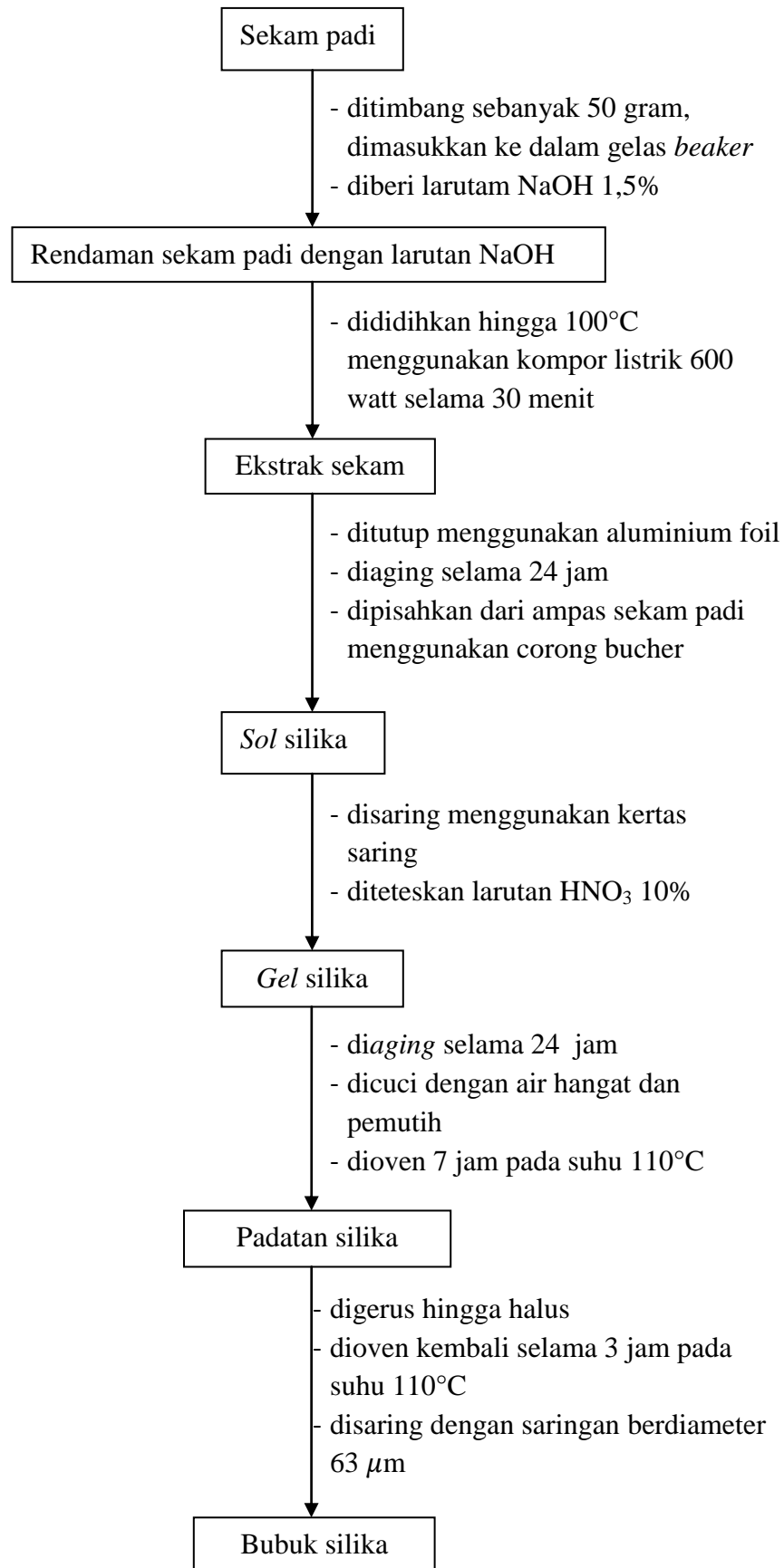
Instrumen DTA/TGA dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Instrumen DTA/TGA

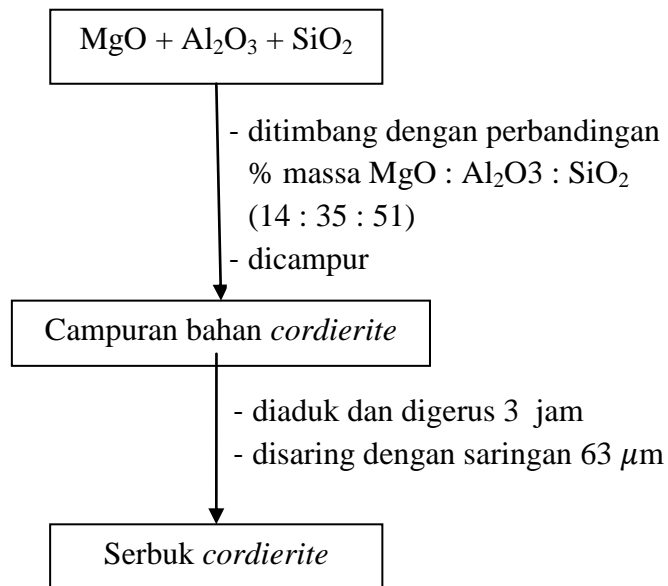
J. Diagram Alir

Proses ekstraksi silika sekam padi ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 7.



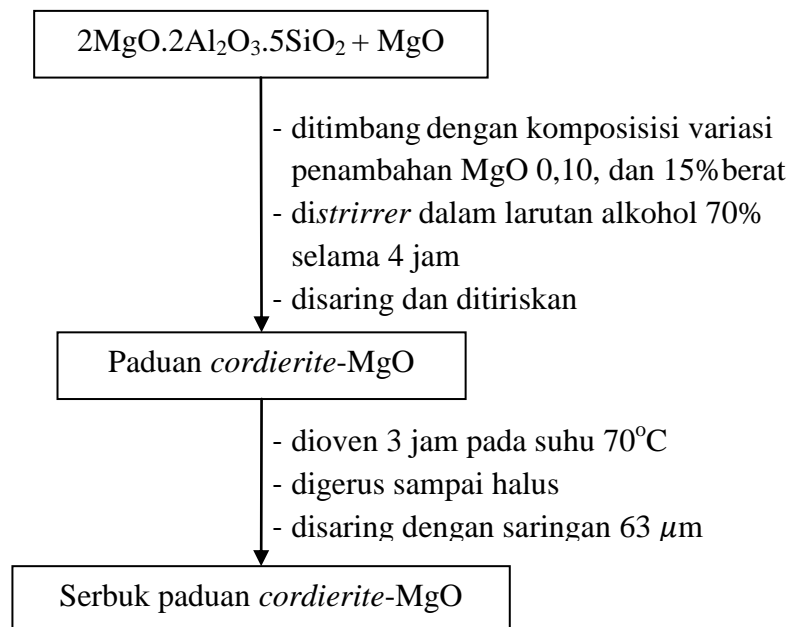
Gambar 7. Diagram alir pembuatan serbuk silika.

Pembuatan serbuk *cordierite* ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 8.



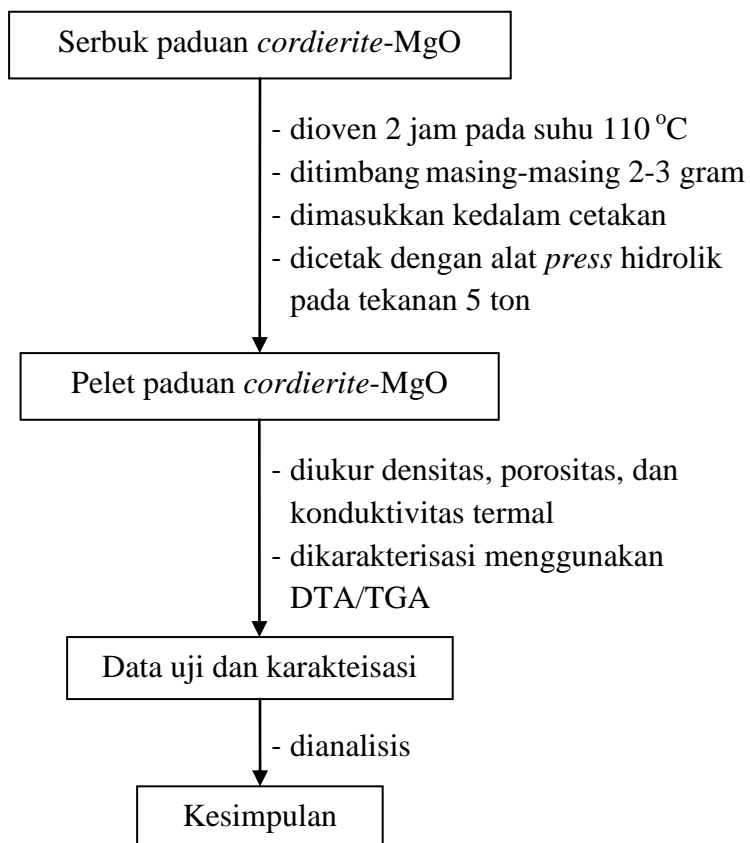
Gambar 8. Diagram alir pembuatan serbuk *cordierite*.

Proses pembuatan serbuk *cordierite* dengan penambahan MgO ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir pembuatan serbuk paduan *cordierite*-MgO.

Pembentukan pelet sebagai sampel hingga kaakterisasi sampel *codierite* dengan penambahan MgO ditunjukkan oleh diagam alir pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir pembuatan dan karakterisasi sampel *cordierite* dengan penambahan MgO.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Hasil analisis DTA menunjukkan puncak endotermal sampel C₀, C₁₀ dan C₁₅ pada range temperatur 50-400°C lebih mudah menyerap panas dikarenakan masih terdapat sisa-sisa air dan senyawa volatil. Puncak endotermal dan eksotermal yang terjadi tidak terlalu besar dikarenakan sampel hampir dalam kondisi stabil, begitupun penurunan persentase berat sampel pada analisis TGA.
2. Hasil analisis DTA pada sampel C₀, C₁₀ dan C₁₅ dengan puncak eksotermal 1232°C, 1226°C dan 1227°C menunjukkan terjadinya proses kristalisasi *cordierite* melalui ikatan MgAl₂O₄ *spinel*.
3. Penambahan MgO 0, 10, dan 15% menyebabkan penurunan densitas dan penyusutan serta peningkatan porositas pada *cordierite*.
4. Nilai konduktivitas termal pada *cordierite* meningkat seiring dengan penambahan MgO 0, 10, dan 15% dengan nilai tertinggi pada sampel C₁₅ yaitu 3,1647 W/m.K.

B. Saran

Suhu merupakan salah satu variabel yang penting dalam pembuatan keramik *cordierite*. Mengingat hal tersebut disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk meneliti pengaruh variasi suhu sintering terhadap *cordierite* dengan penambahan MgO pada suhu yang lebih tinggi. Selain suhu, unsur doping juga penting untuk membentuk sifat yang lebih baik pada *cordierite*. Oleh karena itu disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk menambahkan unsur doping lain ditambah MgO pada *cordierite*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, A. 2009. *Pengaruh Pendinginan dalam Proses Injection Molding Pembuatan Acetabular Cup pada Sambungan HPP*. Universitas Muhammadiyah. Surabaya. 17: 1-3.
- Banjuraizah, J., Hasmaliza M. and Zainal A.A. 2010. Thermal Expansion Coefficient and Dielectric Properties of Non-Stoichiometric Cordierite Compositions with Excess MgO Mole Ratio Synthesized from Mainly Kaolin and Talc by the Glass Crystallization Method. *Journal of Alloys and Compounds*. 494: 256-260.
- Banjuraizah, J., Hasmaliza M. and Zainal A.A. 2010. Densification and Crystallization of Nonstoichiometric Cordierite Glass with Excess MgO Synthesized from Kaolin and Talc. *Journal American Ceramic Society*. 94: 687-694.
- Banjuraizah, J., Hasmaliza M. and Zainal A.A. 2011. Effect of Excess MgO Mole Ratio in a Stoichiometric Cordierite ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) Composition on the Phase Transformation and Crystallization Behavior of Magnesium Aluminum Silicate Phases. *International Journal Application Ceramic Technology*. 8: 637-645.
- Bhadeshia H.K. 2002. *Thermal Analysis Techniques*. Material Science and Metallurgy. University of Cambridge. Page 29.
- Bragmann, C.P. and Goncalves, M.R.F. 2006. Thermal Insulators Made with Rice Husk Ashes: Production and Correlation Between Properties and Microstructure. *Construction and Building Materials*. 21: 2059-2065.
- Bridge, D.R., Holland, D. and Mc Millan, P.W. 1985. Development of Alpha Cordierite Phase in Glass Ceramic for Use in Electronic Device. *Journal Glass Technologi*. 26: 286-293.
- Brindly, G.W. and Brown, G. 1980. *Crystal Structures of Clay Minerals*. Edisi Keenam, Terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga. Jakarta. Page 275.
- Brinker, C.J. and Scherer, G.W. 1990. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press Inc. San Diego. Page 343.

- Callister, W. and Appendix, B. 2003. *Materials Science and Engineering an Introduction*. John Wiley & Sons. Page 757.
- Carey, J.W. and Novrotsky, A. 1992. The Mollar Enthalpy of Dehydration of Cordierite. *American Mineralogist*. USA. 77: 930-936.
- Chandrasekhar, S., Satyanarayana. K.G., Pramada, P.N. and Raghavan, P. 2003. Review Processing, Properties and Applications of Reactive Silica from Rice Husk an Overvie. *Journal of Materials Science*. 38: 3159-3168.
- Chakraverty, A., Mishra, P. and Banerjee, D. 1988. Investigation of Combustion of Raw and Acid-Leached Rice Husk for Production of Pure Amorphous White Silica. *Journal of Materials Science*. 23: 21-24.
- Charles A.H. 2001. *Handbook of Ceramic Glasses and Diamonds*. Mc Graw Hills Company Inc, USA. Page 26-240.
- Cohen, J. 1959. Electrical Conductivity of Alumina. *American Ceramic Society Bull*. 38: 441-46.
- Cotton, A. and Wikinson, G. 1989. *Kimia Anorganik Dasar I*. Penerjemah: Suhati Suharto. Pedamping: Yanti R. A. Koestoer. Universitas Indonesia. Jakarta. 61: 628-63.
- Clyde, M.D. and Selbin, J. 1992. *Theoretical Inorganic Chemistry*. Reinhold Publishing Corporation. New York. Page 215.
- Daifullah, A.A.M., Girgis, B.S. and Gad, H.M.H. 2003. Utilization of Argo Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plants. *Journal Materials Letters*. 57: 1723-1731.
- Della, V.P., Kuhn, I. and Hotza, D. 2002. Rice Husk Ash an Alternate Source for Active Silica Production. *Journal Material Letters*. 57: 818-821.
- Egger, A.E. 2006. *The Silicate Minerals*. <http://www.visionlearning.com/en/library/Earth-Science/6/The-Silicate-Minerals/140>. Diakses pada 15 April 2016 pkl 15.00 WIB.
- Fathi, M.H. and Kharazifa, M. 2008. Mechanically Activated Crystallization of Phase Pure Nanocrystalline Forsterite Powders. *Materials Letters*. 62: 4306-4309.
- Fujiwara, S., Tamura, Y., Maki, H., Azuma, N., and Takeuchi, Y. 2007. Development of New High-Purity Alumina. *Sumitomo Kagaku*. 1: 1-9.
- Fu, X., Song, Z., Wu, G., Huang, J., Duo, X. and Lin, C. 1999. Preparation and Characterization of MgO Thin Film by a Novel Sol-Gel Method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 16: 277-281.

- Gana, R. 2010. *Raw Material Refractory (II)*. <http://regist.wordpress.com/2010/04/30/raw-material-refraktori-ii/>. Diakses pada tanggal 28 Maret 2016, 11.00 WIB.
- Ganguli, D. and Chatterjee, M. 1997. *Ceramic Powder Preparation*. Handbook, Boston. Page 150-152.
- Goren, R., Gocmez H. and Ozgur, C. 2005. Synthesis of Cordierite Powder from Talc, Diatomite and Alumina. *Ceramics International*. 32: 53-56.
- Hammond, C. 2009, *The Basics of Crystallography and Diffraction, Third Edition*. Academic Press Inc. New York. Page 96.
- Hanafi, S.A. dan Nandang, R.A. 2010. Studi Pengaruh Bentuk Silika dari Abu Ampas Tebu terhadap Kekuatan Produk Keramik. *Jurnal Kimia Indonesia*. 5: 35-38.
- Hafizah, D.P. dan Faisal, H. 2012. Pengaruh Variasi Suhu Sintering pada Komposit Al-Mg-Si terhadap Kekuatan dengan Teknik Metalurgi Serbuk. *Jurnal Sains*. 1: 1-6.
- Hara. 1986. *Utilization of Agrowastes for Building Materials*. International Research and Development Cooperation Division. Tokyo. Page 148.
- Iler, R.K. 1979. *Silica Gels and Powders. In the Chemistry of Silica*. John Wiley and Sons. New York. Page 462-599.
- Itoh, S., Yoshihiro, H., Taro, S. and Shoicro, S., 2015. Theoretical and Experimental Analysis of Thermal Conductivity of the Alumina-Mullite System. *Journal of European Ceramic Society*. 35: 605-612.
- Kalpathy, C., Proctor A. and Shultz, J. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Biosource Technology*. 73: 257-260.
- Katsuki, H., Furuta, S., Watari, T. and Komarneni, S. 2005. ZSM-5 Zeolite/Porous Carbon Composite: Conventional and Microwave-Hydrothermal Synthesis from Carbonized Rice Husk. *Microporous and Mesoporous Materials*. 86: 145-151.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia. Jakarta. Hal 216-217.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R. 1976. *Introduction to Ceramics*. John Wiley and Sons. Singapore. Page 61.
- Kostorz, G. 1988. *High-Tech Ceramic*. Academic Press: Zurich. Page 62.
- Kramer, D.A. 2000. *Magnesium, its Alloys and Compounds*. U. S. Geological Survey Open-File Report. Reston. Page 26.

- Kurama, H. and Kurama, S. 2006. The Reaction Kinetics of Rice Husk Based Cordierite Ceramics. *Ceramic International*. 34: 269-272.
- Lacson, J.G., Cometta, S. and Yoneyama M. 2000. *Magnesium Oxide and Other Magnesium Chemicals*, In: *Chemical Economics Handbook*. SRI International. Menlo Park, CA. Page 93.
- Lambrinou, K., Biest, O.V., Boccaccini, A.R. and Taplin, D.M.R. 1996. Densification and Crystallisation Behaviour of Barium Magnesium Aluminosilicate Glass Powder Compacts. *Journal of the European Ceramic Society*. 16: 1237–1244.
- Larby, K.K. 2010. *Synthesis of High Purity Silicon from Rice Husks*. University of Toronto. Toronto. Page 42-44.
- Latif, C., Triwikantoro dan Munasir. 2014. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi pada Struktur Silika. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 3: 2337-3520.
- Li, Ye., Qian H., Xudong, C., Zhang, R. and Zhang, H. 2014. Fabrication of Dense Cordierite Ceramic through Reducing Al₂O₃ Mole Ratio. *Materials Letters*. 116: 262-264.
- Lide, D. 1995. *Handbook of Chemistry and Physics*. Former Director, Standard Reference Data. National Institute of Standards and Technology. Page 4-68.
- Lin, M.H. and Wang, M.C. 1995. Crystallization Behavior of β-Spodumene in The Calcination of Li₂O-Al₂O₃-SiO₂-ZrO₂ gels. *Journal Material*. 4: 2290-2297.
- Maharani, A. 2016. *Pengaruh Penambahan Periclase 0, 10, 15% terhadap Karakteristik Struktur dan Kekerasan Cordierite*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal 33-47.
- Marghussian. V. K., U. Balazadegan. and B. Eftekhari-yekta. 2008. The Effect of BaO and Al₂O₃ Addition on the Crystallization Behavior of Cordierite Glass Ceramics in the Presence of V₂O₅ Nucleant. *Journal of the European Ceramic Society*. 29: 39-46.
- Mirjalili, F., Mohamad, H. and Chuah, L. 2011. Preparation of Nano-Scale α-Al₂O₃ Powder by The Sol-Gel Methode. *Ceramics – Silikáty*. 55: 378-383.
- Mussler, B.H. and Shafer, M.W. 1984. Preparation and Properties of Mullite-Cordierite Composites. *Ceramic Bulletin*. 63: 705-710.
- Naskar, M.K. and Chatterjee, M. 2004. A Novel Process for Synthesis of Cordierite (Mg₂Al₄Si₅O₁₈) Powder from Rice Husk Ash and Other Sources of Silica and Their Comparative Study. *Journal of European Ceramics Society*. 24: 3499-3508.

- Naskar, M.K. and Chatterjee, M. 2005. A Novel Process for The Synthesis of Lithium Aluminium Silicate Powders from Rice Husk Ash and Other Water Based Precursor Materials. *Materials Letters*. 59: 998-1003.
- Nayiroh, N. 2013. *Metalurgi Serbuk*. <http://blog.uin-malang.ac.id/nurun/files/2013/03/METALURGI-SERBUK.pdf>. Diakses pada 18 Juli 2016 pkl. 20.00 WIB.
- Petrovic, R. and Janackovic, D. 2001. Densification and Crystallization Behaviour of Colloidal Cordierite-type Gels. *Journal Serbian Chemical Society*. 66: 335-343.
- Pinero, M., Atik, M. and Zarzycki, J. 1992. Cordierite-ZrO₂ and Cordierite-Al₂O₃ Composites Obtained by Sonocatalytic Methods. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 147: 523-531.
- Quakertown, 2007. *High Precision Machining of Hard Materials*. Cordierite Information-Provided by Insaco. USA. Page 78-112.
- Rafael, F. 2008. *Analisis Karakteristik Termal*. Universitas Indonesia. Depok. Hal 34-42.
- Ristic, M.M. 1989. *New Development-Sintering*. Elsevier Publishing. Netherland. Page 3-7.
- Robert, F.S. 1994. *Thermal Analysis of Materials*. Marcell Dekker, Inc. Madison Avenue. New York. Page 274.
- Robert, M.H. 1976. Effects of Temperature and Pressure on the Crystal Structure of Forsterite. *American Mineralogis*. 61: 1280-1293.
- Saberi, A., Alinejad, B., Negahdari, Z., Kaizemi, F. and Almasih, A. 2007. A Novel Method to Low Temperature Synthesis of Nanocrystalline Forsterite. *Material Research Bulletin*. 42: 666-673.
- Salwa, A.M., Hameed, A. and Bakr, I.M., 2007. Effect of Alumina on Ceramic Properties of Cordierite Glass-Ceramic from Basalt Rock. *Journal of the European Ceramic Society*. 27: 1893-1897.
- Sebayang, P., Tetuko, A. P., Khaerudini, D. S., Muljadi. dan Ginting, M. 2007. Efek Aditif 3Al₂O₃.2SiO₂ dan Suhu Sintering terhadap Karakteristik Keramik α -Al₂O₃. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 29: 0126-1533.
- Senguttuvan, T.D., Kalsi, H.S., Sharda, S.K. dan Das, B.K. 2001. Sintering Behavior of Alumina Rich Cordierite Porous Ceramics. *Materials Chemistry and Physics*. 67: 146-150.

- Septawendar, R., Nuryanto, Suhanda dan Wahyudi, K. 2007. Sifat Fisik Lempung Tanjung Morawa dalam Transformasi Fasa Mineral berdasarkan Investigasi Difraksi Sinar X. *Jurnal Riset Geologi*. 17: 11-19.
- Sembiring, S. 2014. *Preparasi dan Karakterisasi Bahan*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal 7-9.
- Sijabat dan Kaston. 2007. *Pembuatan Keramik Paduan Cordierite (2MgO.2 Al₂O₃.5SiO₂)–Alumina (Al₂O₃) sebagai Bahan Refraktori dan Karakterisasinya*. Universitas Sumatera Utara. Medan. Hal 47.
- Shukur M.M., Aswad M.A. and Kadhim Z. I. 2015. Preparation of Cordierite Ceramic from Iraqi Raw Materials. *Journal of Engineering and Technologi*. 5: 172-175.
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material*. Edisi Keenam, Terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga. Jakarta. Page 167.
- Smart, R.M. and Glasser, F.P. 1976. Phase Relations of Cordierite and Sapphirine in the System MgO- Al₂O₃- SiO₂. *Journal of Materials*. 6: 1459-1464.
- Sriyanti, Azmiyawati, C. dan Taslimah. 2005. Adsorpsi Kadmium (II) Pada Bahan Hibrida Tiol-Silika dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 7: 1-12.
- Stephen, C. Carniglia and Gordon L. B. 1992. *Handbook of Industrial Refractories Technology*. Noyes Publications, Park Ridge. New Jersey USA. Page 216-217.
- Sunendar, B. 2007. Inovasi dan Teknik Fabrikasi Material Biokeramik. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*. 16: 1-6.
- Surdia, T dan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradanya Pramita. Jakarta. Hal 303.
- Tang, L., Xi C., Ping L. and Fang Y. 2012. Effect of MgO/CuO on the Microstructure and Thermal. *Journal Engineering Materials*. 509: 240-244.
- Tavangarian, F. and Emadi, R. 2010. Synthesis of Pure Nanocrystalline Magnesium Silicate Powder. *Journal Ceramics*. 54: 122-127.
- Timmings, R.L. 1991. *Engineering Materials*. Longman Limited. London. Page 583-605.

- Torres, F. J. and Javier A. 2005. Effect of MgO/CaO Ratio on the Microstructure of Cordierite-Based Glass-Ceramic Glazes for Floor Tiles. *Ceramics International*. 31: 683-690.
- Trumbolvoic, L., Gulisija, Z., Acimovic, Z. and Adric, L. 2003. Influence of the Cordierite Ligning on the Lost Foam Casting Process. *Journal of Mining and Metalurgy*. 39: 3-4.
- Valdez, Z. and Aquilar, J. 1997. Influence of Al₂O₃ on the Production of MgAl₂O₄ with Microwaves. *Journal of Microwaves Powder an Electromagnetic Energy*. 32: 74-79.
- Vlack, V.L.H. 2001. *Elemen-Elemen Rekayasa Material*. Alih Bahasa Sriati Djaprie. Erlangga. Jakarta. Hal 30-33.
- Vlack, V.L.H. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Non Logam)*, Alih Bahasa Sriati Djaprie. Erlangga. Jakarta. Hal 25-39.
- Villars, P. and Calvert, L.D. 1991. *Pearson's Handbook of Crystallographic Data for Intermetallic Phases*. ASM International. USA. 3: 3824-3826
- Zawrah, M.F., Hamaad, H. and Meky, S. 2007. Synthesis and Characterization of Nano MgAl₂O₄ Spinel. *Journal of the European Ceramic Society*. 27: 969-978.