

**STRUKTUR MIKRO DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK KERAMIK
CORDIERITE DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM OKSIDA (0, 10,
15 wt %) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI**

(Skripsi)

Oleh

Ade Lia Tristiana



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

ABSTRAK

STRUKTUR MIKRO DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK KERAMIK CORDIERITE DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM OKSIDA (0, 10, 15 wt%) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI

Oleh

Ade Lia Tristiana

Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan magnesium oksida terhadap mikrostruktur dan konduktivitas listrik keramik cordierite yang dibuat dari bahan magnesium oksida, alumina dan silika yang diekstrak dari sekam padi dengan metode sol-gel. Penambahan magnesium oksida terhadap cordierite sebanyak 0, 10, dan 15wt% dan disintering pada suhu 1250°C selama 3 jam. Mikrostruktur sampel dianalisis dengan Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectroscopy (SEM/EDS), sedangkan konduktivitas listrik dianalisis menggunakan LCR meter, serta dilakukan uji fisis meliputi densitas, porositas dan penyusutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan MgO, densitas dan penyusutan menurun sedangkan porositas meningkat. Hasil analisis SEM menunjukkan mikrostruktur sampel dengan penambahan MgO menunjukkan banyak pori-pori dan adanya aglomerasi. Nilai konduktivitas menurun dengan penambahan 10 dan 15% MgO untuk pengukuran pada frekuensi 0.1 Hz – 1KHz.

Kata Kunci: Cordierite, konduktivitas listrik, magnesium oksida, mikrostruktur, sekam padi.

ABSTRACT

MICROSTRUCTURE AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF CORDIERITE CERAMIC DERIVED FROM RICE HUSK SILICA WITH ADDITION OF MAGNESIUM OXIDE (0, 10, 15 wt%)

By

Ade Lia Tristiana

This study was carried out to investigate the effect of magnesium oxide addition on the microstructure and electrical conductivity of cordierite, prepared from magnesium oxide, alumina, and silica extracted from rice husk by sol-gel method. For this purpose, the samples were prepared with magnesium oxide addition of 0, 10, and 15 wt% to the cordierite and subsequently sintered at 1250°C for 3 hours. Microstructure of samples was analyzed by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectroscopy (SEM / EDS), while the electrical conductivity was analyzed using LCR meter. Other characteristics investigated are density, porosity and shrinkage. The results showed that addition of MgO led to decrease density and shrinkage, while porosity increased. SEM analysis revealed the existence of pores and agglomerates on the surface. It was also found that the conductivity values decreased with the addition of 10 and 15% MgO for measurements at frequency of 0.1 Hz to 1.0 KHz.

Keywords: Cordierite, electrical conductivity, magnesium oxide, microstructure, rice husk.

**STRUKTUR MIKRO DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK KERAMIK
CORDIERITE DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM OKSIDA (0, 10,
15 wt %) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI**

Oleh

ADE LIA TRISTIANA

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 : **STRUKTUR MIKRO DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK KERAMIK *CORDIERITE* DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM OKSIDA (0, 10, 15 WT%) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI**

Nama Mahasiswa : **Ade Lia Tristiana**

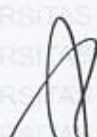
Nomor Pokok Mahasiswa : 1217041002

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

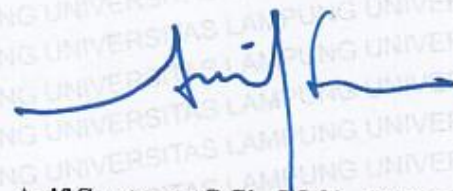


1. Komisi Pembimbing


Prof. Simon Sembiring, Ph.D.
NIP 19611003 199103 1 002


Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.
NIP 19590706 198811 1 001

2. Ketua Jurusan Fisika



Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

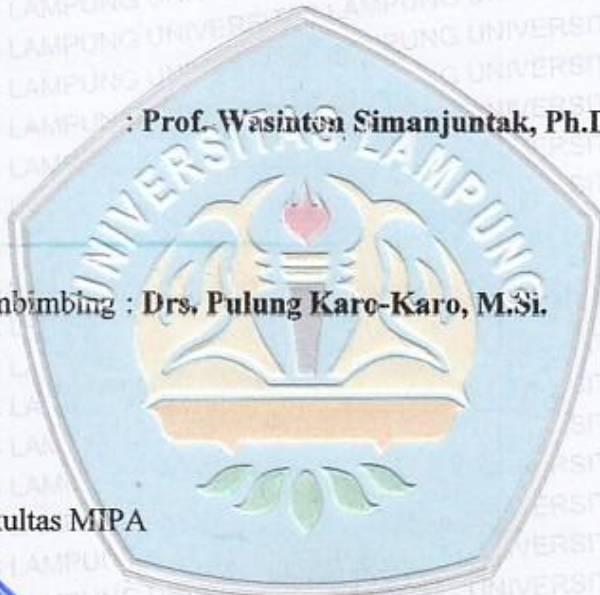
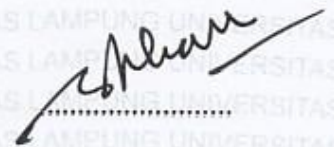
1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Simon Sembiring, Ph.D.



Sekretaris : Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.

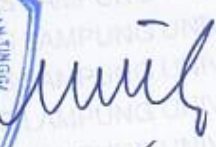
**Penguji
Bukan Pembimbing : Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.**



2. Dekan Fakultas MIPA



Prof. Warsito, S.Si., D.E.A.
NIP 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 November 2016

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, November 2016



Ade Lia Tristiana
NPM. 1217041002

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sukaraja Kabupaten Lampung Barat pada 18 Juli 1994 dan merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Jumrah dan Ibu Kasrawanah. Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Merpati Emas pada tahun 1999 - 2000, pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN 01 Sukaraja dan diselesaikan pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Way tenong, dan SMAN 1 Way tenong. Penulis diterima di Universitas Lampung, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Fisika pada tahun 2012 melalui Program Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama masa studi penulis menjadi salah satu mahasiswa penerima beasiswa Bidik Misi.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika periode 2012-2013 dan periode 2013-2014. Penulis juga pernah melakukan Praktik Kerja Lapangan di UPT. Badan Pengolahan Mineral Lampung - LIPI, Tanjung Bintang pada tahun 2015 dengan judul **“UJI FISIK DAN KIMIA BATA API SK-36 DAN SK-38”**. Selain itu, penulis pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Dasar I tahun 2013/2014, 2014/2015 dan 2015/2016, serta asisten Praktikum Sains Dasar tahun 2013/2014 dan 2014/2015.

MOTTO

“Genius is 1% inspiration, 99% perspiration”

-Thomas Alva Edison-

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karyaku ini kepada:

“Kedua orangtuaku yang tak pernah lelah memberikan dukungan, do’a, nasehat serta dengan sabar menunggu terselesaikannya skripsi ini”

“Kedua adikku, Syahdun Akbar dan Ardelia Renanti yang senantiasa memberikan dukungan”

“Keluarga besar dan teman-temanku tercinta”

“Jurusan Fisika Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Struktur Mikro dan Konduktivitas Listrik Keramik *Cordierite* dengan Penambahan Magnesium Oksida (0, 10, 15 wt%) Berbasis Silika Sekam Padi”**. Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dalam menulis sebuah karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk karya ilmiah selanjutnya. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semuanya.

Bandar Lampung, November 2016

Penulis,

Ade Lia Tristiana

SANWACANA

Dengan rasa syukur dan ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ibunda, Ayahanda, kedua adikku Syahdun Akbar dan Ardelia Renanti yang selalu mendo'akan dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih untuk pengorbanan yang telah diberikan.
2. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D selaku pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan dan bersedia meluangkan waktu selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi selesai.
3. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, nasehat, dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si. selaku dosen penguji sekaligus pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran kepada penulis dalam penyempurnaan skripsi ini.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si.,M.Si.,M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas dukungan dalam proses akademik.

6. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
7. Cik Tara, Cik Gunseh, Nenek, Nenek Jang Gempe, Sepupu- sepupuku Tara, Cinta, Dey, Lesti dan seluruh keluarga besarku terimakasih atas semangat, motivasi dan dukungannya.
8. Teman seperjuangan sekaligus sahabatku Mirawati dan Juniati Br. Simbolon, terimakasih atas bantuan, semangat dan persahabatan yang kalian berikan kepada penulis.
9. Teman-teman angkatan 2012, kakak dan adik tingkat Fisika, terimakasih untuk kebersamaan dan dukungan yang diberikan bagi penulis.
10. Seluruh pihak yang telah ikut serta membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga segala bantuan dan dukungan menjadi yang terbaik untuk penulis, dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak orang. Amin.

Bandar Lampung, November 2016

Penulis

Ade Lia Tristiana

DAFTAR ISI

	Halaman
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
SANWACANA	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. Cordierite	6
1. Bahan Pembuat Cordierite dan Aplikasinya	6
2. Struktur dan Karakteristik Cordierite.....	7
B. Bahan Penyusun Keramik Cordierite	8
1. Alumina	8
2. Magnesium Oksida (MgO)	10
3. Silika (SiO ₂)	13
C. Pengaruh Penambahan Bahan lain terhadap <i>Cordierite</i>	15
D. Sintering	17
E. Karakterisasi dan Uji Fisis	18
1. SEM/EDS	18

2. Konduktivitas Listrik	21
3. Densitas dan Porositas	23
4. Penyusutan	24
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	26
B. Alat dan Bahan Penelitian	26
C. Prosedur Penelitian	27
1. Preparasi Sampel	27
2. Karakterisasi Sampel	30
D. Diagram Alir	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengantar	37
B. Hasil Ekstraksi Silika Sekam Padi	37
C. Hasil Sintesis Paduan <i>Cordierite</i> - MgO.....	39
D. Hasil Karakterisasi	40
1. Karakterisasi Sampel dengan SEM-EDS	40
2. Hasil Pengukuran Konduktivitas Listrik.....	48
3. Densitas dan Porositas	51
4. Penyusutan	52
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	54
B. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Kristal <i>Cordierite</i>	8
2. Struktur Kristal Korundum	9
3. Struktur Kristal Magnesium Oksida (MgO)	11
4. Struktur Kristal Spinel (MgAl ₂ O ₄).....	12
5. Struktur tetrahedral Silika (SiO ₂) (a), (b) Skema perubahan struktur silika akibat perubahan Temperatur	14
6. Mekanisme Proses Pemanasan (Sintering).	18
7. Skema Dasar SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	20
8. Diagram Alir Proses Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	34
9. Diagram Alir Proses Pembuatan <i>Cordierite</i>	35
10. Diagram Alir Proses Pembuatan Serbuk Paduan <i>Cordierite</i> – MgO...	35
11. Diagram Alir Proses Pembentukan Pelet, Sintering, Karakterisasi	36
12. Proses Pemanasan Sekam Padi dengan Larutan NaOH 1.5%	38
13. Gel Silika yang telah dibersihkan	39
14. Serbuk SiO ₂ Hasil Ekstraksi	39
15. Proses pembuatan Paduan <i>Cordierite</i> – MgO	39
16. Sampel setelah disintering	40
17. Mikrograf SEM Sampel 0% MgO dengan Perbesaran berbeda: (a) 5.000 (b) 7.000	41
18. Spektrum EDS Sampel 0% MgO.....	41

19. Mikrograf SEM Sampel 10% MgO dengan Perbesaran berbeda: (a) 5.000 (b) 7.000	42
20. Spektrum EDS Sampel 10% MgO.....	42
21. Mikrograf SEM Sampel 15% MgO dengan Perbesaran berbeda: (a) 5.000 (b) 7.000	44
22. Spektrum EDS Sampel 15% MgO.....	44
23. Mikrograf SEM Sampel (a) 0% MgO, (b) 10% MgO, (c) 15% MgO dengan Perbesaran 7.000x.....	45
24. Konduktivitas Listrik Sampel <i>Cordierite</i> dengan Penambahan MgO pada Frekuensi 0,1 Hz – 100 KHz.	48
25. Hubungan Frekuensi dengan Konduktivitas Listrik untuk Setiap Penambahan MgO.....	51
26. Densitas dan Porositas Sampel dengan Penambahan MgO	52
27. Penyusutan Sampel <i>Cordierite</i> dengan Penambahan MgO pada Suhu Sintering 1250°C	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat Fisis dan Mekanik Keramik <i>Cordierite</i>	8
2. Sifat Fisis dan Mekanik Alumina (Al_2O_3)	10
3. Sifat Fisis dan Mekanik Magnesium Oksida (MgO)	12
4. Sifat Fisis dan Mekanik Spinel (MgAl_2O_4).....	13
5. Sifat Fisis dan Mekanik Silika (SiO_2)	15
6. Ukuran Partikel dan Pori-Pori Sampel	47
7. Persentase Unsur Paduan <i>Cordierite</i> – MgO berdasarkan hasil analisis EDS	47
8. Konduktivitas Listrik <i>Cordierite</i> – MgO pada frekuensi berbeda	50

I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Cordierite merupakan salah satu jenis keramik yang terdiri dari senyawa oksida yaitu magnesium oksida (MgO), aluminium oksida (Al₂O₃), dan silika (SiO₂). Rumus kimia dari keramik ini adalah 2MgO·2Al₂O₃·5SiO₂. *Cordierite* mempunyai keunggulan dibandingkan dengan keramik lainnya yaitu, cukup stabil, memiliki konstanta dielektrik rendah (4,1-5,3), resistivitas tinggi (10¹⁶ /cm pada suhu 25°C) (Buchanan, 2004), serta memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibanding porselin. Oleh karena itu keramik *cordierite* bersifat isolator listrik yang baik sehingga dapat dipergunakan sebagai substrat elektronik (Sebayang dkk, 2007).

Namun, *cordierite* tidak tersedia di alam, tetapi dapat disintesis dengan mencampurkan bahan-bahan yang mengandung MgO, Al₂O₃ dan SiO₂ seperti yang dilakukan oleh Sembiring (2009) dan Taharuddin (2010) yaitu mensintesis *cordierite* dari bahan magnesium *nitrat hydrate* (Mg(NO₃)₂·6·12H₂O), aluminium *nitrat hydrate* (Al(NO₃)₂·9·15H₂O), dan silika sol. Bejjaoui dkk (2010) mensintesis *cordierite* dari andalusit (sumber Al₂O₃ dan SiO₂) dan *stevensite* (sumber MgO dan SiO₂).

Namun demikian, kandungan bahan yang paling banyak terdapat dalam keramik *cordierite* adalah silika (SiO_2). Umumnya silika (SiO_2) yang digunakan adalah silika komersial seperti TEOS (*Tetraethyl orthosilicate*) dengan rumus kimia $((\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si})$ (Tang, 2011; Castvan, 2007) yang relatif mahal. Sehingga banyak penelitian menggunakan bahan-bahan alternatif untuk mengganti silika (SiO_2). Seperti yang dilakukan oleh Ianosev (2008) menggunakan aerosil untuk membuat silika, atau menggunakan asap silika (Ewais, 2009). Pada penelitian ini silika (SiO_2) yang akan digunakan adalah silika (SiO_2) yang diekstrak dari sekam padi dengan metode sol-gel menggunakan pelarut NaOH.

Sekam padi merupakan hasil samping saat proses penggilingan padi dan menghasilkan limbah yang cukup banyak, yakni sebesar 20% dari berat gabah (Somaatmadja, 1980). Biasanya, sekam padi dari tempat penggilingan hanya dibuang atau digunakan sebagai alas telur, sehingga pemanfaatan sekam padi secara komersial masih relatif rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan magnesium oksida (MgO) terhadap mikrostruktur dan konduktivitas listrik keramik *cordierite* berbasis silika sekam padi. Keramik *cordierite* dibuat dengan mencampurkan alumina (Al_2O_3), magnesium oksida (MgO), dan silika (SiO_2) yang diperoleh dari ekstraksi sekam padi dengan metode sol-gel. Variasi penambahan magnesium oksida yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah 0, 10, dan 15 wt% dan disintering pada suhu 1250°C dengan waktu tahan 3 jam. Mikrostruktur dan komposisi *cordierite* dianalisis dengan *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM/EDS), konduktivitas listrik sampel dianalisis

menggunakan LCR meter. Pada penelitian ini akan dilakukan pula uji fisis keramik *cordierite* meliputi, densitas, porositas, serta penyusutan akibat perlakuan sintering.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sembiring (2009), *cordierite* murni yang dibuat dari silika sekam padi dan disinterring pada suhu 1300-1500°C menunjukkan morfologi tidak teratur dan penggumpalan dari partikel padat dan tersusun rapat, karena ukuran partikel halus. Juga, tampaknya ada distribusi ukuran lebar partikel pada permukaan sampel. Menurut Alwiyah dkk (2014) penambahan MgO sebesar 3% dapat memperbaiki mikrostruktur yaitu membuat bahan memiliki permukaan yang lebih lebih halus.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh penambahan magnesium oksida terhadap densitas, porositas, dan penyusutan keramik *cordierite*.
- b. Bagaimana pengaruh penambahan magnesium oksida terhadap struktur mikro dan konduktivitas listrik keramik *cordierite*.

C. Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk :

- a. Mengetahui pengaruh penambahan magnesium oksida 0, 10 dan 15 wt% terhadap struktur mikro dan konduktivitas listrik keramik *cordierite*.

- b. Mengetahui pengaruh penambahan magnesium oksida (0,10,15 wt%) terhadap densitas, porositas, dan penyusutan keramik *cordierite* yang disintering pada suhu 1250°C selama 3 jam.

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini meliputi :

- a. Silika yang digunakan adalah silika dari sekam padi yang diekstraksi dengan larutan NaOH 1.5% dan larutan HNO₃ 10%.
- b. Keramik *cordierite* disintesis dengan campuran alumina (Al₂O₃), magnesium oksida (MgO), dan silika (SiO₂) dengan metode reaksi padatan (*solid state*).
- c. Rasio penambahan magnesium oksida pada keramik *cordierite* adalah 0, 10, dan 15 wt%.
- d. Paduan *cordierite* – magnesium oksida disintering pada suhu 1250°C dengan waktu tahan 3 jam.

E. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Sebagai informasi mengenai ekstraksi silika dari sekam padi dengan menggunakan pelarut NaOH.
- b. Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan keramik *cordierite*.
- c. Sebagai alternatif dalam pemilihan *cordierite* sebagai bahan pembuatan keramik.

F. Sistematika Penulisan

- BAB I Pendahuluan meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.
- BAB II Tinjauan pustaka memaparkan tentang *cordierite*, bahan penyusun *cordierite*, sintering serta karakterisasi dan uji fisis yang dilakukan dalam penelitian.
- BAB III Metode Penelitian menjelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, preparasi sampel, prosedur penelitian, karakterisasi, dan diagram alir.
- BAB IV Hasil dan Pembahasan mencakup data hasil penelitian, analisis serta pembahasan dari penelitian.
- BAB V Kesimpulan dan saran terhadap hasil yang diperoleh dari seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan.

II TINJAUAN PUSTAKA

A. Cordierite

1. Bahan Pembuat *Cordierite* dan Aplikasinya

Keramik *cordierite* adalah material zat padat dengan fase kristal $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. *Cordierite* murni dibuat melalui reaksi antara oksida-oksida $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ pada temperatur $(1450\text{-}1650)^\circ\text{C}$ tergantung pada macam dan komposisi bahan baku yang digunakan (Charles, 2001). Sembiring (2009), Naskar (2004) dan Taharuddin (2010) mensintesis *cordierite* dari bahan magnesium *nitrat hydrate* ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), *aluminium nitrat hydrate* ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$), dan silika sol. Bejjaoui dkk (2010) mensintesis *cordierite* dari andalusit (sumber Al_2O_3 dan SiO_2) dan *stevensite* (sumber MgO dan SiO_2) dan Castvan dkk (2007) mensintesis keramik *cordierite* dari campuran *tetraethylorthosilicate* atau TEOS ($(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$), magnesium klorida (MgCl_2), aluminium klorida (AlCl_3) dan alkohol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Keramik *cordierite* dapat pula disintesis dari bahan lain seperti kaolin (Nour, 2008), *talc* (Banjuraizah, 2010), *clay*, kuarsa, bauksit (Ibrahim dkk, 1995) serta *fly ash* (Shao dkk, 2004).

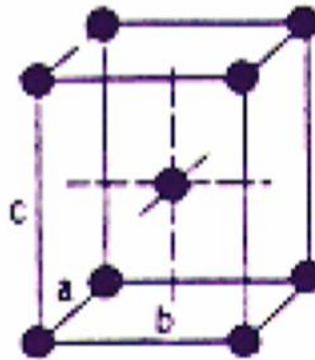
Keramik *cordierite* bersifat isolator listrik yang baik sehingga dapat dipergunakan sebagai substrat elektronik. Umumnya *cordierite* digunakan sebagai bahan refraktori, selain itu juga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, contohnya untuk ubin

lantai (Torres & Alarcon, 2005), sebagai bahan filter gas buang (Sebayang dkk, 2007), filtrasi debu (Ewais, 2009). Berdasarkan penelitian Taharuddin (2010), *cordierite* digunakan sebagai katalis heterogen pada metanolisis minyak kelapa.

2. Struktur dan Karakteristik *Cordierite*

Keramik *cordierite* mempunyai sifat mekanik, termal dan dielektrik yang lebih baik dibandingkan keramik lainnya (Tabel 1) karena elektron valensi dari atom logam pindah secara tetap ke atom oksigen, membentuk ion O^{2-} atau dengan kata lain unsur logam dapat melepas elektron kulit luar dan memberikan pada non logam yang mengikatnya. Akibatnya, elektron-elektron tersebut menjadi isolator listrik dan isolator kalor yang baik. Ion Al^{3+} dari Al_2O_3 kehilangan semua elektron valensi yang membawa muatan logam aluminium. Elektron-elektron tersebut sekarang diikat oleh ion oksigen. Dalam bahan isolasi lain, Mg^{2+} diikat oleh ion O^{2-} dalam MgO , sedangkan silikon dan oksigen membagi elektronnya dalam tetrahedral SiO_2 . Hasilnya merupakan komposisi $MgO-SiO_2-Al_2O_3$ yang mempunyai sifat isolator yang baik (Charles, 2001).

Struktur kristal *cordierite* adalah orthorombik dengan parameter a b c dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Smith, 1996). Sementara hasil penelitian Gokce dkk (2011) juga menunjukkan bahwa *cordierite* mempunyai struktur kristal *base-centered orthorhombic*, $a = 0.974$ nm, $b = 1.708$ nm, $c = 0.935$ nm seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Kristal *Cordierite* (Anonim, 2016).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Goren dkk (2006) menunjukkan bahwa pada sampel yang disintering pada suhu 1300°C selama 3 jam, *cordierite* (*indialite*) merupakan fase utama yang muncul diikuti oleh fase lain yaitu $MgAl_2O_4$ spinel dan kristobalit.

Tabel 1. Sifat Fisis dan Mekanik Keramik *Cordierite*.

Sifat-sifat Fisis dan mekanis	Nilai	Sumber
Densitas (g/cm^3)	2,00-2,53	Sebayang, 2007
Titik Lebur ($^{\circ}C$)	1460	
Kekerasan (kgf/mm^2)	700-800	
Koefisien Ekspansi Termal ($^{\circ}C^{-1}$)	2×10^{-6} - 3×10^{-6}	Charles, 2001
Konduktivitas Termal ($W/(cm.K)$)	0,013-0,017	
Konstanta dielektrik	4,1-5,3	Buchanan, 2004
Konduktivitas listrik (S/cm)	$0,33 \times 10^{-6}$ - $0,14 \times 10^{-5}$	Brook, 1991

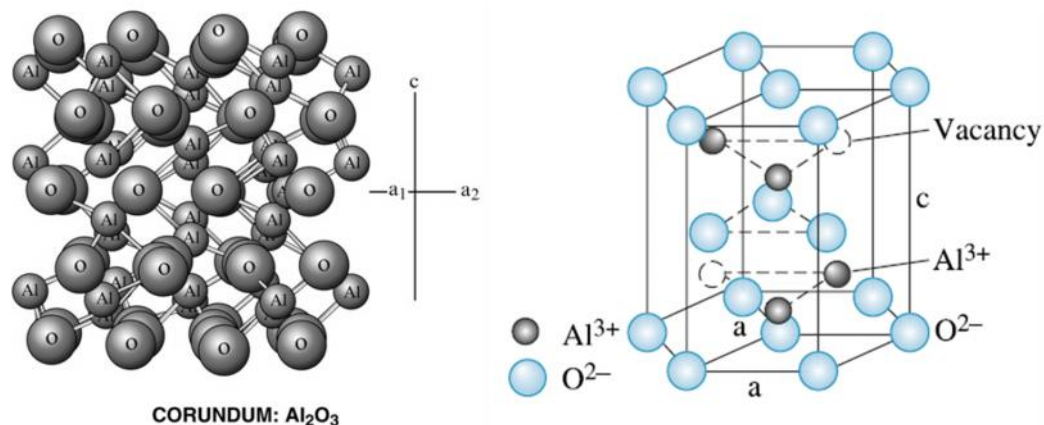
B. Bahan Penyusun Keramik *Cordierite*

1. Alumina

Aluminium oksida (Al_2O_3) atau alumina merupakan bahan yang banyak digunakan dalam industri mikroelektronika. Bahan ini digunakan untuk pompa, lapisan tahan

api, isolator listrik, abrasif, dan dalam banyak hal dalam kemasan elektronik. Alumina asli ditemukan sebagai salah satu mineral berikut: korundum, *diaspore*, gipsit, dan bauksit (Charles, 2001).

Alumina mempunyai beberapa bentuk fasa, antara lain fasa gamma, delta, theta dan alpha alumina. Fasa alpha (α - Al_2O_3) merupakan fasa paling stabil pada alumina, terutama pada suhu tinggi. Alpha alumina mempunyai struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi $a = 4,7588$ dan $c = 12,9910$ nm. Alpha alumina sering disebut dengan korundum (Johan, 2009). Struktur kristal korundum dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Kristal Korundum (Askeland, 2010 ; Shackelford, 2008).

Alumina (Al_2O_3) merupakan bahan yang keras, tahan panas hingga 2000°C , dan memiliki ketahanan yang baik terhadap zat kimia. Alpha alumina meleleh pada 2040°C , dan sintering dimulai pada 1750°C (Charles, 2001). Karakteristik alumina ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fisis dan Mekanik Alumina (Al₂O₃).

Sifat-sifat Fisis dan mekanis	Nilai	Sumber
Densitas (g/cm ³)	3,1-3,95	Charles, 2001
Titik Lebur (°C)	2050	
Kekerasan Vickers (Gpa)	16-17	Kostorz, 1988
Koefisien Ekspansi Termal(/K)	8,1x10 ⁻⁶	
Konduktivitas Termal (W/cm °C)	0,34	
Konstanta dielektrik	8,8-10,1	Buchanan, 2004
Konduktivitas Listrik (S/cm)	7,8 x 10 ⁻⁴	Parchoviansky, 2014

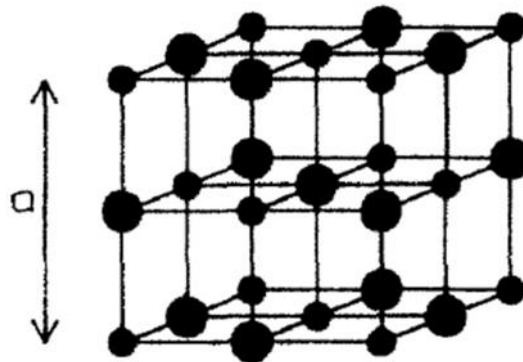
2. Magnesium Oksida (MgO)

Magnesium oksida atau disebut juga *periclase* dapat terbentuk sebagai mineral alam, dimana ditemukan pada kapur dan *dolomite* metamorf, pada lahar gunung dan pada batu serpentin. Selain dari bahan alam, MgO disintesis menggunakan bahan buatan dengan cara mensintering serbuk amorfnya. Bahan ini stabil dalam atmosfer oksida hingga 2300°C dan 1700°C dalam atmosfer reduksi dan mempunyai titik leleh sekitar 2800°C. Sehingga magnesium oksida stabil pada suhu tinggi. Magnesium oksida merupakan sebagai bahan isolator yang paling tahan panas untuk aplikasi praktek. Bahan ini juga mempunyai konduktivitas panas, tahanan listrik sehingga banyak digunakan sebagai material insulator dengan karakteristik cenderung tidak berubah saat dipanaskan. Magnesium oksida juga merupakan material yang aman bagi tubuh manusia (Surya,2008). Penelitian yang dilakukan oleh Bindhu dkk (2015) menunjukkan bahwa MgO dapat diaplikasikan sebagai antibakterial.

Magnesium oksida dibutuhkan dalam jumlah besar untuk aplikasi refraktori dalam sebuah industri. Penggunaan MgO sangat menguntungkan untuk aplikasi yang

membutuhkan konduktivitas termal dan resistivitas listrik pada suhu tinggi. Dibandingkan dengan alumina (Al_2O_3), magnesium oksida (MgO) memiliki sifat isolator listrik yang baik terutama pada suhu tinggi (Charles, 2001).

Magnesium oksida (MgO) memiliki struktur kristal NaCl dengan $a = 4.212$. struktur kristal MgO ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Kristal Magnesium Oksida (MgO) (Causa, 1986).

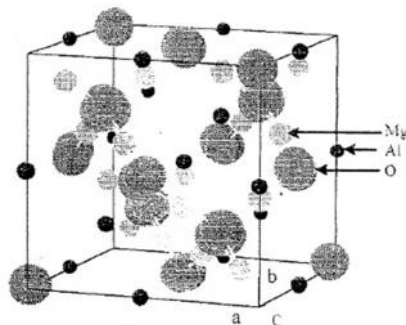
Dalam keramik, magnesium oksida meninggikan viskositas serta memperpanjang *working range* dari pembentukannya, selain itu menurunkan koefisien muai serta meningkatkan kekerasan (Sijabat, 2007). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Alpionita dan Astuti (2015) morfologi permukaan MgO berbentuk bulat (*spherical*). Morfologi permukaan MgO yang disintering pada suhu yang lebih tinggi terlihat semakin homogen dan penggumpalan (aglomerasi) yang terjadi lebih sedikit dibandingkan dengan sampel yang disintering pada suhu rendah.

Magnesium oksida merupakan suatu mineral yang tidak larut dalam air tetapi larut dalam asam. Bahan ini memiliki struktur kristal kubik dengan kerapatan $3,65 \text{ gr/cm}^3$ (Tabel 3).

Tabel 3. Sifat Fisis dan Mekanik Magnesium Oksida (MgO).

Sifat-sifat Fisis dan mekanis	Nilai	Sumber
Densitas (gr/cm^3)	3.53-3,65	Charles, 2001
Titik Lebur ($^{\circ}\text{C}$)	2800	
Kekerasan (Mohs)	6 – 6,5	
Koefisien Ekspansi Termal ($/^{\circ}\text{C}$)	$8,0 \times 10^{-6}$	Buchanan, 2004
Konduktivitas Termal (W/cm.K)	0,42	
Konstanta dielektrik	8,9	
Konduktivitas Listrik (S/cm)	$4,2 \times 10^{-7} - 4,3 \times 10^{-5}$	Mbarki, 2014

Keramik magnesium oksida (MgO) dan alumina (Al_2O_3) dapat membentuk spinel (MgAl_2O_4). Spinel merupakan bentuk struktur hasil pengelompokan dari senyawa oksida yang memiliki struktur sangat mirip. Bentuk umum struktur spinel adalah AB_2O_4 dimana A mempresentasikan ion logam divalent seperti magnesium, besi, nikel dan seng sedangkan B mempresentasikan ion logam trivalent seperti aluminium, besi, krom dan mangan. Spinel (MgAl_2O_4) memiliki struktur kristal kubik/FCC (Gambar 4) dengan parameter kisi sel $a=b=c=8,083 \text{ \AA}$ dengan sudut $= = =90^{\circ}\text{C}$.

**Gambar 4.** Struktur Kristal Spinel (MgAl_2O_4) (Sutarno, 2007)

Spinel memiliki densitas $3,58-4,00 \text{ gr/cm}^3$, kekerasan $7,50-8,00 \text{ GPa}$, *Fracture Toughness* $1,94-1,97 \text{ MPa m}^{1/2}$, dan titik leleh 2135°C . Karakteristik fisis dan mekanik spinel ditunjukkan Pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat Fisis dan Mekanik Spinel ($MgAl_2O_4$) (Lee, 1990 ; Padmaraj, 2015).

Sifat-sifat Fisis dan mekanis	Nilai
Densitas, (g/cm^3)	3,6
Titik Lebur ($^{\circ}C$)	2135
Konstanta dielektrik	8 – 9
Kekerasan (GPa)	7,5 – 8,0
Koefisien Ekspansi Termal (K^{-1})	$8,41 \times 10^{-6}$
Resistivitas ($\Omega \cdot cm$)	10^{14}
Konduktivitas Termal (W/cm.K)	0,12
Konduktivitas Listrik (S/cm)	$4,92 \times 10^{-13}$

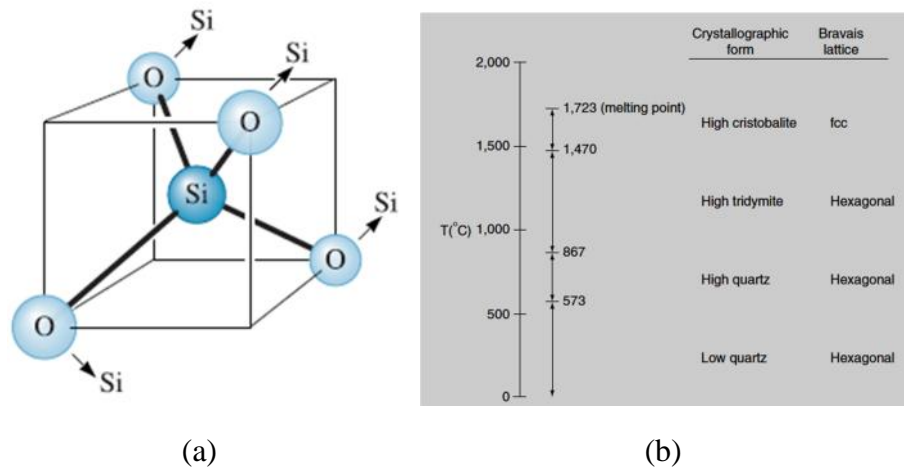
Spinel banyak dimanfaatkan untuk bahan semen, dan gelas aplikasi temperatur tinggi, bahan tungku pemanas (*furnace*) baja, dan bahan keramik transparan untuk peralatan laboratorium, lensa kamera, dan sebagai pelapis lampu Na aplikasi tekanan tinggi (Dorre dan Hubner, 1984).

3. Silika (SiO_2)

Silikon (Si), di samping oksigen, adalah elemen yang paling melimpah yang ditemukan di alam. Dalam industri keramik, SiO_2 dikenal sebagai pasir, silika, kuarsa dan batu api. Silika atau pasir, digunakan dalam *enameling* dan kaca industri. Sebagai tanah kuarsa, atau kuarsa, seperti yang disebut, SiO_2 digunakan dalam beberapa bentuk tembikar, enamel dan digunakan dalam berbagai industri seperti industri *terracotta* dan industri keramik elektronik.

Silika terjadi di bentuk kristal kuarsa, tridimit dan kristobalit seperti ditunjukkan pada Gambar 5(b). Konversi kuarsa menjadi tridimit pada suhu $870^{\circ}C$ disertai dengan perluasan $\sim 15\%$. perubahan volume ini menyebabkan strain dalam badan keramik

yang mengandung silika bebas. Semua bentuk silika, ketika dipanaskan pada suhu tinggi, membentuk silika kaca atau leburan silika. Jika pemanasan sangat cepat, kuarsa mungkin tidak muncul untuk melewati perantara tahapan. Ketika leburan silika sangat lambat didinginkan, reaksi yang terjadi adalah membalikkan dari mereka terjadi selama pemanasan, dan kuarsa yang akhirnya akan diproduksi.



Gambar 5. (a) Struktur Tetrahedral Silika (SiO_2), (b) Skema Perubahan Struktur Silika Akibat Perubahan Temperatur (Askeland, 2010).

Silika terbentuk dari satuan struktur primer silikat tetrahedral SiO_4^{4-} , di mana satu atom Si^{+4} dikelilingi oleh empat atom oksigen yang terikat secara ionik dan kovalen membentuk ikatan tetrahedral dengan parameter sel $a = b = 4,821\text{\AA}$ dan $c = 4,162\text{\AA}$ dan $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$ seperti ditunjukkan pada Gambar 5(a), di mana dua atom silika berikatan dengan setiap atom oksigen (Sembiring & Simanjuntak, 2015). Silika (SiO_2) mempunyai karakteristik fisis seperti ditunjukkan pada Tabel 5, diantaranya mempunyai titik lebur yang tinggi, tahan terhadap asam dan basa, serta tidak larut dalam air (Katsuki dkk, 2005).

Tabel 5. Sifat Fisis dan Mekanik Silika (SiO_2) (Surdia, 1999).

Sifat-sifat Fisis dan mekanis	Nilai
Densitas (g/cm^3)	2,2
Titik Lebur ($^{\circ}\text{C}$)	~ 1600
Kekerasan (Kgf/mm^2)	650
Koefisien Ekspansi Termal ($^{\circ}\text{C}$)	$0,55 \times 10^{-6}$
Konstanta dielektrik	3,8-5,4
Konduktivitas Listrik (S/cm)	10^{-12}

Saat ini banyak penelitian yang menggunakan sekam padi untuk memperoleh silika SiO_2 . Hal ini dikarenakan di dalam sekam padi terdapat kandungan silika yang tinggi. Berdasarkan penelitian yang Daifullah dkk (2003), di dalam abu sekam padi terkandung 80-90 % silika (SiO_2), dan diikuti oleh senyawa-senyawa lain seperti CaO , Al_2O_3 , MgO dan sebagainya. Silika yang terkandung dalam sekam padi mempunyai sifat amorf dengan kemurnian tinggi yaitu sekitar 95,35% sehingga silika (SiO_2) dari sekam padi layak untuk dikembangkan dalam perkembangan material berbasis silika nabati (Suka dkk, 2008).

C. Pengaruh Penambahan bahan lain terhadap *Cordierite*

- **Penambahan Alumina (Al_2O_3)**

Alumina (Al_2O_3), dalam sebuah keramik terutama yang mengandung silika dapat meningkatkan porositas. Hal ini ditunjukkan oleh hasil penelitian Wan dkk (2016) pada penambahan alumina sebanyak 0-50% terhadap silika, mikrostruktur sampel menunjukkan porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan alumina. Hasil ini juga didukung oleh penelitian Sijabat (2007) bahwa pada penambahan 50 – 90% alumina terhadap *cordierite* yang disintering pada suhu

1300°C porositas semakin naik dan densitas semakin menurun. Penurunan nilai porositas berpengaruh pada sifat kelistrikan suatu bahan. Hasil penelitian Salwa (2007) menunjukkan bahwa *cordierite* tanpa penambahan alumina memiliki konstanta dielektrik 10,3 dan menurun seiring dengan penambahan 10 – 30% alumina menjadi 8,3. Adapun partikel *cordierite* berbentuk batang dan partikel alumina berbentuk bulat, semakin banyak penambahan alumina maka partikel berbentuk bulat semakin banyak dilihat dari hasil karakterisasi dengan SEM (Sijabat, 2007). Hal ini berarti fase alumina semakin dominan.

- **Penambahan Magnesium Oksida (MgO) terhadap *cordierite***

Penambahan magnesium oksida (MgO) pada keramik *cordierite* berpengaruh salah satunya terhadap mikrostruktur dan sifat kelistrikan keramik *cordierite*. Mikrostruktur *cordierite* dengan penambahan 0,4% MgO menunjukkan terdapat pori-pori yang saling berhubungan. Pori-pori tersebut semakin berkurang pada penambahan 0,6 dan 0,8% MgO dan mikrostrukturnya terlihat lebih padat (Tang, 2012). Hasil yang sama ditunjukkan pada penelitian Banjuraizah (2011), dengan komposisi $x\text{MgO}.1,5\text{Al}_2\text{O}_3.5\text{SiO}_2$ dengan penambahan MgO sebesar 18 – 21 % MgO. Mikrostruktur *cordierite* dengan penambahan 19% MgO menunjukkan pori-pori semakin berkurang namun ukurannya semakin besar.

Selain mikrostruktur, penambahan MgO terhadap *cordierite* juga berpengaruh terhadap sifat kelistrikan bahan. *Cordierite* murni memiliki konstanta dielektrik sebesar 4,1 – 5,3 (Charles, 2001). Adapun penambahan magnesium oksida 13-24%

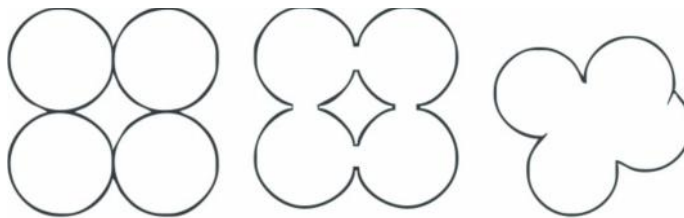
menyebabkan konstanta dielektrik menurun kemudian meningkat pada penambahan 17% MgO menjadi 7,2 yang diukur pada frekuensi 1 MHz – 1,8 GHz (Banjuraizah, 2010). Hasil penelitian Banjuraizah tersebut menunjukkan nilai konstanta dielektrik menurun dengan meningkatnya frekuensi disebabkan oleh lemah, atau tidak munculnya polarisasi ion yang mengakibatkan penurunan nilai konstanta dielektrik. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas listrik yang semakin besar dengan meningkatnya frekuensi.

D. Sintering

Proses sintering disebut juga proses densifikasi (Nugroho, 2011) merupakan proses yang penting dalam memodifikasi bahan keramik. Temperatur dan lamanya waktu sintering akan mempengaruhi proses pembentukan dan pendeposisian butiran dalam bahan agar dapat menghasilkan komposit dan struktur butiran yang halus dengan densitas yang tinggi. Dengan pertambahan waktu sintering, densitas akan semakin meningkat dan ukuran butiran (partikel) akan tersusun dengan teratur yang mengakibatkan jumlah pori-pori (porositas) semakin kecil (Dorre & Hubner, 1984).

Mekanisme sintering ini dimulai dari kontak antar butir yang dilanjutkan dengan peleburan titik kontak akibat proses difusi (transformasi massa) atom-atom. Difusi secara keseluruhan mengakibatkan penyusutan/*shrinkage* yang diiringi pengurangan porositas akibat pergerakan batas butir (Nugroho, 2011).

Pada temperatur sintering, butiran akan saling bergabung hingga batas butiran sehingga jumlah pori (porositas) bahan akan semakin kecil. Proses penggabungan butiran terjadi melalui difusi yang menghasilkan penyusutan volume bahan. Hasil penelitian yang dilakukan Rahaman (1995) menunjukkan proses difusi akan memberikan efek terhadap perubahan fisis bahan setelah sintering yaitu densitas, porositas dan penyusutan volume dan pertumbuhan butiran (Gambar 6).



Gambar 6. Mekanisme Proses Pemanasan (Sintering) (Johan, 2009).

Mekanisme pemanasan dimulai dengan adanya kontak antar butir yang dilanjutkan dengan pelebaran titik kontak akibat proses difusi (transportasi massa) atom-atom. Difusi secara keseluruhan mengakibatkan penyusutan (*shrinkage*) yang diiringi pengurangan porositas akibat pergerakan batas butir. Sebagai akibat dari penyusutan volume pori yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung.

E. Karakterisasi dan Uji Fisis

1. SEM/EDS

SEM/EDS banyak digunakan untuk mengkarakterisasi material (logam, keramik, dan polimer). SEM merupakan perkembangan dari mikroskop optik (maksimum perbesaran 1000x) sehingga dapat mencapai perbesaran maksimum sampai 150000x

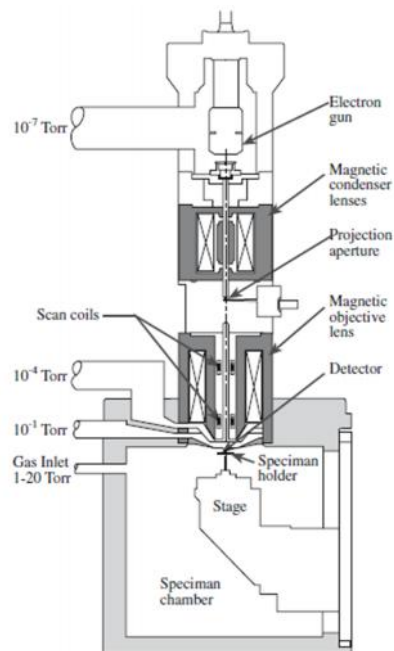
(tergantung pada kondisi sampel uji dan SEM pada saat itu). SEM banyak digunakan untuk aplikasi sebagai berikut :

1. Pemeriksaan struktur mikro sampel uji metalografi dengan magnifikasi (perbesaran) yang jauh melebihi mikroskop optik biasa
2. Pemeriksaan permukaan patahan dan permukaan yang memiliki kedalaman tertentu yang tidak mungkin diperiksa dengan mikroskop optik.
3. Evaluasi orientasi kristal dari permukaan spesimen metalografi.
4. Analisis unsur pada objek dalam skala mikro pada permukaan *bulk specimen*.
5. Distribusi komposisi kimia pada permukaan *bulk specimen* sampai jarak mendekati 1 mikro.

Komponen dasar peralatan SEM terdiri dari empat sistem utama, yaitu sistem penembak elektron yang menghasilkan elektron dengan jumlah tertentu; sistem lensa yang berupa medan elektromagnetik yang memfokuskan berkas elektron pada permukaan sampel; sistem pelarikan yang membentuk bayangan dengan prinsip pelarikan (*scanning*); dan sistem deteksi yang memanfaatkan elektron sekunder dan elektron terhambur balik. Hasil interaksi berkas elektron dengan permukaan sampel, dapat berupa elektron sekunder (SE), elektron terhambur balik (BSE), elektron Auger, sinar-X dan elektron transmisi. Pada SEM hanya memanfaatkan SE dan BSE untuk memperoleh informasi struktur mikro, sedangkan sinar-X digunakan untuk menganalisa komposisi kimia pada permukaan sampel. Sampel yang akan

dikarakterisasi dengan SEM, harus mempunyai permukaan yang relatif rata dan halus (Johan, 2009).

Secara lebih detail sistem alat SEM terdiri dari beberapa komponen diantaranya, sistem sumber elektron (*electron gun*), sistem lensa sistem deteksi, sistem *scanning* dan sistem *vacuum*. Sistem ini terdiri dari sumber elektron berupa filament sebagai kutub katoda yang berfungsi sebagai penghasil elektron dan sumber tegangan negatif/celah pelindung (*aperture shield*) dan kutub anoda (Sembiring & Simanjuntak, 2015).



Gambar 7. Skema dasar SEM (*Scanning Electron Microscopy*) (Carter & Norton, 2007).

Pemeriksaan dengan SEM pada dasarnya merupakan pemeriksaan dan data analisis permukaan. Tampilan yang diperoleh adalah data dari permukaan yang tebalnya sekitar 20 μm dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan gambar

topografi dari penangkapan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Pada prinsipnya cara kerja SEM dimulai dari berkas elektron berinteraksi dengan sampel yang akan menghasilkan *Secondary Electron (SE)* yang didalarn detektor SE tersebut diubah menjadi sinyal listrik sterusnya akan menghasilkan gambar pada monitor. Sinyal yang keluar dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Apabila jumlah elektron yang dipancarkan semakin banyak maka gambar yang dihasilkan semakin terang dan demikian sebaliknya (Masrukan dkk, 1999). Skema prinsip kerja SEM ditampilkan pada Gambar 7.

2. Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik (σ) adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik merupakan rasio dari rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktivitas suatu bahan adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Sedangkan Resistivitas adalah kebalikan dari konduktivitas, yakni kemampuan suatu bahan untuk menahan arus listrik. Resistansi (R) adalah kemampuan bahan listrik menghambat arus listrik. Resistivitas (ρ) adalah nilai resistansi bahan listrik pada satuan panjang (l) dan luas penampang (A) (Callister, 2001).

Konduktivitas listrik digunakan untuk menentukan karakter listrik suatu material.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

Satuan untuk σ adalah timbal-balik ohm-meter [$(\Omega \cdot \text{m})^{-1}$, atau ohm/m]. Konduktivitas listrik juga dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{G \times t}{A} \quad (2)$$

Dimana G adalah nilai konduktansi (Siemen), t adalah tebal bahan (cm) dan A merupakan luas permukaan bahan (cm^2). Konduktivitas listrik berbanding lurus dengan besarnya frekuensi, seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\sigma = \omega \epsilon'' \epsilon_0 \quad (3)$$

Dimana ω adalah frekuensi sudut ($2\pi f$), ϵ'' merupakan *dielectric loss*, dan ϵ_0 adalah permitivitas ruang hampa ($\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$).

Bahan padat menunjukkan berbagai konduktivitas listrik, perbesaran lebih dari 27 kali lipat. Salah satu cara mengklasifikasikan bahan padat menurut arus listrik; dalam skema klasifikasi ini ada tiga kelompok: konduktor, semikonduktor, dan isolator. Logam adalah konduktor yang baik, biasanya memiliki konduktivitas $10^7 (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$. Di ekstrem yang lain adalah bahan dengan konduktivitas yang sangat rendah, berkisar antara 10^{-10} dan $10^{-20} (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$; ini disebut isolator listrik. Bahan dengan konduktivitas menengah, umumnya dari 10^{-6} sampai $10^4 (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$, yang disebut semikonduktor (Callister, 2001). Bahan isolator seperti kaca silika dan alumina memiliki resistivitas listrik berkisar antara $>10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ (Charles, 2001).

3. Densitas dan Porositas

Massa per satuan volume dari sebuah material disebut densitas. Istilah ini sering digunakan secara sinonim dengan berat jenis, kuantitas tak bersatuan yaitu rasio kepadatan air murni pada 4°C (Charles, 2001). Densitas untuk benda padatan yang besar dengan bentuk yang beraturan pengukuran berat dan volumenya dilakukan dengan cara mengukur dimensinya. Untuk benda yang tidak beraturan maka densitasnya ditentukan dengan metode Archimedes yaitu dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m_k}{m_j - \left(\frac{m_g}{m_t}\right) \times \rho_{air}} \quad (4)$$

Dimana :

ρ : densitas (gr/cm³)

m_k : massa sampel kering (gr)

m_j : massa sampel direndam di dalam air/ massa jenuh (gr)

m_g : massa sampel digantung dalam air (gr)

m_t : massa kawat penggantung (gr) (Sihole, 2008).

Pori-pori merupakan efek yang paling penting dalam keramik polikristalin. Kehadiran pori-pori biasanya merugikan sifat mekanik keramik, karena pada daerah yang berpori keretakan bisa muncul. Kehadiran dari pori-pori adalah salah satu alasan mengapa keramik menunjukkan perilaku rapuh. Karena ada distribusi ukuran pori dan keseluruhan perubahan tingkat porositas, sifat mekanik keramik bervariasi.

Kehadiran pori-pori, di sisi lain, berguna untuk meningkatkan ketahanan terhadap *thermal shock*. Dalam aplikasi tertentu, seperti filter untuk logam panas dan paduan atau untuk cairan atau gas, kehadiran pori-pori yang saling berhubungan yang diinginkan. Porositas suatu bahan dihitung dengan :

$$\varepsilon = \frac{m_j - m_k}{m_j - m_g} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana :

m_k : massa sampel kering (gram)

m_j : massa sampel direndam di dalam air/ massa jenuh (gram)

m_g : massa sampel yang digantung dalam air (gram) (Askeland, 2010).

4. Penyusutan

Shrinkage penyusutan yang ditandai dengan berkurangnya dimensi (panjang, lebar, dan tebal), volume dan massa suatu bahan yang telah diberi perlakuan sintering. Proses sintering pada keramik adalah suatu proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada suhu tinggi mendekati titik leburnya hingga terjadi perubahan diantaranya penyusutan (*shrinkage*). Bahan yang disintering akan mengalami penyusutan yang mempengaruhi densitas dan porositas bahan tersebut, yakni densitas akan meningkat dan sebaliknya porositas akan menurun. *Skrinkage* merupakan persen pengurangan massa dari bahan keramik sebelum dibakar terhadap bentuk keramik sesudah dibakar.

Hubungan ini dapat dituliskan pada persamaan 6 :

$$S = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana :

S : persentase penyusutan (%)

M_0 : massa keramik sebelum disintering (gram)

M : massa keramik setelah sintering (gram) (Triyanti, 2008).

III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni - September 2016 di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Kimia Instrumentasi, UPT. Badan Pengolahan Mineral Lampung-LIPI Tanjung Bintang. Karakterisasi di Laboratorium Gedung 42 BATAN Puspitek Serpong.

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam preparasi sampel meliputi : timbangan digital, *Beaker glass*, kompor listrik, batang pengaduk/spatula, labu erlenmeyer, gelas ukur, saringan 200 mesh 63 μ m, corong kaca, kertas saring, aluminium foil, kertas *tissue*, pipet tetes, mortar dan pastel, pH meter, oven, cawan tahan panas, pengayak, *magnetic stirrer*, dan *furnace*.

2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah : Sekam padi, akuades, larutan NaOH 1.5%, larutan HNO₃ 10%, magnesium oksida (MgO) SIGMA-ALDRICH (63093-250G-F), dan alumina (Al₂O₃) SIGMA-ALDRICH *product of Germany* (11028-500G).

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Sampel

Preparasi sampel meliputi preparasi sekam padi, ekstraksi silika dari sekam padi, sintesis *cordierite*, serta pembuatan paduan *cordierite*-MgO dengan komposisinya yang divariasikan, pembuatan pelet, serta sintering.

a. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Sebelum diekstraksi, sekam padi terlebih dahulu dipreparasi dengan cara mencucinya dengan air dingin kemudian sekam padi yang mengapung dibuang, hanya sekam padi yang tenggelam yang digunakan pada proses selanjutnya. Sekam padi yang tenggelam kemudian direndam dengan air panas selama 6 jam untuk menghilangkan kotoran-kotoran seperti pasir, tanah, batang padi, kutu, debu dan kotoran lainnya. Setelah pencucian, sekam padi dikeringkan selama kurang lebih 2 hari. Pengeringan dapat dilakukan di dalam oven. Namun dalam penelitian ini sekam padi dikeringkan di bawah sinar matahari agar panas nya lebih merata. Selain itu pengeringan dengan bantuan sinar matahari lebih efektif dibandingkan pada oven.

Ekstraksi silika bertujuan untuk mendapatkan serbuk silika yang akan digunakan sebagai komponen pembuatan keramik *cordierite*. Tahapan ekstraksinya yaitu : sekam padi yang telah dipreparasi ditimbang sebanyak 50 gram, dimasukkan ke dalam *beaker glass* 500 ml, ditambahkan larutan NaOH 1.5 % kemudian diaduk. Campuran sekam padi dengan larutan NaOH 1.5% dididihkan menggunakan kompor listrik selama 30 menit dengan daya 600 watt sambil terus diaduk

menggunakan batang pengaduk/spatula agar panasnya merata. Sekam padi yang telah dididihkan selama kurang lebih 30 menit, didiamkan beberapa menit untuk menghilangkan uap panasnya lalu ditutup dengan aluminium foil selama 24 jam. Proses ini disebut proses penuaan (*aging*). Setelah proses *aging*, ampas sekam padi dipisahkan dari ekstrak untuk memperoleh filtrat silika terlarut (*sol*). Filtrat silika *sol* kemudian disaring menggunakan kertas saring agar endapan sisa ekstraksi dapat terbuang sehingga diperoleh *sol* silika yang lebih jernih dan murni. Selanjutnya adalah pembuatan silika *gel*. Tahapannya adalah silika *sol* yang diperoleh pada proses sebelumnya dimasukkan kedalam *beaker glass* 500 ml lalu ditetesi dengan larutan asam HNO_3 10% setetes demi setetes sambil terus diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 2000 rpm. Selama proses penetesan, pH *sol* silika terus dipantau karena apabila pH *sol* sudah mencapai 7 maka penetesan dihentikan dan bersamaan dengan itu pula diperoleh silika *gel*. Silika *gel* kemudian di*aging* selama kurang lebih 24 jam. *Gel* yang telah mengalami proses penuaan kemudian disaring lalu dicuci menggunakan air hangat dan pemutih agar *gel* berwarna putih. Silika *gel* yang telah bersih dikeringkan di dalam oven pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama kurang lebih 7 jam sehingga diperoleh silika padatan. Silika padatan digerus sampai halus menggunakan mortar dan pastel untuk memperoleh silika serbuk yang berwarna putih.

b. Sintesis *Cordierite*

Keramik *cordierite* disintesis dengan metode padatan (*solid state*). Bahan-bahan penyusun seperti alumina (Al_2O_3), magnesium oksida (MgO), dan silika (SiO_2) sekam padi ditimbang dengan perbandingan 2 : 2 : 5. Kemudian bahan-bahan

tersebut dicampur dengan cara menggerusnya selama kurang lebih 3 jam menggunakan mortar dan pastel sehingga diperoleh campuran yang homogen. Hasil gerusan kemudian diayak dengan ayakan sehingga diperoleh serbuk *cordierite*.

c. Pembuatan Paduan *Cordierite*-Magnesium Oksida

Penambahan magnesium oksida pada penelitian ini adalah 0, 10, dan 15 wt% dari total massa *cordierite* dan magnesium oksida. Pembuatan paduan *cordierite* - magnesium oksida dilakukan dengan cara menimbang *cordierite* murni dan magnesium oksida sesuai persentase yang telah ditentukan kemudian kedua bahan dicampur. Bahan yang sudah ditimbang lalu dicampur dengan larutan alkohol 70% secukupnya kemudian di *stirrer* menggunakan *magnetic stirrer* selama 4 jam. Larutan yang telah di *stirrer* didiamkan beberapa saat kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan paduan *cordierite* - magnesium oksida dengan alkohol. Setelah alkohol dan paduan *cordierite* - magnesium oksida terpisah, sampel kemudian dioven selama 2 jam dengan suhu 100°C. Paduan yang telah kering setelah di oven, digerus menggunakan mortar dan pastel agar diperoleh serbuk paduan *cordierite* – magnesium oksida. Serbuk hasil penggerusan disaring dengan ayakan 200 mesh agar diperoleh paduan *cordierite* – magnesium oksida dengan ukuran yang seragam.

d. Pencetakan Pelet

Sebelum disintering, paduan *cordierite* – magnesium oksida dengan variasi 0, 10, 15 wt% yang telah diperoleh pada proses sebelumnya terlebih dahulu dibentuk ke dalam padatan-padatan silinder yang disebut pelet. Adapun proses pencetakan

pellet adalah paduan *cordierite* – magnesium oksida dituang dalam cetakan pellet yang terbuat dari *stainless steel* lalu dicetak menggunakan alat *pressing* dengan tekanan 50 ton sehingga terbentuklah pellet.

e. Sintering

Proses sintering dimulai dengan cara pelet ditata dalam cawan tahan panas dari bahan silika kemudian dimasukkan ke dalam *furnace*. Sintering paduan *cordierite* – magnesium oksida pada penelitian ini dilakukan pada suhu 1250°C dengan kenaikan suhu 4°C/menit dengan waktu penahanan selama 3 jam.

2. Karakterisasi Sampel

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini meliputi SEM-EDS, konduktivitas listrik serta uji fisis berupa uji densitas, porositas dan pengukuran persentase penyusutan (*shrinkage*).

a. Penyusutan (*Shrinkage*)

Pengukuran penyusutan (*shrinkage*) pada sampel dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Menyiapkan sampel paduan *cordierite* – magnesium oksida.
2. Menimbang massa sampel sebelum dan sesudah proses sintering.
3. Menghitung besarnya persentase penyusutan menggunakan persamaan (6).

b. Densitas dan Porositas

Pengujian densitas dan porositas pada penelitian ini dilakukan secara bersamaan dalam satu waktu dengan menggunakan prinsip Archimedes. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan sampel paduan *cordierite* – magnesium oksida.
2. Menimbang sampel menggunakan neraca digital untuk menentukan massa kering sampel (m_s).
3. Menyiapkan *beaker glass* yang telah diisi air secukupnya, kemudian memasukkan sampel ke dalam *beaker glass* tersebut lalu merebusnya selama 5 jam pada *hotplate*.
4. Hasil rebusan didiamkan selama 24 jam agar sampel menjadi jenuh.
5. Setelah didiamkan selama 24 jam, sampel dilap dengan *tissue* kemudian ditimbang dengan neraca digital untuk mengetahui massa jenuh (m_j) sampel.
6. Setelah diperoleh berat jenuh sampel kemudian diikat dengan benang lalu ditimbang sambil digantung ditengah-tengah air pada gelas plastik berisi air yang sebelumnya telah dikalibrasi terlebih dahulu untuk mendapatkan massa gantung (m_g) sampel.
7. Menghitung besarnya densitas dan porositas masing-masing sampel dengan persamaan (4) dan (5).

c. Konduktivitas Listrik

Untuk mengetahui nilai konduktivitas listrik sampel dilakukan pengukuran konduktivitas listrik menggunakan LCR meter. Langkah-langkah pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel paduan *cordierite* – magnesium oksida.
2. Menyiapkan perangkat pengukuran konduktivitas listrik dengan program LCR pada komputer dan LCR *tester* dalam kondisi hidup.

3. Memasang sampel yang akan diukur konduktivitas listriknya pada *sample holder*.
4. Memasang kabel dari perangkat LCR *tester* yang terhubung langsung pada komputer dengan dua elektroda di kedua sisi *sample holder*.
5. Menjalankan program LCR pada frekuensi listrik yang diinginkan.
6. Mengambil data berupa nilai konduktivitas listrik dan grafik hubungan antara frekuensi listrik dengan konduktivitas listrik.

d. SEM-EDS

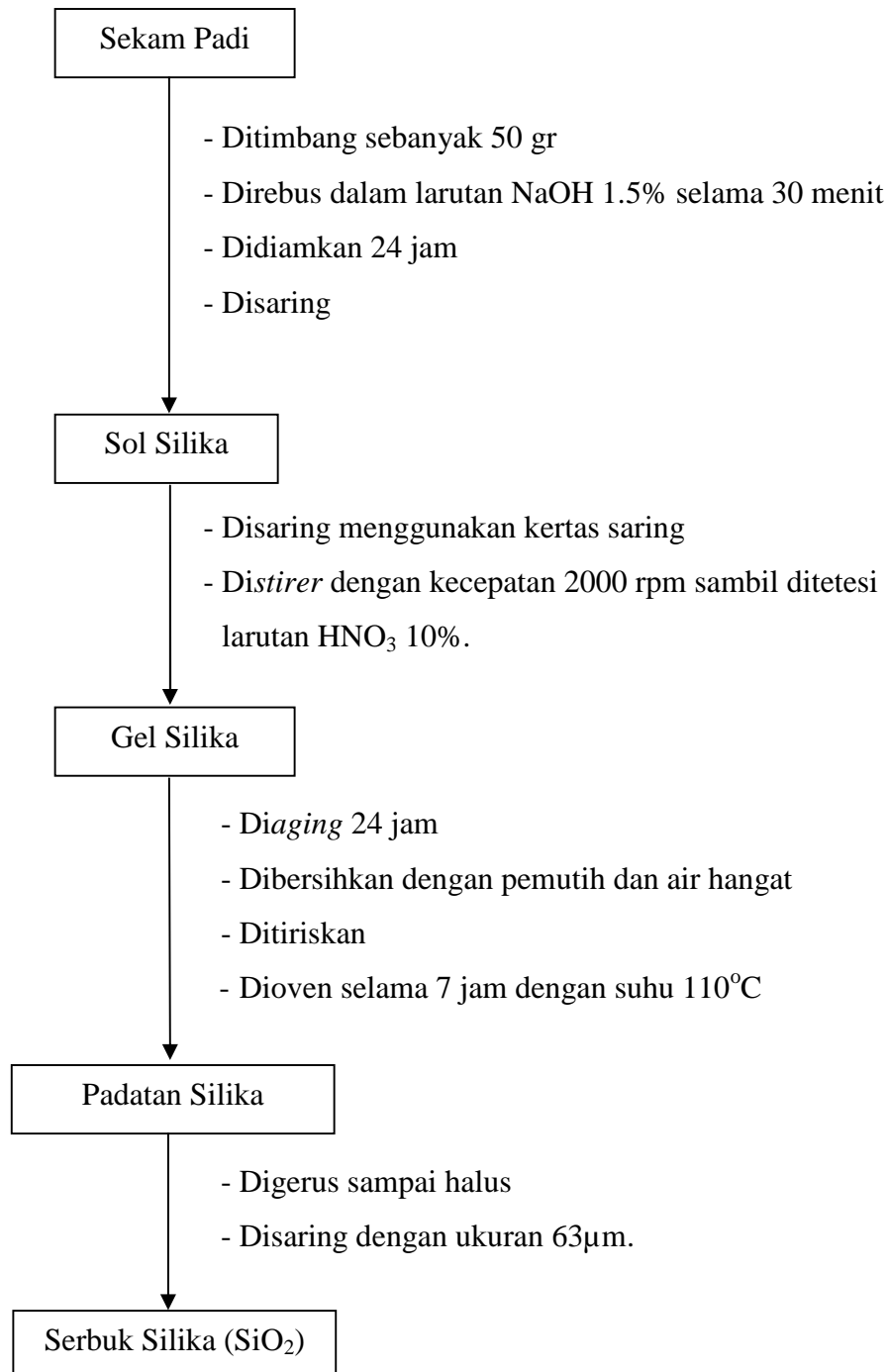
Pengujian sampel menggunakan SEM-EDS dilakukan untuk memperoleh gambaran mikroskopik sampel dan mengetahui komposisi senyawa yang terkandung didalamnya. Prosedur pengujian sampel pada SEM-EDS adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel paduan *cordierite* – magnesium oksida yang telah mengalami proses pemolesan (*polishing*) dan pembersihan.
2. Menaruh sampel pada *specimen holder* dengan menggunakan *double sticky tip* dan mengatur posisi sampel.
3. Memberikan lapisan tipis (*coating*) dengan emas (Au) menggunakan mesin *ion sputter*.
4. Memasukkan sampel ke dalam *specimen chamber* untuk melakukan observasi pada spesimen uji sebelum dilakukan pemotretan.
5. Pemotretan dilakukan dengan perbesaran 5.000, 7.000, dan 10.000x.
6. Diperoleh hasil pemotretan berupa gambar SEM yang kemudian dianalisis struktur mikronya.

7. Menentukan pengambilan titik yang akan ditembak EDS dengan hasil gambar SEM yang diperoleh. Hasil dari EDS yaitu tampilan grafik presentase berupa (*mass%*) dan (*atom%*) dari unsur yang terkandung di dalam bahan.
8. Memilih unsur yang ingin ditampilkan pada grafik seperti yang dikehendaki.

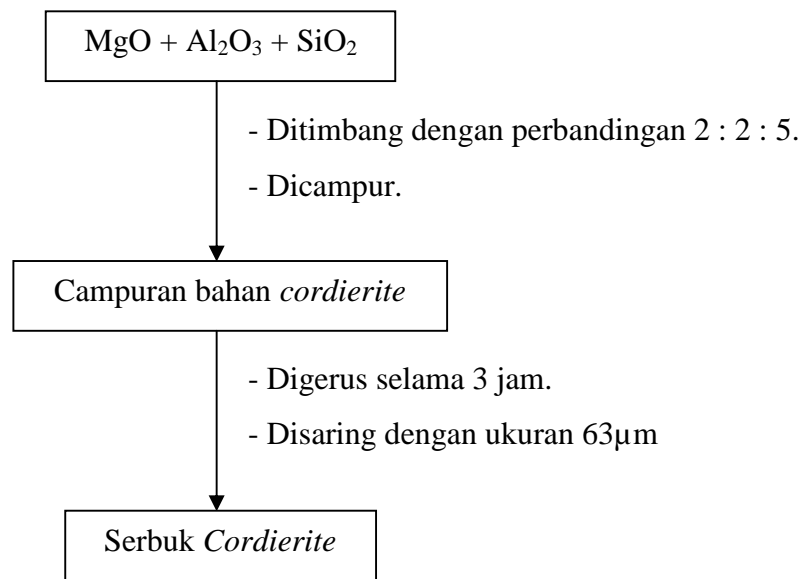
D. Diagram Alir

Proses ekstraksi silika dari sekam padi yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 8.



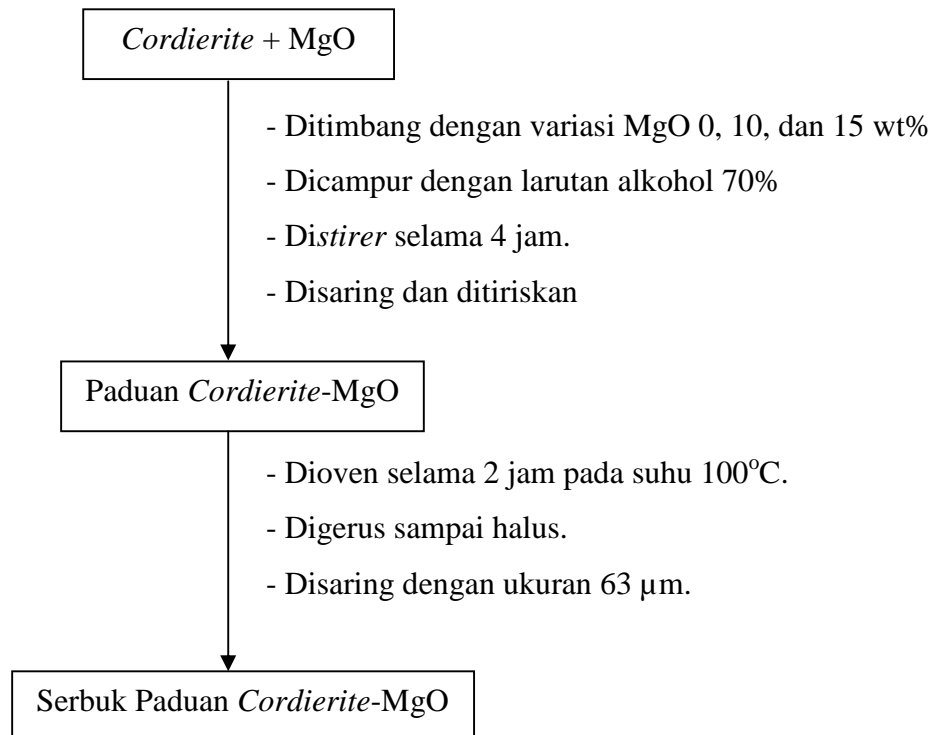
Gambar 8. Diagram Alir Proses Ekstraksi Silika Sekam Padi

Proses pembuatan serbuk *cordierite* ditunjukkan pada Gambar 9



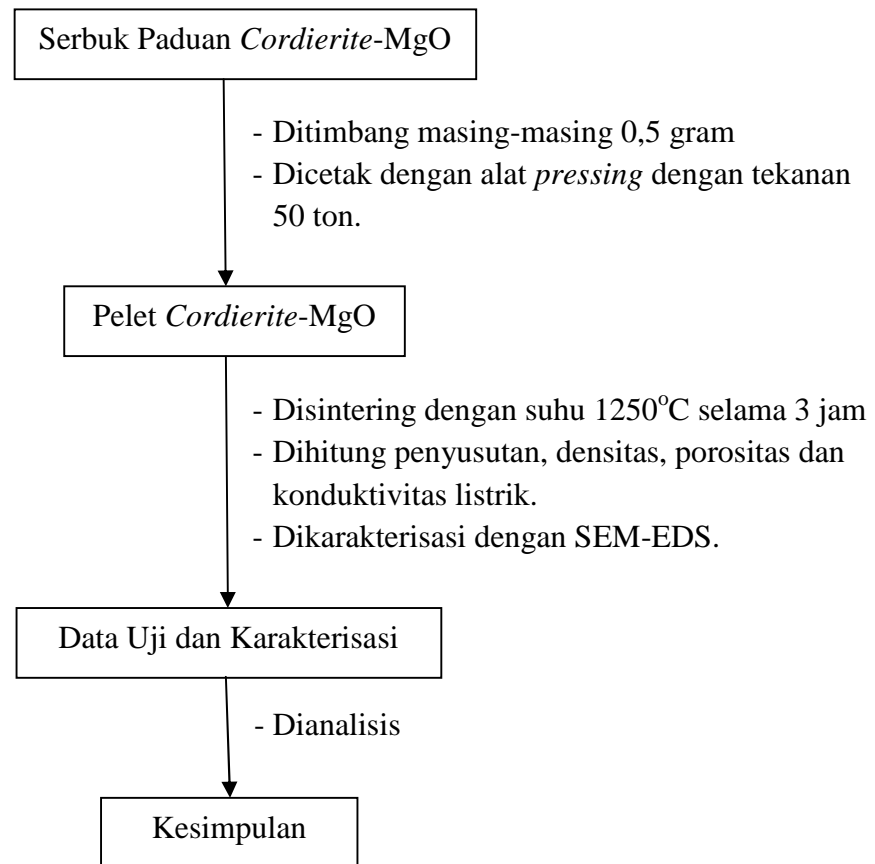
Gambar 9. Diagram Alir Proses Pembuatan *Cordierite*

Proses pembuatan serbuk paduan *cordierite* – magnesium oksida ditunjukkan pada Gambar 10



Gambar 10. Diagram Alir Proses Pembuatan Serbuk Paduan *Cordierite* – MgO.

Pembentukan pelet paduan *cordierite* – magnesium oksida, proses sintering, dan uji fisik serta karakterisasi ditunjukkan pada gambar 11



Gambar 11. Diagram Alir Proses Pembentukan Pelet, Sintering dan Karakterisasi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Penambahan 10 dan 15% MgO terhadap *cordierite* menyebabkan mikrostrukturnya menunjukkan pori-pori yang semakin banyak dan adanya aglomerasi.
2. Nilai konduktivitas listrik *cordierite* menurun pada penambahan 10 dan 15% MgO untuk pengukuran pada frekuensi 0,1 Hz – 1 KHz.
3. Semakin tinggi frekuensi yang digunakan, nilai konduktivitas listrik semakin besar untuk setiap penambahan MgO.
4. Nilai densitas dan penyusutan paduan *cordierite* – MgO menurun, sedangkan porositas meningkat dengan penambahan 0, 10, dan 15% MgO.

B. SARAN

Disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk meneliti penambahan MgO terhadap *cordierite* dengan range penambahan MgO diperkecil dan dengan suhu sintering yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpionita, P., Astuti. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Magnesium Oksida (MgO) dengan Variasi Massa PEG-6000. *Jurnal Fisika Unand* Vol. 4, No. 2. pp 167-172.
- Alwiyah,. Siswanto., Rochman, N, T. 2014. Pengaruh Variasi Magnesium Oxide(MgO) Terhadap Karakteristik Semen Gigi Modifikasi *Nano Zinc Oxide Eugenol (ZOE)*. *Jurnal Fisika dan Terapannya*. Vol.2, No.1. pp 1-13.
- Anonim. 2016. Struktur Kristal Orthorombik. http://sinankoksal.cbu.edu.tr/dosya_indir/?d=117. Diakses pada 31 Maret 2016. Pukul 14.50 WIB.
- Askeland, R. D., Fulay, P. P., Bhattacharya, K. D. 2010. *Essential of Materials Science and Engineering Second Edition*. Stamford CT 06902 : USA.
- Banjuraizah, J., Mohamad, H., Ahmad, A. Z. 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 alloy and compounds*. Vol. 494. pp 256-260.
- Banjuraizah, J., Mohammad, H., Ahmad, A. Z. 2011. Synthesis and Characterization of $x\text{MgO} - 1.5\text{Al}_2\text{O}_3 - 5\text{SiO}_2$ ($x = 2.6 - 3.0$) System using Mainly Talc and Kaolin Through the Glass Route. *Journal Materials Chemistry and Physics*. Vol.129. pp 910– 918.
- Bejjaoui, R., Benhammou, A., Nibou, L., Tanouti, B., Bonnet, J. P., Yaacoubi, A., Ammar, A. 2010. Synthesis and Characterization of Cordierite Ceramic from Moroccan Stevensite and Andalusite. *Journal applied Clay Science*. Vol.49. pp 336-340.
- Bindhu, M. R., Umadevi, M., Micheal, M. K., Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A. 2015. Structural, Morphological and Optical Properties of MgO Nanoparticles for Antibacterial Applications. *Materials letters*. pp.1-8.
- Brook, J. R. 1991. *Concise Encyclopedia Of Advanced Ceramic Material*. Pergamon Press: Germany.

- Buchanan, R. C. 2004. *Ceramic Materials for Electronics, third edition*. University of Cincinnati: U.S.A.
- Callister, W. D. 2001. *Fundamental of Materials Science and Engoneering, Departement of Metallurgical Engineering, fifth edition*. John Wiley & Sons inc: New York.
- Carter, B. C., Norton, G. M. 2007. *Ceramic Materials Science and Engineering*. Springer : USA.
- Castvan, I. J., Lazarevic, S., Jordovic, B., PetrovicR., Tanaskovi, D., Janackovic, Dj. 2007. Electrical Properties of Cordierite Obtained by Non-Hydrolytic Sol–Gel Method. *Journal of the European Ceramic Society*. Vol. 2. pp 3659–3661.
- Causa, M., Dovesi, R., Pisani, C., Roetti, C. 1986. Structure and Stability of Different Crystal Phases of Magnesium Oxide. *Physical review*. Vol. 33 No. 2. pp 1308-1315.
- Charles, H. A. 2001. *Handbook Of Ceramics, Glasses, and Diamonds*. McGraw-Hill: United States of America.
- Daifullah, A. A. M., Girgis, B. S., Gad, H. M. H. 2003. Utilization of Agro-Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Material Letters* Vol. 57. pp 1723–1731.
- Demirezen, S., Kaya, A., Yeriskin, S. A., Balbas, M., Uslu, I. 2016. Frequency and Voltage Dependent Profile of Dielectric Properties, Electric Modulus and ac Electrical Conductivity in the PrBaCoO Nanofiber Capacitors. *Journal Results in Physics*. Vol 6. pp 180–185.
- Dorre, E., Hubner, H. 1984. *Alumina*. Library of Congress Cataloging in Publication Data : Cambridge.
- Ewais, E. M. M., Ahmed, Y. M. Z., Amenn. A. M. M. 2009. Preparation of Porous *Cordierite* Ceramic Using a Silica Secondary Resource (Silica Fumes) for Dust Filtration Purposes. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol.10, No.6. pp 721-728.
- Gokce, H., Gullar, D. A., Ovec, L, M., Duman, I., Boyraz, T. 2011. Characterization of Microstructural and Thermal Properties of Steatite/Cordierite Ceramics Prepared by Using Natural Raw Materials. *Journal of the European Ceramic Society*. Vol. 31. pp 2741–2747.
- Goren, R., Ozgur, C., Gocmez, H. 2006. The Preparation of Cordierite from Talc, Fly Ash, Fused Silica and Alumina Mixtures. *Journal Ceramics International*. Vol. 32. pp 53–56.

- Ianosev, S., Lazau, I., Pacurariu, C., Avramescu, A. 2008. *Cordierite (2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂) Synthesis by Unconventional Methods. Journal Processing and Application of Ceramics*. Vol. 2, No. 1. pp 39-44.
- Ibrahim, D. M., Naga, S. M., Kader, A, Z., Salam, A, E. 1995. Cordierite-Mullite Refractories. *Journal Ceramics International*. Vol. 21. pp 265-269.
- Johan, A. 2009. Karakterisasi Sifat Fisik dan Mekanik Bahan Refraktori γ -Al₂O₃ Pengaruh Penambahan TiO₂. *Jurnal Penelitian Sains*. Vol. 12, No. 2(B). pp 1-8.
- Katsuki, H., Furuta, S., Watari, T., Komarneni, S. 2005. ZSM-5/Zeolite Porous Carbon Composite: Conventional and Microwave Hydrothermal Synthesis from Carbonized Rice Husk. *Journal microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 86. pp 145-151.
- Kostorz, G. 1988. *High-technology Ceramic, Viewpoints and Perspectives*. Institut fur angewandte Physic, Zurich : Switzerland.
- Lee, M. 1990. *Ionic Conductivity measurement in MgAl₂O₄ spinel and Solid State Galvanic Cell with MgAl₂O₄ electrolyte*. M.S Korea Advanced Institute of Science and Technology: Republic of Korea.
- Maharani, A. 2016. Pengaruh Penambahan *Periclase* (0, 10, 15)% terhadap Karakteristik Struktur dan Kekerasan *Cordierite*. *Skripsi*. Universitas Lampung: Bandar Lampung.
- Masrukan., Wagiyo., Aditoyanto. 2009. Pemeriksaan Mikrostruktur dan Analisis Unsur AlMgSi Menggunakan Scanning Electron Microscope SEM-EDS. In *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar X Ke 2*, ISSN 1410-7686. pp 79-82.
- Mbarkhi, R., Mnif, A., Hamzaoui, A. H. 2014. Structural, Dielectric Relaxation and Electrical Conductivity Behavior in MgO Powders Synthesized By Sol-Gel. *Journal Materials Science in Semiconductor Processing*. Vol. 1. pp 1-6.
- Moulson, A. J., Herbert, J. M. 2003. *Electroceramics Second Edition, Material, Properties, Application*. Wiley: USA.
- Naskar, K. M., Chatterjee, M. 2004. A Novel Process for the Synthesis of *Cordierite* (Mg₂Al₄Si₅O₁₈) Powders from Rice Husk Ash and Other Sources of Silica and Their Comparative Study. *Journal of the European Ceramic Society*. Vol. 24. pp 3499-3508.
- Nour, W. M. N., Awad, H. M. 2008. Effect of MgO on Phase Formation and Mullite Morphology of Different Egyptian Clays. *Journal of the Australian Ceramic Society*. Vol. 44, No.2. pp 27-37.

- Nugroho, S., Umardhani, Y. 2011. Karakterisasi material Refraktori Basa Berbahan Dasar Magnesia (MgO) Guna Lining Tungku Induksi Pengecoran Baja di PT X Klaten. *In Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2*. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. pp 124-129.
- Nurhayati, S., Syarif, D. G., Setiawan, A. 2012. Pengaruh Suhu Sinter terhadap Karakteristik Keramik Calsia Stabilized Zirconia dengan Penambahan Natrium Karbonat Untuk Elektrolit Padat. *Jurnal Sains Indonesia*. Vol. 1. pp 99–102.
- Oktivianty, S. W. 2015. Pengaruh Penambahan Alumina (Al_2O_3) 0, 10, dan 15 wt% terhadap karakteristik Konduktivitas Listrik dan Mikrostruktur *Cordierite* ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) Berbasis Silika Sekam Padi. *Skripsi*. Universitas Lampung: Bandar Lampung.
- Padmaraj, O., Venkateswarlu, M., Satyanarayana, N. 2015. Structural, Electrical and Dielectric Properties of Spinel Type MgAl_2O_4 Nanocrystalline Ceramic Particles Synthesized by the Gel-Combustion Method. *Journal Ceramics International*. Vol. 41. pp 3178–3185.
- Parchoviansky, M., Galusek, D., Svancarek, P., Sedlacek, J., Sajgalik, P. 2014. Thermal Behavior, Electrical Conductivity and Microstructure of Hot Pressed $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ Nanocomposites. *Journal Ceramics International*. Vol. 40. pp 14421–14429.
- Rahaman, M. N. 1995. *Ceramics pressing and sintering, second addition*. Department of Ceramics Engineering University of Missouri-Rolla Rolla: Isssouri.
- Sadeli, M. Y., Bambang, P., Achmad, S. 2012. Pengaruh Variasi Besar Butir Carbon Black terhadap Karakteristik Pelat Bipolar. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. Vol. 30, No.1. pp 25-35.
- Salwa, A. M., Abdel-Hameed, B. I. M. 2007. Effect of Alumina On Ceramic Properties of *Cordierite* Glass–Ceramic From Basalt Rock. *Journal of the European Ceramic Society*. Vol. 27. pp 1893–1897.
- Sebayang, P., Muljadi., Ginting, M., S. K, Deni. 2007. Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu terhadap Karakteristik Keramik *Cordierite* Berpori sebagai Bahan Filter Gas Buang. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*. Vol.7 No.1. pp 25-38.
- Sembiring, S., Manurung, P. 2009. Synthesis and Characterization of *Cordierite* ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) Ceramic Based on Rice Husk Silica. *in Prosiding SN SMAP 09*. pp 417-423.
- Sembiring, S., Simanjuntak, W. 2015. *Silika Sekam Padi, Potensinya sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. Plantaxia : Yogyakarta.

- Shackelford, F. J., Doremus, H. R. 2008. *Ceramic and Glass Materials, Structure, Properties and Processing*. Springer : USA.
- Shao, H., Liang, K., Zhou, F. Wang, G., Peng, F. 2004. Characterization of Cordierite-Based Glass-Ceramics Produced from Fly Ash. *Journal of Non-Crystalline Solids*. Vol. 337. pp 157–160.
- Sihole, M. 2008. Analisis Pengaruh Penambahan Mullite $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ dan Variasi Suhu Sintering terhadap Karakteristik Keramik Al_2O_3 dengan Simulasi Program Matlab. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Sijabat, K. 2007. Pembuatan Keramik Paduan Cordierite ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) – Alumina (Al_2O_3) sebagai Bahan Refraktori dan Karakterisasinya. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Smith, W. F. 1996. *Principle of material and Science Engineering Third Edition*. McGraw-Hill. Inc:USA.
- Somaatmadja, D. 1980. *Sekam Gabah sebagai Bahan Industri*. Badan Penelitian dan Pengembangan Industri: Jakarta.
- Suka, I. G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., Trisnawati, E. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal FMIPA*. Vol. 37, No.1. pp 47-52.
- Surdia, T. 2002. *Pengetahuan Bahan Teknik. Cetakan kelima*. PT Pradnya Paramita: Jakarta.
- Surya, H. L. 2008. *Proses Perolehan Magnesium dengan Cara Elektrolisis Bahan Hidromagnesit dan Magnesium Oksida*. Universitas Indonesia: Jakarta.
- Sutarno, M. 2007. Analisis Kehadiran Fasa Spinel MgAl_2O_4 pada Sistem Komposit Keramik Al_2O_3 - MgO . *Jurnal Exacta* Vol. V, No. 2. pp 90-94.
- Taharuddin. T. M., Silalahi, N. 2010. Cordierite sebagai Katalis Heterogen pada Metanolisis Minyak Kelapa (*Coconut Oil*). In *seminar Rekayasa Kimia dan Proses*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik: Universitas Diponegoro. pp 1-7.
- Tang, Bin., Fang, Y., Zhang, S., Ning, Y. H., Jing, Y. C. 2011. Preparation and Characterization of Cordierite Powders by Water-Based Sol-Gel Method. *Indian Journal of engineering & materials science*. Vol. 18. pp 221-226.
- Tang, L., Cheng, X., Lu, P., Yue, F. 2012. Effect of MgO/CuO on the Microstructure and Thermal Properties of Cordierite–Alumina Ceramics. *Journal Key Engineering Materials*. Vol. 509. pp 240-244.

- Triyanti, S. 2008. Pengaruh Suhu Sintering terhadap Fungsionalitas (FTIR) dan Karakterisasi Termal (DTA/TGA) Bahan Keramik *Cordierite* ($Mg_2Al_4Si_5O_{18}$) Berbasis Silika Sekam Padi. *Skripsi*. Universitas Lampung : Bandar Lampung.
- Torres, J. F., Alarcon, J. 2005. Effect Of MgO/CaO Ratio on the Microstructure of Cordierite-Based Glass-Ceramic Glazes for Floor Tiles. *Journal Ceramics International*. Vol. 31. pp 683–690.
- Wan, W., Yang, J., Feng, Y., Bu, W., Qiu, T. 2016. Effect of Trace Alumina on Mechanical, Dielectric, and Ablation Properties of Fused Silica Ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 1. pp 45-52.
- Yunasfi, P. S., Madesa, T. 2011. Karakterisasi Sifat Listrik Grafit Setelah Iradiasi dengan Sinar- γ . *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra* Vol. 14. pp 76-80.