MIKROSTRUKTUR DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK *CORDIERITE* BERBASIS SILIKA SEKAM PADI DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM OKSIDA (0, 20, 25, DAN 30%)

(Skripsi)

Oleh

MIRAWATI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016

ABSTRAK

MIKROSTRUKTUR DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK *CORDIERITE* BERBASIS SILIKA SEKAM PADI DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM OKSIDA (0, 20, 25, DAN 30%)

Oleh

MIRAWATI

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi *cordierite* berbasis silika sekam padi dengan penambahan magnesium oksida (MgO) sebanyak 0, 20, 25, dan 30%. Pembuatan *cordierite* menggunakan silika sekam padi, MgO, dan Al_2O_3. Silika diekstraksi dengan metode alkalis menggunakan larutan NaOH 1,5% dan HNO_3 10%. *Cordierite* disintesis melalui metode padatan dengan suhu sintering 1250℃. Hasil analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan adanya bentuk yang tidak beraturan dan penggumpalan pada sampel. Hasil analisis *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) mengkonfirmasi adanya unsur-unsur penyusun *cordierite* dan pengotor. Nilai konduktivitas listrik semakin menurun seiring dengan penambahan persentase MgO. Pada penelitian ini diperoleh nilai konduktivitas listrik antara $3{,}15 \times 10^{-7}$-$1{,}27 \times 10^{-8}$ S/cm dan termasuk bahan isolator. Uji fisis menunjukan bahwa penambahan MgO mengurangi densitas dan menambah porositas sampel.

Kata Kunci: *Cordierite*, konduktivitas listrik, MgO, SEM, silika sekam padi.

ABSTRACT

MICROSTRUCTURE AND ELECTRIC CONDUCTIVITY OF CORDIERITE BASED RICE HUSK SILICA WITH THE ADDITION OF MAGNESIUM OXIDE (0, 20, 25, DAN 30%).

By

MIRAWATI

Synthesis and characterization of cordierite-based rice husk silica has been conducted by magnesium oxide (MgO) 0, 20, 25, and 30%. Preparation of cordierite used silica rice husk, MgO, and Al_2O_3. Silica were extracted by alkalis method using 1,5% NaOH solution and 10% HNO_3. Cordierite was synthesized by the solid state method and sintered at 1250℃. The result of analaysed Scanning Electron Microscopy (SEM) showed that irregular morphology and agglomeration of sample. The result of analaysed Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) confirmed that presence of cordierite constituents and several impurities. The electrical conductivity value decreases due to the addition of MgO percentage. In this research the electrical conductivity values were obtained between $3{,}15x10^{-7}$–$1{,}27x10^{-8}$ S/cm, and it is included as insulator. Physical testing results showed that the addition of MgO reduced density and increased porosity of sample.

Key words: Cordierite, electrical conductivity, MgO, SEM, rice husk silica.

MIKROSTRUKTUR DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK *CORDIERITE* BERBASIS SILIKA SEKAM PADI DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM OKSIDA (0, 20, 25, DAN 30%)

Oleh

MIRAWATI

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	:	**MIKROSTRUKTUR DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK *CORDIERITE* BERBASIS SILIKA SEKAM PADI DENGAN PENAMBAHAN MAGNESIUM OKSIDA (0, 20, 25, DAN 30%)**
Nama Mahasiswa	:	*Mirawati*
Nomor Pokok Mahasiswa	:	1217041033
Program Studi	:	Fisika
Fakultas	:	Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

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 : **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Prof. Warsito, S.Si, DEA, Ph.D.
NIP. 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **24 Oktober 2016**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya 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, 24 Oktober 2016

Mirawati
NPM. 1217041033

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Putih Tua, Lampung Tengah pada tanggal 26 Juni 1994, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Ibrahim dan Ibu Suresmiyati.

Penulis menyelesaikan pendidikan di SD N 01 Bandar Putih Tua pada 2006, SMPN 1 Anak Ratu Aji pada 2009 dan MAN Poncowati Lampung Tengah pada 2012. Selanjutnya, pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Undangan.

Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif di kegiatan kampus antara lain Anggota Bidang Sosmas Himafi FMIPA Unila pada 2013/2014, Anggota Bidang Kaderisasi Himafi FMIPA Unila pada 2014/2015. Penulis pernah melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung (BPML) pada tahun 2015. Penulis melakukan KKN di Tulang Bawang Barat tepatnya di Kecamatan desa Sumber Rejo. Selain itu, penulis pernah menjadi asisten Praktikum Sains Dasar tahun 2013/2014, asisten Praktikum Fisika Dasar I tahun 2013/2014, dan asisten Praktikum Fisika Dasar II tahun 2014/2015.

MOTTO

“Berusahalah karena tidak ada yang sia-sia”

“ Semua atau tidak sama sekali”

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karyaku ini kepada:

“Orangtuaku ibunda Suresmiyati yang selalu memberikan semangat, harapan, dukungan dan do’a yang tulus untuk keberhasilan dan kesuksesan anaknya”

“kedua kakakku, Ali Ahmad dan Sartika serta adikku, Soni Irawan yang memberikan dukungan bagi terselesaikannya skripsi ini”

“Keluarga besar, sahabat (Adelia, Juni, dan Lesti), dan teman seperjuanganku yang memberikan perhatian dan masukan yang membangun”

“Irsan sebagai kakak, teman, dan partner terbaik yang selalu menemani dikala susah dan memberikan nasihat serta bantuan terbaik yang dapat dilakukannya”

“Jurusan Fisika Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Mikrostruktur dan Konduktivitas Listrik *Cordierite* Berbasis Silika Sekam Padi Dengan Penambahan Magnesium Oksida (0, 20, 25, dan 30%)".** 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 bahwa penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca untuk perbaikan di masa mendatang. Dalam penulisan skripsi ini penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam pengerjaan penelitian, pengambilan data dan penyelesaian skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 24 Oktober 2016

Penulis,

Mirawati

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. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D selaku Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan dan bersedia meluangkan waktu selama penulis melakukan penelitian hingga penyusunan skripsi selesai.
2. Bapak Wasinton Simanjuntak, Ph.D selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, nasehat, dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si selaku Penguji yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran kepada penulis dalam menyempurnakan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si selaku Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan nasehat dan motivasi.
5. Dr. Yanti Yulianti, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas dukungan dalam proses akademik
6. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu melalui pengajaran dan nasehat.
7. Ibu, kedua kakakku, adik, dan keluarga yang telah mendukung dan mendoa'akan. Terimakasih untuk pengorbanan yang telah diberikan.

8. Irsan yang senantiasa mengingatkan, menyemangati, memotivasi, dan mendo'akan untuk kemajuan penulis.
9. Sahabat terkasih: Ade Lia Tristiana, juniati Br Simbolon, Lesti Mantia Sari, dan Eli Susanti, terimakasih atas semangat, doa dan semua bantuan yang telah diberikan.
10. Teman-teman satu tim: Adel, Anggita, Annisa, Juni, dan Meily yang telah membantu dan menjadi teman diskusi yang baik.
11. Teman-teman angkatan 2012, kakak dan adik tingkat Fisika, terimakasih untuk kebersamaan dan dukungan yang diberikan bagi penulis.
12. Seluruh pihak yang telah ikut serta membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penulisan skripsi ini, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar kedepannya menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak orang. Amin.

Bandar Lampung, 24 Oktober 2016

Penulis

Mirawati

DAFTAR ISI

Halaman

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 4

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Keramik *Cordierite* 6
B. Silika Sekam Padi 7
C. Bahan Penyusun *Cordierite* 8
   1. Alumina 8
   2. Silika (SiO_2) 10
   3. Magnesium Oksida (MgO) 11
D. Fasa Keramik *Cordierite* 12
E. Pengaruh Penambahan Alumina dan MgO terhadap *Cordierite* ... 14
   1. Penambahan Alumina 14
   2. Penambahan Magnesium Oksida 15
F. Metode *Sol Gel* dan Padatan 16
G. Proses *Sintering* 16
H. Karakterisasi 18
   1. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 18
   2. Konduktivitas Listrik 19
   3. Densitas dan Porositas 21
   4. Penyusutan 22

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian 23
B. Alat dan Bahan Penelitian 23
   1. Alat Penelitian 23
   2. Bahan Penelitian 23
C. Prosedur Penelitian 24
   1. Preparasi Sampel 24
   2. Karakterisasi Sampel 27
D. Diagram Alir 31
   1. Preparasi dan Ekstraksi Sekam Padil 31
   2. Preparasi Paduan *Cordierite*-Magnesium Oksida 32

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengantar 33
B. Hasil Ekstraksi Silika Sekam Padi 33
C. Hasil Paduan *Cordierite*-Magnesium Oksida 35
D. Karakterisasi 37
   1. Karakterisasi Sampel dengan SEM-EDS 37
   2. Hasil Pengukuran Konduktivitas Listrik 44
   3. Densitas dan Porositas 47
   4. Penyusutan 48

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 50
B. Saran 51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Struktur kristal korundum 9

2. Ikatan silikon secara tetrahedral..... 10

3. Struktur kristal MgO 11

4. Diagram skematik dan cara kerja SEM. 18

5. Diagram alir preparasi dan ekstraksi sekam padi. 31

6. Diagram alir preparasi paduan *cordierite*-magnesium oksida. 32

7. (a) Proses pemanasan sekam padi dengan larutan NaOH 1,5%
   (b) *Sol* hasil ekstraksi sekam padi. 34

8. (a) *Ge*l silika sebelum dicuci (b) *Ge*l silika setelah dicuci..... 34

9. Bubuk silika 35

10. Bubuk *cordierite*..... 35

11. Bubuk paduan *cordierite*-MgO. 36

12. (a) Sampel sebelum *sintering* (b) Sampel setelah *sinterring*..... 36

13. Mikrostruktur sampel *cordierite*-0% MgO dengan perbesaran
    (a). 5.000X (b) 7.000X. 37

14. Spektrum EDS sampel 0% MgO.. 38

15. Mikrostruktur sampel *cordierite*-20% MgO dengan perbesaran
    (a). 5.000X (b) 7.000X. 39

16. Spektrum EDS sampel 20% MgO.. 39

17. Mikrostruktur sampel *cordierite*-25% MgO dengan perbesaran (a). 5.000X (b) 7.000X. 40

18. Spektrum EDS sampel 25% MgO.. 41

19. Mikrostruktur sampel *cordierite*-30% MgO dengan perbesaran (a). 5.000X (b) 7.000X. 41

20. Spektrum EDS sampel 30% MgO.. 43

21. Hasil pengukuran pengaruh penambahan 0, 20, 25 dan 30% MgO terhadap konduktivitas listrik.. 44

22. Hasil pengukuran frekuensi terhadap konduktivitas listrik 45

23. Perubahan (a) densitas (b) porositas cordierite dengan penambahan MgO..... 47

24. Penyusutan sampel *cordierite* dengan penambahan MgO (0, 20, 25, dan 30%) pada suhu *sintering* 1250℃.. 49

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Karakteristik *cordierite* 7
2. Karakteristik alumina 9
3. Karakteristik silika 10
4. Karakteristik MgO 12
5. Karakteristik fasa spinel 14
6. Komposisi massa campuran *cordierite* dan magnesium oksida 36
7. Persentase unsur paduan *cordierite*-MgO hasil analisis EDS..... 43
8. Nilai konduktivitas listrik 45
9. Nilai densitas dan porositas 48

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Cordierite merupakan jenis keramik oksida yang dibentuk dari tiga macam oksida yaitu MgO, Al_2O_3, dan SiO_2 dengan formula $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$. Mekanisme pembentukan *cordierite* melalui reaksi padatan oksida-oksida pada suhu tinggi sekitar 1100-1200℃ (Charles, 2001). *Cordierite* memiliki kekuatan mekanik tinggi, koefisien ekspansi termal rendah, tahan terhadap korosi dan abrasi (Sebayang dkk, 2007), kepadatan rendah, dan konstanta dielektrik rendah (Banjuraizah dkk, 2011). Bahan *cordierite* digunakan dalam berbagai aplikasi yaitu sistem knalpot mobil, pendukung katalis, sebagai pelapis logam, untuk emisi pemurnian gas buang, dan filter cair pada suhu tinggi (Shi dkk, 2001).

Senyawa dengan komposisi terbesar pembentuk *cordierite* adalah silika (SiO_2). Keramik *cordierite* dapat disintesis dari berbagai bahan baku silika mineral seperti *tetraethylortosilicate* (TEOS), serpentin tailing, kaolin tailing (Zhu dkk, 2012), dan silika dari sekam padi (Simanjuntak dan Sembiring, 2011).

Sekam padi merupakan salah satu sumber penghasil silika terbesar. Sekam padi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi yaitu sebesar 18-22% (Luh, 1991). Selain itu silika sekam padi dapat diperoleh dengan sangat mudah dan biaya yang relatif murah, yakni dengan cara ekstraksi alkalis (Kalapathy dkk, 2000).

Beberapa metode yang dikembangkan dan diterapkan untuk mensintesis keramik *cordierite*, antara lain, reaksi *solid state* (Kurama dan Kurama, 2006) dan *sol gel* (Sembiring dan Manurung, 2009). Naskar dan Chatterjee (2004) melakukan analisis *cordierite* dengan metode *sol gel* dan silika yang digunakan dari sekam padi. *Cordierite* terbentuk pada suhu sintering 1365℃, dengan fasa *cristobalite* dan *spinel* dengan morfologi yang tidak teratur, gumpalan, dan distribusi ukuran lebar partikel. Sembiring dkk (2009) melakukan sintering *cordierite* pada suhu 1000℃-1400℃. Karakteristik mikrostruktur menunjukkan terbentuknya kristal keramik *cordierite* dengan membentuk gumpalan (*cluster*).

Penambahan oksida tertentu seperti magnesium oksida (MgO) dilakukan dalam campuran *cordierite*. Magnesium oksida merupakan bahan yang ramah lingkungan dan memiliki sifat yang sangat baik, seperti kinerja mekanik unggul, titik leleh tinggi dan stabilitas kimia yang baik (Chen dkk, 2008). Dengan meningkatnya rasio magnesium oksida maka densitas semakin menurun, porositas semakin meningkat (Widodo dan Rusiyanto, 2010), konduktivitas termal menurun (Tang dkk, 2012), dan Konstanta dielektrik meningkat (Banjuraizah dkk, 2010).

Jakkula dan Deshpande (2013) melakukan penelitian pada keramik dengan penambahan MgO, yang menyebabkan meningkatnya konstanta dielektrik seiring dengan penambahan MgO. MgO merupakan salah satu aditif penting yang merangsang pembentukan *mullite* pada suhu rendah, bertambahnya MgO maka pertumbuhan butir *mullite* semakin meningkat. Selain itu akan terbentuk fasa *cordierite, cristobalite, spinel*, dan *fosterite* (Torres dan Alarcon, 2005).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan magnesium oksida 0, 20, 25, dan 30 % terhadap mikrostruktur, konduktivitas listrik dan sifat fisis (densitas, porositas, dan penyusutan) bahan keramik *cordierite* berbasis silika sekam padi pada suhu sintering 1250℃.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bagaimana pengaruh penambahan magnesium oksida 0, 20, 25, dan 30% terhadap mikrostruktur dan konduktivitas listrik keramik *cordierite* pada suhu *sintering* 1250℃.
b. Bagaimana pengaruh penambahan magnesium oksida 0, 20, 25, dan 30% terhadap perubahan fisis (densitas, porositas, dan penyusutan) *cordierite* pada suhu *sintering* 1250℃.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Mengetahui pengaruh penambahan magnesium oksida 0, 20, 25, dan 30% terhadap mikrostruktur dan konduktivitas listrik keramik *cordierite* pada suhu *sintering* 1250℃.
b. Mengetahui karakteristik fisis (densitas, porositas, dan penyusutan) bahan keramik *cordierite* dengan penambahan magnesium oksida 0, 20, 25, dan 30% pada suhu *sintering* 1250℃.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Silika dari sekam padi diekstraksi dengan larutan NaOH 1,5% yang hasilnya berupa larutan (*sol*), dan diendapkan dengan larutan asam HNO_3 10% sehingga menghasilkan endapan padatan (*gel*).
b. *Cordierite* akan disintesis dengan bahan dasar silika SiO_2 dari sekam padi, Al_2O_3 dan MgO (SIGMA-ALDRICH) dengan metode padatan.
c. Penambahan magnesium oksida pada *cordierite* dengan komposisi magnesium 0, 20, 25, dan 30% , di*sintering* pada suhu 1250℃ dengan waktu tahan 3 jam.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

a. Sebagai referensi ilmiah untuk pengembangan *cordierite* berbasis silika sekam padi berdasarkan penambahan komposisi magnesium oksida.
b. Mengetahui bahan alternatif lain sebagai pembuatan bahan isolator dan produk industri lain.

F. Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka memaparkan informasi ilmiah tentang keramik *cordierite*, sekam padi, bahan penyusun *cordierite* (alumina, silika,

dan magnesium oksida), fasa keramik *cordierite*, pengaruh penambahan alumina dan MgO terhadap *cordierite*, metode *sol gel* dan padatan, proses *sintering*, dan karakterisasi.

BAB III Metode Penelitian, berisi pemaparan waktu dan tempat, alat dan bahan, dan prosedur penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil analisis dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB V Kesimpulan dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Keramik *Cordierite*

Keramik *cordierite* adalah material zat padat dengan fasa kristal MgO-Al_2O_3-SiO_2. *Cordierite* murni dibuat pada temperatur 1450℃ - 1650℃ tergantung pada macam dan komposisi bahan baku yang digunakan. Bahan baku alam yang dapat dipakai untuk pembuatan *cordierite* yaitu kaolin, talk, kuarsa serta bahan-bahan lain yang dapat dibeli di pasaran. *Cordierite* merupakan jenis keramik oksida yang dibentuk dari tiga macam oksida yaitu MgO, Al_2O_3, dan SiO_2 dengan formula $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$. Mekanisme pembentukan *cordierite* melalui reaksi padatan oksida-oksida pada suhu tinggi sekitar 1100℃ - 1200℃ (Charles, 2001).

Struktur kristal merupakan susunan khas atom-atom dalam suatu kristal. Pada umumnya semua logam dan bahan keramik memiliki bentuk struktur kristal seperti Al_2O_3, MgO, CaO, Fe (Surdia dan Saito, 2000). Struktur kristal *cordierite* adalah ortorombik dengan parameter a ≠ b ≠ c dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$ (Smith, 1990) dan terbentuk dari unsur silikon (Si), oksigen (O), aluminium (Al) dan magnesium (Mg). *Cordierite* memiliki keunggulan yang bersumber dari oksida-oksida penyusunnya. Silika memiliki koefisien muai yang rendah, magnesium oksida meningkatkan kekerasan sedangkan alumina meningkatkan ketahanan terhadap kekuatan mekanik (Quakertown, 2007).

Sifat-sifat keramik *cordierite* secara umum adalah tahan temperatur tinggi, tahan korosi terhadap bahan kimia, memiliki kekerasan yang tinggi sehingga tahan abrasi, bersifat isolator listrik, dan bersifat getas (*brittle*). Keramik *cordierite* memiliki keunggulan dalam sifat termalnya sehinggga material *cordierite* banyak digunakan sebagai material tahan suhu tinggi (refraktori) untuk kelengkapan tungku pembakaran, sebagai filter gas buang dan sebagai bahan penyangga katalis untuk filter gas beracun (Sofyan, 2012). Karakteristik *cordierite* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik *cordierite*.

Karakteristik	Nilai	Referensi
Densitas (g/cm^3)	1,6 - 2,1	Charles, 2001
Titik Lebur (℃)	1460	Siregar, 2008
Konduktivitas termal (W/cm.K)	0,013 - 0,017	Charles, 2001
Konstanta di elektrik	4,5 - 5.5	Charles, 2001
Resistivitas (Ω/cm)	3×10^6 - 2×10^{10}	Brook, 1991
Konduktivitas Listrik (S/cm)	$0{,}33 \times 10^{-6}$ - $0{,}5 \times 10^{-10}$	Brook, 1991

B. Silika Sekam Padi

Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam padi sekitar 20-30% bobot awal gabah. Sekam padi memiliki banyak potensi yang dapat dikembangkan, salah satunya adalah sebagai sumber silika. Sekam padi mengandung silika paling banyak dibandingkan dengan produk samping padi lainnya (Sapei dkk, 2012).

Sekam padi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi yaitu sebesar 18-22% (Luh, 1991). Silika banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dengan berbagai ukuran tergantung aplikasi yang dibutuhkan seperti dalam industri ban,

karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, cat, film, pasta gigi, pemurnian minyak sayur, sebagai aditif dalam produk farmasi, deterjen, dan adsorben (Kim dkk, 2004).

Selain didukung oleh jumlah yang melimpah, silika sekam padi dapat diperoleh dengan sangat mudah, yakni dengan cara ekstraksi alkalis (Kalapathy dkk, 2000) atau dengan pengabuan. Metode ekstraksi didasarkan pada kelarutan silika amorf yang besar dalam larutan alkalis seperti NaOH, Na_2CO_3, atau KOH, dan pengendapan silika terlarut menggunakan asam, seperti asam klorida, asam sitrat, asam nitrat dan asam oksalat. Dengan prosedur ini, maka dapat diperoleh padatan silika dengan kemurnian sekitar 93% (Harsono, 2002).

Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Dengan kelebihan tersebut, menunjukkan silika sekam padi berpotensi cukup besar untuk digunakan sebagai sumber silika, yang merupakan bahan material yang memiliki aplikasi yang cukup luas penggunaannya (Sun dan Gong, 2001).

C. Bahan Penyusun *Cordierite*

1. Alumina

Alumina (Al_2O_3) memiliki beberapa bentuk fasa, antara lain fasa alpha(α), delta(δ), dan gamma(γ) alumina. Fasa alpha merupakan fasa paling stabil pada alumina, terutama pada suhu tinggi. Alumina dikatagorikan sebagai keramik

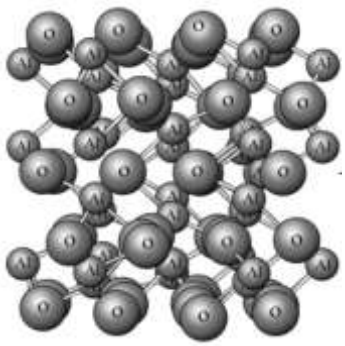
modern yang banyak digunakan untuk berbagai aplikasi karena stabilitas termal yang baik, tahan korosi, dan mempunyai daya tahan aus yang baik (Sahari, 2012).

Alumina merupakan material yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi, karena mempunyai karakteristik sifat fisika dan kimia yang tinggi, seperti kekuatan yang sangat tinggi, sangat keras, isolasi elektrik yang baik, ketahanan panas yang tinggi, dan temperatur lebur yang tinggi (Smallman, 2001). Karakteristik alumina ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik alumina.

Karakteristik	Nilai	Referensi
Densitas (g/cm^3)	3,1 - 3,9	Smallman, 2001
Titik Lebur (℃)	2050	Smallman, 2001
Konduktivitas termal (W/cm.K)	0,24 - 0,26	Smallman, 2001
Konstanta di elektrik	8 – 9	Smallman, 2001
Resistivitas (Ω/cm) (30℃)	10^{14} - 10^{15}	Smallman, 2001
Konduktivitas listrik (1000℃) (S/cm)	7,8 x 10^{-8}	Parchoviansky dkk, 2014

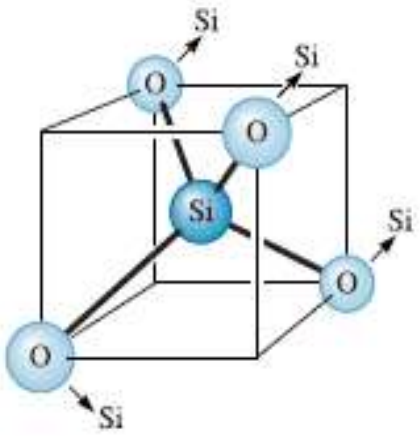
Alpha alumina sering disebut dengan korundum yang memiliki sifat mempertinggi ketahanan kimiawi, menurunkan koefisien muai, mempertinggi ketahanan terhadap kekuatan mekanik, dan membuat suhu pembentuknya meningkat dan memiliki sifat meningkatkan viskositas bahan (Schneider, 1991).



Gambar 1. Struktur kristal korundum (Shackelford dan Doremus, 2008).

2. Silika (SiO_2)

Silikon dioksida atau silika adalah salah satu senyawa kimia yang paling umum. Silika murni terdapat dalam dua bentuk yaitu kuarsa dan kristobalit. Silikon selalu terikat secara tetrahedral kepada empat atom oksigen, namun ikatan-ikatannya mempunyai sifat yang cukup ionik (Cotton dan Wilkinson, 1989).



Gambar 2. Ikatan silikon secara tetrahedral (Askeland dkk, 2010).

Oksida silika ini menyebabkan tingginya temperatur pembentukan, memberikan ketahanan kimiawi terhadap air dan garam serta memiliki koefisien muai yang rendah (Schneider, 1991). Silika (SiO_2) mempunyai karakteristik fisis seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik silika.

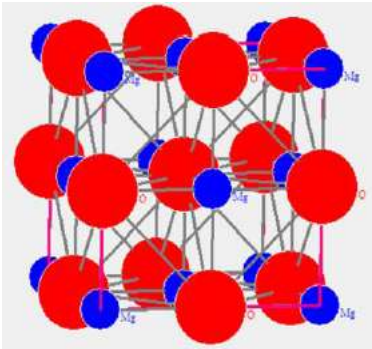
Karakteristik	Nilai	Referensi
Densitas (g/cm^3)	2,2 - 2,65	Sigit dan jetty, 2001
Titik lebur (℃)	1600 - 1725	Sigit dan jetty, 2001
Konduktivitas termal (W/cm.K)	0,013 - 0,014	Sigit dan jetty, 2001
Konstanta dielektrik	50	Sigit dan jetty, 2001
Resistivitas (Ω/cm) (30℃)	10^{12}	Sigit dan jetty, 2001
Konduktivitas Listrik (200 K) (S/cm)	$8{,}66 \times 10^{-7}$	Huseynov dkk, 2014

Kristal silika memiliki dua ciri utama yaitu:

1. Setiap atom silikon berada pada pusat suatu tetrahedron yang terdiri dari empat atom oksigen.
2. Setiap atom oksigen berada ditengah-ditengah antara dua atom silikon (Keenan dkk, 1992).

3. Magnesium Oksida (MgO)

MgO merupakan bahan keramik dengan berat molekul 40,32 gr/mol, memiliki struktur kristal kubik. MgO disintesis dari bahan alam maupun bahan buatan dengan cara mens*intering* serbuk amorfnya. MgO 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, MgO memiliki sifat isolator listrik yang baik terutama pada suhu tinggi (Charles, 2001).



Gambar 3. Struktur kristal MgO (Fu dan Song, 1998).

Seperti alumina, MgO juga memiliki karakteristik tahan terhadap temperatur tinggi, memiliki konduktivitas listrik yang rendah dan konduktivitas termal yang tinggi serta memiliki daya tahan korosi yang sangat baik (Fu dan Song, 1998). Selain itu MgO juga memiliki sifat yang sangat baik, seperti kinerja mekanik

unggul, titik leleh tinggi dan stabilitas kimia yang baik, sehingga keramik MgO cocok untuk aplikasi di bawah lingkungan yang ekstrim (misalnya suhu tinggi dan tekanan tinggi) (Chen dkk, 2008). Beberapa contoh aplikasi keramik MgO adalah sebagai bahan pembuat elemen pemanas, tabung termokopel, dan bahan untuk membuat krusibel tahan temperatur. Prinsip pemanfaatan MgO pada umumnya didasarkan pada sifat konduktivitas termal dan resistivitas listrik yang dimilikinya pada temperatur tinggi serta struktur kubik yang sangat stabil diberbagai aplikasi termal **(**Reijnen dan kim, 1986). Karakteristik magnesium oksida ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik MgO.

Karakteristik	Nilai	Referensi
Struktur Kristal	Kubik	Schneider, 1991
Densitas (gr/cm^3)	3,580	Schneider, 1991
Titik leleh (℃)	2800	Schneider, 1991
Konduktivitas termal(W/cm.K)	0,42	Schneider, 1991
Resistivitas (Ω/cm) (30℃)	10^8	Schneider, 1991
Konduktivitas Listrik (514℃) (S/cm)	4,2 x 10^{-5}	Mbarki dkk, 2014

D. Fasa Keramik *Cordierite*

Hans (1992) telah mencoba melakukan sintesis serbuk *cordierite* dari berbagai macam bahan baku alam, ternyata suhu pembentukan fasa *cordierite* tergantung pada jenis bahan baku dan umumnya sekitar 1100℃-1250℃. Sedangkan Broudic dkk (1989) mencoba sintesis *cordierite* melalui teknik sol gel, ternyata fasa *cordierite* terbentuk pada suhu yang relatif rendah, yaitu 900℃-1000℃. Penelitian yang dilakukan oleh Naskar dan Chatterje (2004) menunjukkan bahwa struktur *cordierite* yang terbuat dari abu sekam padi akan terbentuk seiring kenaikan suhu sintering 1400℃ yang diawali dengan pembentukan fasa kristobalit pada suhu

400℃ dan 600℃ dan fasa spinel pada suhu 800℃. Reaksi Pembentukan senyawa *cordierite* adalah sebagai berikut:

$2MgO + 2Al_2O_3 + 5SiO_2 \longrightarrow 2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ (Sebayang dkk, 2007).

Menurut penelitian yang dilakukan Sembiring dkk (2009), bahwa pembentukan fasa *cordierite* diikuti terbentuknya fasa kristobalit SiO_2, korundum Al_2O_3 dan spinel $MgAl_2O_4$ pada suhu 1300℃. Sedangkan menurut Rattanavadi dan Punsukumtana (2014), pada suhu 1200℃ *cordierite* telah terbentuk, namun fasa yang paling dominan adalah korundum.

Shukur dkk (2015), melakukan sintesis *cordierite* menggunakan bahan baku kaolin dan magnesit dengan metode *solid state* pada suhu 1050-1400℃, terbentuk fasa *cordierite* dengan sedikit *spinel* dan *tridyimite* pada suhu 1050℃. Namun seiring peningkatan suhu *sintering* hinga 1150-1300℃ didapatkan peningkatan fasa *cordierite* dan penurunan fasa *spinel*. Pada suhu *sintering* 1400℃ muncul fasa *mullite*. Sedangkan menurut Simanjuntak dan Sembiring (2011), sintesis *cordierite* menggunakan bahan baku MgO, Al_2O_3 dan silika sekam padi pada suhu 1300-1500℃ dengan metode *sol gel*, fasa yang terbentuk yakni *cordierite*, *cristobalite*, *spinel* dan *corundum*.

Keramik magnesium oksida (MgO) dan alumina (Al_2O_3) dapat membentuk fasa *spinel* ($MgAl_2O_4$). Fasa *spinel* terbentuk karena magnesia memiliki reaktivitas yang tinggi sehingga dalam proses oksidasi, magnesia bereaksi lebih dulu dibandingkan alumina. Pembentukan *spinel* berasal dari paduan alumina atau penambahan magnesia dalam paduan (Sahari, 2012). Fasa *spinel* sangat penting

sebagai keramik struktural karena penggunaannya dalam industri refraktori. Hal ini memberikan kombinasi fisik, kimia dan sifat termal yang diinginkan, baik pada suhu normal dan tinggi. Fasa *spinel* memiliki berbagai aplikasi dalam bidang industri, kimia, optik dan listrik (Yalamac, 2004). Karakteristik fasa *spinel* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik fasa spinel.

Sifat	Nilai	Referensi
Densitas (g /cm^3)	2.82 - 3,57	Askeland dkk, 2010
Titik lebur (℃)	2135	Charles, 2001
Konduktivitas termal (W/cm.K)	0,076 - 0,15	Askeland dkk, 2010
Konstanta dielektrik	6.6-8.3	Askeland dkk, 2010
Resistivitas (Ω/cm) (30℃)	10^{-10} - 10^{-5}	Askeland dkk, 2010
Konduktivitas Listrik (573 K)(S/cm)	4,92 x 10^{-13}	Padmaraj dkk, 2015

E. Pengaruh Penambahan Alumina dan MgO tehadap *Cordierite*

1. Penambahan Alumina

Li dkk (2014) membuat *cordierite* dengan pengurangan 2,0 - 1,4 mol alumina yang di sintering pada suhu 1200℃. Analisis mikrostruktur permukaan sampel menunjukan berkurangnya porositas dengan menurunnya rasio alumina. Mikrostruktur penambahan 2 mol alumina menunjukan butiran jelas yang menyebar, sedangkan saat penambahan 1,4 mol alumina butiran terhubung satu sama lain sehingga permukaan menjadi lebih halus dengan pori pori tertutup dan tidak berhubungan sehingga menjadi lebih padat. Pengurangan mol alumina menyebabkan kenaikan densitas dan penyusutan serta penurunan porositas. Pada saat 1,4 mol alumina, densitas cenderung memiliki nilai maksimum yaitu 2,6 g/cm^3 dan porositas mencapai nilai minimum yaitu 1%.

Salwa ddk (2007) melakukan penambahan alumina 10, 20, dan 30% pada *cordierite* yang disintering pada suhu 1100℃ selama 3 jam. Dari analisis yang dilakukan, penambahan alumina menyebabkan nilai konstanta dielektrik menurun dari 10,3 menjadi 8,9, 8,8, dan 8,3 untuk setiap penambahan persen alumina.

2. Penambahan Magnesium Oksida

Selain penambahan alumina dapat dilakukan penambahan oksida lain seperti MgO pada keramik *cordierite*. Banjuraizah dkk (2010) melakukan penambahan rasio 2 - 4 mol MgO yang di*sintering* pada suhu 1500℃, pada penambahan 2 - 2,4 mol MgO terbentuk fasa *α-cordierite* dan *mullite*. Torres dan Alarcon (2005), melakukan penambahan 12,01 wt%, dan 13,61 wt% MgO. Untuk 13,61 wt% MgO terbentuk fasa *kristobalite, enstatite fosterite* dan *α-cordierite* dengan permukaan halus, dan terbentuk prisma heksagonal. Pada 12,01 wt% MgO diperoleh fasa *cordierite* yang lebih tinggi, dengan ukuran kristal 3 μm.

Tang dkk (2012) melakukan penambahan MgO pada keramik *cordierite* 0 - 0,8 wt%. Analisis mikrostruktur menunjukan perubahan kecil dalam ukuran butir keramik dan terbentuk fasa *spinel*. Mikrostruktur sampel 0 wt% MgO menunjukkan struktur kompak dan porositas rendah, dengan ukuran butir 1-2 μm. Mikrostruktur sampel dengan 0,4 wt% MgO memiliki porositas tinggi, dan terdapat lubang udara dengan ukuran 10 μm. Penambahan 0,8 wt% MgO menunjukan ukuran lubang berkurang serta kepadatan keramik meningkat sehingga fasa *cordierite* dan *spinel* mengalami peningkatan. Meningkatnya rasio MgO meyebabkan densitas mengalami penurunan, dengan nilai minimum pada 0,4 wt% MgO yaitu 2,813 g/cm$^{3.}$

F. Metode *Sol Gel* dan Padatan

Proses dalam ektraksi silika sekam padi menggunakan metode *sol gel* sedangkan pembuatan *cordierite* menggunakan metode padatan. Proses *sol-gel* merupakan proses larutan yang awalnya digunakan dalam pembuatan material anorganik seperti gelas dan keramik, dengan kemurnian dan homogenitas tinggi (Petrovic dan Janackovic, 2001). Proses ini meliputi transisi sistem dari fasa larutan *sol* menjadi fasa padat gel. Secara umum, proses sol-gel bisa dibagi menjadi beberapa tahap yang meliputi pembentukan larutan, pembentukan *gel*, penuaan *(aging),* pengeringan dan pemadatan (Zubardiansar, 2005).

Metode padat merupakan salah satu teknik yang secara luas telah digunakan dalam penyediaan padatan polikristalin, dimana padatan kristalin disintesis secara langsung dari pereaksi-pereaksinya yang berwujud padat. Teknik ini biasanya menggunakan suhu yang tinggi bahkan mencapai 1000℃ hingga 1500°C. Reaksi ini melibatkan pemanasan campuran dua atau lebih padatan untuk membentuk produk yang juga berupa padatan. Metode padatan memilik keuntungan antara lain, kristal yang dihasilkan memiliki kemurnian dan kristalinitas yang baik (Ismunandar, 2006).

G. Proses *Sintering*

Sintering merupakan metode pembuatan material dari serbuk dengan pembakaran sehingga terbentuk ikatan partikel. *Sintering* adalah pengikatan bersama antar partikel pada suhu tinggi. Proses *sintering* merupakan tahap lanjutan setelah pembuatan *green body* dari proses kompaksi (Kalpakjian, 2003).

Sintering adalah proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada temperatur tinggi mendekati titik leburnya, sehingga terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir, peningkatan densitas dan penyusutan volume serta menentukan sifat keramik yang dihasilkan. Hal ini karena butiran-butiran partikel akan tersusun semakin rapat (Sebayang dkk, 2009).

Sintering bertujuan untuk memadat kompakkan bahan yang sudah dicetak, dengan suhu tinggi. Pada tahap ini pori-pori akan berkurang pengontrolan ukuran butir dan fasa batas butiran (Parno, 1997). Hal ini bertujuan agar butiran-butiran dalam partikel yang berdekatan dapat bereaksi dan berikatan dan menghilankan kandungan air pada material (Mothe dan Ambrosio, 2007). Proses *sintering* fasa padat terbagi menjadi tiga padatan, yaitu:

1. Tahap awal

Pada tahap awal ini terbentuk ikatan atomik. Kontak antar partikel membentuk leher yang tumbuh menjadi batas butir antar partikel. Pada tahap ini penyusutan juga terjadi akibat permukaan porositas menjadi halus. Penyusutan yang tidak merata menyebabkan keretakan pada sampel.

2. Tahap menengah

Pada tahap kedua terjadi desifikasi dan pertumbuhan partikel yaitu butir kecil larut dan bergabung dengan butir besar. Pada tahap ini juga berlangsung penghilangan porositas. Akibat pergeseran batas butir, porositas mulai saling berhubungan dan membentuk silinder di sisi butir.

3. Tahap akhir

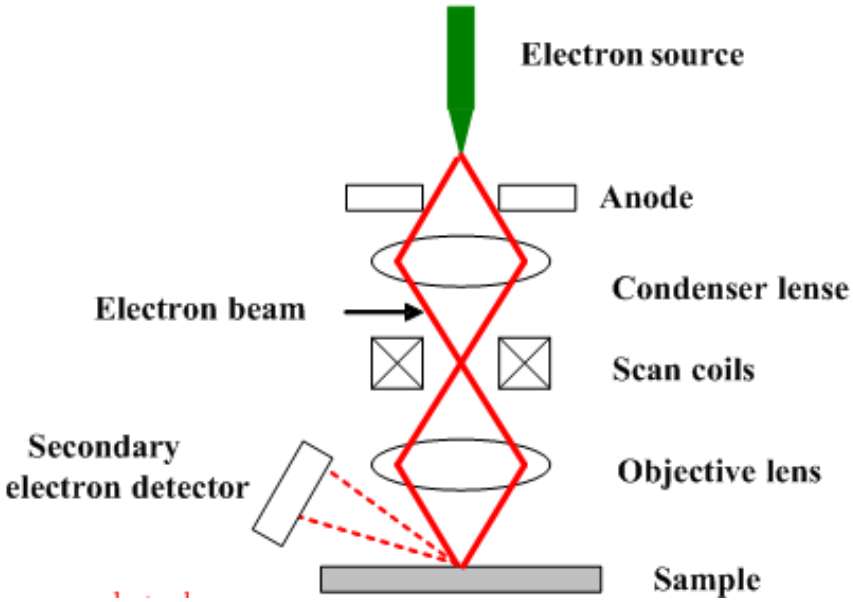
Fenomena desifikasi dan pertumbuhan butir terus berlangsung dengan laju yang lebih rendah dari sebelumnya. Demikian juga dengan proses penghilangan

porositas, pergeseran batas butir terus berlanjut. Apabila pergeseran batas butir lebih lambat daripada porositas, maka porositas akan muncul di permukaan dan saling berhubungan (Kashcheev and Turlova, 2010).

H. Karakterisasi

1. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat 2 sampai 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar berukuran ~10 nm pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau dalam tabung layar. SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan perbesaran berkisar antara 20-500.000 kali (Nuha, 2008).



Gambar 4. Diagram skematik dan cara kerja SEM.

Prinsip kerja dari alat *Scanning Microscopy* di atas adalah dengan menembakkan sinar elektron melalui sebuah pistol elektron kemudian sinar elektron tersebut dipercepat dengan anoda. Selanjutnya lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT) (Wagiyo dan Handayani, 1997).

Pada saat dilakukan pengamatan, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron di *scan* ke seluruh area daerah tembak pengamatan. Sehingga dapat dibatasi lokasi pengamatan dengan melakukan *zoom in* atau *zoom out*. Berdasarkan arah pantulan berkas pada berbagai titik pengamatan maka profil permukaan benda dapat dibangun menggunakan program pengolahan gambar yang ada dalam komputer (Abdullah dan khairurrijal, 2009).

2. Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik bahan adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik merupakan sifat material yang berbanding terbalik dengan resistivitas listrik. Konduktivitas listrik dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{1}{K} \tag{1}$$

dimana:

σ = Konduktivitas listrik (S/cm)

K = Resistivitas listrik (Ω/cm).

Resistivitas listrik berbanding terbalik dengan konduktivitas listrik. Untuk mengukur konduktivitas dan resistivitas listrik digunakan metode *two point probe* dengan alat LCR meter. Metode ini mudah diimplementasikan karena hanya menggunakan dua *probe* pada pengukurannya. Pada pengukuran resistivitas akan didapatkan resistansi total, namun yang ingin didapatkan adalah resistansi sampel (Schoder, 2006). Besaran fisis yang terukur pada LCR meter adalah konduktansi (G), kemudian untuk mendapatkan nilai konduktivitas (σ) digunakan hubungan:

$$\sigma = \frac{L}{A} \times \frac{1}{R} = \frac{L}{A} \times G \qquad (2)$$

dimana:

L = Tebal bahan (cm)

A = Luas alas pelet (cm^2)

R = Resistansi (ohm)

G = Konduktansi (Siemens)

σ = Konduktivitas listrik (S/cm)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yunasfi dkk, (2011), dan Karvita dkk, (2004), diketahui bahwa nilai konduktivitas suatu material akan meningkat seiring dengan peningkatan frekuensi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai konduktivitas merupakan fungsi dari frekuensi. Kebergantungan konduktivitas terhadap frekuensi dikenal dengan *Universal Frequency*. Salah satu model persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\sigma = \omega \varepsilon_0 \varepsilon'' \qquad (3)$$

dimana:

σ = Konduktivitas listrik (S/cm)

ε_0 = Permitivitas (8,85x10^{-14} F/cm)

ε'' = Kehilangan dielektrik

3. Densitas dan porositas

Densitas merupakan jumlah massa persatuan volum yang menunjukkan nilai kerapatan suatu bahan. Densitas terjadi akibat perpindahan partikel ketika partikel mengalami pertumbuhan butir dan perubahan bentuk butiran. Sedangkan porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume lubang-lubang kosong yang dimiliki oleh zat padat dengan jumlah dari volume zat padat yang ditempati oleh zat padat. Porositas memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan densitas, dimana semakin besar nilai densitas maka nilai prositasnya semakin kecil. Salah satu cara untuk menentukan densitas dan porositas dari sampel keramik *cordierite* yang telah di*sintering* adalah dengan menggunakan metode Archimedes yang memenuhi persamaan berikut :

$$\rho = \frac{M_k}{M_j - M_b} \times \rho_{air} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{M_j - M_k}{M_j - M_b} \times 100\% \quad (5)$$

dimana:

ρ = Densitas (gr/cm^3)

M_k = Massa sampel kering (gram)

M_b = Massa sampel basah (gram)

M_j = Massa sampel jenuh (gram)

ρ_{air} = 1,000 g/cm^3

ε = porositas (%) (Sijabat, 2007).

4. Penyusutan

Penyusutan (*shrinkage*) merupakan persen pengurangan massa sampel sebelum *sintering* (*Mo*) terhadap sampel sesudah *sintering* (*M*). terjadi akibat perubahan densitas dari temperatur proses ke temperatur ruang yang ditandai dengan berkurangnya massa, volume, dan dimensi. Penyusutan dipengaruhi oleh faktor pembentukan, lama *sintering*, ukuran butiran, dan komposisi sampel. Untuk mengukur penyusutan digunakan persamaan berikut:

$$S = \frac{M_0 - M}{M_o} \times 100\% \qquad (6)$$

dimana:

S = Penyusutan (%)

M_O = Massa sampel sebelum *sintering* (gram)

M = Massa sampel sesudah *sinterring* (gram)

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

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

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah kompor listrik, spatula, kertas saring, *magnetic stirrer*, pH indikator, oven, mortar dan pastel, saringan 63 μm, aluminium foil, krusibel (cawan), timbangan digital, *beaker glass*, alat press hidrolik GRASEBY SPECAC, *furnace*, pengukur konduktivitas listrik, dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: sekam padi, aquades, larutan NaOH 1,5%, larutan HNO_3 10%, Magnesium oksida (MgO) SIGMA-ALDRICH (63093-250G-F), Alumina (Al_2O_3) SIGMA-ALDRICH product of Germany (11028-500G).

C. Prosedur penelitian

1. Prepari Sampel

a. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Sebelum diekstraksi, sekam padi terlebih dahulu dibersihkan, selanjutnya dicuci hingga bersih dengan menggunakan air dan direndam selama 1 jam. Lalu sekam padi yang mengapung di permukaan dibuang dan sekam padi yang tenggelam diambil. Kemudian sekam padi direndam dengan menggunakan air panas selama 6 jam, hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan kotoran-kotoran (zat organik) yang larut dalam air seperti tanah, pasir, debu, dan zat pengotor lain terlepas dari sekam padi. Setelah itu, sekam padi ditiriskan dan dikeringkan dengan menggunakan panas sinar matahari selama kurang lebih dua hari agar kering secara merata.

Ekstraksi sekam padi bertujuan untuk mendapatkan *sol* (silika terlarut) dalam filtrat. Tahapan ekstraksinya yaitu, sekam yang telah dicuci dan dikeringkan ditimbang sebanyak 50 gram, dimasukkan ke dalam *beaker glass,* kemudian ditambahkan larutan NaOH 1,5% sebanyak 500 mL. Sekam yang telah direndam dalam larutan NaOH 1,5% kemudian dididihkan hingga 100℃ menggunakan kompor listrik dengan daya 600 watt selama kurang lebih 30 menit sambil terus diaduk agar panasnya merata dan busa tidak meluap. Setelah uap panas hilang, dilakukan penutupan dengan aluminium foil dan didiamkan selama kurang lebih 24 jam, proses ini disebut *aging* (penuaan). Setelah *aging*, ampas sekam dipisahkan dari ekstrak sekam menggunakan corong *bucher* untuk memperoleh *sol* silika (filtrat silika terlarut) dan menyaring filtrat tersebut menggunakan kertas

saring. Kemudian meneteskan larutan HNO_3 10% ke dalam *sol* silika setetes demi setetes untuk memperoleh *gel* silika dengan pH 7. Perubahan proses *gel* ini dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* agar larutannya homogen. *Gel* yang terbentuk kemudian didiamkan selama 24 jam agar terjadi proses *aging* (penuaan). Setelah melalui tahap *aging*, didapatkan *gel* yang berwarna coklat kehitaman, kemudian *gel* disaring menggunakan kertas saring. Mencuci *gel* dengan air hangat dan pemutih hingga warna *gel* menjadi putih. Silika *gel* kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110℃ selama 7 jam hingga diperoleh silika padatan. Selanjutnya menggerus silika padatan menggunakan mortar dan pastel hingga menjadi serbuk halus dan berwarna putih. Serbuk ini kemudian dikalsinasi pada suhu 110℃ selama 3 jam untuk menghilangkan sisa-sisa zat yang mudah menguap (*volatil*).

b. Sintesis *Cordierite*

Sintesis *cordierite* dilakukan dengan menggunakan metode padatan. Bahan-bahan seperti MgO, Al_2O_3, dan SiO_2 digerus dan diayak menggunakan pengayak dengan ukuran 63 μm untuk memperoleh serbuk dari masing-masing bahan. Setelah itu bahan-bahan tersebut ditimbang menggunakan neraca digital dengan perbandingan mol 2 : 2 : 5. Kemudian mencampur (*mixing*) bahan-bahan tersebut dan menggerusnya selama 3 jam hingga homogen. Setelah penggerusan, campuran ketiga bahan tersebut diayak menggunakan pengayak dengan ukuran 63μm untuk memperoleh serbuk *cordierite*. Serbuk ini kemudian dikalsinasi pada suhu 110℃ selama 3 jam untuk menghilangkan sisa zat yang mudah menguap.

c. Pembuatan Paduan *Cordierite*-Magnesium Oksida

Cordierite yang telah dipreparasi, selanjutnya ditambahkan magnesium oksida dengan persentase berat 0, 20, 25, dan 30% dari berat total 25 gram. Kemudian mencampur kedua paduan bahan tersebut dengan *magnetic stirrer* selama 4 jam, menggunakan alkohol sebagai media pencampurannya. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk memisahkan filtrat *cordierite* dengan larutan alkohol. Mengeringkan filtrat dengan suhu 100℃ selama 2 jam. Kemudian menggerus dan mengayak kembali hingga diperoleh serbuk paduan *cordierite*-magnesium oksida.

d. *Pressing*

Sampel uji yang masih berupa serbuk, kemudian dijadikan bentuk pelet. Sampel yang telah dipreparasi kemudian dilakukan pemadatan atau pencetakan dengan alat *pressing*. Sampel ditimbang dengan berat masing-masing sampel sebanyak 0,4 – 0,5 gram. Sebelum dipadatkan, sampel dipanaskan pada suhu 110℃ hingga benar-benar kering. Alat yang digunakan dalam proses *pressing* adalah penekan (hidrolik) yang besar tekanannya dapat diatur. Sampel ditekan dengan beban 5 ton. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *pressing* adalah sebagai berikut:

a. Menyiapkan sampel dan alat *pressing*.
b. Memasukkan sampel ke dalam cetakan *pressing* yang berbentuk silinder.
c. Mengunci alat *pressing* dengan memutar skrup.
d. Melakukan pemompaan untuk menentukan berat beban sebesar 5 ton.
e. Memutar skrup untuk membuka alat *pressing*.
f. Memompa tuas untuk mengeluarkan sampel berbentuk pelet.

e. *Sintering*

Proses *sintering* dilakukan dengan menggunakan *furnace* (tungku pembakaran) listrik yang memiliki pengaturan suhu. Temperatur yang digunakan dalam proses *sintering* ini adalah 1250℃ dengan kenaikan suhu 4℃ per menit dan waktu tahan selama 3 jam. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *sintering* adalah sebagai berikut:

a. Menyiapkan sampel yang akan disintering.
b. Menghubungkan aliran listrik dengan *furnace*.
c. Menghidupkan *furnace* listrik dengan menekan saklar pada posisi "ON".
d. Mengatur suhu yang diinginkan yaitu 1250℃ dengan waktu tahan selama 3 jam.
e. Menununggu sampai suhu pada *furnace* naik menjadi 1250℃.
f. Memasukkan sampel ke dalam *furnace*.
g. Mematikan *furnace* listrik setelah proses *sintering* selesai.
h. Mengeluarkan sampel dari *furnace*.

2. Karakterisasi Sampel

a. Analisis Sampel Menggunakan SEM/EDS

Dari masig-masing sampel dilakukan analisa menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)/EDS yang bertujuan untuk mengetahui mikrostruktur dari bahan keramik paduan *cordierite* – magnesium oksida dengan perbesaran 5.000X, dan 7.000X. Proses pengambilan gambar pada penelitian ini 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 5.000X dan 7.000X.
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 didalam bahan.
8. Memilih unsur yang ingin ditampilkan pada grafik seperti yang dikehendaki.

b. Uji Konduktivitas Listrik

Untuk mengetahui nilai konduktivitas listrik sampel dilakukan pengukuran konduktivitas listrik dengan *metode two point probe* alat LCR. Langkah-langkah pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel paduan *cordierite*-magnesium oksida dengan komposisi 0, 20, 25, dan 30%.
2. Menyiapkan perangkat pengukuran konduktivitas listrik dengan program LCR, 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. Merunning program LCR pada frekuensi listrik yang diinginkan.
6. Mengambil data berupa nilai konduktivitas listrik dan grafik hubungan antara frekuensi listrik dengan konduktivitas listrik.

c. Densitas dan Porositas

Uji ini dapat diakukan secara bersamaan dengan langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel paduan *cordierite* – magnesium oksida.
2. Menimbang sampel dalam keadaan kering dengan neraca digital untuk menentukan berat sampel kering (M_k).
3. Sampel kering dimasukkan ke dalam beaker glass berisi air dan direbus selama 5 jam.
4. Setelah perebusan selama 5 jam, sampel didiamkan selama 24 jam agar terjadi penjenuhan.
5. Setelah dijenuhkan kemudian dilap dengan *tissue* dan dilakukan penimbangan untuk memperoleh berat sampel jenuh (M_j).
6. Mengikat sampel dengan benang dan melakukan penimbangan dengan sampel berada di tengah-tengah air pada gelas, untuk memperoleh berat sampel basah (M_b).
7. Menghitung besarnya densitas dan porositas masing-masing sampel dengan persamaan (4) dan (5).

d. Penyusutan (*Shrinkage*)

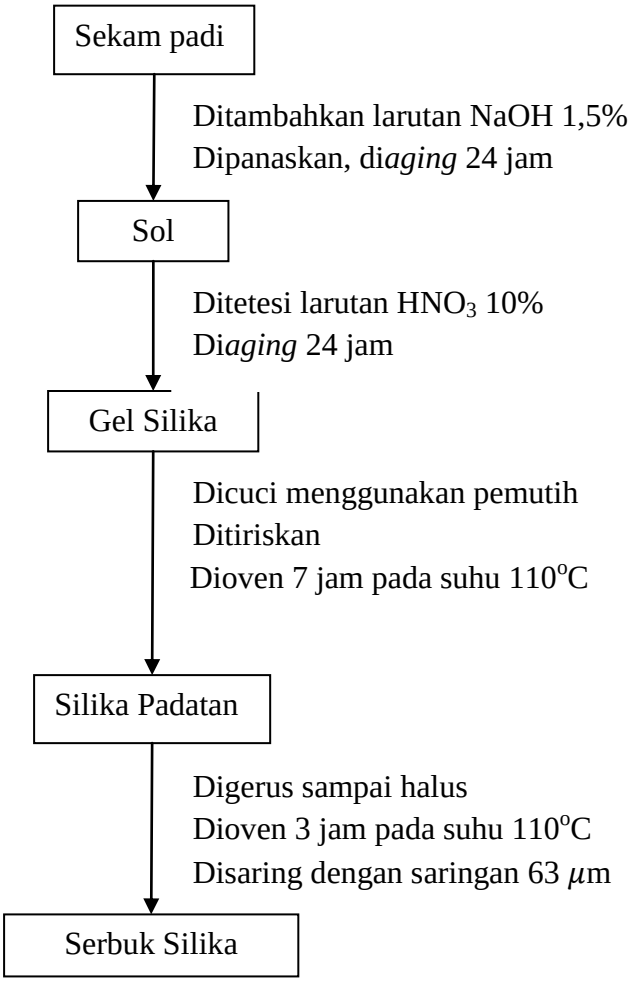
Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran penyusutan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel paduan *cordierite* – magnesium oksida.
2. Menimbang masing-masing sampel menggunakan neraca sebelum dan sesudah proses *sintering*.
3. Mencatat massa sampel di mana M_0 adalah massa sebelum *sintering*, dan M adalah massa sesudah *sintering*.
4. Menghitung nilai penyusutan dengan menggunakan persamaan (6).

D. Diagram Alir Penelitian

1. Preparasi dan Ekstraksi Sekam Padi

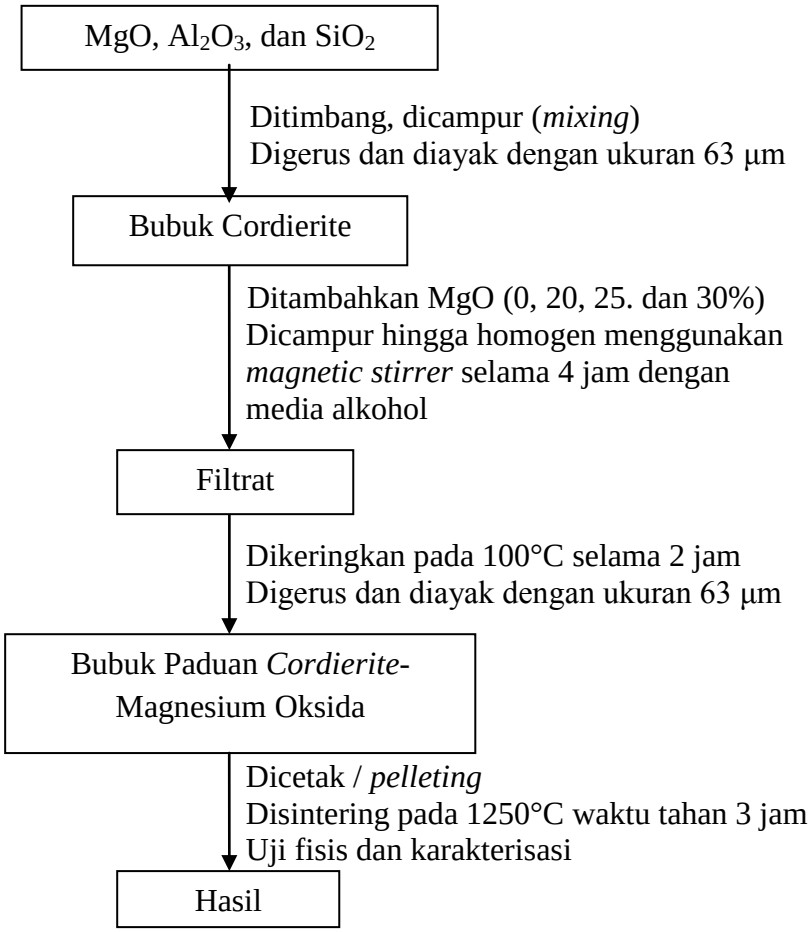
Proses ekstraksi untuk mendapatkan silika sekam padi dijelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir preparasi dan ekstraksi sekam padi.

2. Preparasi Paduan *Cordierite*-Magnesium Oksida

Proses preparasi *cordierite*-Magnesium Oksida dijelaskan melalui Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir preparasi paduan *cordierite*-magnesium oksida.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa meningkatnya penambahan magnesium oksida 0, 20, 25 dan 30% memperlihatkan mikrostruktur yang tidak homogen, terbentuk gumpalan, dan adanya pori-pori.
2. Mikrostruktur sampel 0% memilki bentuk partikel butiran dan batang, dengan ukuran butir rata-rata o,86 µm. Sampel 20% memiliki bentuk partikel butiran padat, dengan ukuran butir rata-rata 1,01µm. Sampel 25% memiliki bentuk partikel butiran, dengan ukuran butir rata-rata 1,14 µm, dan sampel 30% memiliki bentuk partikel yang tidak beraturan dengan ukuran butir rata-rata 1,06 µm.
3. Penambahan magnesium oksida 0, 20, 25, dan 30% pada *cordierite* menyebabkan penurunan konduktivitas listrik.
4. Nilai konduktivitas listrik dengan penambahan magnesium oksida yang diperoleh berkisar antara $3,15x\ 10^{-7}$ - $1,27\ x\ 10^{-8}$ S/cm, yang berada pada rentang isolator.
5. Penambahan magnesium oksida 0, 20, 25, dan 30% menyebabkan penurunan densitas dari 1,69 - 1,31 g/cm^3 dan penyusutan 23,34% - 21,16% serta peningkatan porositas 3,45 - 40,41%.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Melakukan karakterisasi XRD pada setiap sampel dan menganalisis struktur kristalnya agar dapat menjelaskan perubahan yang terjadi pada nilai konduktivitas listrik *cordierite* paduan magnesium oksida.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk meneliti pengaruh sintering terhadap *cordierite* dengan penambahan magnesium oksida dengan variasi suhu *sintering*.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M dan Khairurrijal. 2009. Karakteristik Nanomaterial. *Jurnal Nano Sains dan Nano Teknologi*. Vol. 2, No 1. Hal 25 - 40.

Askeland, D. R., Fulay, P. P., dan Bhattacharya, D. K. 2010. *Essentials of Materials and Enggineering Second Edition*. USA.

Banjuraizah, J., Mohamad, H., dan Ahmad, Z. A. 2010. Thermal Expansion Coefficient and Dielectric Properties of Non-Stoichiometric Cordierite Compositions with Excess MgO Mole Ratio Synthesized from Mainly kaolin and Talc by the Glass Crystallization Method. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 494. Hal 256 - 260.

Banjuraizah, J., Mohamad, H., dan Ahmad, Z. A. 2011. Synthesis and Characterization of xMgO–1.5Al_2O_3–5SiO_2 (x¼2.6–3.0) System Using Mainly Talc and Kaolin Throught the Glass Route. *Journal Material Chemical Physic.* Vol. 129. Hal 910 - 918.

Biasseto, Lisa. 2005. Functional Ceramic Foam from Preceramic Polymers. (Tesis). Universitàs Bologna.

Brook, J. R. 1991. *Concise Encyclopedia of Advanced Ceramic Materials*. Pergamon Press. Germany.

Broudic., Cliffton, G. B., dan Risbud, S. H. 1989. *Introduction to Phase Equilibria in Ceramics.* Ohio : The American Society, Inc.

Carter. C. B dan Norton M. G. 2007. Ceramic Material Science Enginering. USA

Charles, A. H. 2001. *Handbook of Ceramic glasses, and Diamonds*. Mc Graw Hills Company Inc. USA.

Chen, D., Jordan, E. H., dan Gell, M. 2008. Pressureless Sintering of Translucent MgO. *Journal Ceramics Scr Material*. Vol. 59. Hal 757 – 759.

Cotton dan Wilkinson. 1989. Kimia Anorganik Dasar. Terjemahan Sahati Sunarto dari Basic Inorganic Chemistry. Universitas Indonesia. Jakarta.

Fu, X dan Song, Z. 1998. *Preparation and Characterization of MgO Thin Film by a Novel Sol Gel Method*. China: Shanghai Institut of Metallurgy Chinese Academy of Science. Hal 277 - 281.

Harsono, H. 2002. Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Sekam Padi. *Jurnal Ilmu Dasar*. FMIPA Universitas Jember Jawa Timur. Vol. 3, No 2. Hal98-102.

Hans, K. S. 1992. Synthesis dan Characterization of Low Thermal Expansion Cordierite. *ASEAN–Japan Seminar on Ceramics, Fine Ceramics*. Kuala Lumpur. Malaysia.

Huseynov, E., Garibov, A., dan Mehdiyeva, R. 2014. Temperature and Frequency Dependence of Electric Conductivity in Nano-Grained SiO_2 Exposed to Neutron Irradiation. *Physica B.* Hal 1 - 13.

Ismunandar. 2006. *Padatan Oksida Logam : Struktur, Sintesis, dan Sifat-Sifatnya*. ITB. Bandung.

Jakkula, S dan Deshpande, V. 2013. Effect of MgO Addition on the Properties of $PbO–TiO_2–B_2O_3$ Glass and Glass–Ceramics. *journal Ceramics International*. Vol. 39. Hal S15 - S18.

Kalapathy, U., Proctor. A., dan Shultz, J. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresouce Technology*. Vol. 73. Hal 257 - 262.

Kalpakjian, S. 2003. *Manufacturing Processes for Engineering Materials, fourth Editio*n. Illinois Institute of Technology. Chicago.

Karvita, P., Kartini, E., dan Purnama, S. 2004. *Konduktivitas Ionik* $(CuI)_x$, $(AgPO_3)_{1-X}$ *dengan X=0.1, 0.2, dan 0.3 pada 2.0 Volt.* Tangerang: BATAN.

Kashcheev, I. D., dan Turlova, O. V. 2010. Physical-Chemical Properties of Ceramic Mix Using Nizhneuvel Skoe Clay. *Journal Glass and Ceramic.* Vol. 67, No. 5 - 6. Hal 173 - 175.

Keenan, C. W., Kleinfelter, D. C., dan Wood, J. H. 1992. *Ilmu Kimia Untuk Universitas Edisi Keenam*. Jilid 2. Erlangga. Jakarta.

Kim, H.S., Yang, H. S., Kim, H, J., dan Park, H. J. 2004. Thermogravimetric Analysis of Rice Husk Flour Filled Thermoplastic Polymer Composites. *Journal of Thermal Analysis and Calometry*. Vol. 76. Hal 395-404.

Kurama, S dan Kurama, H. 2006. The Reaction Kinetics of Rice Husk Based Cordierite Ceramic. *Ceramic International*. Hal 1 - 4.

Li, Ye., Qian H., Xudong, C., Zhang, R., dan Zhang, H. 2014. Fabrication of Dense Cordierite Ceramic Through Reducing Al_2O_3 Mole Ratio. *Materials Letters*. Vol. 116. Hal 262 - 264.

Luh, B. S. 1991. Rice Utilization, Second Edition. Vol. 2. Van Nostrand Reinhold: USA.

Masrukan., Wagiyo., dan Aditoiyanto. 1999. Pemeriksaan Mikrostruktur dan Analisis Unsur AlMgsi1 Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)-EDS. *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan sinar X ke 2*. Tangerang. BATAN. Hal 79-82.

Mbarki, R., Mnif, A., dan Hamzaoui, A. H. 2014. Structural, Dielectric Relaxation and Electrical Conductivity Behavior in MgO Powders Synthesized by Sol Gel. *Materials Science in Semiconductor Processing*. Vol. 1. Hal 1 - 7.

Meilyana, F. 2016. *Pengaruh Penambahan Magnesium Oksida (0,20,25,30%) terhadap Karaktersitik Kekerasan dan Struktur Fasa Bahan Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Mothe, C. G dan Ambrosio, M. C. 2007. Processes Occuring During The Sintering Of Porous Ceramic Materials By TG/DSC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 87, N 3. Hal 819 - 822.

Naskar, M. K dan Chatterjee, M. 2004. A Novel Process for The Synthesis of Cordierite ($Mg_2A_{l4}Si_5O_{18}$) Powder from Rice Husk Ash Other Sources of Silica and Their Comparative Study. *Jurnal of European Ceramics Society*. Vol. 24. Hal 3499 - 3505.

Nuha, D. A. 2008. Analisis SEM dalam Pemantauan Proses Oksidasi, Magnetite Menjadi Hematite. *Seminar Nasional VII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri*. ITN. Bandung. Hal 52.

Padmaraj, O., Venkateswarlu, M., dan Satyanarayana, N. 2015. Structural, Electrical and Dielectric Properties of Spinel Type $MgAl_2O_4$ Nanocrystalline Ceramic Particles Synthesized by the Gel-Combustion Method. *Ceramics International*. Vol. 41. Hal 3178 - 3185.

Parchoviansky, M., Galusek, D., svancarek, P., Sedlacek, J., dan sajgalik, P. 2014. Thermal Behavior Electrical Conductivity and Microstructure of Hot Pressed Al_2O_3/SiC Nanocomposites. *Ceramics International*. Vol. l40. Hal 14421 - 14429.

Parno. 1997. Keramik: Karakteristik, Pembuatan dan Penggunaannya. *Jurnal Foto*n. Vol. 1, No 1. Hal 53 - 62.

Petrovic, R dan Janackovic, D. 2001. Densification and Cristallization Behaviour of Colloidal Cordierite-Type Gels. Departement of Inorganic Chemical Technology. University of Belgrade. Yugoslavia. *J.Serb.Chem.Soc*. Vol. 66, No 5. Hal 335 - 343.

Quakertown. 2007. *High Precision Machining of Hard Materials*. Corderiete Information-Profided. Insaco. USA. Hal 8951 - 9006.

Rattanavadi, S., dan Punsukumtana, L. 2014. Cordierite Composites Using New Source of Waste; Sludge Cake From Alumina Scrap and Dross Recycling Industry in Thailand. *Journal of the Australian Ceramic Society*. Vol. 50, No 2. Hal 118-125

Reijnen, P dan Kim, H. D. 1986. The Influence of Na_2O on Sintering and Creep of Alumina Doped with MgO and TiO_2. Institut Fur Geinstenshuttenkunde, RWTH Aachen. *Journal Maurst*. Vol. 5, D-5100 Aachen, 63,. Hal 272 - 279.

Sadeli, M.Y., Bambang, P., dan Achmad, S. 2012. Pengaruh Variasi Besar Butir Carbon Black Terhadap Karakteristik pelat Bipolar. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi "TELAAH"*. Vol. 30, No.1. Hal 25-32.

Sahari, G. N. A. 2012. Komposit Matriks Keramik Al_2O_3/Al Hasil Proses Directed Melt Oxidation (Dimox). *Disertasi*. Universitas Indonesia. Jakarta.

Salwa, A. M., Hameed, A., and Bakr, I. M. 2007. Effect of Alumina on Ceramic Properties of Cordierite Glass-Ceramic from Basalt Rock. *Journal of the European Ceramic Society.*Vol. 27. Hal 1893 - 1897.

Sapei, L., Noske, R., Strauch.P., dan Paris, O. 2008. Isolation of Mesoporous Biogenic Silica from the Perennial Equisetum Hyemale. *Chem. Material.*Vol. 20. Hal 2020-2025.

Schoder, D. K. 2006. *Semiconductor and Device Characterization*. John Wiley dan Sons Ltd, The Atrium. Southern Gate. Chicester. West Sussex PO19 8SQ. England.

Schneider, S. J. 1991. Ceramic And Glass. *journal Ceramic Science and Enginering*. Volume 4. ASM International Handbook Commitee. USA. Hal 205 - 209.

Sebayang, P., Muljadi., Ginting, M., dan Denu, S. K. 2007. Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu terhadap Karakteristik Keramik Cordierite Berpori Sebagai Bahan Filter Gas Buang. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*. Vol. 7, No 1. Hal 25 - 38.

Sebayang, P., Muljadi, dan Tetuko, A. P. 2009. Pembuatan Bahan Filter Keramik Berpori Berbasis Zeolit Alam dan Arang Sekam Padi. *Teknologi Indonesia* Vol. 32, No 2. Hal 99 - 105.

Sembiring, S dan Manurung, P. 2009. Synthesis And Characterisation Of Cordierite ($Mg_2Al_4Si_5O_{18}$) Ceramics Based On The Rice Husk Silica. *Prosiding SN SMAP 09*. FMIPA UNILA. Hal 417 - 423. Department of Physics FMIPA, University of Lampung.

Sembiring, S., Manurung, P., dan Karo-Karo, P. 2009. Pengaruh Suhu Tinggi terhadap Karakteristik Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. Vol. 5, Nomor 1.Hal 1- 4.

Shackelford, F. J, dan Doremus, H. R. 2008. *Ceramic and Glass Material, Structure, Properties and Processing*. Springer: USA.

Shi, Z. M., Liang, K. M., dan Gu, S. R. 2001. Effects of CeO_2 on Phase Transformation Towards Cordierite in MgO-Al_2O_3-SiO_2 System. *Journal Material*. Vol. 51, No 1. Hal 68 - 72.

Shukur, M. M., Asward, A. M., dan Khadhim, J. Z. 2015. Preparation of Cordierite Ceramic from Iraqi Raw Materials. *International Journal of Engineering and Technology*. Vol. 5. Hal 172-175.

Sigit, N dan jetty, S. 2001. *Peluang Agribisnis Arang Sekam*. Jakarta: Balitpasca.

Sijabat, K. 2007. Pembuatan keramik Paduan Cordierite-Alumina sebagai Bahan Refraktori dan Karakterisasinya. *Skripsi*. USU. Medan.

Simanjuntak, W dan Sembiring, S. 2011. The Use Of The Rietveld Method To Study The Phase Composition Of Cordierite ($Mg_2Al_4Si_5O_{18}$) Ceramics Prepared From Rice Husk Silica. *Makara, Sains*. Vol. 15, No. 1. Hal 97 - 100.

Siregar, J. 2008. Studi Analisis Tentang Hubungan Suhu Sintering Terhadap Karakter keramik Berpori Cordierite ($2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$) Secara Simulasi dengan Program Mathematica 5.1. *Tesis*. Universitas Sumatra Utara. Medan.

Smallman, R. E, 2001. *Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta : Erlangga. Hal 356.

Smith, F. W. 1990. *Principles of Material Science and Engineering*. Second Edition. McGraw-Hill, Inc. New York. Hal 864.

Sofyan, G. G. I. 2012. Sintesis Dan Karakterisasi Bahan Keramik Cordierite Dari Abu Sekam Padi. *Skripsi*. Universitas Negri semarang. Semarang.

Sun, L dan Gong, K. 2001. Silicon-based materials from rice husks and their applications. *India Engineering Chemical Resource*. Vol. 40. Hal 5861-5877.

Surdia, T dan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradanya Pramita. Jakarta.

Tang, L. Y., Cheng, X., Lu, P., dan Yue, F. 2012. Effect of MgO/CuO on the Microstructure and Thermal Properties of Cordierite–Alumina Ceramics. *Key Engineering Materials*. Vol. 509. Hal 240 - 244.

Torres, F. J dan Alarcon, J. 2005. Effect of MgO/CaO Ratio on the Microstructure of Cordierite-Based Glass-Ceramic Glazes for Floor Tiles. *Ceramics International*. Vol. 31. Hal 683 - 690.

Wagiyo dan Handayani, A. 1997. *Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope, SEM dan Energy Dispersive Spectrometer, EDS*. Badan Tenaga Atom Nasonal. Tangerang.

Widodo., Doni, R., dan Rusiyanto. 2010. Densitas dan Kekuatan Bending pada Material Komposit Fly Ash-MgO. *Jurnal keramik*. Vol. 8, No. 1. F teknik. UNES. Hal 79 - 86.

Yalamac, E. 2004. Preparation of Fine Spinel and Cordierite Ceramic Powder. *Disertasi*.Turkey. Institute of Technology İzmir. İzmir.

Yunasfi., Setyo, P., dan Tria, M. 2011. *Karakterisasi Sifat Listrik Grafit Setelah Iradiasi Sinar γ*. Tangerang: BATAN.

Zhu, P., Wang, L.Y., Hong, D., dan Zhou, M. 2012. A Study of Cordierite Ceramics Synthesis From Serpentine Tailing and Kaolin Tailing. *Science of Sintering.* Vol. 6, No 44. Hal 129 - 134.

Zubandiansar, Y. 2005. *Escapsulasi Enzim Horseradish Peroxidas-Glucose Oxidase (HRP-Gox) dalam Aquagel Silika Hasil Sintesis dari Abu Sekam Padi*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.