

**PENGARUH PENAMBAHAN *PERICLASE* (0, 10, 15)% TERHADAP
KARAKTERISTIK STRUKTUR DAN KEKERASAN *CORDIERITE*
(Skripsi)**

**Oleh
ANGGITA MAHARANI**



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

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN *PERICLASE* (0,10,15)% TERHADAP KARAKTERISTIK STRUKTUR DAN KEKERASAN *CORDIERITE*

Oleh

Anggita Maharani

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi *cordierite* berbasis silika sekam padi dengan penambahan MgO sebanyak 0, 10, dan 15%. Pembuatan *cordierite* menggunakan silika sekam padi, MgO, dan Al₂O₃. Silika diekstraksi dengan metode alkalis menggunakan larutan NaOH 1,5% dan HNO₃ 10%. Sampel dilakukan proses *sintering* pada suhu 1250°C. Karakterisasi struktur fasa dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *microhardness tester*. Hasil XRD menunjukkan adanya struktur yang diperoleh yakni, *cordierite*, *spinel*, dan *forsterite*. Seiring penambahan MgO pada sampel, maka *cordierite* menghilang, fraksi massa *spinel* mengalami penurunan sementara *forsterite* meningkat. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penambahan MgO menurunkan nilai kekerasan akibat penurunan nilai densitas dan meningkatnya porositas.

Kata Kunci : *Cordierite*, MgO, silika sekam padi, reaksi *solid state*.

ABSTRACT

EFFECT EXCESS OF PERICLASE (0,10,15)% ON THE CHARACTERISTIC STRUCTURE AND HARDNESS CORDIERITE

BY

ANGGITA MAHARANI

Synthesis and characterization of cordierite-based rice husk silica has been conducted by MgO 0, 10, and 15wt%. Preparation of cordierite use silica rice husk, MgO, and Al₂O₃. Silica were extracted by alkalis method using 1,5% NaOH solution and 10% HNO₃. The samples were sintered at temperature of 1250°C. The characteristics of structure were analysed by X-Ray Diffraction (XRD) coupled with Rietveld analysis and microhardness tester. XRD result showed the presences are cordierite, spinel, and forsterite. The increasing MgO of sample has made cordierite to be dissapeared, and the mass fraction spinel decreased while forsterite was increasing. The result of measurement showed that the addition of MgO on cordierite reduced density and hardness as well as increased porosity.

Keywords: Cordierite, MgO, rice husk silica, solid state reaction.

**PENGARUH PENAMBAHAN *PERICLASE* (0, 10, 15)% TERHADAP
KARAKTERISTIK STRUKTUR DAN KEKERASAN *CORDIERITE***

Oleh

ANGGITA MAHARANI

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

: **PENGARUH PENAMBAHAN PERICLASE (0,10,15)%
TERHADAP KARAKTERISTIK STRUKTUR DAN
KEKERASAN CORDIERITE**

Nama Mahasiswa

: **Anggita Maharani**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1217041004**

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Simon Sembiring, Ph.D.

NIP 19611003 199103 1 002

Dr. Eng. Bambang Joko Suroto, M.Si.

NIP 19751028 200801 1 009

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.

NIP 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Simon Sembiring, Ph.D.

Sekretaris

: Dr. Eng. Bambang Joko Suroto, M.Si.

Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Yanti Yulianti, M.Si.

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.

NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Oktober 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, 18 Oktober 2016



Anggita Maharani
NPM. 1217041004

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 10 Juni 1994, anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Cikmit dan Ibu Rusmah. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD S SEJAHTERA 2 pada 2006, SMP Gajah Mada pada 2009 dan MAN 1 Bandar Lampung pada 2012.

Selanjutnya, pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui SBMPTN tertulis. Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif di kegiatan kampus antara lain sebagai Anggota Bidang Kaderisasi Himafi FMIPA Unila pada 2012/2013. Penulis pernah melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. Penulis melakukan KKN di Tulang Bawang Barat tepatnya di Kecamatan Gunung Terang Pekon Terang Bumi Agung.

Selanjutnya Penulis melakukan penelitian dengan judul "***Pengaruh Penambahan Periclase (0,10,15)% terhadap Karakteristik Struktur dan Kekerasan Cordierite***" sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

MOTTO

**“PERCAYA DAN YAKIN BAHWA USAHA
DAN DOA TIDAK AKAN SIA-SIA”**

Kuniatkan Karya Kecilku Ini Karena

ALLAH SWT

Aku Persembahkan Karya Ini Untuk:

Kedua Orang Tua, Keluarga dan M. Adit Saputra yang Selalu
Mendo'akan dan Mendukungku

Dosenku, yang Mengajarkan Banyak Ilmu dan Mendidik
Membimbingku

Sahabat dan Teman Seperjuanganku

Almamater Tercinta.

“Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan *Periclase* (0,10,15)% terhadap Karakteristik Struktur dan Kekerasan *Cordierite*”**. 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, 10 Oktober 2016

Penulis,

Anggita Maharani

SANWACANA

Puji syukur kehadiran 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. Kedua orang tuaku Bapak Cikmit dan Ibu Rusmah yang tiada henti memberiku semangat dan doa.
2. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D sebagai pembimbing I yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr.Eng. Bambang Joko Suroto, S.Si.,M.Si sebagai pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan-masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si sebagai penguji yang telah mengoreksi kekurangan, member kritik dan saran selama penulisan skripsi.
5. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D sebagai Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
6. Ibu Dr. Yanti Yulianti, M.Si., selaku ketua jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

7. Bapak Prof. Dr. Warsito, S.Si.,DEA selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. M. Adit Saputra yang selalu memberikan semangat, bantuan dan doa yang telah diberikan.
10. Sahabat terkasih: Mely, Arizka dan Annisa, terimakasih atas semangat, doa dan semua bantuan yang telah diberikan.
11. Teman-teman satu tim: Mely, Annisa, Juni, Adel dan Mira yang telah membantu dan menjadi teman diskusi yang baik.

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

Bandar Lampung, 10 Oktober 2016

Penulis,

Anggita Maharani

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.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan.	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Keramik <i>Cordierite</i>	6
1. Karakteristik <i>Cordierite</i>	6
2. Struktur <i>Cordierite</i>	8
3. Aplikasi <i>Cordierite</i>	9
B. Karakteristik Bahan Baku	9
1. Magnesium Oksida.....	9
2. Alumina.....	10
3. Silika.....	11

C. Pengaruh Penambahan Senyawa Oksida terhadap Cordierite	12
1. Penambahan <i>Periclase</i> (MgO)	12
2. Penambahan Alumina (Al ₂ O ₃)	14
D. Sekam Padi	15
E. Metode <i>Sol Gel</i>	15
F. <i>Sintering</i>	16
G. Karakterisasi <i>Cordierite</i> -MgO	17
1. Penyusutan	17
2. Densitas dan Porositas	18
3. X-Ray Diffraction (XRD)	18
4. Analisis Rietveld	20
5. Kekerasan	23

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat penelitian	24
B. Alat dan Bahan Penelitian	24
1. Alat Penelitian	24
2. Bahan Penelitian	25
C. Preparasi Sampel	25
1. Preparasi Sekam Padi	25
2. Ekstraksi Silika Sekam Padi	25
3. Preparasi <i>Cordierite</i>	27
4. Preparasi Paduan <i>Cordierite</i> -Magnesium Oksida	27
5. Pencetakan Pelet Paduan <i>Cordierite</i> -Magnesium Oksida	27
6. <i>Sintering</i>	28
D. Karakterisasi Sampel	29
1. Penyusutan	29
2. Densitas dan Porositas	29
3. XRD (X-Ray Diffraction)	30
4. Kekerasan	31
E. Diagram Alir	33

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengantar	34
B. Preparasi dan Hasil Ekstraksi Silika Sekam Padi	34
C. Hasil Sintesis <i>Cordierite</i> dan Paduan <i>Cordierite</i> -MgO	36
D. Karakterisasi dan Uji Fisis Sampel	38
1. Analisis Kualitatif Data XRD	38
2. Analisis Kuantitatif Data XRD	40
3. Densitas dan Porositas	44
4. Penyusutan	46
5. Analisis Uji Kekerasan (<i>Hardness</i>)	47

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan	50
B. Saran	50

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kristal <i>Orthorhombic</i>	8
2. <i>Corundum</i> (Al_2O_3)	10
3. Skema Proses <i>Sol Gel</i> Silika.	16
4. Tahapan-Tahapan <i>Sintering</i> pada Pori.	17
5. Difraksi Sinar-X oleh Kristal	20
6. Skema Difraksi Sinar-X.	20
7. <i>Microhardness Tester</i>	31
8. Diagram Alir Pembuatan Bubuk Paduan <i>Cordierite</i> -MgO.	33
9. Hasil <i>Sol</i> Silika Sekam Padi	
a. Filtrat <i>Sol</i> Silika Sekam Padi	35
b. <i>Sol</i> Silika	35
10. Hasil Silika Sekam Padi	
a. <i>Gel</i> silika yang telah Dibersihkan	36
b. Serbuk Silika	36
11. Bubuk <i>Cordierite</i>	36
12. Bubuk Paduan <i>Cordierite</i> -MgO	37
13. Pelet <i>Cordierite</i>	
a. Sampel Sebelum <i>Sintering</i>	37
b. Sampel Setelah <i>Sintering</i>	37
14. Spektrum Pola Difraksi Sinar-X Sampel C_0 , C_{10} dan C_{15}	38
15. Pola Difraksi Hasil <i>Refinement</i> Sampel C_0	41

16. Pola Difraksi Hasil <i>Refinement</i> Sampel C ₁₀	42
17. Pola Difraksi Hasil <i>Refinement</i> Sampel C ₁₅	42
18. Fraksi Massa Hasil <i>Refinement</i>	43
19. Pengaruh Penambahan MgO pada <i>Cordierite</i> terhadap Densitas dan Porositas	45
20. Pengaruh Penambahan MgO terhadap Nilai Penyusutan	46
21. Perubahan Nilai Kekerasan <i>Cordierite</i> terhadap Penambahan <i>Periclase</i> (MgO)	48

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik Keramik <i>Cordierite</i>	7
2. Karakteristik <i>Spinel</i> (MgAl_2O_4).....	8
3. Karakteristik <i>Periclase</i> (MgO)	9
4. Karakteristik <i>Corundum</i> (Al_2O_3)	11
5. Karakteristik Silika (SiO_2)	12
6. Karakteristik <i>Forsterite</i> (Mg_2SiO_4).....	13
7. <i>Vicker Hardness</i> Sampel <i>Cordierite</i> Penambahan MgO/CaO	14
8. Komposisi Kimia Bahan Baku <i>Cordierite</i> Penambahan Alumina	14
9. Komposisi Senyawa Oksida Sekam Padi	15
10. Komposisi Pencampuran <i>Cordierite</i> - MgO	37
11. Hasil Identifikasi Struktur pada Sampel C_0 , C_{10} dan C_{15}	39
12. <i>Profile Figures of Merit</i>	42
13. Parameter Struktur Hasil <i>Refinement</i> Sampel <i>Cordierite</i> dengan Penambahan MgO C_0 , C_{10} dan C_{15}	43
14. Hasil Uji Densitas dan Porositas Sampel <i>Cordierite</i>	45
15. Hasil Uji Penyusutan Sampel <i>Cordierite</i> dengan Penambahan <i>Periclase</i>	46
16. Hasil Pengukuran Nilai Kekerasan	48

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Cordierite merupakan salah satu jenis keramik oksida yang dapat disintesa dari reaksi padatan oksida-oksida: MgO , Al_2O_3 , dan SiO_2 dengan rumus kimia $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$. Metode yang umum digunakan untuk menyintesis *cordierite* adalah metode reaksi *solid state* (padatan) (Kurama dan Kurama, 2008; Shukur dkk, 2015) dan metode *sol-gel* (Sembiring dkk, 2009; Naskar dan Chatterjee, 2004). Berdasarkan penelitian sebelumnya, *cordierite* terbentuk pada suhu $1100\text{-}1300^\circ\text{C}$ melalui metode *solid state* (padatan) menggunakan bahan baku *kaolin*, *attapulgit* dan Magnesium Oksida (Li dkk, 2013) sedangkan pada metode ekstraksi *sol gel* menggunakan bahan baku $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan silika sekam padi terbentuk pada suhu $1300\text{-}1500^\circ\text{C}$ (Simanjuntak dan Sembiring, 2011).

Keramik *cordierite* berpotensi dalam berbagai aplikasi industri karena memiliki berbagai macam sifat, seperti koefisien ekspansi termalnya jauh lebih rendah (Charles, 2001), *refraktori* tinggi, kekuatan mekanik yang tinggi, daya tahan kimia baik, konstanta dielektrik rendah. Sehingga dapat diaplikasikan sebagai katalis, mikroelektronika, keramik *refraktori*, penukar panas untuk turbin gas dan keramik berpori sebagai filter gas buang (Sebayang dkk, 2007).

Magnesium Oksida (MgO) merupakan logam oksida padatan putih dengan nama mineral *periclase*. MgO dapat digunakan untuk keperluan keramik *refraktori* karena memiliki titik lebur yang tinggi (Kramer, 2000). Menurut Banjuraizah dkk (2011), penambahan oksida 14-28% MgO terhadap *cordierite* menggunakan bahan baku *talc* dan *kaolin* dapat menurunkan suhu kristalisasi α -*cordierite*. Ketika kurang dari 18% MgO, pembentukan α -*cordierite* meningkat hingga 94% dan menghambat pembentukan μ -*cordierite*. Sedangkan menurut Li dkk (2013) penambahan MgO pada *cordierite* tidak mengurangi temperatur kristalisasi tetapi dapat memudahkan pembentukan *cordierite*. Akan tetapi, saat peningkatan MgO terlalu banyak, mengakibatkan fasa *sapphirine* meningkat dan *forsterite* muncul. Untuk sifat mekanik dari kekerasan keramik *cordierite* dapat meningkat seiring dengan peningkatan fasa *cordierite* (Torres dan Alarcon, 2005).

Senyawa oksida pembentukan *cordierite* terbesar adalah silika. Beberapa peneliti telah menggunakan sekam padi sebagai sumber silika untuk sintesis *cordierite* (Sembiring dkk, 2009). Silika sekam padi bersifat amorf dan memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan silika kristal sehingga mudah bereaksi dengan senyawa lain untuk membentuk berbagai produk (Beltran dkk, 2006). Metode sintesis silika umumnya yaitu *sol-gel* karena memungkinkan hasil produksi dengan kemurnian tinggi, homogen, dan sifat-sifat unggul di suhu yang lebih rendah dibandingkan teknik lainnya.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan Magnesium Oksida (MgO) terhadap karakteristik pembentukan struktur fasa dan kekerasan keramik *cordierite* ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) berbasis

silika sekam padi. Karakteristik untuk mengetahui struktur fasa menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD) sedangkan kekerasan menggunakan *microhardness tester*. Di samping itu, dilakukan pula analisis sifat fisis yang meliputi pengukuran penyusutan, densitas, dan porositas.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan MgO pada keramik *cordierite* terhadap perubahan fisis (densitas, porositas dan penyusutan).
2. Bagaimana pengaruh penambahan MgO pada keramik *cordierite* terhadap struktur fasa dan kekerasan.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan MgO terhadap struktur fasa dari keramik *cordierite*.
2. Untuk mengetahui pengaruh komposisi *Cordierite*-MgO terhadap perubahan sifat fisis (densitas, porositas dan penyusutan).

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan silika pada sintesis *cordierite* diekstraksi dengan larutan NaOH 1,5% yang hasilnya berupa larutan (*sol*), dan diendapkan dengan larutan HNO₃ 10% sehingga menghasilkan silika padatan (*gel*).
2. Persentase penambahan MgO terhadap keramik *cordierite* yaitu 0, 10, dan 15% dengan suhu *sintering* 1250°C.
3. Komposisi keramik *cordierite* yang akan digunakan yaitu 2MgO : 2Al₂O₃ : 5SiO₂ (dalam mol ratio).
4. Karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu mengetahui struktur fasa dan kekerasan keramik *cordierite*-MgO.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi mengenai pengaruh penambahan Magnesium Oksida (MgO) terhadap *cordierite*.
2. Sebagai informasi mengenai sintesis *cordierite* dengan menggunakan bahan baku Magnesium Oksida (MgO), Aluminum Silikat (Al₂O₃), serta silika sekam padi.
3. Sebagai bahan literatur pengaruh struktur fasa dan kekerasan pada keramik *Cordierite*-MgO.

F. Sistematika Penulisan

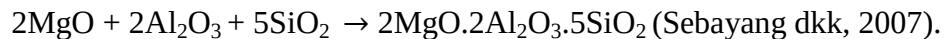
- BAB I Pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah , batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
- BAB II Tinjauan Pustaka memaparkan informasi ilmiah mengenai *cordierite*, Magnesium Oksida, alumina, Silika sekam padi, pengaruh penambahan senyawa oksida pada *cordierite* karakteristik penelitian.
- BAB III Metode Penelitian berisi mengenai waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, preparasi sampel, karakterisasi, prosedur penelitian.
- BAB IV Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil analisis serta pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.
- BAB V Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Keramik *Cordierite*

1. Karakteristik *cordierite*

Cordierite merupakan keramik yang terbentuk dari oksida-oksida MgO, Al₂O₃, dan SiO₂ dengan rumus molekul 2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂. Reaksi pembentukan senyawa *cordierite* yaitu:



Mineral bahan baku alam yang dapat dipakai *cordierite* antara lain: *Kaolin* [Al₂SiO₅(OH)₄], *Talk* [Mg₃(Si₂O₅)(OH)₂], *Kwarsa* (SiO₂) serta bahan-bahan lain yang dapat dibeli di pasar seperti Al(OH)₃, Al₂O₃, MgCO₃ dan aerosol. Di alam, *cordierite* dapat ditemukan pada batuan yang telah mengalami proses metamorfosis seperti batuan lumpur, batuan vulkanik dan batuan beku (Carey dan Navrotsky, 1992). Pembentukan fasa *cordierite* tergantung pada jenis bahan baku dan suhu temperatur yang umumnya sekitar (1100–1300)°C (Hans, 1992; Simanjuntak dan Sembiring, 2011). Keramik *cordierite* dapat disintesis dengan berbagai metode diantaranya metode reaksi padatan (*solid state*) (Kurama dan Kurama, 2006; Shukur dkk, 2015), metode *sol-gel* (Sembiring dkk, 2009; Tkalcec dkk, 2007) dan metode peleburan (*melting*) (Rudolph dkk, 1993).

Menurut Shukur dkk (2015), sintesis *cordierite* menggunakan bahan baku kaolin dan magnesit dengan metode *solid state* pada suhu 1050-1400°C didapatkan hasil XRD, dimana pada suhu 1050°C fasa *cordierite* telah muncul dengan sedikit *spinel* dan *tridyimite*, namun seiring peningkatan suhu *sintering* hingga 1150-1300°C didapatkan peningkatan fasa *cordierite* dan penurunan fasa *spinel*. Namun, saat suhu *sintering* 1400°C muncul fasa *mullite*. Sedangkan menurut Simanjuntak dan Sembiring (2011) sintesis *cordierite* menggunakan bahan baku MgO, Al₂O₃ dan silika sekam padi pada suhu 1300 – 1500°C dengan metode *sol gel*, fasa yang terbentuk yakni *cordierite*, *crystalite*, *spinel* dan *corundum*.

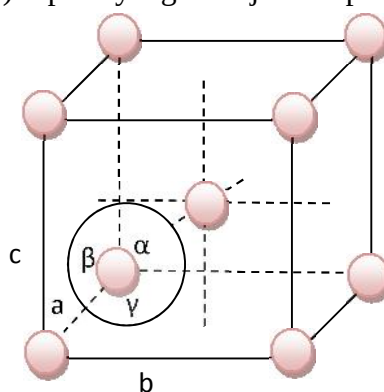
Sifat umum dari keramik *cordierite* (2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂) sama seperti keramik porselin dan oksida lainnya yaitu tahan temperatur tinggi, tahan korosi terhadap bahan kimia, memiliki kekerasan yang tinggi sehingga tahan abrasi, bersifat isolator listrik dan bersifat getas (*brittle*). Namun keramik *cordierite* mempunyai keunggulan dibanding keramik lainnya yaitu : nilai koefisien termal ekspansinya jauh lebih rendah maka ketahanannya terhadap kejutan suhu menjadi meningkat, disamping itu daya hantar panasnya juga relatif. Karakteristik keramik *cordierite* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik keramik *cordierite* (Mg₂Al₄Si₅O₁₈) (Charles, 2001)

Sifat Fisis dan Mekanik Keramik <i>Cordierite</i>	Nilai
Kekerasan (<i>HV</i>)	700 – 800 kgf/mm ²
Densitas	2,66 gr/cm ³
Konduktivitas Termal	2,5 W/mK
Konduktivitas Listrik	0,33x10 ⁻⁶ – 0,14 x 10 ⁻⁵ S/cm
Titik Lebur	1460 °C

2. Struktur *Cordierite*

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Naskar dan Chatterjee (2004) menunjukkan bahwa nilai persentase terbesar dalam pembentukan *cordierite* yaitu silika (SiO_2). Dengan menggunakan bahan baku silika sekam padi menunjukkan bahwa struktur *cordierite* akan terbentuk seiring kenaikan suhu *sintering*. Struktur kristal *cordierite* adalah *orthorhombic* dengan parameter sel $a \neq b \neq c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dengan parameter $a = 17,133 \text{ nm}$, $b = 9,741 \text{ nm}$ dan $c = 3,358 \text{ nm}$ (Smith, 1990; Cullity, 1992) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kristal *orthorhombic* (Sembiring dan Simanjuntak, 2015)

Pertumbuhan kristal *cordierite* dari sumber silika berasal dari sekam padi yang terjadi secara berkelanjutan yaitu pertumbuhan *cristobalite* dan *spinel* (MgAl_2O_4). Menurut Padmaraj dkk (2015) nilai konduktivitas listrik *spinel* yaitu $4,92 \times 10^{-13} \text{ S/cm}$. Adapun karakteristik *spinel* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik *spinel* (MgAl_2O_4) (Charles, 2001)

Karakteristik <i>Spinel</i>	Nilai
Kekerasan	1326 kgf/mm^2
Densitas	$3,6 \text{ gr/cm}^3$
Konduktivitas Termal	$7,6\text{-}15 \text{ W/mK}$
Konduktivitas Listrik	$4,92 \times 10^{-13} \text{ S/cm}$
Titik lebur	2135°C

3. Aplikasi Cordierite

Keramik *cordierite* memiliki berbagai macam aplikasi karena sifat karakterisasinya yang menguntungkan seperti: ekspansi termal rendah sehingga material *cordierite* banyak digunakan sebagai material tahan suhu tinggi (*refraktori*) untuk kelengkapan tungku pembakaran dan turbin gas, sebagai penyangga katalis untuk filter gas beracun, substrat katalis untuk gas kontrol emisi mobil, keramik berpori sebagai filter gas buang (Sebayang., dkk. 2007). Selain itu juga, *cordierite* memiliki konstanta dielektrik yang rendah sehingga dapat dipergunakan sebagai isolator listrik serta bahan penyangga *heating element*. Dengan penambahan MgO dapat meningkatkan pembentukan α -*cordierite* tanpa melakukan penambahan suhu *sintering* yang tinggi (Banjuraizah dkk, 2011).

B. Karakteristik Bahan Baku

1. Magnesium Oksida

Magnesium Oksida (MgO) merupakan logam oksida padatan putih dengan nama mineral *periclase*. MgO mempunyai nilai konduktivitas listrik yakni $4,2 \times 10^{-5}$ S/cm (Mbarki dkk, 2014). Karakteristik dari Magnesium Oksida dapat dilihat pada Tabel 3.

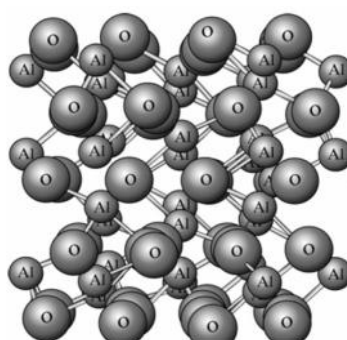
Tabel 3. Karakteristik *periclase* (MgO) (Charles,2001).

Karakteristik MgO	Nilai
Kekerasan	561-612 kgf/mm ²
Densitas	3,65 gr/cm ³
Konduktivitas Listrik	$4,2 \times 10^{-5}$ S/cm
Konduktivitas Termal	42 W/mK
Titik Lebur	2800°C

Pada Tabel 3 menunjukkan tingginya nilai titik lebur dari bahan oksida MgO sebesar 2800°C sehingga dapat digunakan sebagai salah satu material keramik tahan panas (Lacson dkk, 2000). Magnesium Oksida banyak diperoleh dari magnesit yang mengandung antara 88-98% MgO dengan berbagai jumlah alumina, kalsium, zat besi (Kramer, 2000).

2. Alumina

Alumina adalah istilah senyawa kimia yang terdiri dari aluminium dan oksigen sehingga membentuk oksida logam. Alumina memiliki dua jenis struktur yaitu hexagonal dan oktahedral. Pada umumnya, Al_2O_3 bersifat polimorfi yaitu memiliki beberapa bentuk struktur diantaranya $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Bentuk alumina yang paling umum dan stabil adalah *corundum* atau $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Bangun kristal μ -alumina memiliki struktur kristal kubik dan α -alumina dengan struktur kristal *corundum* (Cava dkk, 2007). Struktur kristal *corundum* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Corundum* (Al_2O_3) (Shackelford dan Doremus, 2008).

Alumina mempunyai karakteristik stabil diberbagai lingkungan, kekuatan mekanik tinggi, konduktivitas termal baik, daya tahan korosi terhadap zat kimia, memiliki sifat yang keras, relatif stabil pada temperatur tinggi (Esper dkk, 1989).

Alumina memiliki nilai konduktivitas listrik $7,80 \times 10^{-8}$ S/cm (Parchoviansky dkk, 2014). Disamping itu, karakteristik *corundum* terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik *corundum* (Al_2O_3) (Charles,2001).

Karakteristik Al_2O_3	Nilai
Kekerasan	1200-1600 kgf/mm ²
Densitas	2,9-3,1 gr/cm ³
Konduktivitas Termal	25-30 W/mK
Konduktivitas Listrik	$7,80 \times 10^{-8}$ S/cm
Titik Lebur	2020 °C

3. 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/galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit dan flesdar yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2). Selain itu, silika dapat diisolasi menggunakan abu sekam padi (Ginanjari dkk, 2014). Silika memiliki daya tahan terhadap temperatur tinggi, stabilitas termal yang tinggi serta daya tahan kimia baik terhadap asam (H_2SO_4 , HCl) dan basa (NaOH , KOH) sehingga dapat digunakan sebagai katalis (Katsuki dkk, 2005), adsorben dan filter.

Menurut penelitian sebelumnya, silika sekam padi yang diperoleh dengan metode ekstraksi mempunyai masa amorph tanpa *sintering* dan awal perubahan struktur amorph ke kristal pada suhu *sintering* 750°C , dan dengan meningkatnya suhu *sintering* 1050°C mengakibatkan transformasi amorph membentuk fasa kristal *crystobalite* dan *trydimite* (Sembiring dan Karo Karo,2007). Silika memiliki

konduktivitas listrik yaitu $8,66 \times 10^{-7}$ S/cm (Huseynov dkk, 2014). Karakteristik silika ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik silika (SiO_2) (Charles, 2001)

Karakteristik Silika	Nilai
Kekerasan	650 kgf/mm ²
Densitas	2,33 gr/cm ³
Konduktivitas termal	$3,2 \times 10^{-6}$ W/mK
Konduktivitas Listrik	$8,66 \times 10^{-7}$ S/cm
Titik Lebur	1600°C

C. Pengaruh Penambahan Komposisi Senyawa Oksida Terhadap *Cordierite*

1. Penambahan MgO

Banjuraizah dkk (2011), melaporkan penelitiannya mengenai penambahan MgO 14-28% berat terhadap *cordierite* pada suhu 900°C menggunakan bahan baku *talca* dan *kaolin* yang mana sesuai dengan senyawa oksida MgO, Al_2O_3 , dan SiO_2 . Penambahan MgO pada *cordierite* dapat menurunkan suhu kristalisasi dari α -*cordierite*, tetapi juga dapat mengganggu rantai silikat dan akhirnya mengurangi pembentukan *spinel* hal ini diketahui dengan menggunakan metode Rietveld. Kurang dari 19,29 % berat MgO pembentukan α -*cordierite* meningkat hingga 94% dan menghambat pertumbuhan μ -*cordierite*. Namun, ketika penambahan di atas 19,29% berat, maka MgO cenderung larut dalam silikat sehingga fasa *forsterite* mulai muncul, bersama-sama dengan *mullite*, μ -*cordierite*, dan *spinel*. *Forsterite* terjadi karena adanya reaksi antara MgO dan SiO_2 seiring dengan penambahan MgO. Karakteristik dan sifat dari struktur fasa *forsterite* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik *forsterite* (Mg_2SiO_4) (Charles, 2001)

Karakteristik <i>Forsterite</i>	Nilai
Kekerasan	724 kgf/mm ²
Densitas	3,21 gr/cm ³
Konduktivitas termal	3,3-4,6 W/mK
Konduktivitas Listrik	1×10^{-4} S/cm
Titik Lebur	1890°C

Sedangkan menurut Li dkk (2013), melaporkan hasil penelitiannya mengenai penambahan MgO pada keramik *cordierite* dari *kaolin* dan *attapulgit* dengan metode *solid state* pada suhu (1100–1300)°C, dimana dengan penambahan variasi MgO 14-28% pada *cordierite* tidak mengurangi temperatur kristalisasi namun dapat memudahkan produksi *cordierite*. Ketika peningkatan MgO yang terlalu banyak mengakibatkan fasa *sapphirine* meningkat dan fasa *forsterite* muncul. Selain itu Magnesium Oksida juga dapat digunakan sebagai bahan aditif untuk membentuk keramik berpori, serta meningkatkan penyusutan dan porositas mendekati nilai maksimum MgO 23% akan tetapi, densitas mengalami penurunan.

Torres dan Alarcon (2005) melaporkan penelitiannya mengenai penambahan MgO/CaO terhadap keramik *cordierite* pada suhu *sintering* 1160°C dan 1190°C dengan komposisi dalam % yaitu 55SiO₂, 21,5Al₂O₃, (16.5-x)MgO, x CaO, 3,8TiO₂ dan 2,9B₂O₃, dimana nilai x=6,5; 4,6 dan 2,9. Berdasarkan hasil XRD, fasa α -*cordierite* tertinggi dari kedua suhu yang digunakan pada saat penambahan MgO 11,9%. Akan tetapi, seiring peningkatan suhu *sintering* 1190°C didapatkan fasa α -*cordierite* lebih tinggi dibandingkan suhu 1160°C sehingga berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan sampel *cordierite* dengan penambahan MgO/CaO. Hal ini dapat diperlihatkan pada Tabel 7. Sedangkan saat pengurangan

komposisi MgO pada Tabel 8, mengakibatkan fasa *mullite* muncul dan seiring pengurangan MgO yang besar maka fasa *mullite* lebih dominan dibandingkan *cordierite* (Marghussian dkk, 2009).

Tabel 7. *Vicker hardness* dari sampel *cordierite* dengan penambahan MgO/CaO (Torres dan Alarcon, 2005).

Penambahan MgO(%)	1160°C	1190°C	Struktur Fasa
10	$576 \pm 15 \text{ kgf/mm}^2$	$610 \pm 15 \text{ kgf/mm}^2$	α - <i>cordierite</i>
11,9	$680 \pm 12 \text{ kgf/mm}^2$	$710 \pm 12 \text{ kgf/mm}^2$	α - <i>cordierite</i>
13,6	$562 \pm 16 \text{ kgf/mm}^2$	$579 \pm 16 \text{ kgf/mm}^2$	α - <i>cordierite</i>

2. Penambahan Alumina (Al_2O_3)

Marghussian, dkk (2009) melaporkan penelitiannya mengenai penambahan alumina terhadap keramik *cordierite* dengan menggunakan bahan baku SiO_2 , Al_2O_3 , MgO, TiO_2 dan V_2O_5 pada suhu *sintering* 1600°C. Komposisi kimia dari bahan baku yang digunakan terlihat pada Tabel 7.

Tabel 8. Komposisi kimia bahan baku *cordierite* dengan penambahan alumina (Marghussian dkk, 2009)

SiO_2	Al_2O_3	MgO	BaO	V_2O_5
49,02	35,35	11,19	1,5	2,96
49,02	37,35	9,19	1,5	2,96
49,02	38,35	8,19	1,5	2,96
49,02	39,35	7,19	1,5	2,96

Struktur fasa *cordierite* telah terbentuk pada penambahan Al_2O_3 35,35%, namun seiring penambahan alumina mengakibatkan fasa *mullite* muncul bersamaan dengan *cordierite*. Akan tetapi, saat penambahan alumina 39,35% mengakibatkan fasa *cordierite* menghilang sedangkan *mullite* meningkat. Sedangkan nilai densitas pada suhu *sintering* 1160°C pada *cordierite*-alumina sebesar $0,98 \text{ gr/cm}^3$ (Pinero,1992).

D. Sekam Padi

Sekam padi (*rice husk*) atau kulit gabah adalah bagian terluar dari bulir padi dan memiliki kandungan silika dengan kadar yang cukup tinggi. Kulit atau lapisan tersebut, terlepas dan terpisah ketika proses penggilingan dan menghasilkan sekitar 20% sekam padi sebagai produk sisa atau bahan limbah (Ginanjari dkk, 2014). Secara umum, kandungan silika dari abu sekam padi sekitar 90-98% (Adam dkk, 2006). Sekam padi memiliki beberapa kandungan komposisi kimia zat organik dan komponen zat anorganik. Komposisi senyawa oksida dari sekam padi terlihat pada Tabel 8.

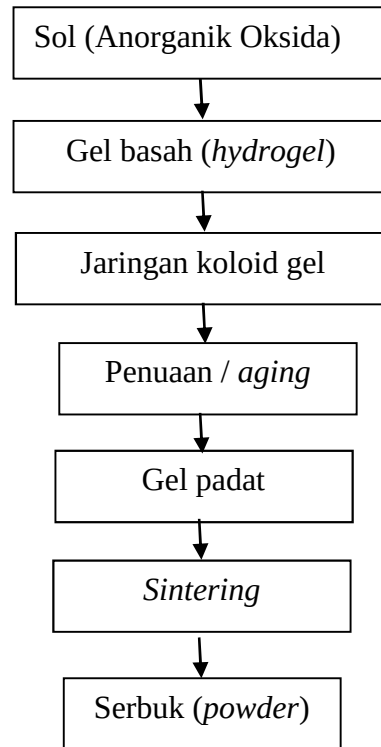
Tabel 9. Komposisi senyawa oksida sekam padi (Ghosh dan Bhattacharjee, 2013).

Senyawa	Kandungan (%)
Silika (SiO_2)	94,50
Calcium Oxide (CaO)	00,48
Manganese Oxide (MnO)	01,09
Magnesium Oxide (MgO)	00,23
Iron Oxide (Fe_2O_3)	00,23
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	00,54
S, P_2O_5 , K_2O , Na_2O	00,21

E. Metode Sol Gel

Kata *sol-gel* digunakan secara luas untuk menjelaskan beberapa proses kimia dan pembuatan material secara kimia seperti keramik dan gelas. Proses *sol-gel* melibatkan transisi sistem dari sebuah *liquid sol* menjadi *solid gel*. Pada metode *sol-gel*, larutan mengalami perubahan fasa menjadi *sol* (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi *gel* (koloid tetapi mempunyai fraksi *solid* yang lebih besar daripada *sol*). Secara umum, sintesis padatan ini diawali dengan pembentukan *sol*, *gel*, penuaan (*aging*), pengeringan

yang diikuti pemanasan hingga proses pemadatan terbentuk. Adapun skema proses *sol-gel* sederhana dapat dilihat pada Gambar 3.



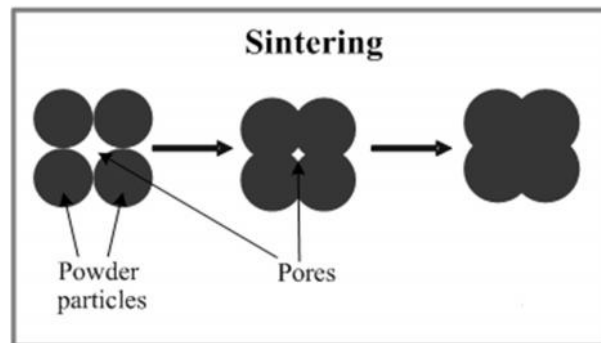
Gambar 3. Skema proses *sol-gel* silika (SiO_2)
(Lampman dan Wheathon, 1991)

F. *Sintering*

Sintering merupakan proses pengikatan secara termal yang bertujuan untuk merubah bentuk partikel-partikel kecil yang seragam sehingga membentuk ikatan yang kuat dan keras (Vlack, 1994). 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. Tahapan proses *sintering* mengalami beberapa tahapan yaitu:

- Tahap pertama: selama tahap awal, kontak titik antar partikel terus meningkat hingga membentuk pertumbuhan leher.

- Tahap pertengahan: penggabungan antar butir terus terjadi sehingga membentuk saluran pori yang *kontinu*, rongga mulai hilang dari saluran silinder.
- Tahap akhir: saluran pori yang *kontinu* menghilang dan berubah bentuk menjadi pori-pori yang individu. Tahapan ini terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan-tahapan *sintering* pada pori

G. Karakterisasi *Cordierite-MgO*

1. 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. Pengukuran penyusutan dituliskan dalam Persamaan 1.

$$S = \frac{(M_0 - M)}{M_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

S = Banyaknya persentase penyusutan (*shrinkage*) (%)

M_0 = Massa sampel sebelum *sintering* (gr)

M = Massa sampel setelah *sintering* (gr)

2. Densitas dan Porositas

Densitas adalah kerapatan suatu bahan yang merupakan massa per unit volume. 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). Terdapat dua jenis densitas, yaitu *bulk density* (densitas total) dan *true density* (densitas teoritis). Sedangkan porositas dari suatu bahan padatan dapat dinyatakan dalam persen (%) yang menghubungkan antara volume pori bahan terhadap volume bahan padatan keseluruhan. Pengukuran kerapatan (*density*) dan porositas ditentukan dengan Persamaan 2 dan 3.

$$\rho = \frac{M_k}{M_j - M_b} \times \rho_{H_2O} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{M_j - M_k}{M_j - M_b} \times 100\% \quad (3)$$

dimana :

- ρ = *bulk* densitas (gr/cm³)
- ε = porositas (%)
- M_k = massa sampel kering (gr)
- M_j = massa sampel jenuh (gr)
- M_b = massa sampel basah (gr)

3. X-Ray Diffraction (XRD)

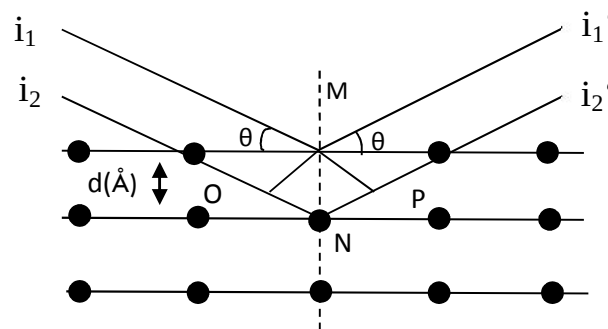
Metode analisis difraksi sinar-x dikenal dengan nama *X-ray diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui fasa-fasa kristalin meliputi transformasi struktur fasa, ukuran partikel bahan serta keramik, komposit, polimer, dan lain-lain. Secara

umum, pola difraksi mengandung informasi tentang simetri susunan atom (*space group*), penentuan bahan kristal atau amorf, orientasi kristal serta pengukuran berbagai sifat bahan yaitu tegangan (*strain*), vibrasi termal dan cacat kristal. Identifikasi struktur fasa yang ada pada sampel secara umum dilakukan dengan menggunakan standar melalui data base *Join Commie on Powder Diffraction Standar*, JCPDS (1969) *International Centre for Diffraction Data*, ICDF (1978). Analisis kualitatif didasarkan pada intensitas dari sampel dibandingkan atau dicocokkan dengan intensitas menggunakan *standard internal* maupun *standard external* (Cullity, 1992).

Sistem kerja difraktometer sinar-x didasarkan pada hukum Bragg yang terdiri dari pola, intensitas, dan sudut difraksi 2θ yang berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak sebagai hasil difraksi, terjadi akibat interaksi antar sinar-x dengan atom-atom pada bidang kristal (Cullity, 1992). Elektron-elektron pada atom akan membiaskan berkas bidang yang tersusun secara periodik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Difraksi sinar-x oleh atom-atom pada bidang atom paralel a dan a_1 yang terpisah oleh jarak d. dianggap bahwa dua berkas sinar-x i_1 dan i_2 yang bersifat paralel, monokromatik dan koheren dengan panjang gelombang λ datang pada bidang dengan sudut θ . Jika kedua berkas sinar tersebut berturut-turut terdifraksi oleh M dan N menjadi i_1 yang masing-masing membentuk sudut θ terhadap bidang dan bersifat paralel, monokromatik dan koheren, perbedaan panjang antara $i_1 - M - i_1 - N - i_2'$ adalah sama dengan n difraksi dapat dituliskan sebagai berikut :

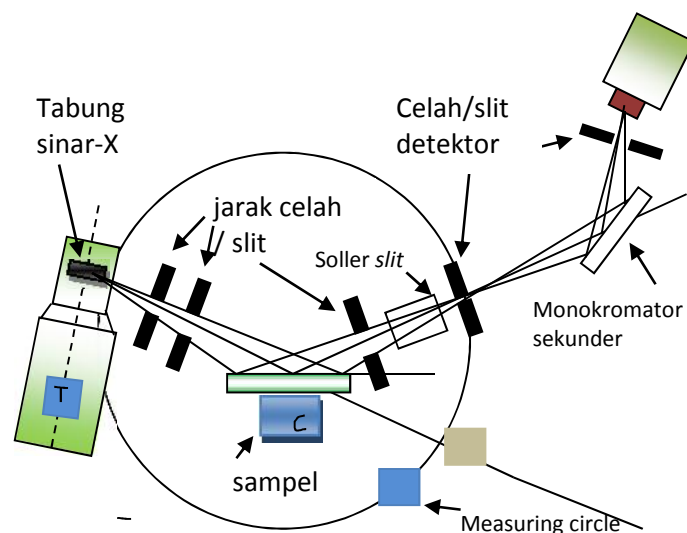
$$n\lambda = ON + NP \text{ atau} \quad (4)$$

$$n\lambda = d \sin \theta + d \sin \theta = 2d \sin \theta \quad (5)$$



Gambar 5. Difraksi sinar-x oleh kristal (Sembiring dan Simanjuntak 2015).

Skema jalannya difraksi sinar-x ditunjukkan pada Gambar 6 yang berturut-turut terdiri dari: sumber sinar-x, celah/slit (*soller*), slit penyebar, sampel/*specimen*, celah anti penyebar, celah penerima, celah *soller* dan detektor.



Gambar 6. Skema difraksi sinar-x (Sembiring dan Simanjuntak 2015).

4. Analisis Rietveld

Metode Rietveld pertama kali dikemukakan oleh ilmuwan H. M. Rietveld dimana metode untuk mempelajari struktur kristal campuran oksida dan padatan organik lainnya melalui difraksi neutron, selain itu metode ini didasarkan pada pencocokan secara keseluruhan data difraksi pengamatan dengan memasukkan

parameter yang ada, sehingga diperoleh pola difraksi yang sesuai dengan data pengamatan (Rietveld, 1969).

Proses penghalusan menggunakan metode Rietveld yaitu:

1. Meyakinkan semua fasa yang telah teridentifikasi pada analisis kualitatif untuk proses penginputan pada software.
2. Menyesuaikan format data terukur dengan perangkat yang akan digunakan (misalnya, apakah berformat .dat, .xy atau .cpi yang berisi data intensitas).
3. Mengumpulkan informasi mengenai:
 - a. Instrumen [λ , 2θ , FWHM (parameter V dan W)].
 - b. Data kristalografi (*space group*, parameter kisi, posisi atom, parameter termal, *site occupancy*) semua fasa yang teridentifikasi untuk masing-masing fasa berdasarkan tabel ICSD.
4. Memperkirakan fungsi latar dan FWHM terhadap sudut difraksi untuk membantu proses penghalusan.
5. Mensimulasikan pola, membandingkan dengan pola terukur secara manual, jika saat proses *refine* sesuai maka dilanjutkan dengan proses penghalusan fasa selanjutnya hingga didapatkan persentase fraksi massa struktur fasa yang terbentuk.

Untuk mengetahui derajat kecocokan antara data pengamatan struktur fasa hasil observasi dengan data perhitungan software dalam menilai sukses atau tidaknya prosedur penghalusan, indeks kecocokan dengan profil R (*reabilitas*) yaitu dinyatakan dengan persamaan:

$$R_p = \frac{\sum |y_{io} - y_{ic}|}{\sum y_{io}} \quad (6)$$

Bobot profil R,

$$R_{wp} = \left[\frac{\sum w_i (Y_{io} - Y_{ic})^2}{\sum w_i Y_{io}^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

R Bragg (untuk interaksi intensitas refleksi)

$$R_B = \frac{\sum |I_{ko} - I_{kc}|}{\sum I_{ko}} \quad (8)$$

Profil R yang diharapkan untuk pencocokan

$$R_{exp} = \left[\frac{N-P}{\sum w_i Y_{io}^2} \right]^{1/2} \quad (9)$$

Dan parameter hasil penghalusan (*goodnes of fitting*)

$$\chi^2 = \frac{\sum w_i (Y_{io} - Y_{ic})^2}{N-P} = \left[\frac{R_{wp}}{R_{exp}} \right]^2 \quad (10)$$

dimana:

Y_{io} = Intensitas difraksi hasil observasi.

Y_{ic} = Intensitas perhitungan pada titik i .

W_i = Faktor pemberat yang digunakan pada setiap pengamatan.

I_{ko} = Intensitas integrasi.

I_{kc} = Intensitas perhitungan pada akhir penghalusan.

N = Jumlah pengamatan (jumlah total Y_{io} ketika latar belakang dihaluskan).

P = Jumlah parameter kuadrat terkecil.

Kecocokan antara pola difraksi pengukuran dengan hasil perhitungan dapat dilihat dari nilai χ^2 . Nilai yang ideal untuk χ^2 adalah 1, tetapi terkadang bisa lebih dari 1, dalam kasus analisis fasa Kisi (1994) menyarankan nilai $\chi^2 \leq 4$.

5. Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan terhadap indentasi (lekukan) dan ditentukan dengan mengukur kedalaman indentasi tetap, yang artinya bila menggunakan gaya atau beban tetap saat identor diberikan maka akan menghasilkan indentasi. Apabila indentasi yang dihasilkan kecil, maka material tersebut semakin keras. Kekerasan sampel akan meningkatkan pertambahan suhu *sintering* yang dilakukan, karena semakin merapatnya partikel-partikel dalam sampel (Vlack, 1994). Ada tiga macam metode pengujian untuk kekerasan bahan, yaitu metode goresan, patahan, dan penekanan (lekukan). Pengujian dengan metode penekanan biasanya menggunakan uji *brinell*, *vickers*, dan *rockwell*. Pada uji kekerasan *vickers*, penekanan menggunakan piramida intan dengan dasar berbentuk bujur sangkar (George, 1987). Angka *Vickers Hardness (HV)* dapat ditentukan dengan persamaan 6.

$$HV = 1,8544 \times \frac{P}{d^2} \quad (11)$$

dimana:

HV = Kekerasan (kgf/mm^2)

P = Beban yang diberikan (kgf)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada 10 Desember 2016 hingga 12 Agustus 2016 di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Kimia Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Tanjung Bintang sedangkan karakterisasi sampel dilakukan di BATAN (Badan Tenaga Nuklir) Serpong.

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: gelas ukur, *beaker glass*, spatula/batang pengaduk, kompor listrik, *oven*, labu *elenmeyer*, corong *bucher*, corong kaca, pipet tetes, pH indikator, *magnetic stirrer*, kertas saring, aluminium foil, plastik *press*, kertas *tissue*, krusibel (cawan), neraca digital, pengayak dengan diameter 63 μm , mortar dan pastel, penekan hidrolik GRASEBY SPECAC, *furnace* Bamstead Thermolyne 48000, *microhardness tester* HV-1000 serial No. 0002, XRD (*X-ray Diffractometer*).

2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: sekam padi, aquades, alkohol, Larutan NaOH 1,5% sebagai media ekstraksi, HNO₃ 10%, Magnesium oksida (MgO) SIGMA-ALDRICH (63093-250G-F), serta Aluminum Oksida (Al₂O₃) SIGMA-ALDRICH *product of Germany* (11028-500G).

C. Preparasi Sampel

1. Preparasi Sekam Padi

Sekam padi yang diperoleh dari pabrik penggilingan dicuci menggunakan air panas dan direndam selama 6 jam, hal ini bertujuan agar zat-zat pengotor (zat organik) yang larut dalam air seperti batang padi, tanah, dan pengotor lainnya dapat terlepas dari sekam padi. Kemudian memisahkan sekam padi yang mengapung di permukaan dan mengambil sekam padi yang tenggelam untuk digunakan dalam percobaan selanjutnya. Setelah itu, sekam padi yang telah ditiriskan dikeringkan menggunakan sinar matahari selama ± 2 hari. Selama proses penjemuran sekam padi diratakan agar kering secara menyeluruh.

2. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Sekam padi yang telah dipreparasi, selanjutnya diekstraksi dalam larutan NaOH 1,5%. Proses pengekstraksiannya yaitu sekam padi yang telah ditimbang sebanyak 50 gr dimasukkan ke dalam gelas *beaker*, kemudian ditambahkan larutan NaOH 1,5% sebanyak 500 ml hingga sekam terendam seluruhnya untuk mendapatkan

silika terlarut. Sekam padi yang telah terendam oleh larutan NaOH 1,5% dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan daya 600 Watt hingga mendidih selama 30 menit. Tahap selanjutnya adalah memisahkan ampas sekam padi dari ekstrak sekam menggunakan corong *bucher*, untuk memperoleh hasil ekstraksi yang berupa filtrat (*sol*) silika yang terlarut. *Sol* silika yang diperoleh didinginkan kemudian ditutup menggunakan plastik *press* dan didiamkan selama 24 jam. Proses tahapan inilah yang disebut dengan penuaan (*aging*).

Selanjutnya, *sol* silika yang didapat disaring menggunakan kertas saring. Hal ini bertujuan agar *sol* silika yang didapat terpisah dengan zat pengotor (organik) dan ampas filtrat silika. Kemudian, mengasamkan filtrat dengan menambahkan larutan HNO_3 10% sedikit demi sedikit untuk memperoleh *gel* silika hingga nilai pH 7. *Gel* silika yang diperoleh didiamkan selama 24 jam agar terjadi proses penuaan (*aging*). Setelah melalui tahap *aging*, didapatkan *gel* silika bewarna coklat kehitam-hitaman. Untuk memperoleh serbuk silika putih maka *gel* tersebut dicuci menggunakan air hangat dan pemutih agar mendapatkan *gel* silika bewarna putih, proses ini disebut dengan proses *bleaching*. Setelah itu, *gel* silika disaring menggunakan kertas saring agar mengurangi kandungan air pada silika *gel*. Silika *gel* yang telah disaring, dikeringkan menggunakan *oven* dengan suhu $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 jam untuk memperoleh silika dalam bentuk padatan. Kemudian, silika padatan yang didapat digerus menggunakan mortar dan pastel hingga menjadi serbuk silika yang halus. Serbuk silika tersebut diayak menggunakan pengayak $63\text{ }\mu\text{m}$. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan serbuk silika yang homogen. Setelah itu, serbuk putih silika dikalsinasi pada suhu $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam untuk menghilangkan sisa-sisa zat yang mudah menguap (*volatile*).

3. Preparasi *Cordierite*

Metode yang digunakan untuk mendapatkan preparasi *cordierite* ini menggunakan metode padatan (*solid state*). Perbandingan mol untuk masing-masing bahan MgO, Al₂O₃, dan SiO₂ yang digunakan yaitu 2:2:5 atau setara dengan perbandingan berat 14:34:52 %. Sebelum melakukan pencampuran, ketiga bahan diayak menggunakan pengayak dengan ukuran diameter 63 µm. Tahapan selanjutnya, bahan-bahan dicampur dan digerus menggunakan mortar dan pastel hingga didapatkan serbuk *cordierite* yang homogen.

4. Preparasi Paduan *Cordierite*-Magnesium Oksida

Preparasi *cordierite* yang telah diperoleh ditambahkan Magnesium Oksida dengan persentase berat 0, 10, dan 15 % dari berat total 20 gram. Selanjutnya, mencampur kedua paduan bahan dengan larutan alkohol menggunakan *magnetic stirrer* selama 4 jam. Tahapan ini bertujuan agar partikel kedua bahan tersebut dapat menyatu secara homogen. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk memisahkan filtrat *cordierite* dengan larutan alkohol. Filtrat yang didapat dikeringkan dengan suhu 70°C selama 2,5 jam. Hasil filtrat padatan digerus dan diayak hingga diperoleh serbuk paduan *Cordierite*-Magnesium Oksida.

5. Pencetakan Pelet Paduan *Cordierite*-Magnesium Oksida

Pencetakan pelet ini menggunakan alat *Press Hidrolic*. Hal pertama yang dilakukan dalam proses ini yaitu menimbang sampel dengan berat 2 gram dengan variasi masing-masing paduan 0, 10 dan 15%. Setelah itu memasukkan bubuk

yang telah ditimbang pada cetakan *press* yang berbentuk silinder. Kemudian memasang cetakan *press* ke dalam alat *pressing* dengan tekanan 5 ton.

6. *Sintering*

Proses *sintering* dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran (*furnace*) listrik yang memiliki pengaturan suhu. Temperatur suhu yang digunakan pada proses ini adalah 1250 °C dengan kenaikan suhu 4 °C/menit serta waktu tahan selama 3 jam.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *sintering* ini adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan sampel yang akan dilakukan proses *sintering*.
- b. Menimbang berat sampel serta cawan krusibel sebelum *sintering*.
- c. Memasukkan sampel ke dalam krusibel kuarsa kemudian memasukkan ke dalam tungku pembakaran.
- d. Menghubungkan aliran listrik dengan tungku pembakaran.
- e. Menghidupkan tungku pembakaran listrik dengan menekan skalar pada posisi “ON”.
- f. Mengatur suhu yang diinginkan yaitu 1250 °C dengan kenaikan suhu 4 °C per menit dan waktu tahan selama 3 jam.
- g. Mematikan tungku pembakaran listrik setelah proses *sintering* selesai.
- h. Mengeluarkan sampel dari tungku pembakaran dan mendinginkannya hingga dingin.
- i. Menimbang massa sampel setelah *sintering*.

D. Karakterisasi Sampel

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengukuran penyusutan, densitas dan porositas, XRD (*X-Ray Diffraction*) serta kekerasan. Kode penamaan sampel *cordierite* dengan penambahan MgO 0, 10, 15 % berturut-turut yakni C₀, C₁₀ dan C₁₅.

1. Penyusutan

Pengukuran penyusutan pada sampel dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Menyiapkan sampel C₀, C₁₀, dan C₁₅.
- b. Menimbang massa sampel C₀, C₁₀, dan C₁₅ sebelum dan sesudah proses *sintering*.
- c. Menghitung besarnya penyusutan dengan Persamaan (1).

2. Densitas dan Porositas

Uji densitas dan porositas dilakukan secara bersamaan dalam satu waktu menggunakan prinsip Archimedes dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan sampel C₀, C₁₀ dan C₁₅.
- b. Menimbang sampel dengan neraca digital dalam keadaan kering untuk menentukan massa sampel kering (M_k) dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali.
- c. Menyiapkan *beaker glass* yang telah diisi air, selanjutnya memasukkan sampel pelet paduan *cordierite*-Magnesium Oksida ke dalamnya dan merebus sampel tersebut selama 5 jam.
- d. Sampel hasil perebusan didiamkan selama 24 jam agar sampel menjadi jenuh.

- e. Setelah dijenuhkan selama 24 jam, sampel dilap dengan *tissue* dan dilakukan penimbangan untuk memperoleh massa sampel jenuh (M_j).
- f. Sampel yang telah ditimbang diikat dengan benang, kemudian meletakkan gelas plastik yang telah berisi air ke dalam neraca. Sebelum melakukan penimbangan sampel, gelas berisi air tersebut dikalibrasi kemudian menimbang sampel yang telah diikat pada tengah-tengah air untuk memperoleh massa sampel basah (M_b). Melakukan pengulangan penimbangan sebanyak tiga kali.
- g. Melakukan perhitungan densitas dan porositas dari data yang telah diperoleh menggunakan Persamaan (2) dan (3).

3. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi XRD dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan persentasi Magnesium Oksida terhadap struktur kristalografi, apakah bersifat amorf atau kristalin. Sumber radiasi menggunakan Cu. Langkah-langkah dalam melakukan analisis menggunakan XRD sebagai berikut:

- a. Menyiapkan dan merekatkan sampel yang akan dianalisis pada kaca, kemudian dipasang pada tempatnya yang berupa lempeng tipis berbentuk persegi panjang (*sampel holder*) dengan bantuan malam (lilin perekat).
- b. Sampel yang disimpan dipasang pada *sampel holder* kemudian diletakkan pada *sampel stand* dibagian *geniometer*.
- c. Parameter pengukuran dimasukkan pada *software* pengukuran melalui komputer pengontrol, yaitu meliputi penentuan *scan mode*, penentuan

rentang sudut, kecepatan *scan* cuplikan, member nama cuplikan, dan member nomor urut *file* data.

- d. Mengoperasikan alat difraktometer dengan perintah “*Start*” pada menu komputer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å.
- e. Hasil difraksi dapat dilihat pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut 2θ tertentu dapat dicetak oleh mesin printer.
- f. Sampel dari sampel *holder* diambil setelah pengukuran cuplikan selesai.

4. Kekerasan (*Hardness*)

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisis pada sampel paduan *cordierite*-Magnesium Oksida. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *Microhardness Tester* model HV-1000 serial No. 0002 dengan metode *Vickers hardness*.



Gambar 7. *Microhardness tester*

Adapun langkah-langkah sebagai berikut:

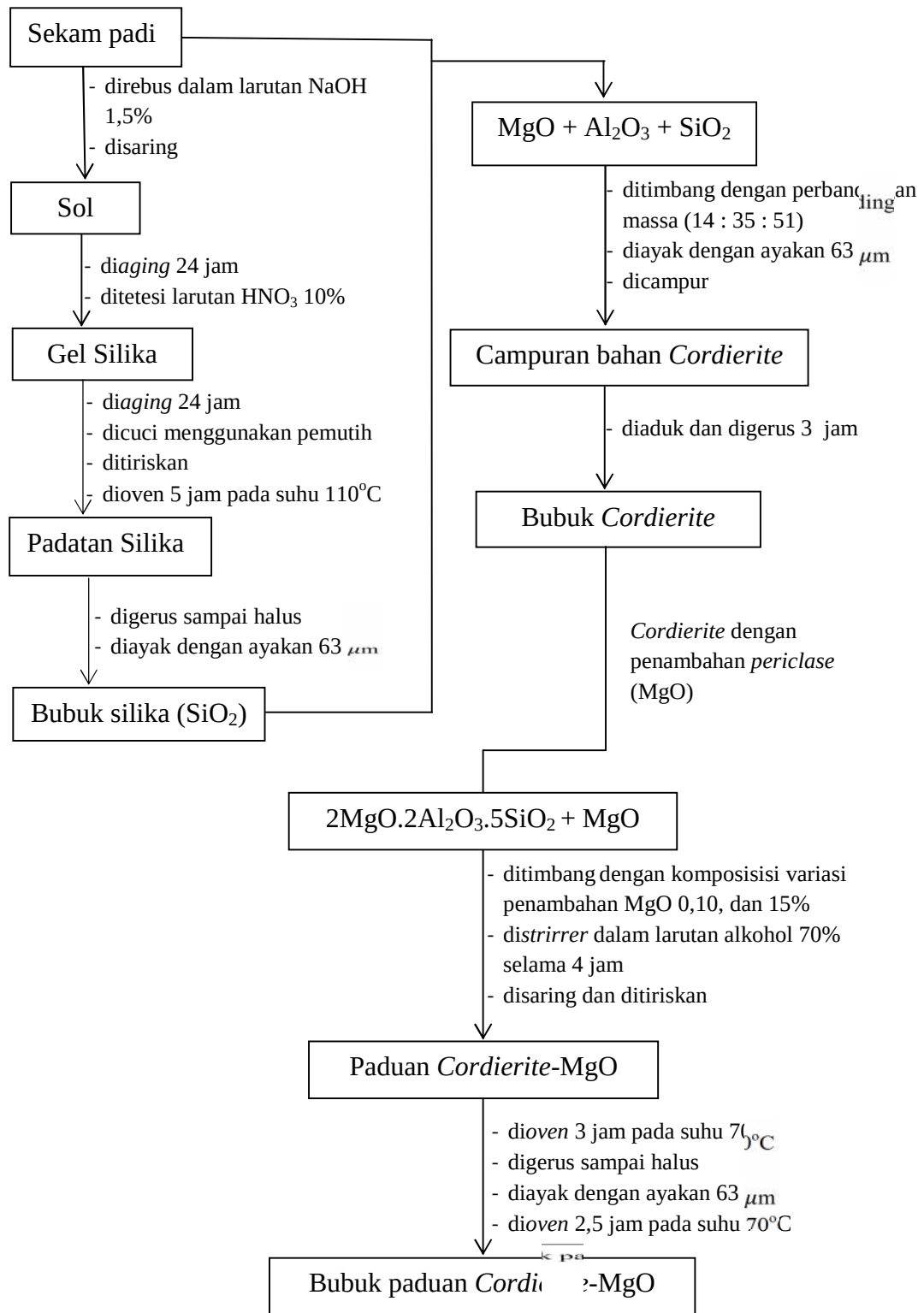
- a. Menyiapkan sampel yang akan dianalisis.
- b. Untuk mendapatkan permukaan sampel yang halus, maka dilakukan proses *polish* menggunakan amplas berukuran 600 serta *BUEHLER alpha micropolish magnesium oksida* (cairan serbuk Magnesium Oksida

berukuran $1\mu\text{m}$). Dilakukan gerakan berputaran membentuk angka delapan pada sampel agar mendapatkan permukaan yang halus.

- c. Memberikan lapisan tipis menggunakan spidol berwarna biru pada permukaan sampel yang berwarna putih. Hal ini dilakukan agar bentuk identifikasi dapat terlihat.
- d. Sampel diposisikan tegak lurus terhadap identer yang berbentuk *diamond pyramid* pada *microhardness tester*.
- e. Mengatur beban sebesar 0,2 kgf yang akan diberikan pada sampel.
- f. Memilih permukaan yang lebih halus pada sampel dengan mikroskop pada alat *microhardness tester*, dan menempatkan identer diatas permukaan yang halus tersebut.
- g. Menghidupkan alat *microhardness tester* dengan menekan tombol *On*.
- h. Mengamati identitas yang terbentuk dengan mikroskop pada *microhardness tester* dan mengukur panjang kedua diagonal, yaitu d_1 dan d_2 .
- i. Menghitung nilai kekerasan menggunakan Persamaan 11.

E. Diagram Alir

Diagram alir *cordierite* dengan penambahan MgO ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir pembuatan bubuk paduan *cordierite*-MgO

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh penambahan MgO pada keramik *cordierite*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil XRD, pada sampel C₀ tanpa penambahan MgO didominasi oleh fasa *spinel* dan fasa *cordierite*, namun seiring penambahan MgO pada sampel C₁₀ hingga C₁₅ didominasi oleh fasa *spinel* diikuti oleh fasa *forsterite*.
2. Penambahan MgO 0, 10 dan 15% pada *cordierite* menyebabkan penurunan nilai densitas dan penyusutan serta peningkatan porositas akibat perubahan komposisi sampel *cordierite*.
3. Karakteristik kekerasan mengalami penurunan seiring dengan penambahan MgO pada keramik *cordierite* karena pembentukan struktur fasa serta penurunan nilai densitas dan peningkatan porositas akibat perubahan komposisi *cordierite*.

B. Saran

Untuk penelitian tentang *cordierite* dengan penambahan MgO disarankan suhu *sintering* pada alat stabil untuk mendapatkan hasil yang diinginkan karena suhu

merupakan salah satu variabel yang paling penting dalam pembuatan keramik *cordierite*. Selain itu, senyawa doping untuk tambahan selain MgO diperlukan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Balakrishnan, S., and Wong, P.L. 2006. Rice Husk Ash Silica as a Support Material for Ruthenium Based Heterogenous Catalyst. *Journal of Physical Science*. [17]:1–13.
- Banjuraizah, J., Mohamad, H., and Ahmad, A. Z. 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 Silicate Phase. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 8 [3] 637–645.
- Beltran, L.E., Prene, P., Boscher, C., Belleville, P., Buvat, P., Lambert, S., Guillet, F., Boissiere, C., Grosso, D., and Sanchez, C. 2006. Nanostructured Hybrid Solar Cells Based on Self-Assembled Mesoporous Titania Thin Films. *Chemical Material*. [18]:6152-6156.
- Carey, W.J., and Navrotsky, A. 1992. The Molar Enthalpy of Dehydration of Cordierite. *American Mineralogist, USA*. [77]: 930-936.
- Cava, S., Tebcherani, M. S., Souza, A. I., Pianaro, A. S., Paskocimas, A. C., Longo, E., and Varela, A.J. 2007. Structural Characterization of Phase Transition of Al_2O_3 Nanopowders Obtained by Polymeric Precursor Method. *Journal Materials Chemistry and Physics*. [103]:394-399.
- Charles, A.H. 2001. *Handbook of Ceramic glasses, and Diamonds*. Mc Graw Hills Company Inc. USA.
- Cullity, B. D. 1992. *Element of X-Ray Diffraction. Departement of Mettallurgical Engeenering and Materials Science*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA. Pp. 277-281.
- Esper, F. J. 1989. *Electrical/Electronic Application of Ceramics*. High-Tech Ceramics Viewpoints and Perspective. Pp. 120.
- George, E Dieter.1987. *Metalurgi Mekanik*. Edisi Ketiga (Terjemahan Sriati Djaprie). Erlangga. Jakarta.

- Ghosh, R., and Bhattacharjee, S. 2013. A Review Study on Precipitated Silica and Activated Carbon from Rice Husk. *Journal of Chemical Engineering, Process Technology*. [4]:1-7.
- Ginanjar, R.R., Ma'ruf, A., dan Mulyadi, H.A. 2014. Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi Menggunakan Pelarut NaOH. Purwokerto, Jawa Tengah. Hal:306-312.
- Hans K. S. 1992. Synthesis and Characterization of Low Thermal Expansion Cordierite. *ASEAN-Japan Seminar on Ceramics, Fine Ceramics*. Kuala Lumpur- Malaysia.
- Hunter, B. A. and Howard, C. J. 2000. *A computer Program Rietveld Analysis of X-Ray and Neutron Powder Diffraction Patterns*. Australian Nuclear Science and Technology Organization. Australia. Page 79.
- Huseynov, E., Garibov, A., Mehdiyeva, R. 2014. Temperature and Frequency Dependence of Electric Conductivity in Nano-Grained SiO₂ Exposed to Neutron Irradiation. *Baku, Azerbaijan*. Pp:1-13.
- 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. *Journal Microporous and Mesoporous Materials*. [86]:145-151.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K., and Uhlmann, D.R. 1976. *Introduction to Ceramic (2nd edition)*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Kisi, E. H. 1994. *Rietveld Analysis of Powder Diffraction Pattern*. Department of Mechanical Engineering University of Newcastle. Australia. Page 36.
- Kramer, A. D. 2000. *Magnesium, its Alloys and Compounds*. U.S. Geological Survey Science for a Changing World. Pp:01-341.
- Kurama, S., and Kurama, H. 2008. The Reaction Kinetics of Rice Husk Based Cordierite Ceramics. *Ceramic International*. [34]: 269-272.
- Lacson, J.G., S. Cometta., and M. Yoneyama. 2000. CEH Product Review. Magnesium Oxide and Other Magnesium Chemicals. *In: Chemical Economics Handbook*. Menlo Park, CA, SRI International, 93 pp.
- Lampman, H. and N. Wheathon. 1991. *Engineered Materials*. Handbook Ceramic and Glasses. ASM International. The Material Information Society. Pp 465.
- Li, Y., Cheng, X., and Zhang, R. 2015. Effect of Excess MgO on the Properties of Cordierite Ceramic Sintered by Solid-State Method. *International Journal Of Applied Ceramic Technology*. [2]: 443-450.

- Maca, K., Trunec, M., dan Chmelik, R. 2007. Processing and Properties of Fine-Grained Transparent MgAl_2O_4 Ceramics. *Journal Ceramic*. 2 : 94-97.
- Marghussian, K.V., Balazadegan, U., and Eftekhariyekta, B. 2009. The Effect of BaO and Al_2O_3 Addition on the Crystallization Behaviour of Cordierite Glass Ceramics in the Presence of V_2O_5 Nucleant. *Journal of the European Ceramic Society*. [29]:39–46.
- Mbarki, R., Mnif, A., and Hamzaoui, A.H. 2014. Structural, Dielectric Relaxation and Electrical Conductivity Behavior in MgO Powders Synthesized by Sol-Gel. *Journal Materials Science in Semiconductor Processing*. Pp:1-7.
- Meilyana, F. 2016. *Pengaruh Penambahan Magnesium Oksida (0,20,25,30%) terhadap Karakteristik Kekerasan dan Struktur Fasa Bahan Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi*. Universitas Lampung: Bandar Lampung.
- Naskar, K. M., and Chatterjee, M. 2004. A Novel Process for the Synthesis of Cordierite ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) Powders from Rice Husk Ash and Other Sources of Silica and Their Comparative Study. *Journal of the European Ceramic Society*. [24]: 3499-3508.
- Padmaraj, O., Venkateswarlu, M., and Satyanarayana, N. 2015. Structural, Electrical and Dielectric Properties of Spinel Type MgAl_2O_4 Nanocrystalline Ceramic Particles Synthesized by the Gel-Combustion Method. *Journal Ceramic International*. [41]:3178-3185.
- Parchoviansky, M., Galusek, D., Svancarek, P., Sedlacek, J., and Sajgalik, P. 2014. Thermal Behavior, Electrical Conductivity and Microstructure of Hot Pressed $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ Nanocomposites. *Journal Ceramic International*. [40]:14421-14429.
- Pinero, M., Atik, M., and Zarzycki, J. 1992. Cordierite- ZrO_2 and Cordierite- Al_2O_3 Composites obtained by Sonocatalytic Methods. *Journal of Non-Crystalline Solids*. Page 523-531.
- Rietveld, H. M. 1969. A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structures. *Journal of Applied Crystallography*. 2: 65-71.
- Rudolph, T., Pannhorst, W., and Petzow, G. 1993. Determination of Activation Energies for The Crystallization of Cordierite-Type Glass. *Journal Non-Crystalline Solid*. [155]:273-281.
- Sebayang, P., Muljadi., Ginting, M., dan S. K, Deni. 2007. Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Terhadap Karakteristik Keramik Cordierite Berpori Sebagai Bahan Filter Gas Buang. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*. [7]: 25-38.

- Sembiring, S., dan Karo Karo, P. 2007. Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Termal dan Mikrostruktur Silika Sekam Padi. *Jurnal Sains MIPA*. [13]:2333 – 239.
- Sembiring, S., Manurung, P., dan Karo Karo, P. 2009. Pengaruh Suhu Tinggi terhadap Karakteristik Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 090107 [5]: 1-4.
- Sembiring, S. 2014. *Preparasi dan Karakterisasi Bahan*. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Hal. 45-59.
- Sembiring, S. dan Simanjuntak, W. 2015. *Silika Sekam Padi*. Potensinya sebagai Bahan Baku Keramik Industri: Plantaxia. Pp:72-75.
- Sembiring, S., Simanjuntak, W., Situmeang, R., Riyanto, A., dan Sebayang, K. 2016. Preparation of Refractory Cordierite Using Amorphous Rice Husk Silica for Thermal Insulation Purposes. *Journal Ceramics International*. [42]: 8431-8437.
- Shackelford, F. J., and Doremus, H. R. 2008. *Ceramic and Glass Materials: Structure, Properties and Processing*. Springer. Pp:1-5.
- Shukur, M. M., Asward, A. M., and Khadhim, J. Z. 2015. Preparation of Cordierite Ceramic from Iraqi Raw Materials. *International Journal of Engineering and Technology*. [5]:172-175.
- Simanjuntak, W., and Sembiring, S. 2011. The Use of the Rietveld Method to Study the Phase Composition of Cordierite ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) Ceramics Prepared From Rice Husk Silica. [5]: 97-100.
- Smith, W. F. 1990. *Principle of Material Science and Engineering*. McGraw-Hill, Inc. P581.
- Suka, I. G., Wasinton, S., Simon, S., Evi, T. 2008. Karakterisasi Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal MIPA*. Vol 37. Hal 47-52.
- Tang, L., Cheng X., Lu, P., Yue, F. 2012. Effect of MgO/CuO on the Microstructure and Thermal Properties of Cordierite-Alumina Ceramics. *Key Engineering Materials*. 509: 240-244.
- Tristiana, A. 2016. *Struktur Mikro dan Konduktivitas Listrik Keramik Cordierite dengan Penambahan Magnesium Oksida (0, 10 dan 15 wt%) Berbasis Silika Sekam Padi*. Universitas Lampung: Bandar Lampung.
- Tkalcec, E., Popovic, J., Grzeta, B., and Ivankovic, H. 2007. *Crystallization Studies of Cordierite Originated from Sol-Gel Precursors*. 275-279.

Torres, J. F., and Alarcon, J. 2005. Effect Of MgO/CaO Ratio On the Microstructure of Cordierite-Based Glass-Ceramic Glazes for Floor Tiles. *Article in Ceramic International*. [31]:683-690.

Vlack, V. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Non Logam)*, Edisi kelima. Alih Bahasa Sriati Djaprie. Fak. Teknik Metalurgi. Universitas Indonesia. Cetakan ke-empat Erlangga. Jakarta.