

**PENGARUH PENAMBAHAN MASSA MAGNESIUM OKSIDA (MgO),
SUHU DAN WAKTU TAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK
KERAMIK KOMPOSIT DARI ABU DASAR BATUBARA, LIMBAH
KALENG ALUMINIUM DAN AIR *BITTERN***

Skripsi

Oleh

Abdul Aziz



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN MASSA MAGNESIUM OKSIDA (MgO), SUHU DAN WAKTU TAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK KERAMIK KOMPOSIT DARI ABU DASAR BATUBARA, LIMBAH KALENG ALUMINIUM DAN AIR *BITTERN*

Oleh

ABDUL AZIZ

Telah dilakukan sintesis silika dan alunima dari abu dasar batubara dan limbah kaleng aluminium sebagai bahan dasar pembuatan keramik komposit. Abu dasar batubara disintesis dengan metode *sol-gel*. Metode dalam pembuatan keramik adalah *solid state* dengan variasi penambahan MgO 0, 10, 15% wt, di-*sintering* pada suhu 800-1.100°C dan variasi waktu tahan 2, 3 dan 4 jam. Pengujian fisis meliputi densitas, porositas dan absorpsi, sedangkan pengujian kimia menggunakan XRF (*X Ray Fluorescence*), analisis fasa menggunakan XRD (*X Ray Diffraction*) dan struktur morfologi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) serta uji kuat tekan menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*). Hasil dari karakterisasi ekstraksi silika diperoleh nilai sebesar 43,51% dan alumina sebesar 31,01%,. Hasil analisis fasa pada sampel optimum terbentuk fasa *spinel*, *albite* dan *corundum*. Hasil uji fisis diperoleh sampel optimum yaitu densitas sebesar 1,42 g/cm³, porositas sebesar 45,66%, absorpsi sebesar 32,11% dan kuat tekan sebesar 4,64 MPa. Morfologi permukaan keramik kelihatan membentuk gumpalan yang besar, padat dan menyatu dengan luas permukaan yang besar sehingga meningkatkan nilai densitas dan menurunkan nilai porositas. Kualitas dari sampel optimum masih di bawah sampel bahan pabrik.

Kata kunci : abu dasar batubara, keramik, MgO, *sol-gel* dan *solid state*.

ABSTRACT

EFFECT OF MAGNESIUM OXIDE (MgO) MASS ADDITION, TEMPERATURE AND HOLDING TIME ON THE CHARACTERISTICS OF COMPOSITE CERAMIC FROM COAL BOTTOM ASH, WASTE ALUMINUM CAN AND BITTERN WATER

By

ABDUL AZIZ

Synthesis of silica and alumina from coal bottom ash and aluminum can waste has been carried out as the basic material for making composite ceramics. Coal bottom ash was synthesized using the sol-gel method. The method for making ceramics is solid state with variations in the addition of 0, 10, 15% wt MgO, sintering temperature of 800-1.100°C and varying holding times of 2, 3 and 4 hours. Physical testing included density, porosity and absorption, while chemical testing uses XRF and phase and morphological structure analysis uses XRD and SEM and compressive strength tests use UTM. The results of the characterization silica extraction obtained a value of 43.51% and alumina of 31.01%. The results of phase analysis in the optimum sample formed spinel, albite and corundum phases. The results of the physical tests obtained optimum samples, namely density (1.42 g/cm³), porosity (45.66%), absorption (32.11%) and compressive strength (2.37 Mpa). The surface morphology of the ceramic appears to form large, dense and fused clumps with a large surface area, increasing the density value and decreasing the porosity value. The quality of the optimum sample is still below the factory material sample.

Keywords: ceramics, coal bottom ash, MgO, sol-gel and solid state.

**PENGARUH PENAMBAHAN MASSA MAGNESIUM OKSIDA (MgO),
SUHU DAN WAKTU TAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK
KERAMIK KOMPOSIT DARI ABU DASAR BATUBARA, LIMBAH
KALENG ALUMINIUM DAN AIR *BITTERN***

Oleh

ABDUL AZIZ

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

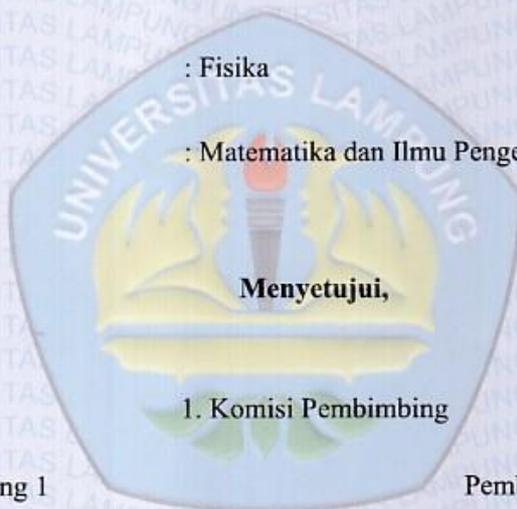
Judul : "Pengaruh Penambahan Massa Magnesium Oksida (MgO), Suhu dan Waktu Tahan Terhadap Karakteristik Keramik Komposit dari Abu Dasar Batubara, Limbah Kaleng Aluminium dan Air Bittern"

Nama Mahasiswa : **Abdul Aziz**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1817041046

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

a.n Pembimbing 1
Ketua Jurusan

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010205011002

Pembimbing 2

Dr. Sudiby, S.T., M.Sc.
NIP. 198203272015021002

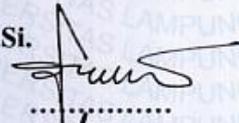
2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010205011002

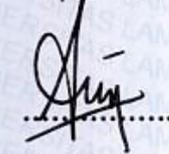
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

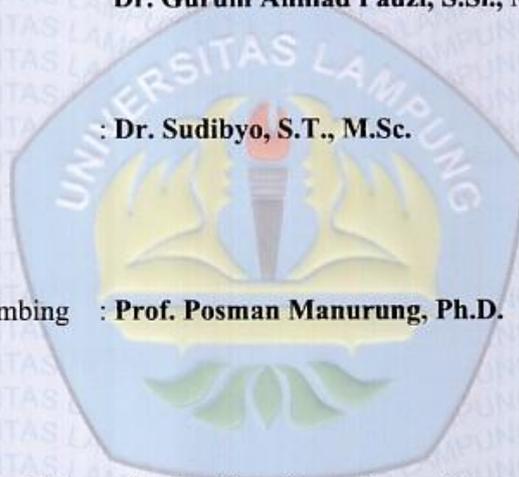
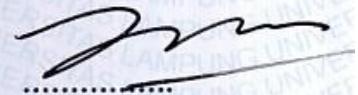
Ketua : **Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.**
(a.n Ketua Jurusan)
Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



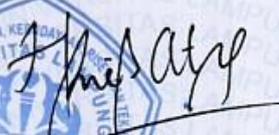
Sekretaris : **Dr. Sudibyoy, S.T., M.Sc.**



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



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Maret 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau 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 ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 Maret 2024



Abdul Aziz
NPM. 1817041046

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Abdul Aziz dilahirkan di Jakarta pada 31 Maret 2000 sebagai anak kedua dari pasangan Junara dan Helinawati. Penulis memulai Pendidikan formal di SDN Bintaro 08 Jakarta dan lulus pada tahun 2012. Penulis kemudian menempuh Pendidikan sekolah menengah di SMPN 161 Jakarta, lulus pada tahun 2015. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikannya di SMKN 29 Jakarta. Selama menempuh pendidikan menengah atas, penulis aktif dalam kegiatan ekstrakurikuler Aeromodeling dan melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada PT. Kalimasada Pusaka.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN). Selama menjalani proses Pendidikan formal tersebut, penulis aktif di Organisasi Kemahasiswaan (ORMAWA). Penulis aktif menjadi anggota bidang kaderisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA Universitas Lampung periode 2019. Pada periode tahun 2020, penulis terpilih menjadi Ketua Umum Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA Universitas Lampung, selanjutnya

tahun 2021 terpilih menjadi Ketua Umum Klub Selam Anemon (KSAn) FMIPA Universitas Lampung. Selain itu, penulis terpilih menjadi Wakil Ketua Umum Forum Penyelam Mahasiswa Indonesia (FoPMI) periode 2021-2023. Pada tahun 2022, penulis terpilih kembali menjadi Ketua Umum Klub Selam Anemon (KSAn) FMIPA Universitas Lampung. Pada tahun 2021, penulis menempuh kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Dasar FMIPA Universitas Lampung. Penulis pernah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) reguler di desa Wiyono, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung pada tahun 2021.

Selain aktif di ORMAWA, penulis pernah menjadi *Project Manager* “Program Pelestarian Terumbu Karang” di Yayasan Natha Bahari Nusantara pada tahun 2022. Pada tahun 2023 penulis berpartisipasi membuat CV. Salam Satu Laut dan membantu membuat *Dive Center* Pusat Selam Lampung. Hingga saat ini, penulis aktif berkegiatan di bidang selam.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya skripsi ini. Terimakasih kepada orang tua dan teman - teman yang menyukseskan proses ini.

MOTTO

“Sesungguhnya Bersama Kesulitan Ada Kemudahan”

(Q.S. Al Insyirah: 6)

“Tujuan Bukan Utama yang Utama adalah Prosesnya”

-Iwan Fals-

“Hidup Bukan Saling Mendahului, Bermimpilah Sendiri Sendiri”

-Hindia-

“Orang lain gak akan paham *struggle* dan masa sulitnya kita, yang mereka ingin tau hanya bagian *success stories*. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun gak ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita di masa depan akan bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini”

-Anonim-

PERSEMBAHAN

**Dengan penuh rasa Syukur kepada Allah SWT,
Karya kecilku ini dipersembahkan kepada:**

Orang Tuaku:

Bapak Junara dan Ibu Helinawati

Yang senantiasa mendo'akan dan memberi segala upaya
yang terbaik untuk anaknya.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarokatuh.

Puji Syukur Penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah berikan hingga akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Massa Magnesium Oksida (MgO), Suhu dan Waktu Tahan Terhadap Karakteristik Keramik Komposit dari Abu Dasar Batubara, Limbah Kaleng Aluminium dan Air *Bittern*”**

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi literatur serta rujukan bagi penelitian-penelitian berikutnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarokatuh.

Bandar Lampung, 27 Maret 2024

Abdul Aziz

SANWACANA

Puji Syukur Penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan hikmat dan karunia serta Rahmat-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Massa Magnesium Oksida (MgO), Suhu dan Waktu Tahan Terhadap Karakteristik Keramik Komposit dari Abu Dasar Batubara, Limbah Kaleng Aluminium dan Air *Bittern*”**. terselesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Utama sekaligus Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, saran dan nasihat selama perkuliahan dan penulisan skripsi ini;
2. Dr. Sudiby, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, pengalaman baru dan bantuan dalam penyelesaian skripsi;
3. Prof. Posman Manurung, Ph.D. selaku Pembahas yang telah memberi saran serta pemahaman baru dalam penulisan skripsi;
4. Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila;
5. Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Unila;

6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama Penulis menempuh bangku perkuliahan;
7. Ibu Endang L. Widiastuti, Ph.D. selaku dosen Pembina Klub Selam Anemon FMIPA Unila yang telah memberikan bimbingan, nasihat dan motivasi selama perkuliahan;
8. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Iskandar Zulkarnain, Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
9. Orang Tuaku, Bapak Junara, Ibu Helinawati, Kakakku Eka Wahyu Nurhayati, S.Pd., Adikku Ahmad Budi Mulyadi dan keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk Penulis;
10. Raissy Andrina Mileta, A.Md. yang telah menemani Penulis dalam menjalankan proses kehidupan sejak tahun 2015 dan tiada henti untuk memberikan dukungan dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini;
11. Novriadi, M.Si. dan M. Khairul Anam, S.Si. selaku Anggota Luar Biasa Klub Selam Anemon FMIPA Unila atas ilmu dan fasilitas yang diberikan diluar perkuliahan;
12. Adrian Reza dan Eva Damayanti, S.Si. yang telah membantu Penulis dalam menjalankan Organisasi Kemahasiswaan Klub Selam Anemon FMIPA Unila;
13. Anggota Luar Biasa, Anggota Biasa dan Anggota Muda Klub Selam Anemon FMIPA Unila atas dukungan dan motivasi untuk Penulis menyelesaikan skripsi;
14. Mas Fajar, mas Ferdi, paman Suheng, mas Eko, bang Iwan dan karyawan FMIPA lainnya yang telah memberikan tempat dan dukungan diakhir masa studi perkuliahan Penulis;

15. Teman-teman Fisika 2018 serta Kakak dan Adik Tingkat yang membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan skripsi.

Serta berbagai pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan imbalan berlipat dan memudahkan Langkah semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 27 Maret 2024
Penulis,

Abdul Aziz

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Keramik Kordierit	6

2.1.1	Karakteristik Keramik Kordierit.....	7
2.1.2	Bahan Baku Keramik Komposit.....	8
2.2	Magnesium Oksida (MgO).....	8
2.3	Alumina (Al ₂ O ₃).....	9
2.4	Abu Dasar Batubara.....	10
2.5	Limbah Kaleng Aluminium.....	11
2.6	<i>Sintering</i>	12
2.7	Uji Fisis dan Karakterisasi.....	12
2.7.1	Porositas.....	12
2.7.2	Absorpsi.....	13
2.7.3	Massa Jenis.....	13
2.7.4	Kuat Tekan.....	14
2.7.5	<i>X Ray Diffraction (XRD)</i>	14
2.7.6	<i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	16
2.7.7	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	18
III.	METODE PENELITIAN.....	21
3.1	Waktu dan Tempat.....	21
3.2	Bahan dan Alat Penelitian.....	21
3.3	Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1	Ekstrasi Silika dari Abu dasar Batubara.....	23
3.3.2	Ekstrasi Al ₂ O ₃ dari Kaleng Aluminium.....	24
3.3.3	Pembuatan Sampel Keramik Komposit.....	25
3.4	Karakterisasi.....	26
3.4.1	Uji fisik (Nilai Absorpsi, Densitas, Porositas Dan Kuat Tekan)	27
3.4.2	Karakterisasi Unsur Kimia (XRF), Struktur Fasa (XRD) dan Morfologi (SEM – EDS).....	29
3.5	Diagram Alir.....	29
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1	Hasil Karakteristik Kimia Bahan Dasar Pembuatan Keramik Komposit.....	33
4.1.1	Hasil XRF Silika (SiO ₂) dari Abu Dasar Batubara.....	33
4.1.2	Hasil XRF Alumina (Al ₂ O ₃) dari Limbah Kaleng Aluminium.....	34
4.1.3	Hasil XRF Magnesium Oksida (MgO) dari Air <i>Bittern</i>	35
4.2	Hasil Pembuatan Keramik Komposit.....	36
4.3	Hasil XRF Keramik Komposit.....	38
4.4	Hasil Karakteristik Struktur Fasa, Sifat Fisis, Uji Mekanik dan Morfologi Keramik Komposit.....	39
4.4.1	Hasil Analisis Kualitatif XRD.....	39
4.4.2	Hasil Analisis Kuantitatif XRD.....	45
4.4.3	Hasil Uji Fisis Densitas Keramik Komposit.....	48
4.4.3	Hasil Uji Fisi Porositas Keramik Komposit.....	50
4.4.4	Hasil Uji Fisis Absorpsi Keramik Komposit.....	51
4.4.5	Hasil Uji Mekanik Kuat Tekan Keramik.....	53
4.4.6	Hasil Analisis <i>Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive Spectroscopy (SEM EDS)</i>	54

V. KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Abu dasar batubara.	10
Gambar 2.2 Limbah kaleng aluminium.	11
Gambar 2.3 Difraksi sinar X (Cullity, 1987).	15
Gambar 2.4 Pola difraksi sinar X (Cibro L. P., 2020).	16
Gambar 2.5 Prinsip kerja XRF (Kalnicky and Singhvi, 2001).	17
Gambar 2.6 Skema SEM (Masta, 2020).	18
Gambar 2.7 Hasil gambar SEM sampel keramik kordierit (a) 1250°C (b)1300°C (c) 1350°C (Harrati, et al., 2022)	19
Gambar 3.1 Alat uji kuat tekan (ASTM C773-88).	29
Gambar 3.2 Diagram alir ekstrasi silika dari abu dasar batubara.	30
Gambar 3.3 Diagram alir ekstrasi Al ₂ O ₃ dari kaleng aluminium.	31
Gambar 3.4 Pembuatan keramik komposit.	32
Gambar 4.1 Hasil keramik bahan sintesis abu dasar batubara, limbah aluminium dan air <i>bittern</i>	37
Gambar 4.2 Pola XRD sampel 8.	39
Gambar 4.3 Pola XRD sampel 10.	41
Gambar 4.4 Grafik perbandingan XRD dari sampel 8 dan sampel 10.	43
Gambar 4.5 Grafik analisis kuantitatif dari sampel 8.	45
Gambar 4.6 Grafik analisis kuantitatif dari sampel 10.	46

Gambar 4.7	Grafik nilai densitas variasi penambahan massa MgO.....	48
Gambar 4.8	Grafik nilai densitas variasi suhu dan waktu tahan.	49
Gambar 4.9	Grafik nilai porositas variasi penambahan massa MgO.	50
Gambar 4.10	Grafik nilai porositas variasi suhu dan waktu tahan.	51
Gambar 4. 11	Grafik nilai absorpsi variasi penambahan massa MgO.	52
Gambar 4.12	Grafik nilai absorpsi variasi suhu dan waktu tahan.	52
Gambar 4.13	Hasil SEM (a) Sampel 8; (b) Sampel 10.	54
Gambar 4.14	Unsur partikel penyusun sampel keramik hasil SEM EDS (a) Sampel 8; (b) Sampel 10.....	56
Gambar 4.15	Spektrum karakterisasi keramik menggunakan EDS (a) Sampel 8; (b) Sampel 10.....	58

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik kordierit (Harper, 2001).	7
Tabel 2.2 Sifat fisis dan mekanik magnesium oksida (MgO).	9
Tabel 2.3 Sifat fisis dan mekanik alumina (Al ₂ O ₃).	9
Tabel 2.4 Hasil XRF abu dasar batubara.....	10
Tabel 3.1 Bahan untuk pembuatan keramik komposit.	21
Tabel 3.2 Alat untuk pembuatan keramik komposit.	22
Tabel 3.3 Alat untuk karakterisasi keramik komposit.....	23
Tabel 3.4 Parameter pembuatan keramik komposit.	26
Tabel 4.1 Komposisi komponen SiO ₂ hasil XRF.....	33
Tabel 4.2 Komposisi komponen Al ₂ O ₃ hasil XRF.....	34
Tabel 4.3 Komposisi komponen MgO hasil XRF (Sanjaya,2023).....	35
Tabel 4.4 Variasi komposisi, suhu dan waktu tahan pembuatan keramik komposit.	36
Tabel 4.5 Hasil analisis komposisi kimia sampel keramik komposit.....	38
Tabel 4.6 Hasil analisis kualitatif pada sampel 8.	40
Tabel 4.7 Hasil analisis kualitatif pada sampel 8.	42
Tabel 4.8 Hasil persentase molar sampel 8.	45
Tabel 4.9 Parameter struktur fasa sampel 8.....	46
Tabel 4.10 Hasil persentase molar sampel 10.	47
Tabel 4.11 Parameter struktur fasa sampel 10.....	47

Tabel 4.12 Hasil perhitungan nilai kuat tekan.....	53
Tabel 4.13 Komposisi unsur keramik berdasarkan hasil uji EDS.....	57

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keramik merupakan bahan yang terbuat dari bahan inorganik seperti tanah liat, *feldspar* dan kuarsa yang dibakar pada suhu tinggi. Keramik sering digunakan sebagai bahan baku untuk berbagai keperluan seperti pembuatan keramik sanitasi, keramik lantai, dan keramik dinding. Selain itu, keramik juga sering digunakan sebagai bahan refraktori yang tahan terhadap suhu tinggi. Salah satu jenis keramik yang tahan terhadap suhu tinggi adalah keramik kordierit. Keramik kordierit memiliki keunggulan yaitu tahan terhadap suhu tinggi hingga 1.600°C, ketahanan terhadap tekanan, serta konduktivitas panas yang rendah sehingga cocok digunakan sebagai bahan refraktori untuk industri pembuatan besi dan baja.

Kordierit merupakan keramik dengan material pembentuknya adalah SiO₂, Al₂O₃ dan MgO, dengan rumus molekul Mg₂Al₄Si₅O₁₈, atau 2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂. Kordierit sangat jarang ditemukan di alam dan termasuk dalam kelompok senyawa silikat membentuk mineral dengan struktur yang bervariasi (Kingery et al., 1976). Sistem MgO-Al₂O₃-SiO₂ telah banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam berbagai industri seperti industri gelas, keramik dan industri elektronik, yang memiliki kestabilan termal tinggi, daya tahan terhadap zat kimia yang tinggi, dan koefisien termal rendah.

Beberapa metode yang digunakan untuk sintesis keramik komposit, antara lain metode reaksi *solid state* (padatan) dan *sol gel*. Kordierit tidak tersedia di alam, tetapi dapat disintesis dengan mencampurkan bahan-bahan yang mengandung MgO, Al₂O₃ dan SiO₂. Umumnya silika (SiO₂) yang digunakan adalah silika komersial yang relatif mahal. Oleh karena itu, banyak penelitian menggunakan

bahan-bahan alternatif untuk menggantikan silika, seperti abu sekam padi (Sembiring, 2015) dan abu terbang (*fly ash*) (Retnosari, 2013).

Berdasarkan penelitian Retnosari (2013) abu terbang batubara dapat menghasilkan silika. Hal ini menjadi acuan untuk memanfaatkan limbah sisa pembakaran batubara yaitu abu dasar batubara sebagai sumber silika untuk bahan pembuatan keramik komposit. Abu terbang dan abu dasar merupakan sisa pembakaran batubara pada PLTU yang banyak terdapat di Indonesia. Salah satu PLTU di Provinsi Lampung yaitu PLTU Tarahan Lampung Selatan. Berdasarkan data yang diperoleh, PLTU Tarahan menghasilkan abu terbang dan abu dasar sebesar 58-64 ton/hari (Aditama et al., 2022). Dengan terus meningkatnya permintaan energi global dan ketidakstabilan energi alternatif, batubara akan tetap menjadi sumber energi utama untuk jangka waktu yang lama. Oleh karena itu, jumlah abu dasar yang dihasilkan akan terus meningkat. Jika abu dasar tidak didaur ulang dan digunakan kembali tetapi disimpan dimana-mana, maka akan menimbulkan masalah mental lingkungan yang sangat serius (Liu et al., 2014). Pembuatan silika dari abu dasar batubara dilakukan dengan metode ekstraksi yang melibatkan penambahan 60 ml NaOH 4 M pada suhu 100°C selama 120 menit. Kemudian, hasil ekstraksi ditetesi dengan HCl 8 M hingga mencapai pH 7 pada suhu 100°C, dan selanjutnya dinetralkan dengan *aquades*.

Selain memanfaatkan abu dasar sebagai sumber silika, pada penelitian ini menggunakan bahan alternatif untuk menggantikan alumina yang berasal dari limbah kaleng. Alumina dapat diekstrak dari limbah kaleng dengan proses *sol-gel* (Yudhistia et al., 2018). Kandungan kaleng minuman pada umumnya aluminium, karena sifat aluminium lebih ringan dari baja, tidak beracun, tidak berbau, penghasil panas yang baik, dapat di daur ulang sehingga tepat digunakan sebagai bahan kaleng minuman (Manurung, 2019). Menjadikan limbah minuman kaleng sebagai sumber alumina merupakan salah satu pendekatan untuk mengatasi permasalahan limbah kaleng yang semakin hari semakin parah. Pembuatan alumina dari limbah kaleng dengan cara pelindian dengan HCl 31,4% sampai dengan potongan aluminium larut, kemudian ditambahkan natrium karbonat untuk

membentuk endapan, endapan yang mengendap disaring dan dicuci dengan *aquades*.

Pada penelitian ini juga menggunakan bahan dasar MgO yang berasal dari air *bittern*. Air *bittern* adalah cairan pekat yang diperoleh dari hasil limbah pabrik garam yang mengandung mineral (Raesta et al., 2017). Proses pelindian air *bittern* dilakukan dengan CaCl_2 77% selama 1 jam pada suhu 70°C dengan kecepatan 500 rpm, yang menghasilkan MgCl_2 . Selanjutnya, disiapkan 50 gram CaO yang dicampur dengan 16 ml air dan dikeringkan dengan oven pada suhu 150°C selama 4 menit, menghasilkan Ca(OH)_2 . Selanjutnya dengan kecepatan 500 rpm, serbuk MgCl_2 dan Ca(OH)_2 kemudian diaduk selama 1 jam. Pada penelitian ini bahan dasar MgO yang berasal dari air *bittern* menggunakan hasil dari (Sanjaya, 2023).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Cibro dan Mora, (2020) yaitu membuat keramik dari bahan dasar abu vulkanik gunung Sinabung. Abu vulkanik gunung Sinabung dijadikan silika dengan metode *sol-gel*. Pada penelitian ini menggunakan bahan baku yang berasal dari limbah abu dasar batubara, limbah kaleng aluminium, dan limbah air *bittern* untuk membuat keramik komposit.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan MgO, suhu dan waktu tahan terhadap karakteristik pembentukan struktur fasa, morfologi dan sifat fisis serta kuat tekan keramik komposit. Komposit disintesis dengan campuran bahan bahan dasar MgO, Al_2O_3 dan silika berbasis abu dasar dengan metode *sol gel* dan keramik di-*sintering* pada suhu 900° - 1.100°C . keramik komposit yang dihasilkan akan di karakterisasi menggunakan *X Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam keramik komposit dan analisis sifat fisis komposit meliputi pengukuran densitas, porositas dan absorpsi. Kemudian hasil keramik komposit yang optimum dikarakteristik untuk mengetahui struktur fasa dan morfologi digunakan *X Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) dan sifat mekanik dengan uji kuat tekan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik kimia dari abu dasar batubara, limbah kaleng aluminium dan air *bittern* yang dihasilkan sebagai bahan dasar pembuatan keramik komposit?
2. Bagaimana karakteristik fisik dan kimia keramik komposit yang dihasilkan dengan pengaruh komposisi bahan baku, suhu dan waktu tahan?
3. Bagaimana kualitas keramik komposit yang dihasilkan dengan pengaruh komposisi bahan baku, suhu dan waktu tahan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik kimia dari bahan baku abu dasar batubara, limbah kaleng Aluminium dan air *bittern* yang dihasilkan sebagai bahan dasar pembuatan keramik komposit.
2. Menganalisis karakteristik fisik dan kimia keramik yang dihasilkan dengan pengaruh komposisi bahan baku, suhu dan waktu tahan.
3. Menganalisis kualitas keramik komposit yang dihasilkan dengan pengaruh komposisi bahan baku, suhu dan waktu tahan dengan membandingkan dengan keramik bahan dasar pabrik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah silika (SiO_2) dari abu dasar batubara, alumina oksida (Al_2O_3) dari limbah kaleng, magnesium oksida (MgO) dari air *bittern* menggunakan metode *sol gel*.

2. Uji karakteristik kimia menggunakan XRF bahan baku dari abu dasar batubara, limbah kaleng aluminium dan air *bittern*.
3. Menggunakan variasi penambahan massa MgO yang dilakukan yaitu 0 wt%, 10 wt% dan 15wt% dari massa keramik komposit.
4. Keramik disintesis dengan campuran bahan bahan dasar MgO, Al₂O₃ dan SiO₂ dengan metode *solid state* pada suhu 900°, 1000° dan 1100°C.
5. Menggunakan variasi waktu tahan *sintering* yang dilakukan yaitu, 2 jam, 3 jam dan 4 jam.
6. Uji karakteristik fisis (absorpsi, densitas dan porositas), kimia (XRF, XRD dan SEM - EDS) dan uji mekanik kuat tekan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan pengetahuan tentang pengaruh massa MgO dan Al₂O₃ terhadap karakteristik keramik komposit yang dibuat dari abu dasar batubara, dan limbah kaleng aluminium.
2. Menyediakan alternatif bahan baku yang lebih ramah lingkungan dalam pembuatan keramik komposit.
3. Penggunaan bahan baku yang lebih ramah lingkungan dan efisien dapat mengurangi biaya produksi.
4. Memanfaatkan limbah sisa pembakaran batubara dari PLTU.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keramik Kordierit

Keramik kordierit adalah material zat padat dengan fase kristal MgO, Al₂O₃, dan SiO₂. Keramik kordierit terbuat dari bahan dasar yaitu, magnesium aluminium silikat yang terdiri dari MgO, Al₂O₃, dan SiO₂ dengan rumus kimia 2MgO₂ Al₂O₃, SiO₂ pada temperatur (1.450°-1.650°C) tergantung pada macam dan komposisi bahan baku yang digunakan (Harper, 2001). Keramik kordierit cocok digunakan sebagai bahan refraktori untuk industri pembuatan besi dan baja (Zhang et al., 2016).

Bahan baku yang tidak biasa digunakan seperti abu terbang dan abu dasar serta limbah kaleng aluminium. Abu terbang dan abu dasar merupakan sisa pembakaran batubara pada PLTU yang banyak terdapat di Indonesia. Sementara itu, limbah kaleng aluminium merupakan limbah yang dihasilkan dari industri pembuatan kaleng aluminium yang juga banyak terdapat di Indonesia.

Penggunaan bahan baku yang tidak biasa tersebut diharapkan dapat mengurangi pemborosan sumber daya alam sekaligus mengurangi limbah yang terbuang ke lingkungan. Namun, penggunaan bahan baku tersebut juga menimbulkan pertanyaan apakah penggunaan abu dasar, dan limbah kaleng aluminium tersebut dapat mempengaruhi karakteristik keramik komposit yang dihasilkan.

Pada penelitian Cibro dan Mora, (2020) menunjukkan bahwa bahan baku SiO₂ yang ditambahkan massa MgO dan Al₂O₃ juga mempengaruhi karakteristik keramik Komposit. Penambahan massa MgO dan Al₂O₃ sebanyak 10% menyebabkan porositas yang tinggi dan kekuatan mekanik menurun. Sedangkan

penambahan massa MgO dan Al₂O₃ sebanyak 15% menyebabkan porositas yang menurun dan kekuatan mekanik yang meningkat.

2.1.1 Karakteristik Keramik Kordierit

Keramik kordierit memiliki beberapa karakteristik yang penting, yaitu kuat tekan, kekuatan tarik, dan konduktivitas panas. Kuat tekan merupakan salah satu karakteristik penting dari keramik kordierit karena keramik yang memiliki kuat tekan yang tinggi dapat tahan terhadap abrasi dan gesekan. Penelitian yang dilakukan oleh (J. Liu et al., 2016) menunjukkan bahwa pembuatan keramik kordierit dari abu terbang dan *dolomite* dengan suhu 1.100°-1.200°C dapat menghasilkan keramik yang memiliki kekuatan lentur 30 – 75 MPa.

Keramik kordierit bersifat isolator listrik yang baik sehingga dapat dipergunakan sebagai substrat elektronik. Pada umumnya kordierit digunakan sebagai bahan refraktori, selain itu juga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, contohnya untuk ubin lantai (Torres & Alarco, 2005), sebagai bahan filter gas buang (Sebayang et al., 2007), filtrasi debu (Ewais et al., 2009). Pada penelitian yang dilakukan oleh Taharuddin, (2010) kordierit digunakan sebagai katalis heterogen dan metanolisis minyak kelapa. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Harper, (2001) menunjukkan bahwa kordierit memiliki keunggulan dibandingkan dengan keramik lainnya yaitu nilai koefisien ekspansi termal jauh lebih rendah, yaitu sekitar $2 \times 10^{-6} - 3 \times 10^{-6} (\text{°C}^{-1})$. Karakteristik keramik kordierit ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Karakteristik kordierit (Harper, 2001).

Parameter	Nilai
Densitas (g/cm ³)	2,3 - 2,5
Titik lebur (°C)	1.365
Kuat patah (MPa)	60 - 80
Koefisien termal ekspansi (°C ⁻¹)	(2 - 3) x 10 ⁻⁶
Hambatan jenis (Ohm)	10 ¹²

2.1.2 Bahan Baku Keramik Komposit

Bahan baku yang biasa digunakan dalam pembuatan keramik komposit yaitu MgO, Al₂O₃, SiO₂. Pada umumnya bahan baku SiO₂ yang digunakan adalah silika komersil yang relatif mahal. Oleh karena itu, banyak penelitian menggunakan bahan-bahan alternatif untuk menggantikan silika, seperti pasir kuarsa (Fairus et al., 2009), dan abu sekam padi (Sofyan, 2013). Pada penelitian ini menggunakan bahan alternatif abu dasar untuk menggantikan silika dioksida.

Bahan baku magnesium oksida merupakan logam oksida padatan putih dengan nama *periclase*. Magnesium oksida digunakan untuk keperluan keramik *refraktori* karena memiliki titik lebur yang tinggi (Kramer, 2000). Pada penelitian yang dilakukan oleh Amalia, (2015) yaitu pembuatan keramik komposit dengan penambahan MgO dan di-*sintering* pada suhu 1.250°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan persentase MgO maka nilai densitas semakin menurun. Bahan baku alumina yang ditambahkan untuk pembuatan keramik kordierit akan mengakibatkan pengurangan massa keramik kordierit (Tamalia, 2016). Akan tetapi, penambahan alumina dapat meningkatkan kekerasan.

2.2 Magnesium Oksida (MgO)

Magnesium oksida (MgO) adalah bahan inorganik yang terdiri dari magnesium dan oksigen dengan rumus kimia MgO. Magnesium oksida dapat diperoleh dengan dua metode yaitu kalsinasi mineral magnesit dengan basis magnesium dan ekstraksi air asin yang berasal dari laut (Unluer, 2018). Sifat magnesium oksida yang dihasilkan dipengaruhi oleh sifat prekursor, perbedaan dari kedua metode tersebut jika kalsinasi dipengaruhi oleh kondisi kalsinasi sedangkan ekstraksi dipengaruhi oleh metode preparasi (Unluer, 2018). Karakteristik magnesium oksida bergantung pada reaktivitas, ukuran kristal, struktur kristal, densitas, rasio aglomerasi, struktur pori, porositas total, dan morfologi sehingga dapat

memengaruhi kinerja katalitik magnesium oksida (Jin dan Al-Tabbaa, 2014). Karakteristik alumina ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Sifat fisis dan mekanik magnesium oksida (MgO).

Sifat-sifat Fisis dan Mekanik	Nilai	Sumber
Densitas (g/cm^3)	3,53 - 3,65	Harper, 2001
Koefisien ekspansi thermal ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$8,0 \times 10^{-16}$	Buchanan, 2018
Konduktivitas listrik	$4,2 \times 10^{-7} - 4,3 \times 10^{-5}$	Mbarki et al., 2014
Kekerasan (Mohs)	6 – 6,5	Harper, 2001

2.3 Alumina (Al_2O_3)

Alumina (Al_2O_3) adalah bahan inorganik yang terdiri dari aluminium dan oksigen dengan rumus kimia Al_2O_3 . Al_2O_3 merupakan bahan yang dapat dijumpai secara alami di alam sebagai mineral corundum. Al_2O_3 juga dapat dihasilkan melalui proses kimia dengan cara mencampurkan aluminium dengan oksigen. Al_2O_3 memiliki sifat yang sangat baik sebagai refraktori yaitu tahan terhadap suhu 700°C dan memiliki ketahanan yang baik terhadap zat kimia (Harper, 2001). Selain itu, Al_2O_3 juga memiliki kuat tekan yang tinggi dan kekuatan tarik yang tinggi sehingga cocok digunakan sebagai bahan refraktori untuk industri pembuatan besi dan baja. Karakteristik alumina ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Sifat fisis dan mekanik alumina (Al_2O_3).

Sifat-sifat Fisis dan Mekanik	Nilai	Sumber
Densitas (g/cm^3)	3,1 - 3,39	Harper, 2001
Konduktivitas listrik	$7,8 \times 10^{-4}$	Parchovianský et al., 2014
Konstanta dielektrik	8,8 - 10,1	Buchanan, 2018

2.4 Abu Dasar Batubara

Abu dasar merupakan abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara di pembangkit listrik tenaga uap. Abu dasar ini terdiri dari unsur silika, alumina, dan logam-logam lain seperti kalium, kalsium, dan magnesium (Sari et al., 2023). Abu dasar ini memiliki sifat abrasif yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan abrasif untuk menghilangkan bahan-bahan yang menempel pada permukaan. Abu dasar memiliki warna abu-abu seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Abu dasar batubara.

Abu dasar batubara yang dipakai untuk penelitian ini berasal dari PLTU Tarahan, Lampung Selatan dengan perbandingan komposisi kimia ditunjukkan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Hasil XRF abu dasar batubara

No	Komposisi Kimia	Persentase (%)
1.	SiO ₂	35,612
2.	CaO	26,731
3.	Al ₂ O ₃	21,092
4.	Fe ₂ O ₃	9,958
5.	SO ₃	3,031
6.	TiO ₂	1,871
7.	K ₂ O	0,836
8.	SrO	0,228

Dari hasil analisis komposisi kimia, kandungan Silika (SiO₂) yang terdapat pada abu dasar Batubara sebesar 35,612%. Persentase tersebut merupakan kandungan kimia yang paling tinggi dari hasil XRF abu dasar batubara.

2.5 Limbah Kaleng Aluminium

Limbah kaleng aluminium merupakan sisa-sisa dari pembuatan kaleng aluminium. Limbah kaleng aluminium ini terdiri dari aluminium yang terbuat dari silika, alumina, dan logam-logam lain seperti kalium, kalsium, dan magnesium. Limbah kaleng aluminium ini memiliki sifat konduktif yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan penghantar listrik. Limbah kaleng aluminium memiliki warna putih seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Limbah kaleng aluminium.

Alumina (Al_2O_3) dibutuhkan di banyak industri yang berhubungan dengan material, seperti adsorben, katalis, keramik, bagian perangkat energi nuklir bersuhu tinggi, dan pembuatan zeolit sintetis. Alkoksida logam, seperti aluminium alkoksida, dan garam aluminium, seperti aluminium nitrat, merupakan bahan baku utama yang digunakan untuk membuat alumina. Senyawa ini dapat diproses menggunakan berbagai teknik, termasuk metode *sol-gel*, *sintering* gelombang mikro, dan hidrolisis. Alumina dielektrolisis untuk menghasilkan logam aluminium, dan larutan natrium aluminat digunakan untuk membuat alumina. Kandungan aluminium dalam kaleng bekas berkisar antara 1,41% - 16,04% (Manurung, 2019).

2.6 Sintering

Sintering merupakan salah satu metode atau pemadatan material dari serbuk menjadi partikel yang menyatu satu sama lainnya dengan pemanasan suatu material dengan (titik leleh). Pemanasan ini dilakukan dengan suhu tinggi supaya partikel-partikel halus menjadi bahan padatan. Temperatur atau suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 900°-1.100°C, kemudian setelah suhu yang telah di capai atau di inginkan lalu di tahan selama 3 jam, dan setelah penahanan 3 jam lalu di dinginkan didalam tunggu *furnace* hingga sampel dingin dan bisa dapat diambil.

2.7 Uji Fisis dan Karakterisasi

Adapun pengujian fisis dan karakterisasi yang digunakan adalah:

2.7.1 Porositas

Porositas adalah besarnya persentase pori-pori kosong atau kadar yang terdapat pada benda uji dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan benda uji keramik komposit tersebut. Pori pada benda uji biasanya berisi udara yang saling berhubungan (Sebayang et al., 2007). Pengujian porositas keramik komposit mengacu pada standar ASTM C373-88. Dimana besarnya porositas dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{C-B}{C-D} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dengan *B* adalah massa uji kering, *C* adalah massa uji setelah perendaman, *D* adalah massa uji didalam air, *P* adalah porositas %.

2.7.2 Absorpsi

Absorpsi adalah perbandingan massa basah dikurang massa kering dibagi dengan massa kering dikali seratus (Riza et al., 2020). Dalam pengujian absorpsi atau penyerapan air juga mengacu pada persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam air (Mulyono, 2015). Air ini akan menguap atau tinggal dalam semen keramik komposit, kejadian ini dapat mengurangi penurunan kekedapan air keramik komposit (Amalia, 2015). Menurut ASTM C373-88 besarnya absorpsi/p penyerapan dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{C}{C-B} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan B adalah massa uji kering, C adalah massa uji setelah perendaman, D adalah massa uji didalam air, A adalah absorpsi %.

2.7.3 Massa Jenis

Massa jenis atau disebut juga kerapatan (densitas) suatu zat didefinisikan sebagai perbandingan massa suatu zat dengan volume zat tersebut. Kerapatan biasanya diukur dalam satuan gram per centimeter kubik (g/cm^3) atau kilogram per meter kubik (kg/m^3) (Siregar et al., 2019). Pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai densitas benda yang diuji yang mengacu pada standar ASTM C373-88. Dimana nilai uji massa jenis dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{B}{C-D} \rho_{air} \quad (2.3)$$

dengan ρ adalah massa jenis (g/cm^3), B adalah massa benda uji kering (g), C sebagai massa benda uji setelah direndam (g), D sebagai massa benda uji yang berada dalam air, dan ρ_{air} sebagai massa jenis air (1 g/cm^3).

2.7.4 Kuat Tekan

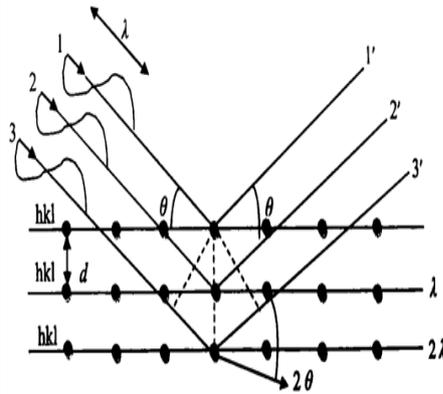
Kuat tekan didefinisikan sebagai besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin kuat tekan menurut standar ASTM C373-88. Nilai kuat keramik komposit diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji kubus yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum (Maryoto, 2008). Dengan nilai kuat tekan yang diketahui persamaannya:

$$C = \frac{P}{A} \quad (2.4)$$

Dengan C adalah kuat tekan benda uji, psi atau MPa; P adalah beban total pada benda uji pada saat keruntuhan, lbf atau N dan A adalah luas permukaan bantalan spesimen yang dihitung.

2.7.5 X Ray Diffraction (XRD)

X Ray Diffraction (XRD) adalah metode analisis yang memanfaatkan interaksi antara Sinar-X jenis karakteristik dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal yang bertujuan untuk meneliti struktur kristalnya (Manurung, 2019). Sinar-X ditemukan pada tahun 1895 oleh *Roentgen* seorang Fisikawan Jerman, dan dinamakan demikian karena sifatnya yang tidak diketahui pada saat itu. Yang tidak “buram” lainnya (Smallman et al., 1991). Skema difraksi Sinar-X oleh bahan kristal ditunjukkan pada **Gambar 2.3** seperti cahaya biasa, sinar ini jauh lebih tajam daripada cahaya dan bisa dengan mudah melewati tubuh manusia, kayu, potongan logam yang cukup tebal dan objek “buram” lainnya (Smallman et al., 1991). Skema difraksi Sinar-X oleh bahan kristal ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

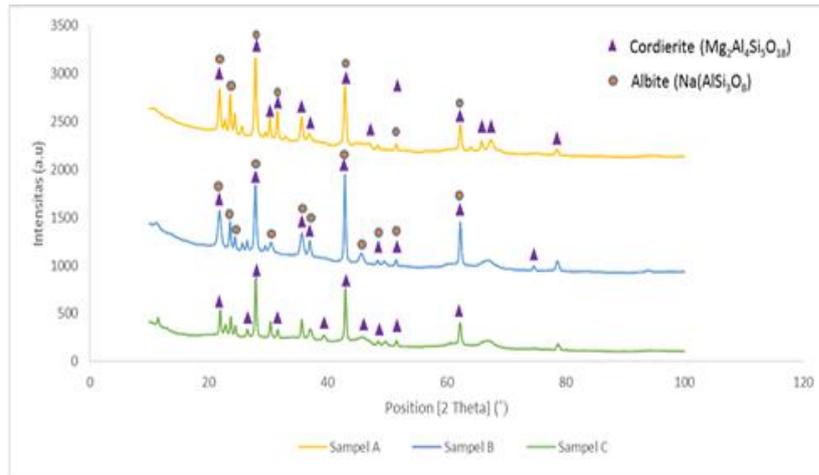


Gambar 2.3 Difraksi sinar X (Cullity, 1987).

Sinar X yang mengenai suatu material maka intensitas Sinar X yang ditransmisikan akan lebih dari intensitas sinar datang. Hal ini dikarenakan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut akan saling menguatkan ketika fasanya sama dan saling menghilangkan ketika fasanya berbeda. Berkas sinar yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi (Sumantri, 2018). Percobaan dilakukan dengan cara menembakkan Sinar X tersebut pada sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg seperti Persamaan berikut:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.5)$$

dengan d merupakan jarak antara bidang ekuivalen (\AA), θ sebagai sudut difraksi ($^\circ$) dan λ adalah panjang gelombang Sinar X (\AA), n sebagai orde difraksi (0, 1, 2, 3...). Sinar X yang terdifraksi akan saling terhubung membentuk puncak-puncak dengan intensitas dan pada sudut tertentu. Pada awalnya, difraksi Sinar X hanya digunakan untuk membuat struktur kristal. Namun metode ini tidak hanya diterapkan untuk menerapkan struktur, tetapi untuk masalah beragam seperti analisis kimia dan pengukuran tekanan, mempelajari fase dan pengukuran ukuran partikel, menentukan orientasi kristal tunggal atau sekarang dalam agregat polikristalin (Cullity, 1987). Adapun contoh hasil XRD pada penelitian sebelumnya dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.

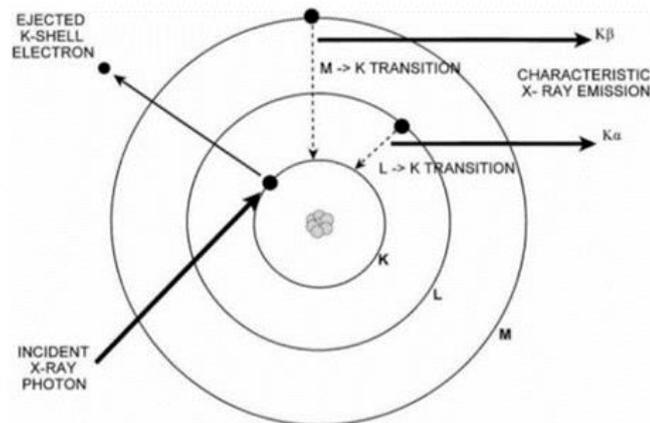


Gambar 2.4 Pola difraksi sinar X (Cibro L. P., 2020)

Berdasarkan penelitian (Cibro L. P., 2020) data difraksi pada sampel di cocokkan dengan data standar ICDD 01-072-0172 untuk fase *cordierite* dan 01-083-1606 untuk fase *albite* pada puncak-puncak difraktogram.

2.7.6 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan metode analisis yang digunakan untuk menganalisis serta menentukan konsentrasi suatu unsur sampel padatan, bubuk maupun cairan dalam suatu bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. *X-Ray Fluorescence* mampu menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur pada sampel menggunakan metode spektrometri. Prinsip dari metode analisis *X-Ray Fluorescence* berdasarkan pada terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel (bahan) oleh sinar-X (Markowicz, 2002). Adapun prinsip kerja *X-Ray Fluorescence* dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Prinsip kerja XRF (Kalnicky and Singhvi, 2001).

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa sinar-X karakterisasi diberi tanda sebagai K, L, M, N dan seterusnya untuk menunjukkan dan kulit mana unsur itu berasal. Sedangkan alpha (α), beta (β) dan gamma (γ) dibuat untuk memberi tanda sinar-X itu berasal dari transisi elektron dari kulit yang lebih tinggi. Oleh karena itu K adalah sinar-X yang dihasilkan dari transisi elektron kulit L ke kulit K (Sumantri, 2018).

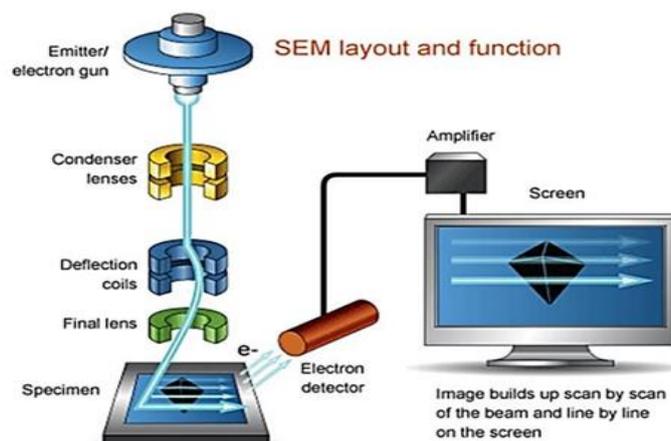
Radiasi fluoresensi memiliki energi yang khas tergantung dari elektron yang tereksitasi dan terdeksitasi pada atom penyusun sebuah material kekhasan karakteristik dari radiasi fluoresensi pada setiap unsur ini memungkinkan dapat dilakukannya analisis kualitatif untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang berbeda. Sementara itu, analisis kuantitatif untuk menentukan konsentrasi dari unsur yang dianalisis dapat ditentukan berdasarkan intensitas dari radiasi fluoresensi yang dipancarkan. Metode XRF dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material karena termasuk ke dalam metode yang cepat dan tidak merusak sampel (Jamaluddin et al., 2016).

Hasil analisis ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis yang sesuai dengan energi Sinar-X karakteristiknya, sedangkan kuantitatif dapat diperoleh dengan membandingkan analisis sampel dengan standar. Suatu Analisis kuantitatif, terdapat faktor-faktor yang berpengaruh dalam menganalisis yaitu matriks bahan, kondisi kevakuman dan konsentrasi unsur, pengaruh unsur yang memiliki karakteristik energi unsur yang dianalisis (Markowicz, 2002).

2.7.7 Scanning Electron Microscopy (SEM)

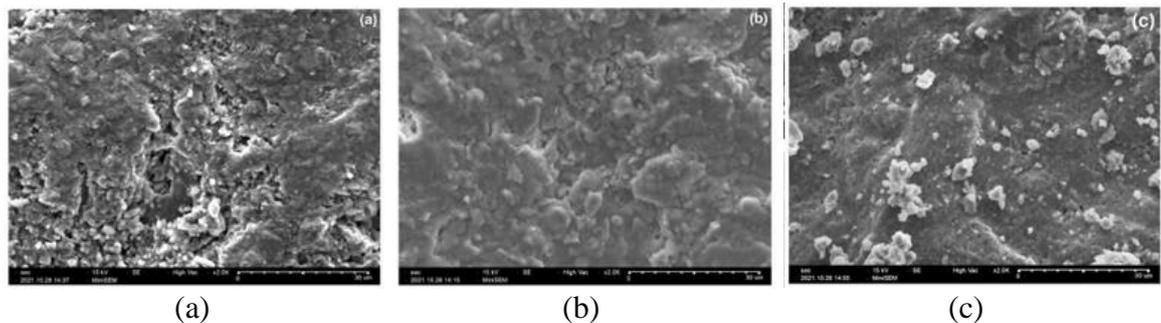
Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan jenis mikroskop elektron yang menggambarkan spesimen dengan memindainya dengan menggunakan sinar elektron yang berenergi tinggi dalam sebuah objek yang menghasilkan citra (*image*) dari objek itu sendiri. *Image* yang dihasilkan oleh SEM yaitu berupa permukaan sampel dan pemetaan komposisi sampel. SEM ini ditemukan oleh seorang fisikawan asal Jerman yang bernama Max Knoll yang memperkenalkan konsep SEM pada tahun 1935, yang menganggap bahwa sebuah *image* dapat dihasilkan dengan melakukan pemindaian pada permukaan sampel dengan cara memfokuskan berkas elektron sehalus mungkin (dengan diameter berkas elektron sangat kecil). SEM biasanya digunakan untuk melihat objek yang sangat kecil (skala nano) dalam bentuk *image*. Dimana *image* yang dihasilkan dari SEM ini berupa gambar hitam putih (tanpa warna), ini disebabkan oleh panjang gelombang yang dihasilkan *elektron probe* (elektron pemindai) tidak berada pada spektrum cahaya tampak. Elektron kemudian berinteraksi dengan atom-atom pada sampel. Kemudian elektron yang berinteraksi ini menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi, dan morfologi yang ditangkap oleh detektor. Resolusi yang dimiliki elektron lebih tinggi dari pada cahaya.

Dimana resolusi cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan resolusi elektron dapat mencapai sampai 0,1 – 0,2 nm (Masta, 2020).



Gambar 2.6 Skema SEM (Masta, 2020).

Komponen pemindai pada **Gambar 2.6** sebelah kiri merupakan komponen yang menghasilkan input berupa sinyal elektron hasil interaksi dengan atom-atom sampel. Dalam komponen SEM terdapat pemindai sampel yang terdiri dari elektron gun, rangkaian lensa magnetik, tempat spesimen, *scanning coils* (*deflection coils*) dan detektor. Pada kolom SEM berbentuk tabung menjadi tempat dihasilkannya berkas elektron (*electron beam*) sampai menjadi elektron pemindai (*electron probe*). Elektron pemindai ini ditembakkan ke sampel yang akhirnya menghasilkan sinyal elektron setelah berinteraksi dengan sampel. Dalam kolom SEM elektron dihasilkan oleh elektron gun, yang dipercepat oleh anoda, yang diarahkan melalui seperangkat lensa magnetik, dan difokuskan melalui scanning coil yang akhirnya ditembakkan ke sampel. Setelah elektron ditembakkan, maka elektron akan berinteraksi dengan atom-atom sampel dalam tumbukan. Hasil dari teraksi tersebut adalah foton dan beberapa spektrum elektron yang kemudian ditangkap oleh detektor. Pada komponen penyaji gambar dan data serangkaian perangkat pengolah input sinyal yang kemudian mengolahnya menjadi bentuk image (citra) dan data kuantitatif. Pada komponen ini berupa *amplifier* sebagai penguat data, *processor* sebagai perangkat untuk mengolah data dan layar digunakan untuk menampilkan gambar dan data (Masta, 2020).



Gambar 2.7 Hasil gambar SEM sampel keramik kordierit (a) 1250°C (b)1300°C (c) 1350°C (Harrati, et al., 2022)

Gambar 2.7 menunjukkan pengamatan SEM permukaan padat dengan batas butir yang terhubung karena penurunan porositas pada suhu sintering yang tinggi, terutama mulai suhu 1.300°C dan seterusnya. Homogenitas morfologi permukaan sampel pada 1.350°C diamati dan ditunjukkan dengan baik oleh butiran partikel kordierit yang berbentuk bola (Harrati, et al., 2022).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober sampai Desember tahun 2023 di Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB). Pusat Riset Teknologi Pertambangan merupakan laboratorium yang memiliki fasilitas yang memadai untuk melakukan penelitian ini.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel-tabel berikut ini. Bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Bahan untuk pembuatan keramik komposit.

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Abu dasar batubara	Sumber silika (SiO_2)
2	Aluminum dari limbah elektronik	Sumber alumina (Al_2O_3)
3	MgO	Bahan komposit
4	<i>aquades</i>	Melarutkan perkusor
5	NaOH 4 M	Pelarut serbuk silika
6	HCl 6 M	Mengubah pH <i>sol</i> silika menjadi silika <i>gel</i>
7	HCl 37%	Melarutkan limbah kaleng aluminium
8	Alkohol 70%	Pelarut bubuk komposit
9	Natrium bikarbonat	Bahan perekat pada ekstraksi aluminium oksida

Alat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Alat untuk pembuatan keramik komposit.

No	Alat	Fungsi
1	<i>Mortal dan pastle</i>	Menghaluskan serbuk material
2	Neraca digital	Menimbang massa material
3	Ayakan	Penyaring serbuk silika
4	Cetakan	Mencetak keramik
5	<i>Oven</i>	mengeringkan <i>gel</i>
6	Jangka sorong	Mengukur ketebalan sampel
7	Gelas beker	Menampung larutan
8	Kertas saring	Penyaring <i>sol</i> dan <i>gel</i> silika
9	<i>Overhead stirrer</i>	Mengaduk larutan agar <i>homogen</i>
10	<i>Hotplate magnetic stirrer</i>	mengaduk larutan agar <i>homogen</i> dan memanaskan larutan
11	<i>Press hidraulic</i>	Untuk press cetakan sampel
12	<i>Furnace</i>	Untuk <i>sintesis</i> sampel
13	PH -Fix 0-14	Mengukur pH larutan
14	Spatula	Mengaduk campuran larutan
15	Thermometer	Mengukur suhu larutan
16	Labu erlenmeyer	Mengampung <i>sol</i> silika yang disaring
17	Corong	Membantu larutan dan <i>sol</i> silika mudah masuk dalam labu erlenmeyer

Alat untuk karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Alat untuk karakterisasi keramik komposit.

No	Alat	Fungsi
1	XRF (PanAnalytical Type minipal 4)	Analisis non – destruksi menentukan komposisi unsur atau bahan
2	XRD	Analisis struktur fasa keramik komposit
3	SEM – EDS (Quattro S)	Analisis topografi dan morfologi suatu material baik organik maupun anorganik
4	<i>Universal Testing Machine</i> (made in Taiwan Type HT-2402 capacity 50 kN)	Uji kuat tekan keramik komposit

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dibagi menjadi empat tahap yaitu: Ekstraksi Silika dari abu dasar, ekstraksi Al_2O_3 dari kaleng aluminium, Pembuatan keramik komposit dan pengujian sampel keramik komposit.

3.3.1 Ekstraksi Silika dari Abu dasar Batubara.

Silika dari abu dasar batubara diekstraksi menggunakan metode *sol gel* mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Lukman Palum Hasiyanto (Cibro L. P., 2020) dengan bahan dari abu vulkanik gunung Sinabung. Adapun langkah–langkah ekstraksi silika dari abu dasar sebagai berikut:

1. Ekstraksi silika dilakukan dengan mempersiapkan abu dasar yang diperoleh dari sisa pembakaran batubara pada PLTU Tarahan.
2. Melakukan pengayakan dengan ayakan 100 mesh. Sebanyak 50 gram abu dasar dilarutkan dengan 60 ml NaOH 10% Kemudian diaduk menggunakan *hotplate* dan *overhead stirrer* pada suhu $100^{\circ}C$ selama 120 menit untuk mendapatkan silika *sol*.

3. Selanjutnya ditambah dengan *aquades* sebanyak 250 ml, dan terbentuk larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang nantinya sebagai prekursor silika.
4. Larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) dimasukkan kedalam gelas kimia. Kemudian ditetesi dengan HCl 6 M hingga pH 7 sambil di *stirrer* pada suhu 100°C untuk mendapatkan silika gel berwarna putih.
5. Larutan dibiarkan hingga partikel-partikel berwarna putih tersebut mengendap.
6. Gel yang didapat dinetralkan dengan menggunakan *aquades* 300 ml sebanyak 3 kali.
7. Setelah itu endapan putih yang terbentuk tersebut dipisahkan menggunakan kertas saring.
8. Endapan putih yang telah didapatkan, kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 2 jam agar didapatkan padatan silika.
9. Padatan silika yang sudah kering dihaluskan menggunakan *mortal* dan *pestel* hingga mendapatkan serbuk silika yang halus.

3.3.2 Ekstraksi Al_2O_3 dari Kaleng Aluminium

Untuk membuat 10 gram aluminium oksida (Al_2O_3) dibutuhkan 5,29 gram aluminium, 56,6 ml HCl 31,45% dan 35 gram natrium karbonat. Untuk Langkah-langkah pembuatannya sebagai berikut:

1. Menyiapkan kaleng aluminium kemudian dibersihkan dan dipotong potong.
2. Kaleng aluminium kemudian dimasukan ke dalam larutan HCl 37% yang telah diencerkan dengan tambahan volume air yang sama secara perlahan.
3. kemudian diaduk hingga potongan aluminium larut.
4. Larutan yang didapat disaring menggunakan kertas saring untuk menghilangkan kotoran yang tidak larut.
5. Larutan aluminium klorida yang sudah jernih kemudian ditambahkan natrium bikarbonat sehingga terbentuk endapan.
6. Mencuci endapan menggunakan air dengan volume yang lebih besar dan tunggu suspensi mengendap, langkah ini berfungsi untuk menghilangkan natrium klorida salah satu produk dari reaksi aluminium oksida dan sebaliknya

aluminium oksida tidak akan larut dalam air. Lakukan proses pencucian sebanyak 2 kali.

7. Endapan tersebut dipisahkan dan ditambahkan *aquades*. Kemudian mengaduk larutan tersebut sehingga timbul endapan yang lebih murni.
8. Endapan dipisahkan kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 150°C sekitar 2 jam sehingga terbentuk padatan Al_2O_3 dan dihaluskan dengan *mortal* dan *pastel*.

3.3.3 Pembuatan Sampel Keramik Komposit

Pembuatan sampel keramik komposit menggunakan metode *solid-state* mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Lukman Palum Hasiyanto (Cibro L. P., 2020) . Langkah-langkah pembuatannya sebagai berikut:

1. Bahan-bahan penyusun MgO , Al_2O_3 dan SiO_2 ditimbang dan dicampurkan dengan perbandingan massa 15%:35%:50%.
2. Bubuk komposit kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh agar ukuran butir komposit menjadi homogen.
3. Masing-masing bubuk komposit yang telah diayak, ditambahkan alkohol 70% sebanyak 60 ml kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 120 rpm selama 3 jam.
4. Larutan yang telah *distirrer* kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan cairan alkohol dari paduan komposit.
5. Larutan yang telah disaring kemudian dikeringkan menggunakan *oven* dengan suhu 100°C selama 2 jam dan digerus sampai halus.
6. Penambahan MgO pada penelitian ini adalah 0, 10, dan 15wt % dari massa keramik komposit.
7. Paduan yang telah kering digerus dan disaring dengan ayakan 100 mesh agar diperoleh bubuk komposit yang homogen.
8. Bubuk hasil ayakan tersebut langsung dituang dalam cetakan pelet yang terbuat dari *stainless steel* lalu dicetak menggunakan alat press dengan beban 3 ton untuk menghasilkan pelet.
9. Pelet ditata didalam cawan tahan panas dari bahan kuarsa kemudian dimasukkan kedalam tungku *furnace*.

10. Pembakaran pelet untuk proses *sintering* dilakukan pada suhu 1.000°C dengan kenaikan suhu 5°C/menit.
11. Setelah mencapai suhu 1.000°C dilakukan penahanan selama 3 jam

Parameter dalam pembuatan keramik Komposit dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Parameter pembuatan keramik komposit.

No.	Massa MgO (g)	Massa Al ₂ O ₃ (g)	Massa SiO ₂ (g)	Suhu (°C)	Waktu Tahan (jam)	Press tekanan (ton)
1	4,5	10,5	15	1.000	3	3
2	7,5	10,5	15	1.000	3	3
3	10,5	10,5	15	1.000	3	3
4	Opt(123)	10,5	15	800	3	3
5	Opt(123)	10,5	15	900	3	3
6	Opt(123)	10,5	15	1.100	3	3
7	Opt(123)	10,5	15	Opt(456)	2	3
8	Opt(123)	10,5	15	Opt(456)	3	3
9	Opt(123)	10,5	15	Opt(456)	4	3

3.4 Karakterisasi

Karakterisasi pada penelitian ini meliputi, uji fisik yaitu nilai absorpsi, densitas, porositas dan kuat tekan, kemudian karakterisasi struktur fasa dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan Karakterisasi topografi dan morfologi keramik komposit dengan *Scanning Electron Microscopes-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) dan uji fisika yaitu nilai absorpsi, densitas, porositas dan kuat tekan (Cibro L. P., 2020).

3.4.1 Uji fisik (Nilai Absorpsi, Densitas, Porositas Dan Kuat Tekan)

a. Absorpsi

Nilai absorpsi yang biasanya diberikan dalam bentuk persentase (%), adalah titik dimana air dapat masuk atau menembus beton berpori. Untuk menghitung nilai absorpsi menggunakan standar ASTM C373-88 untuk menentukan penyerapan air, kepadatan massal, porositas semu, dan berat jenis semu dari produk peralatan putih keramik dan produk tanpa glasir yang dibakar sebagai berikut:

- Sampel uji dilakukan pengeringan kemudian menimbang sampel yang kering
- Sampel direndam selama 24 jam di air suli/aquadest.
- Sampel yang sudah terendam kemudian ditimbang dengan cara uji pada lingkaran kawat, tali pengikat, atau keranjang yang digantung pada salah satu lengan timbangan. Sebelum benar-benar menimbang, seimbangkan timbangan dengan lingkaran, tali pengikat, atau keranjang pada tempatnya dan rendam dalam air dengan kedalaman yang sama seperti yang digunakan saat sampel uji berada di tempatnya.
- Sampel uji dibersihkan setiap spesimennya dengan kain linen atau katun yang tidak berbulu untuk menghilangkan semua kelebihan air dari permukaan. Melakukan penimbangan segera setelah dilap, seluruh penimbangan diselesaikan secepat mungkin untuk meminimalkan kesalahan yang disebabkan oleh penguapan air dari spesimen. Selanjutnya melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2.2).

b. Densitas

- Berdasarkan penelitian (Seragih dan Siregar, 2019) densitas disebut juga rapat massa dapat di artikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan (V). untuk pengukuran volume, khususnya bentuk dan ukuran yang tidak beraturan dan sulit ditentukan, maka untuk mengukur densitas dari sampel keramik komposit menggunakan standar ASTM C373-88. Selanjutnya melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2.3).

c. Porositas

Untuk mendapatkan nilai porositas dapat mengacu pada standar ASTM C373-88 untuk menentukan penyerapan air, kepadatan massal, porositas semu, dan berat jenis semu dari produk peralatan putih keramik dan produk tanpa glasir yang dibakar sebagai berikut :

- Sampel uji dilakukan pengeringan kemudian menimbang sampel yang kering
- Sampel direndam selama 24 jam di air suli/aquades.
- Sampel yang sudah terendam kemudian ditimbang dengan cara uji pada lingkaran kawat, tali pengikat, atau keranjang yang digantung pada salah satu lengan timbangan. Sebelum benar-benar menimbang, seimbangkan timbangan dengan lingkaran, tali pengikat, atau keranjang pada tempatnya dan rendam dalam air dengan kedalaman yang sama seperti yang digunakan saat sampel uji berada di tempatnya.
- Sampel uji dibersihkan setiap spesimennya dengan kain linen atau katun yang tidak berbulu untuk menghilangkan semua kelebihan air dari permukaan. Melakukan penimbangan segera setelah dilap, seluruh penimbangan diselesaikan secepat mungkin untuk meminimalkan kesalahan yang disebabkan oleh penguapan air dari spesimen. Selanjutnya melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2.1).

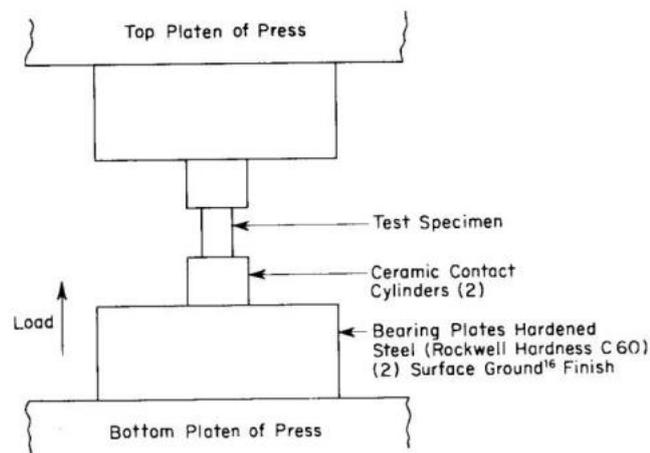
d. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan adalah pengujian yang digunakan untuk menentukan sejauh mana suatu material atau struktur dapat menahan tekanan atau gaya kompresi sebelum mengalami deformasi atau kerusakan permanen. Pengujian menggunakan standar ASTM C773-88 metode standar untuk uji kekuatan kompresif (penghancuran) dari peralatan putih keramik sebagai berikut:

- Ukuran spesimen harus berukuran 0,250 6 0,001 inci (6,350 60,025 mm) dengan diameter dan 0,500 6 0,002 inci (12,70 6 0,05mm) panjangnya.
- Pusatkan spesimen dengan hati-hati di antara mesin. Tempatkan sebuah penjaga yang tepat di sekitar spesimen untuk menahan terbang pecahan jika

terjadi kegagalan; pelindung mata harus digunakan oleh operator.

- Berikan beban secara terus menerus dan tanpa guncangan dengan kecepatan 10.000 lbf/mnt (45 kN/mnt), dalam 20 %. Gunakan saja beban pada benda uji pada saat keruntuhan akhir untuk perhitungan kuat tekan.



Gambar 3.1 Alat uji kuat tekan (ASTM C773-88).

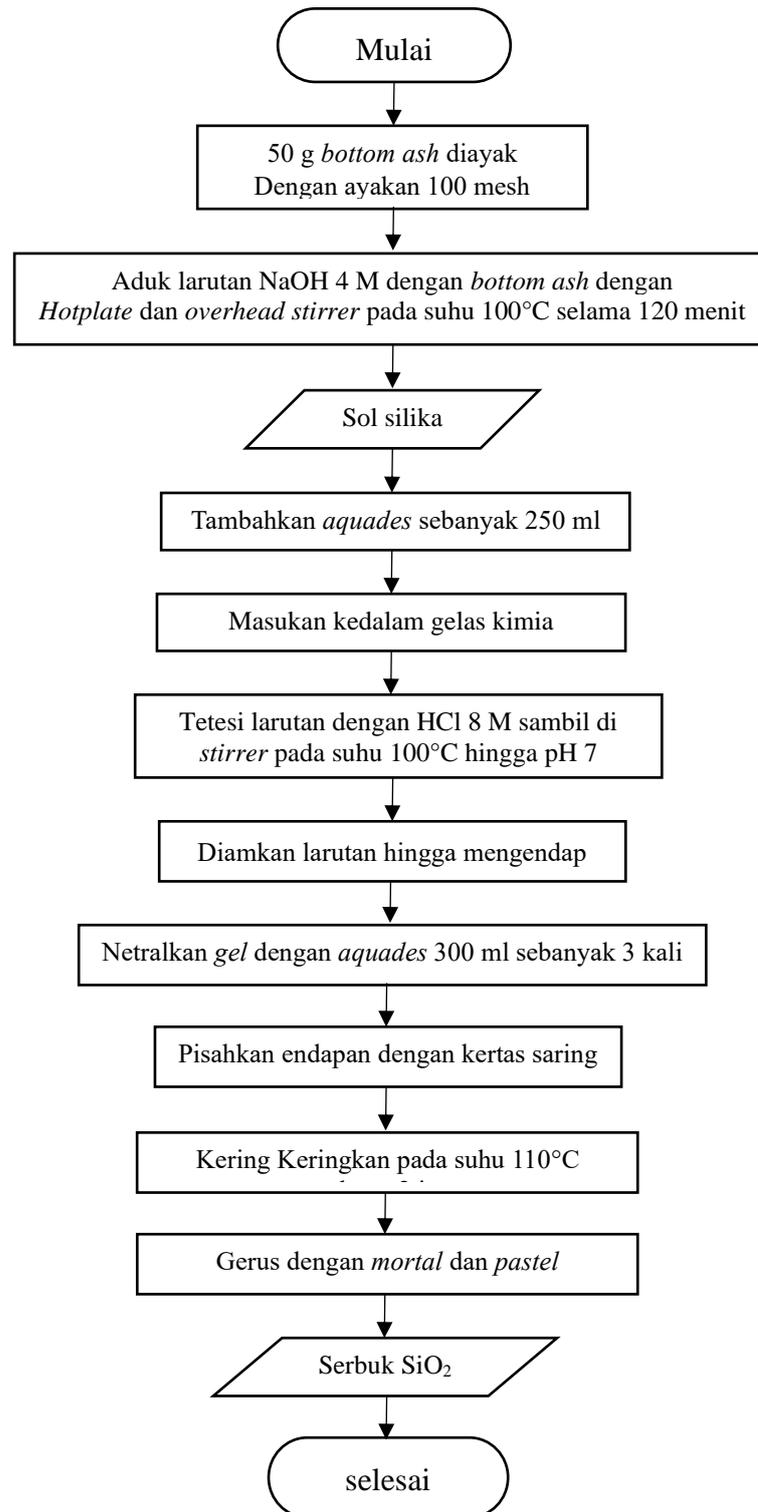
3.4.2 Karakterisasi Unsur Kimia (XRF), Struktur Fasa (XRD) dan Morfologi (SEM – EDS)

Keramik Komposit yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi XRF, XRD dan SEM-EDS untuk mengetahui unsur, jenis mineral yang diperoleh dan juga mengetahui topologi yang dihasilkan dari keramik komposit.

3.5 Diagram Alir

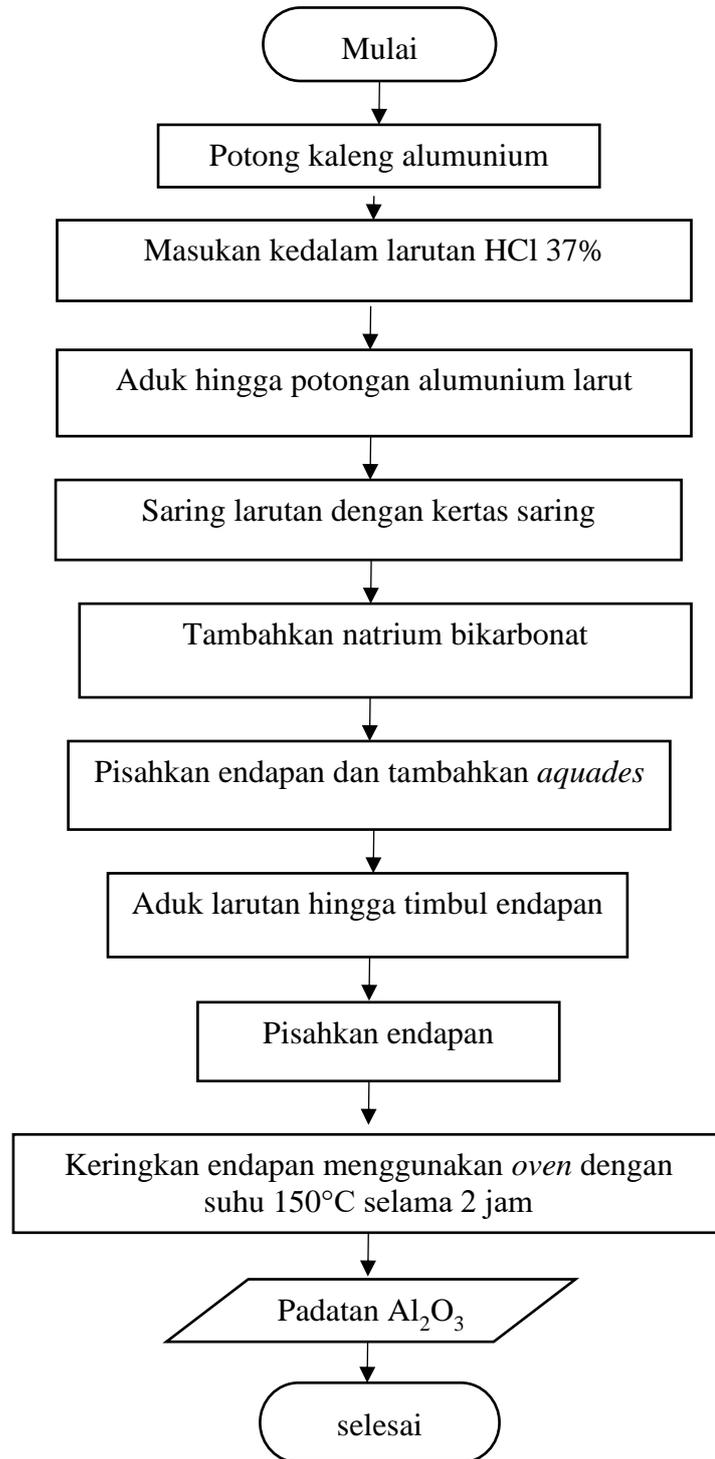
Diagram alir pada penelitian ini terdiri dari diagram alir ekstrasi silika dari abu dasar disajikan pada **Gambar 3.1**, diagram alir ekstrasi Al_2O_3 dari kaleng aluminium disajikan pada **Gambar 3.2**, diagram alir pembuatan keramik komposit disajikan pada **Gambar 3.3**.

Diagram alir ekstraksi silika dari abu dasar batubara.



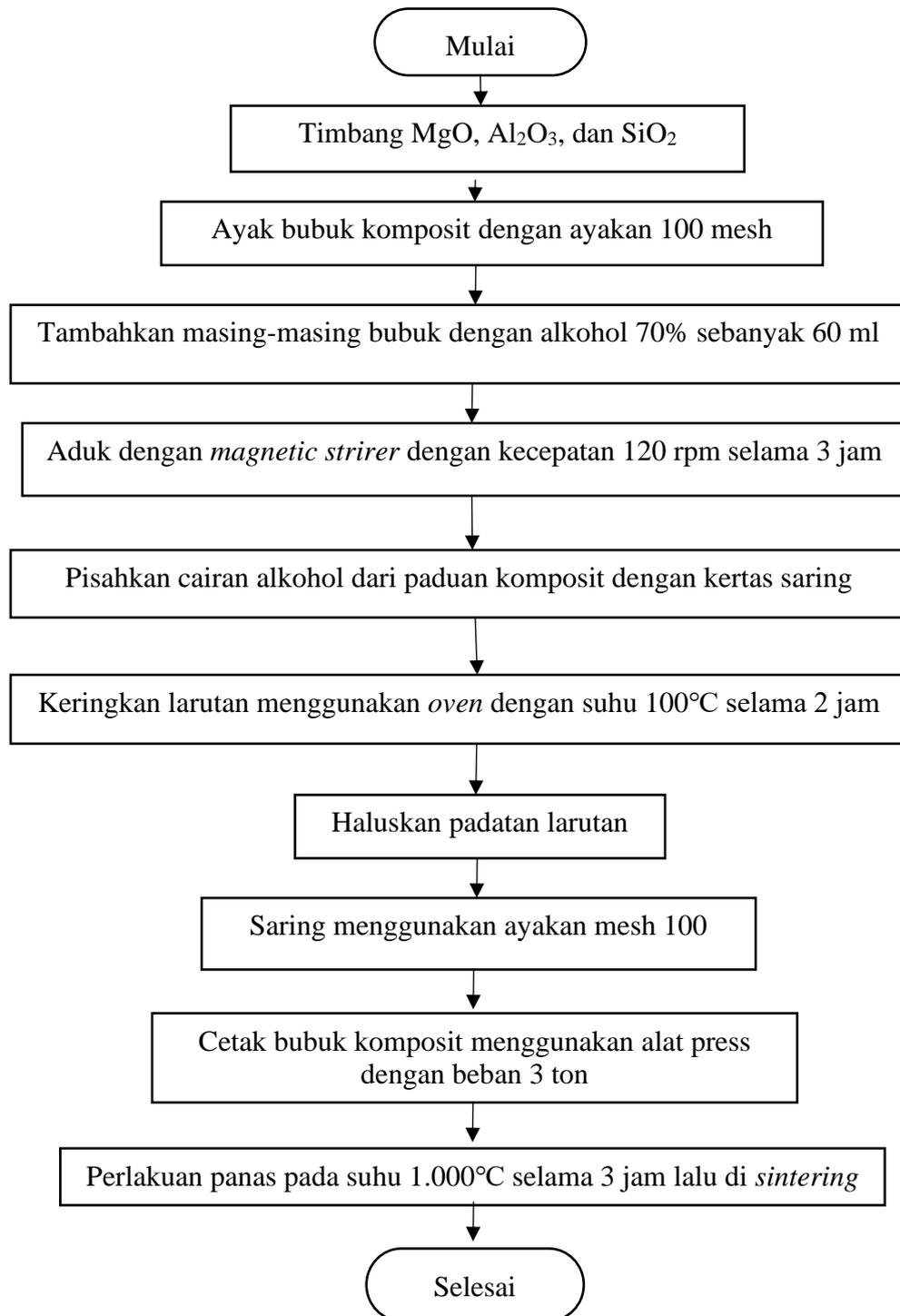
Gambar 3.2 Diagram alir ekstraksi silika dari abu dasar batubara.

Diagram alir ekstraksi Al_2O_3 dari kaleng aluminium.



Gambar 3.3 Diagram alir ekstraksi Al_2O_3 dari kaleng aluminium.

Diagram alir pembuatan keramik komposit.



Gambar 3.4 Pembuatan keramik komposit.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil ekstraksi silika dari abu dasar batubara diperoleh nilai sebesar 43,51%, alumina dari limbah aluminium sebesar 31,01%, dan magnesium oksida dari air *bittern* sebesar 56,69%. Hasil tersebut merupakan nilai terbaik dari penelitian ini.
2. Karakteristik fisis keramik dari variasi penambahan MgO dengan uji densitas, porositas dan absorpsi diperoleh hasil terbaik dari sampel 2 yaitu densitas sebesar 1,13 g/cm³, porositas sebesar 22,35% dan absorpsi sebesar 19,86%. Variasi suhu diperoleh hasil terbaik dari sampel 6 yaitu densitas sebesar 1,01 g/cm³, porositas sebesar 57,44% dan absorpsi sebesar 56,57%. Variasi waktu tahan diperoleh hasil terbaik dari sampel 8 yaitu densitas sebesar 1,33 g/cm³, porositas sebesar 49,65% dan absorpsi sebesar 37,37%. Hasil XRF dari keramik tidak ada yang mencapai komposisi *cordierite*. Fasa yang diperoleh dari sampel optimum yaitu *spinel*, *corundum* dan *albite*. Morfologi permukaan keramik kelihatan membentuk gumpalan yang besar, padat dan menyatu dengan luas permukaan yang besar sehingga meningkatkan nilai densitas dan menurunkan nilai porositas.
3. Kualitas dari sampel optimum masih di bawah sampel bahan pabrik yaitu densitas sebesar 1,42 g/cm³, porositas sebesar 45,66%, absorpsi sebesar 32,11% dan kuat tekan sebesar 2,37 MPa.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya yaitu agar menggunakan kualitas bahan dengan tingkat kemurnian bahan yang lebih tinggi dengan perbandingan bahan yang tepat dan menggunakan suhu sintering 1.200°-1.400°C untuk mendapatkan fasa *cordierite*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, R., Akib, M., Despa, D., dan Setiawan, A. (2022). Pengelolaan Fly Ash dan Bottom Ash Pltu Tarahan Setelah Berlakunya Undang-Undang Cipta Kerja. *Journal Transformation of Mandalika (Jtm)*, 2(1), 172–181.
- Alwiyah, Siswanto, dan Rohman, 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.*, 1-3.
- Amalia, M. (2015). Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Keramik Kordierit Berpori Sebagai Bahan Filter Gas Buang. *Journal Einstein*, 1(1), 72–82.
- Amelia, N. M. (2018). Pembuatan Zeolit Sintetis Berteknologi Hidrotermal dari Limbah Kaca dengan Variasi NaOH Dalam Pembuatan Larutan Natrium Silika. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Vol.17.*, 1-7.
- ASTM C 773-88. (1999). *Standard Test Method for Compressive (Crushing) Strength of Fired Whiteware Materials*. Standards Australia. Queensland: Australia.
- Banjuraizah, J., Mohamad, H., Ahmad, Z.A. (2010). Thermal Expansion Coefficient and Dielectric Properties of NonStoichiometric Cordierite Compositions with Excess MgO Mole Ratio Synthesized from Mainly Kaolin and Talc by the Glass Crystallization Method. *Journal of Applied Ceramics Technology*. 3: 637-645.
- Bearden, J. A. (1967). X - Ray Wavelengths. *Review of Modern Physics*, 86-99.
- Buchanan. (2004). *Ceramic Materials for Electronics*. USA: University of Cincinnati.

- Cibro, L. P. H., dan Mora, M. (2020). Pengaruh Massa Magnesium Oksida (MgO) dan Alumina (Al₂O₃) Terhadap Karakteristik Keramik Kordierit dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung. *Jurnal Fisika Unand*, 9(3), 292–298.
- Cherepy, N. J. (2014). High energy resolution with transparent ceramic garnet scintillators. In *Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neutron Detector Physics XVI (Vol. 9213, p. 921302)*. SPIE.
- Cullity. (1987). *Elements of X-Ray Diffraction*. Department of Metallurgical Engineering and Materials Science. Academic Press. Page 93.
- Ewais, E. M. M., Ahmed, Y. M. Z., & Ameen, 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* 10(6). 721–728.
- Fairus, S., Sugita, M. H., & Sudrajat, A. (2009). Proses Pembuatan Waterglass Dari Pasir Silika Dengan Pelebur Natrium Hidroksida. *Jurnal Teknik Kimia Indoneia*8(2), 56–62.
- Hara, N. (1988). Utilization of rice hush ask for calcium silicate lightweight building materials. *J. Mineral. Society Japan*. Vol. 18, pp.405-415.
- Harper, C. A. (2001). *Handbook of ceramics, glasses and diamonds*. Mc Graw-Hill Professional. U. S.
- Jamaluddin, Massinai, M. A., dan Tahir, D. (2016). Analisis Kandungan Logam Oksida Menggunakan Metode XRF (*X-Ray Flourescence*). *Universitas Hassanuddin*, 1–7.
- Harrati, a., Arkame, Y., Manni, A., Haddar, A. E., Achiou, B., Bouari, A. E., Sadik, C. (2022). Cordierite-Based Refractory Ceramics from Natural Halloysite and Peridotite: Insights on Technological Properties. *Journal of the Indian Chemical Society*, pp. 1-12.
- Jin, F., dan Al-Tabbaa, A. (2014). Characterisation of different commercial reactive magnesia. *Advances in Cement Research*, 26(2), 101–113.

- Kalnicky, D. J., dan Singhvi, R. (2001). Field portable XRF Analysis of Environmental Samples. *Journal of Hazardous Materials*, 83(1–2), 93–122.
- Kingery, W. D., Bowen, H. K., dan Uhlmann, D. R. (1976). *Introduction to Ceramics (2nd edition)*. John Wiley dan Sons Inc. New York. Page 73-75.
- Kisi, E. H. (1994). *Rietveld Analysis of Powder Diffraction Pattern*. Australia: Department of Mechanical Engineering University of Newcastle.
- Kramer. (2000). *Magnesium , its Alloys and Compounds*. Geological Survey Science For a Changing World. U.S. Page 21-25.
- Liu, J., Dong, Y., Dong, X., Hampshire, S., Zhu, L., Zhu, Z., & Li, L. (2016). Feasible recycling of industrial waste coal fly ash for preparation of anorthite-cordierite based porous ceramic membrane supports with addition of dolomite. *Journal of the European Ceramic Society*, 36(4), 1059–1071.
- Liu, Z. S., Li, W. K., dan Huang, C. Y. (2014). Synthesis of mesoporous silica materials from municipal solid waste incinerator bottom ash. *Waste Management*, 34(5), 893–900.
- Manurung, M., Ayuningtyas, I. F. (2019). Kandungan Aluminium Dalam Kaleng Bekas Dan Pemanfaatannya Dalam Pembuatan Tawas. *Jurnal Kimia* 4(2), 180–186.
- Markowicz, A. A. (2002). *Handbook of X-Ray Spectrometry Second Edition , Revised and Expanded*. Marcel Dekker. U. S. 100-150.
- Maryoto, A. (2008). Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar. *Teknik Sipil dan Perencanaan*, 10(2), 103–113.
- Masta. (2020). *Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy*. Patra Widya: Seri Penerbitan Penelitian Sejarah dan Budaya. Jakarta. Hal 54.
- Mbarki, R., Mnif, A., & Hamzaoui, A. H. (2014). Materials Science in Semiconductor Processing Structural , Dielectric Relaxation and Electrical Conductivity Behavior in MgO Powders Synthesized by sol – gel. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 1–7.

- Meilyana, F. (2016). *Pengaruh Penambahan Magnesium Oksida (0, 20, 25, 30%) Terhadap Karakteristik Kekerasan dan Struktur Fasa Bahan Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Mulyono, T. (2015). *Teknologi Beton: dari Teori ke Praktek*. Universitas Negeri Jakarta March, 574.
- Parchovianský, M., Galusek, D., Van, P. Š., Sedlá, J., & Š, P. (2014). Thermal behavior , electrical conductivity and microstructure of hot pressed $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiC}$ nanocomposites. *Ceramics Internasional* 40, 14421–14429.
- Pithaloka, E. I. (2021). *Pengaruh Penggantian Sebagai Agregat Kasar Dengan Limbah Genteng Keramik Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Absorpsi Pada Beton Bersilica fume*. Bogor: Universitas Islam Indonesia.
- Raesta, R. A., Hartati, N. I., Layudha, S. I., Nurohman, M. I., dan Kurniasari, L. (2017). Pemanfaatan *Bittern* (Air Tua) Garam Untuk Pembuatan *Peel Of Mask* Dengan Ekstrak Daun Pepaya Sebagai Anti Jerawat. *Prosiding SNST Ke 8, ISBN 978-602-99334-7-5*, 37–42.
- Retnosari.A. (2013). *Ekstraksi dan Penentuan Kadar Ion Alumunium Hasil Ekstraksi dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara*. Universitas Jember.
- Sanjaya, R. (2023). *Pembuatan Magnesium Oksida (MgO) dari Limbah Industri Garam (Bittern Water) Pulau Legundi*. Institut Teknologi Sumatera.
- Sari, E. K., Putri, Y. E., Desromi, F., & Nurmeyliandari, R. (2023). Fly Ash dan Bottom Ash Hasil Pembakaran Batubara PT Bakti Nugraha Yuda Energy. *Jurnal Deformasi*, 8, 23–30.
- Sebayang, P., Muljadi, Ginting, M., dan Deni. (2007). Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Terhadap Karakteristik Keramik Kordierit Berpori Sebagai Bahan Filter Gas Buang. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, 7(1), 25–38.

- Seragih, M., dan Siregar, J. (2019). Perbandingan Antara Hasil Simulasi dan Eksperimen Nilai Densitas Keramik Alumina (Al_2O_3) Terhadap Suhu. *Prosiding Seminar Nasional & Expo II Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*. Hal 1150-1155
- Sembiring, S., Manurung, P., & Karo karo, P. (2009). Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Karakteristik Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 5 : 090-107.
- Sembiring, S., Simanjuntak, W., (2015). *Silika Sekam Padi Potensinya Sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. Plantaxia. Yogyakarta. Hal 47-49.
- Sijabat., k. (2007). *Pembuatan Keramik Paduan Cordierite - Alumina (Al_2O_3) sebagai Bahan Refraktori dan Karakterisasinya*. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.
- Siregar, J., Gade, M., Khairiah, K., dan Siregar, S. M. (2019). Analysis Study Through Mathematica 5.1 Simulation Program in Determining the Density and Porosity of Cordierite Ceramics. *Fisitek : Jurnal Ilmu Fisika Dan Teknologi*, 3(1), 1-8.
- Smallman, S., Finkel, Y.Puntis, J. W. L., Holden, C. E., George, R. H., dan Booth, I. W. (1991). Staff Training: a Key Factor in Reducing Intravascular Catheter Sepsis. *Archives of Disease in Childhood*, 66(3), 335–337.
- Sofyan, G. G. I., Alauhdin, M., Susatyo, E. B. (2013). Sintesis dan Karakterisasi Bahan Keramik *Cordierite* dari Abu Sekam Padi. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 10: 1-6.
- Sumantri. (2018). Pemeriksaan Komposisi Glass Fiber Komersial Dengan Teknik X-Ray Fluorescence Spectrometer (Xrf). *B-Dent, Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Baiturrahmah*, 1(2), 155–160.
- Tamalia, N. (2016). *Pengaruh Penambahan Alumina (0, 10 Dan 15 Wt%) Terhadap Karakteristik Termal (DTA-TGA) dan Konduktivitas Termal Bahan Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Torres, F. J., & Alarco, J. (2005). Effect Of MgO / CaO Ratio on The Microstructure Of Cordierite-Based Glass-Ceramic Glazes For Floor Tiles. *31*, 683–690.
- Unluer, C. (2018). *Carbon dioxide sequestration in magnesium-based binders*. In *Carbon Dioxide Sequestration in Cementitious Construction Materials*. Woodhead Publishing. Singapore (pp. 129-173).
- Wu, J., Lu, C., Xu, X., Wang, D., & Sang, Y. (2017). Influence of Silica Phase Transformation on Synthesis of Cordierite Ceramic. *Australian Ceramic Society*, 499-510.
- Yani, H. Z. (2014). *Optimasi Kuat Tekan dan Porositas dari Pembuatan Beton Non Pasir dengan Pemanfaatan Abu Dasar (Bottom Ash)*. Lampung: Universitas Lampung.
- Yudhistia, R., Triandi, R., dan Purwonugoho, D. (2018). Ekstraksi alumina dalam lumpur lapindo menggunakan pelarut asam klorida. *Jurnal Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2018*, 365–369.
- Zhang, L., Olhero, S., dan Ferreira, J. M. F. (2016). Thermo-Mechanical And High-Temperature Dielectric Properties Of Kordierit-Mullite-Alumina Ceramics. *Ceramics International*, *42*(15), 16897–16905.
- Zhu, D. N. (2022). Development and Prospects of Garnet Ceramic Scintillators. *Journal of Advanced Ceramics*, 1-24.