

**PENGARUH VARIASI SUHU *SINTERING* DAN TEKANAN TERHADAP  
PEMBENTUKAN KERAMIK GERABAH BERBAHAN TANAH LIAT  
DAN *SLAG BOILER***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Alya Hafiz**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### PENGARUH VARIASI SUHU *SINTERING* DAN TEKANAN TERHADAP PEMBENTUKAN KERAMIK GERABAH BERBAHAN TANAH LIAT DAN *SLAG BOILER*

Oleh

ALYA HAFIZ

Keramik gerabah merupakan salah satu contoh dari keramik tradisional. Dalam proses pembuatannya dilakukan pemanasan pada suhu tinggi. Kualitas keramik gerabah dipengaruhi oleh suhu *sintering*. Bahan pembuatan keramik gerabah terdiri dari tanah liat sebesar 75% dan slag sebesar 25%. Bahan dilakukan penghalusan dengan ukuran lolos 100 *mesh*. Lalu dicampur dan dibentuk badan keramik. Proses sintering dilakukan pada suhu 700°C, 800°C, dan 900°C dengan waktu tahan selama 3 jam. Dilakukan pengujian terhadap sampel keramik gerabah, pengujian sampel terdiri dari uji kuat tekan, uji densitas, uji porositas, uji absorptivitas. Sampel terbaik diperoleh pada suhu 900°C yang ditekan menggunakan mesin press dengan nilai kuat tekan 20,16 MPa, absorptivitas 9,5%, porositas 20,44% dan densitas 2,15 g/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan hasil uji kuat tekan tertinggi maka dilakukan karakterisasi menggunakan alat XRF, XRD dan SEM-EDS. Hasil karakterisasi sampel menggunakan XRF menunjukkan keramik gerabah didominasi oleh senyawa SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hasil karakterisasi sampel menggunakan XRD terlihat fasa yang terbentuk pada keramik gerabah adalah *Silicon Oxide* (SiO<sub>2</sub>), *Anorthite* (Al<sub>2</sub>Ca<sub>08</sub>Si<sub>2</sub>) dan *Wustite* (Fe<sub>1.98</sub>O<sub>2</sub>). Selain itu, hasil karakterisasi sampel menggunakan SEM-EDS menunjukkan unsur Si dan Al yang paling mendominasi.

**Kata Kunci:** Keramik gerabah, suhu sintering, tekanan, tanah liat, *slag boiler*.

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF *SINTERING* TEMPERATURE AND PRESSURE VARIATIONS ON THE FORMATION OF CLAY POTTERY CERAMICS AND *BOILER SLAG*

By

ALYA HAFIZ

Pottery ceramics are one example of traditional ceramics. In the manufacturing process is carried out heating at high temperatures. The quality of pottery ceramics is affected by *the sintering* temperature. The material for making pottery ceramics consists of clay by 75% and slag by 25%. The material is smoothed with a pass size of 100 *mesh*. Then mixed and formed ceramic body. The sintering process is carried out at temperatures of 700°C, 800°C, and 900°C with a holding time of 3 hours. Testing of pottery ceramic samples is carried out, sample testing consists of compressive strength tests, density tests, porosity tests, absorptivity tests. The best samples were obtained at 900°C pressed using a press with compressive strength values of 20.16 MPa, absorptivity 9.5%, porosity 20.44% and density 2.15 g/cm<sup>3</sup>. Based on the results of the highest compressive strength test, characterization was carried out using XRF, XRD and SEM-EDS tools. The results of sample characterization using XRF showed that pottery ceramics were dominated by SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compounds. The results of sample characterization using XRD show that the phases formed in pottery ceramics are Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>), Anorthite (Al<sub>2</sub>Ca<sub>08</sub>Si<sub>12</sub>) and Wustite (Fe<sub>1.98</sub>O<sub>2</sub>). In addition, the results of sample characterization using SEM-EDS showed the most dominating Si and Al elements.

**Keywords:** Pottery ceramics, sintering temperature, pressure, clay, boiler slag.

**PENGARUH VARIASI SUHU *SINTERING* DAN TEKANAN TERHADAP  
PEMBENTUKAN KERAMIK GERABAH BERBAHAN TANAH LIAT  
DAN *SLAG BOILER***

Oleh

**ALYA HAFIZ**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

**SARJANA SAINS**

Pada

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



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

Judul Skripsi :

**PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING  
DAN  
TEKANAN TERHADAP  
PEMBENTUKAN KERAMIK GERABAH  
BERBAHAN TANAH LIAT DAN SLAG  
BOILER**

Nama Mahasiswa :

**Alya Hafiz**

Nomor Pokok Mahasiswa :

**1917041078**

Jurusan :

**Fisika**

Fakultas :

**Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**MENYETUJUI**

1. **Komisi Pembimbing**

**Drs. Syafriadi, M.Si.**

**NIP 196108211992031002**

**Dr. Sudiby, S.T., M.Sc.**

**NIP 19820327015021002**

2. **Ketua Jurusan Fisika FMIPA**

**Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**

**NIP 198010102005011002**

**MENGESAHKAN**

1. **Tim Penguji**

**Ketua : Drs. Syafriadi, M. Si.**

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

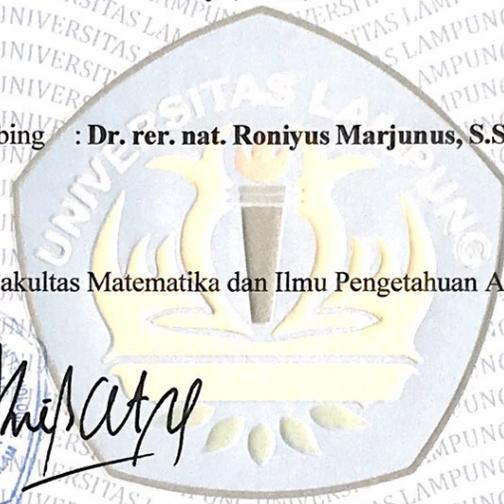
**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.**

2. **Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Dr. Eng. Heri Satria, S. Si., M. Si.**

**NIP. 197110012005011002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 April 2024**



*Syafriadi*  
*Sudibyoy*  
*an*

*Heri Satria*

## 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, 22 April 2024



Alya Hafiz

NPM. 1917041078

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Alya Hafiz, dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 4 Maret 2001. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Hafizullah dan Ibu Maryanah.

Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Sekolah Dasar Al- azhar 2 Bandar Lampung pada Tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama Madrasah Tsanawiyah Negeri 2 Bandar Lampung pada Tahun 2016, Sekolah Menengah Atas Madrasah Aliyah Negeri 1 Bandar Lampung pada Tahun 2019. Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) pada bidang minat dan bakat tahun 2020-2021. Penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan pada tahun 2022. Selanjutnya penulis juga melakukan penelitian di Laboratorium Non Logam Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

## MOTTO

**“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan,  
Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras  
(untuk urusan yang lain)”  
(Q.S Al-Insyirah, 94: 6-7)**

**“Orang lain tidak akan bisa paham *struggle* dan masa sulitnya kita, yang mereka ingin tahu hanya bagian *succes stories*. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun tidak ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini. Tetap berjuang ya!”**

**“Prosesnya mungkin tidak mudah tapi *ending* nya bikin tidak berhenti bilang alhamdulillah”**

## **PERSEMBAHAN**

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, Sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW.

Aku persembahkan karya kecil ini kepada:

**Ayahanda Hafizullah dan Ibunda Maryanah**

Sebagai tanda terima kasihku kepada Ayah dan Ibu tercinta  
Terima kasih atas segala doa, usaha, dan dukungan terbaik yang telah diberikan

**Keluarga Besar dan Sahabat-Sahabat Terdekat**

Rekan-rekan seperjuangan “FISIKA FMIPA UNILA 2019”

Yang selalu memberikan semangat dan dukungan

Serta Almamater Tercinta  
“Universitas Lampung”

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan nikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Suhu *Sintering* dan Tekanan Terhadap Pembentukan Keramik Gerabah Berbahan Tanah Liat dan *Slag Boiler*”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak guna perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 22 April 2024

Alya Hafiz

NPM. 191704107

## SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Suhu *Sintering* dan Tekanan Terhadap Pembentukan Keramik Gerabah Berbahan Tanah Liat dan *Slag Boiler*”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si selaku Pembimbing Pertama dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan motivasi, semangat, kritik, saran, dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Muhammad Amin, S.T dan Bapak Dr. Sudibyso, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran, masukan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi
4. Bapak Dr. eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA, Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Lampung.
6. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Lampung.

7. Staf administrasi Jurusan Fisika FMIPA yang telah membantu dalam urusan administrasi selama menempuh pendidikan S1 Fisika.
8. Kedua Orang tua, Ayah Hafizullah dan Ibu Maryanah, serta keluarga terdekatku Makwo Ruaida, Wo Rizka Pitri, Ngah Suci Rodian Noer, Adik Atika Adelia dan Adik Dina Putri Aulia yang memberikan doa dan dukungan kepada penulis sehingga dapat mengerjakan skripsi dengan lancar.
9. Sahabat-sahabatku tercinta Khairunnisa, Lisana Shidqin ‘Aliya, Putri Ramadhani Arum Sari, Syaima Camilla, dan Yuyun Savela yang telah memberikan bantuan, motivasi, dukungan dan selalu ada disaat senang maupun susah menemani penulis berjuang mendapatkan gelar S.Si hingga akhir.
10. Sahabat lamaku Afifah Rahmadiyah Arma dan Ella Wigustina yang juga senantiasa menemani penulis dari bangku sekolah menengah atas hingga mendapatkan gelar.
11. Kepada seseorang dengan NPM 1914071023, terimakasih telah hadir di akhir penulisan skripsi penulis. Yang senantiasa mendengarkan keluh kesah penulis, memberi dukungan dan motivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah selalu memberi keberkahan dalam segala hal yang kita lalui.
12. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini yang belum disebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, 22 April 2024

Alya Hafiz

NPM. 1917041078

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PESETUJUAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>viii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>x</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
 <b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
 <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Keramik.....	6

2.2 Gerabah .....	7
2.3 Tanah Liat .....	9
2.4 Slag .....	11
2.5 Air .....	12
2.6 Reaksi Hidrolisis .....	13
2.7 Sintering .....	14
2.8 Pengujian dan Karakterisasi .....	16

### III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	24
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	24
3.3 Prosedur Penelitian .....	25
3.4 Diagram Alir .....	29

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Suhu Sintering Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Keramik Gerabah .....	34
4.1.1 Hasil Uji Absorpsi Keramik Gerabah .....	34
4.1.2 Hasil Uji Porositas Keramik Gerabah .....	35
4.1.3 Hasil Uji Densitas Keramik Gerabah .....	37
4.2 Pengaruh Variasi Suhu Sintering Terhadap Komposisi Kimia dan Fase yang Terbentuk pada Keramik Gerabah .....	39
4.2.1 Hasil Karakterisasi Bahan Keramik Gerabah menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) .....	39
4.2.2 Hasil Karakterisasi Sampel Keramik Gerabah menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) .....	40
4.2.3 Hasil Karakterisasi Bahan Keramik Gerabah menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) .....	41
4.3 Pengaruh Variasi Suhu Sintering Terhadap Morfologi Keramik Gerabah .....	44
4.3.1 Hasil Karakterisasi Bahan Keramik Gerabah menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	44
4.4 Pengaruh Penambahan <i>Slag Boiler</i> dalam Pembuatan Keramik Gerabah .....	48

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	50

### DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Kandungan senyawa yang dimiliki oleh tanah liat.....	9
<b>Tabel 2.2</b> Komposisi kimia abu kerak boiler cangkang kelapa sawit .....	12
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Karakterisasi Bahan Tanah Liat dan <i>Slag</i> Menggunakan XRF .....	39
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Karakterisasi XRF pada Keramik Gerabah.....	40
<b>Tabel 4.3</b> Fasa yang terbentuk pada keramik gerabah kode sampel 900 A1...	40
<b>Tabel 4.4</b> Fasa yang terbentuk pada keramik gerabah kode sampel 900 A2...	41
<b>Tabel 4.5.</b> Komposisi unsur keramik gerabah kode sampel 900 A1 .....	46
<b>Tabel 4.6.</b> Komposisi unsur keramik gerabah kode sampel 900 A2.....	47

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Skema alat <i>X-rat diffraction</i> .....	19
<b>Gambar 2.2.</b> Skema alat <i>X-rat flourscence</i> .....	21
<b>Gambar 2.3</b> Skema SEM-EDS .....	22
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir preparasi sampel .....	29
<b>Gambar 3.2</b> Diagram alir pembuatan sampel keramik gerabah .....	30
<b>Gambar 3.3</b> Diagram alir uji fisis keramik gerabah .....	31
<b>Gambar 3.4</b> Diagram alir uji mekanis keramik gerabah.....	31
<b>Gambar 3.5</b> Diagram alir karakterisasi keramik gerabah .....	32
<b>Gambar 3.6</b> Diagram alir penelitian .....	32
<b>Gambar 4.1</b> Grafik kuat tekan pada keramik gerabah dengan tekanan dan tanpa tekanan. ....	33
<b>Gambar 4.2</b> Grafik absorpsi pada keramik gerabah dengan tekanan dan tanpa tekanan. ....	35
<b>Gambar 4.3</b> Grafik porositas pada keramik gerabah dengan tekanan dan tanpa tekanan. ....	36
<b>Gambar 4.4</b> Grafik densitas pada keramik gerabah dengan tekanan dan tanpa tekanan. ....	37
<b>Gambar 4.5</b> Difraktogram keramik gerabah pada suhu 900 dengan tekanan. ....	41
<b>Gambar 4.6.</b> Difraktogram keramik gerabah pada suhu 900 tanpa tekanan... ..	42
<b>Gambar 4.7</b> Hasil analis SEM-EDS kode sampel 900 A1 (a) Hasil karakterisasi SEM-EDS (b) Hasil morfologi keramik gerabah .....	44

<b>Gambar 4.8</b> Spektrum EDS dengan kode sampel 900 A1.....	45
<b>Gambar 4.9</b> Hasil analisis SEM-EDS kode sampel 900 A2 (a) Hasil karakterisasi SEM-EDS (b) Hasil morfologi keramik gerabah .....	46
<b>Gambar 4.10</b> Spektrum EDS dengan kode sampel 900 A2.....	47

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang cukup panas dengan iklim tropis. Suhu udara panas meningkat seiring dengan bertambah tingginya tahap pembangunan. Penggunaan material bangunan dibutuhkan sebagai salah satu cara untuk menjaga suhu udara agar tetap rendah dan salah satu caranya adalah dengan menggunakan material berupa dinding penyerap. Bahan bangunan yang dapat digunakan untuk penyerap dinding adalah keramik (Pratiwi, 2022). Keramik berasal dari kata Yunani “keramos”. Hal ini mengacu pada barang pecah belah atau bahan manufaktur yang menggunakan tanah liat sebagai bahan utama dan mengalami proses pembakaran (Rangkuti, 2008).

Pembakaran tanah liat dengan suhu tinggi menghasilkan keramik porselin (keramik halus), dan bakaran suhu rendah menghasilkan keramik gerabah (terakota) (Isnaini dan Lodra, 2016). Istilah keramik cakupannya lebih luas dari kata gerabah, namun memiliki substansi yang sama, sebab gerabah adalah bagian dari keramik. Gerabah juga dimaknai sebagai sebuah produk yang mengacu pada benda berbahan tanah liat dengan pola penggarapan tradisi masa lalu yang statis dalam kurun waktu yang lama (Raharjo, 2009). Istilah ‘gerabah’ juga dikenal dengan keramik tradisional merupakan hasil kerajinan masyarakat pedesaan. Awalnya

tujuan pembuatan gerabah untuk peralatan rumah tangga, kemudian dikembangkan gerabah juga digunakan untuk bahan bangunan (Hasnani, 2013). Keramik gerabah memiliki struktur pori yang rendah dan memiliki sifat tahan api, membuatnya lebih baik dalam menahan panas dan suhu tinggi dibandingkan dengan bahan bangunan lain yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi bangunan, seperti dinding, lantai dan atap.

Beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan keramik gerabah diantaranya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Dewi, (2018) mengenai pengaruh penambahan material *feldspar* terhadap kualitas keramik gerabah, dilakukan dengan variasi komposisi *feldspar* dengan suhu pemanasan 900°C selama 4 jam. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak persen penambahan *feldspar* maka porositas yang dihasilkan kurang baik dikarenakan pada suhu 900°C peleburan pada *feldspar* belum melebur sehingga belum mengisi pori-pori keramik gerabah. Kuat tekan yang dihasilkan juga ikut mengalami penurunan seiring banyaknya penambahan *feldspar*. Pada uji kuat tekan, porositas, densitas dan absorpsi didapatkan hasil terbaik pada penambahan *feldspar* sebesar 35%.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Rifai dan Hartono, (2016) mengenai pengaruh proses sintering pada temperatur 800°C terhadap sifat mekanis pada produk gerabah, dilakukan dengan menggunakan bahan baku tanah merah, tanah kuning dan pasir. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa pemanasan dengan temperatur 800°C selama 1 jam merupakan temperatur yang baik digunakan untuk proses pembuatan produk gerabah dikarenakan sifat mekanis pada produk menjadi meningkat.

Berdasarkan studi literatur di atas, akan dilakukan pembuatan keramik gerabah dengan komposisi tanah liat sebesar 75% dan *slag* sebesar 25% sebanyak 24 sampel, 12 sampel ditekan menggunakan mesin *press* dan 12 sampel lainnya tidak ditekan menggunakan mesin *press*. Selanjutnya keramik di *sintering* di dalam *furnance* dengan suhu 700°C, 800°C dan 900°C, lalu ditahan selama 3 jam. Kemudian dilakukan karakterisasi keramik gerabah menggunakan X-Ray *Flourescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur fase yang terbentuk, dan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) mengetahui morfologi dari permukaan keramik gerabah. Selain itu, keramik gerabah diuji densitas, porositas, absorpsi dan kuat tekan untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis keramik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap sifat fisis dan mekanis pada keramik gerabah?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap komposisi kimia dan fase yang terbentuk pada keramik gerabah ?
3. Bagaimana pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap unsur penyusun keramik gerabah ?
4. Bagaimana pengaruh penambahan *slag boiler* dalam pembuatan keramik gerabah?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap sifat fisis dan mekanis pada keramik gerabah.
2. Mengetahui pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap komposisi kimia dan fase yang terbentuk pada keramik gerabah.
3. Mengetahui pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap unsur penyusun keramik gerabah.
4. Mengetahui pengaruh penambahan *slag boiler* dalam pembuatan keramik gerabah.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bahan yang digunakan yaitu tanah liat, slag dan air.
2. Tanah liat yang digunakan berasal dari Desa Serdang Kecamatan Tanjung Bintang Lampung Selatan.
3. Slag abu cangkang kelapa sawit yang digunakan berasal dari PTPN VII Bekri, Lampung Tengah.
4. Air yang digunakan berasal dari Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
5. Komposisi bahan keramik gerabah yaitu tanah liat sebesar 75% dan slag sebesar 25% dengan total bahan sebesar 1 kg.
6. Air sebanyak 10% dari berat sampel.
7. Sampel di *sintering* dengan suhu 700°C, 800°C dan 900°C kemudian ditahan selama 3 jam.

8. Sampel dicetak berukuran  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ .
9. Sampel di uji sifat fisis: densitas, porositas, dan absorpsi. Dan sifat mekanis yaitu kuat tekan.
10. Bahan dan sampel keramik gerabah di karakterisasi menggunakan XRF, XRD dan SEM-EDS.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Memanfaatkan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan campuran dalam pembuatan keramik gerabah agar menjadi material yang lebih bermanfaat bagi konstruksi.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi bagi industri bahan bangunan.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.
4. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila dalam bidang Fisika Material.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Keramik**

Keramik adalah kerajinan tangan yang dibuat dengan cara membakar tanah liat sebagai bahan baku utamanya (Mirna, 2017). Tanah liat itu sendiri banyak mengandung bahan kimia yang dapat di gunakan sebagai adsorben dan berfungsi untuk mengikat berbagai kation dalam proses pembuatan keramik (Sinaga dan Asmi, 2015). Proses pembakaran merupakan salah satu tahapan yang sangat penting pada proses pembuatan benda keramik, karena tanpa melalui proses pembakaran maka benda keramik belum dapat disebut produk keramik. (Budiyanto, et al., 2008). Keramik pada masa lalu pada umumnya dimanfaatkan sebagai peralatan rumah tangga, unsur bangunan, wadah makanan, hiasan rumah, perhiasan tubuh, alat untuk menyimpan uang, peralatan untuk membuat benda-benda logam, peralatan untuk penerangan serta berbagai fungsi lainnya (Hardiati, et al., 2000). Komposisi bahan penyusun keramik merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat-sifat keramik. Kegagalan produk keramik diakibatkan karena bahan mentah yang kasar antara bahan utama dan bahan campuran, sehingga kondisi ini menyebabkan terjadi kerusakan atau pecah ketika pengeringan atau pembakaran (Puspitasari Delvita, 2013).

Pada dasarnya keramik terbagi dalam 2 kategori :

1. Keramik tradisional yaitu keramik yang dibuat dengan menggunakan bahan alam. Keramik tradisional tersusun atas 3 komponen dasar, yaitu tanah lempung atau tanah liat, feldspar dan silika. Keramik ini menggunakan bahan-bahan amorf yang termasuk keramik tradisional adalah barang pecah belah, keperluan rumah tangga dan industri. Keramik tradisional dikarakterisasi oleh mikrostrukturnya yang poros dan berbasis silikat (*silicate-based ceramics*), kasar, tidak seragam dan *multifase* (Barsoum, 1997).
2. Keramik modern adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan oksida-oksida logam seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  dan  $\text{MgO}$ . Penggunaannya sebagai elemen panas, semi konduktor, komponen turbin dan pada bidang medis (Puspitasari Delvita, 2013). Keramik ini tersebar luas pada berbagai aplikasi misalnya biokeramik, superkonduktor, katalis, refraktori, optik dan lain-lain (Reed, 1988).

Kelebihan keramik yaitu tahan terhadap korosi, tahan suhu tinggi, kuat, ringan, keras, tahan terhadap gesekan, densitas relatif rendah dan memiliki koefisien pemuaian yang kecil namun kekurangannya yaitu rapuh ( Astuti, et al., 1997).

## **2.2 Gerabah**

Keramik tradisional umumnya tersusun dari campuran lempung, kemudian dibentuk dengan berbagai cara, dibakar hingga matang, dan terakhir diberi lapisan glasir (McColm, 1983). Gerabah merupakan salah satu contoh dari keramik tradisional yang dapat diartikan sebagai alat penunjang kehidupan sehari-hari yang terbuat dari tanah liat dengan proses pembuatannya dengan dibakar dengan suhu

tinggi (Hasnani, 2013). Gerabah biasa dibuat dari tanah liat dicampur dengan bahan lain seperti pasir dan ball clay, dibakar dengan suhu 700°C - 900°C. Dalam pembentukan dan pembakaran gerabah memiliki struktur permukaan yang cukup kuat, namun masih berpori. Mempunyai kekuatan cukup kokoh setelah dibakar. Karena itu kemampuan absorpsi air lebih dari 10% (Pramita dan Lodra, 2017).

Keramik gerabah didaerah tertentu seperti Kalimantan disebut dengan tembikar. Tembikar difungsikan untuk perlengkapan sehari-hari, baik sebagai alat dapur, hiasan, permainan, alat produksi, dan alat alat pencaharian. Bukan itu saja, unsur-unsur bangunan pun dibuat dari bahan tanah liat dengan beragam bentuk, seperti genting, wuwungan atap, bata, saluran air dan bibir sumur (Seni Keramik, 2002). Keramik gerabah dan tembikar sebetulnya memiliki maksud yang sama, hanya asal bahasanya berbeda. Prinsip maknanya sama, yaitu bahan dari tanah liat yang dibakar. Benda-benda keras dari tanah liat sejak pertama ditemukan sudah dinamakan keramik, walaupun sifatnya masih sangat sederhana seperti halnya gerabah dewasa ini. Hal tersebut menunjukkan bahwa gerabah adalah salah satu bagian dari benda-benda keramik (Mudra, 2019). Menurut Razak (1981), gerabah dapat dibagi menjadi dua golongan besar, yaitu:

1. Dapat Menyerap Air

Terdiri dari golongan gerabah bersifat lunak (baik putih maupun merah) dan barang-barang untuk bahan bangunan. Golongan pada jenis ini terdiri dari bahan kaolin, tanah liat dan kwarsa dengan suhu pembakarannya antara 900°C dan 1.200°C.

## 2. Tidak Dapat Menyerap Air

Umumnya terdiri dari golongan porselen dan golongan gerabah keras dengan bahan baku dari tanah putih (kaolin) dicampur dengan kwarsa, batu kapur (lime stone) dan fespat kemudian dibakar sampai suhu 1400°C.

### 2.3 Tanah Liat

Tanah liat atau clay merupakan bahan utama pembuatan gerabah, sifatnya plastis dan mudah dibentuk saat basah. Pada dasarnya tanah liat mempunyai ciri-ciri yang tidak beraturan dan tidak memiliki sesuatu yang alami contohnya kayu dan batu.

Ukuran partikel tanah liat sangat kecil dan umumnya bergantung pada komposisi spesifik. Partikel-partikel utama tanah liat memiliki ukuran kurang dari satu mikrometer. Dengan ukuran yang kecil tersebut, tanah liat memiliki luas permukaan spesifik (luas permukaan per satuan massa) yang besar (Reeds, 1995).

Tanah liat dapat digunakan sebagai bahan untuk berbagai aplikasi seperti bangunan, tembikar, peralatan rumah tangga, tempat makan dan lain lain (Utomo, 2010).

Tanah liat atau clay terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat sebagian dibuat dengan aktivitas panas bumi (Hikmawan, 2020).

Komposisi yang dimiliki oleh *clay* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Kandungan senyawa yang dimiliki oleh tanah liat (Sumber: Hidayanti, 2019).

Senyawa	Persen (%)
SiO <sub>2</sub>	77,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,01
MgO	0,92
CaO	0,09
Na <sub>2</sub> O	1,69
K <sub>2</sub> O	2,39

Seperti mengubah tanah liat ada proses untuk menjadi keramik pembakaran pada suhu di atas 600°C. Tanah liat yang telah melewati suhu ini berubah menjadi

mineral yang keras dan tahan lama. Perubahan ini disebut perubahan keramik atau modifikasi keramik. Tanah liat yang di bakar dibawah suhu pembakaran 600°C tidak mempunyai kematangan yang baik walaupun telah mengalami perubahan menjadi keramik. Kematangan tanah liat dalam keadaan keramik suhu pematangan tercapai tanpa mengubah bentuknya. Ketika dibakar di bawah 800°C, mineral silika seperti mineral karbon dioksida juga berubah. Hal ini akibat dari membakar semuanya unsur karbon, disebut proses kalsinasi (Ahmad, 2018).

Menurut Gautama (2011), tanah liat yang telah dibakar dapat dikategorikan sesuai dengan densitas bakarnya antara lain:

1. Earthenware adalah tanah liat yang memiliki suhu bakar paling tinggi sekitar 900°C dan hasilnya disebut gerabah atau tembikar dan terakota (terracotta, latin), tembikar identik berupa wadah, pot dan perangkat makan. Sedangkan terakota adalah yang bukan pot yaitu berupa patung dan relief. Tanah ini biasanya berwarna kemerahan setelah dibakar. Jenis tanah ini biasanya tidak bergelasir dan tidak dapat menyimpan air dalam waktu yang lama, karena masih bisa menyerap air sekitar 10-15%.
2. Stoneware adalah tanah liat yang jenis pembakarannya bisa mencapai 1250°C, sehingga tidak mudah ditembus oleh air, penyerapannya sekitar 2-5%, apalagi kalau dilapisi gelasir, karena fungsi gelasir selain sebagai elemen dekorasi, juga untuk melapisi badan dari keramik itu sendiri. Jenis tanah liat stoneware inilah yang lebih banyak digunakan dalam dunia industri rumah tangga dan manufaktur.
3. Porselen sangat tidak plastis, tetapi paling keras dan daya serap airnya hanya 0-1%. Porselen berwarna putih dan bisa tembus cahaya jika tipis, tetapi semakin

diberi warna semakin berkurang daya tembus cahayanya dan temperaturnya adalah yang paling tinggi yaitu sekitar 1300°C. Bahan dasar porselen adalah kaolin, feldspar dan silica. Karena sangat tidak plastis, maka porselen paling sulit dibentuk dan hanya yang sudah sangat terampil bisa membuat benda-benda dengan teknik putar dari bahan ini.

## **2.4 Slag**

Pada penelitian yang dilakukan oleh Reza (2014), beliau menuliskan bahwa abu kerak boiler ini adalah abu yang telah mengalami proses penggilingan dari kerak pada proses pembakaran cangkang dan serat buah pada suhu 700-800°C pada dapur tungku boiler. Kerak boiler ini pada dasarnya adalah abu yang mengeras pada setiap dinding-dinding boiler akibat endapan-endapan abu yang terperangkap pada mesin siklon saat terjadinya pembakaran cangkang dan serat buah kelapa sawit pada tungku pembakaraan boiler.

Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit merupakan biomass dengan kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang potensial dimanfaatkan. Pembakaran cangkang dan serat buah menghasilkan kerak yang keras berwarna putih keabuan akibat pembakaran dengan suhu yang tinggi. Silika memiliki sifat non konduktor, memiliki ketahanan terhadap oksidasi dan degresi termal yang baik (Hildayati, et al., 2009). Kandungan kimia abu kerak boiler cangkang kelapa sawit ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Komposisi kimia abu kerak boiler cangkang kelapa sawit (Sumber: Hudan, 2012)

Kandungan	Persen (%)
SiO <sub>2</sub>	89,91
CaCO <sub>3</sub>	2,47
MgCO <sub>3</sub>	0,73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,195
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0012

Tingginya kandungan silika ini membuat abu kerak boiler ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan dalam campuran keramik gerabah. Pozzolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif.

Pemanfaatan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan suatu material merupakan pilihan yang baik dikarenakan pulau Sumatera dikenal sebagai penghasil sawit terbesar di Indonesia sehingga sangat mudah untuk mendapatkan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit karena banyaknya pabrik-pabrik pengolahan kelapa sawit yang tentunya menghasilkan limbah sisa dari hasil pembakaran kelapa sawit dan belum termanfaatkan secara maksimal. Kandungan silika yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan suatu material merupakan faktor terpenting dalam pemilihan bahan ini.

## 2.5 Air

Air merupakan bahan yang sangat penting dalam proses reaksi pengikatan material-material yang digunakan untuk pembuatan keramik gerabah. Penambahan air juga dapat dimaksudkan agar keramik gerabah mudah untuk dicetak. Tanah liat sebagai bahan dasar pembuatan keramik gerabah merupakan tanah yang membetuk massa lengket ketika dicampur dengan air. Dalam keadaan basah massa tersebut dapat

dibentuk, namun dalam keadaan kering massa tersebut menjadi keras, rapuh dan mempertahankan bentuknya (Reeds, 1995).

Menurut Pramono (2014), air yang berada di dalam tanah liat sebelum proses pembakaran masih terdapat berbagai jenis air antara lain:

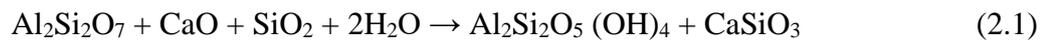
- a. Air suspense (campuran air dengan bahan dasar).
- b. Air antar partikel yang terjadi pada waktu melumatkan bahan dasar.
- c. Air pori antar partikel setelah pengkerutan.
- d. Air yang terabsorpsi secara kimiawi atau fisik partikel.

## **2.6 Reaksi Hidrolisis**

Reaksi yang terkait dengan ionisasi air dan reaksi air dengan kation disebut dengan reaksi hidrolisis (Ekberg & Brown, 2016). Reaksi hidrolisis umumnya terjadi pada sebagian besar kation. Hal tersebut karena sebagian besar atom logam membentuk ikatan yang kuat dengan oksigen dan ligan  $\text{OH}^-$  terdapat dalam air dengan konsentrasi yang bervariasi dengan rentang  $>1$  sampai  $<10^{-14}$  m sebagai hasil dari konstanta disosiasi air yang kecil (Baes & Mesmer, 1976).

Hidrolisis dikenal sebagai reaksi penguraian zat dalam reaksi kimia yang melibatkan air dalam prosesnya. Reaksi kimia dalam proses hidrolisis yaitu memecah molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi kation hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan anion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ). Ketika tanah liat yang dicampur air dan slag dibakar, terjadi serangkaian reaksi kimia yang mengubah bahan mentah menjadi keramik yang padat dan keras. Reaksi utama melibatkan dehidrasi mineral tanah liat, pembentukan mullit, dan sintering yang diperkuat oleh kehadiran slag. Proses ini mengubah bahan mentah menjadi produk akhir yang memiliki kekuatan dan ketahanan tinggi.

Berikut adalah beberapa rumus kimia dari komponen utama keramik gerabah:



$$\Delta G = 330 \text{ kJ/mol}$$

Saat dalam larutan air akan terurai menjadi kation hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan anion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) yang kemudian bereaksi dengan ion senyawa lain sehingga berlebihan kation hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan anion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) yang menyebabkan larutan bersifat asam ataupun basa. Jika ion-ion air tidak bereaksi dengan senyawa pada larutan tertentu maka larutan akan tetap bersifat netral.

## 2.7 Sintering

Proses sintering adalah proses pemadatan material serbuk dengan cara membentuk ikatan batas butir antar serbuk penyusutannya. Ikatan antar butir terjadi akibat pemanasan dengan atau tanpa penekanan dan temperature sintering yang diatur di bawah temperatur leleh dari partikel penyusunnya. Menurut German (1994), pada proses sintering, benda padat terjadi karena terbentuknya ikatan-ikatan antar partikel. Pemanasan menyebabkan bersatunya patikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat. Hal tersebut menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan serbuk bertambah. Selama proses sintering terbentuklah batas-batas butir yang merupakan tahap permulaan rekristalisasi. Selanjutnya terdapat gas yang menguap dan temperatur sinterinf umumnya dibawah titik cair unsur serbuk. Pada proses sintering akan terjadi perubahan dimensi, baik berupa pengembangan maupun penyusutan tergantung pada bentuk dan distribusi

ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, prosedur sintering dan tekanan pemampatan.

Suvaci (2008) menyatakan bahwa ada beberapa variabel yang mempengaruhi mikrostruktur dan sintering yaitu variabel material dan variabel proses. Variabel material meliputi serbuk (bentuk, ukuran, distribusi ukuran, aglomerasi, campuran bahan) dan *chemistry* (komposisi, impuritas, non-stokiometri, homogenitas). Variabel proses meliputi temperature, waktu, tekanan, atmosfer, heating dan *cooling rate*. Pada dasarnya, proses sintering dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu, *solid state sintering* dan *liquid state sintering*.

Mekanisme sintering dimulai dengan adanya kontak antara butir yang dilanjutkan dengan pelebaran titik kontak akibat proses difusi atom-atom. Umumnya, perubahan yang terjadi pada proses sintering berlangsung dibagi menjadi tiga tahapan yang ditandai dengan peningkatan temperatur sintering dan densifikasi material.

1. Tahap awal yaitu terjadinya penyusutan kembali partikel. Porositas pada tahap ini tidak banyak berkurang, begitu pula penyusutan tidak banyak terjadi.
2. Tahap pertengahan, pertumbuhan terus berlanjut yang diikuti dengan pertumbuhan butir dan pertumbuhan pori. Perubahan fisik yang terjadi meliputi pertumbuhan ukuran leher antar partikel, porositas menurun atau berkurang, pusat partikel bergerak semakin dekat secara bersama-sama. Pada tahap ini masih terdapat banyak pori meskipun bentuknya telah berubah.

3. Tahap akhir, pada tahap ini ditandai dengan hilangnya struktur pori dan munculnya batas butir. tahap ini batas butir bergerak dan terjadi pembesaran ukuran butir sampai kanal-kanal pori tertutup dan terjadi penyusutan.

## 2.8 Pengujian dan Karakterisasi

Pengujian dan karakterisasi pada produk keramik gerabah meliputi:

### 1. Kuat Tekan

Kuat tekan adalah sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan untuk menerima gaya tekanan per satuan luas. Untuk standar pengujian kuat tekan digunakan ASTM C39/C 39M-04a (Swardika, et al., 2019). Nilai kuat tekan diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji kubus yang dibebani dengan gaya tekan sampai maksimum menggunakan rumus pada Persamaan (2.1).

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

dengan  $P$  adalah kuat tekan (MPa),  $F$  adalah gaya tekan maksimum (N), dan  $A$  adalah luas penampang ( $\text{mm}^2$ ).

### 2. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai persentase volume pori terhadap volume total suatu material. Porositas merupakan parameter untuk menentukan besar jumlah pori-pori yang terkandung didalam sampel (Sagel, 1997). Porositas ditentukan oleh jenis bahan, kehalusan bahan, kepadatan dinding bahan dan suhu bakar (Astuti, 1997). Porositas merupakan salah satu karakteristik fisis yang diperlukan terutama untuk mengkarakterisasi bahan padatan hasil proses maupun yang akan diproses kembali.

Porositas menggambarkan besar kecilnya kekuatan material dalam menopang suatu konstruksi. Semakin rendah porositas semakin sedikit pori-pori yang terhubung, sehingga kekuatannya semakin tinggi dan daya serap air semakin kecil (Zhang, et al., 2011). Untuk standar pengujian porositas digunakan ASTM-C 642-06 dan nilai porositas dapat dihitung dengan Persamaan (2.2).

$$P = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad (2.3)$$

dengan  $P$  adalah nilai porositas (%),  $W_1$  adalah massa kering (g),  $W_2$  adalah massa setelah direndam (g),  $W_3$  adalah massa dalam air (g).

### 3. Absorpsi

Absorpsi dilakukan untuk mengetahui besarnya penyerapan air yang terdapat pada suatu material. Besar kecilnya penyerapan air oleh suatu material dipengaruhi oleh pori atau rongga yang terdapat pada material tersebut. Semakin banyak pori pada material maka semakin besar absorpsinya, sehingga ketahanan dari material tersebut akan semakin berkurang (Maryoto, 2009). Absorpsi berpengaruh terhadap nilai kuat tekan suatu material. Untuk standar pengujian absorpsi digunakan ASTM-C 642-06 dan nilai absorpsi dapat dihitung dengan Persamaan (2.3).

$$A = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (2.4)$$

dengan  $A$  adalah nilai absorpsi (%),  $W_1$  adalah massa kering (g),  $W_2$  adalah massa setelah direndam (g).

#### 4. Massa Jenis

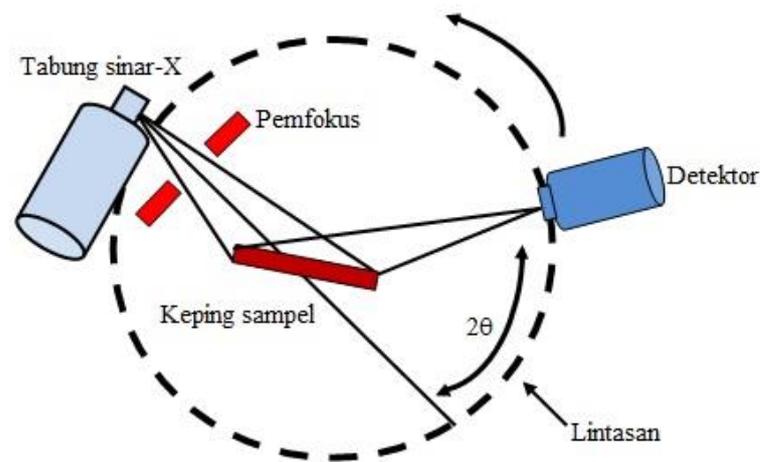
Massa jenis merupakan pengukuran massa sebuah bahan yang dibagi dengan setiap satuan volume (Laoli, et al., 2013). Massa jenis disebut juga dengan kerapatan (*density*) (Hasanah, et al., 2021). Jika suatu material mempunyai nilai densitas yang besar maka molekul penyusunnya semakin rapat (Giancoli, 2005). Untuk standar pengujian massa jenis digunakan ASTM-C 642-06 dan nilai massa jenis dapat dihitung dengan Persamaan (2.4).

$$\rho = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \times \rho_{air} \quad (2.5)$$

dengan  $\rho$  adalah massa jenis,  $W_1$  adalah massa kering (g),  $W_2$  adalah massa setelah direndam (g),  $W_3$  adalah massa dalam air (g).

#### 5. X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction* (XRD) adalah sebuah alat yang digunakan untuk memeriksa struktur kristal dari suatu bahan, dengan metode analisis data untuk mengetahui jenis dan sifat mineral tertentu agar terlihat pola difraksi mineral yang dihasilkan (Oktamulianti, et al., 2015). Sinar-X adalah bentuk radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi dan panjang gelombang pendek pada urutan jarak atom untuk padatan. Ketika seberkas sinar-x menimpa material padat, sebagian dari berkas ini akan tersebar ke segala arah oleh elektron yang terkait dengan setiap atom atau ion yang terletak di dalam jalur berkas (Callister, 2007). Skema alat *X-ray diffraction* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Skema alat *X-ray diffraction* (Cullity, 1992)

Apabila sinar-X mengenai suatu material maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan akan lebih kecil 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 (Sumantry, 2013).

Prinsip kerja analisis XRD adalah ketika Sinar-X tersebut menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas Sinar-X yang didifraksikan oleh sampel (Beiser, 1963). Hamburan yang terdifraksi inilah yang akan dideteksi oleh XRD. Proses terjadinya pembelokkan sinar-X pada hukum Bragg didasarkan pada atom-atom suatu bahan yang didifraksikan pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan sudut ( $2\theta$ ). Jika sinar datang mengenai bidang yang tersusun secara paralel dan berjarak  $d$  satu sama lain maka terdapat kemungkinan bahwa sinar-sinar datang akan dipantulkan kembali oleh

bidang dan saling berinterferensi secara konstruktif sehingga 20 menyebabkan terjadinya difraksi. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2.1. Hukum Bragg yang dituliskan secara matematis pada Persamaan (2.5)

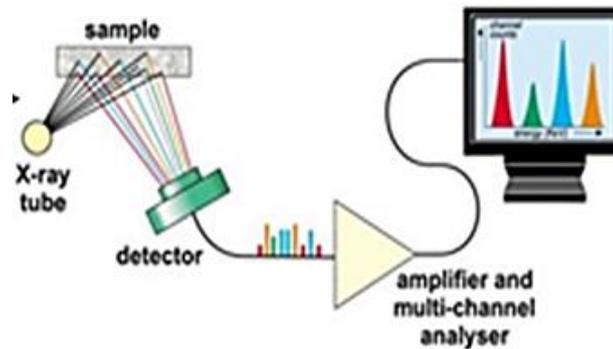
$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (2.6)$$

dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi (m),  $d$  adalah jarak antar bidang atomik (m), dan  $\theta$  adalah sudut hamburan (Kvick, 2017).

Adapun software yang digunakan dalam analisis hasil XRD yaitu menggunakan aplikasi *High Score Plus* (HSP) (Oktamuliani, et al., 2015).

## 6. *X-Ray Fluorescence* (XRF)

*X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah alat uji yang digunakan untuk menganalisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-X karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jenkins, 1999). Skema alat *X-ray fluorescence* ditampilkan pada Gambar 2.2.



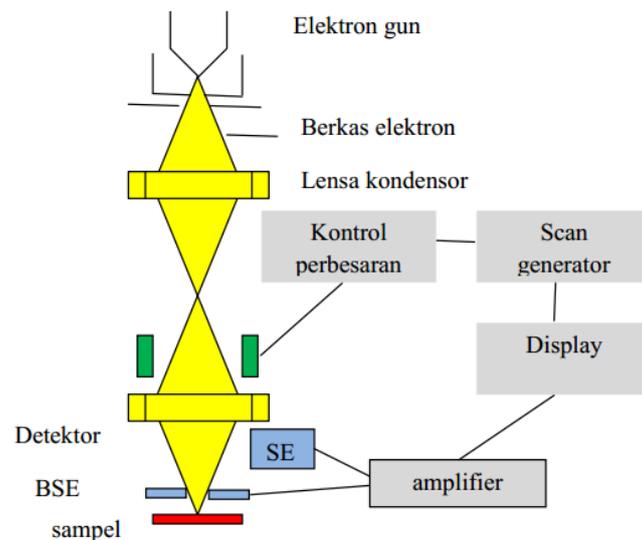
**Gambar 2.2.** Skema alat *X-ray fluorescence* (Beckhoff dkk, 2006)

Prinsip kerja XRF yakni apabila terjadi eksitasi sinar-X primer berasal dari tabung X-ray atau sumber radioaktif mengenai sampel, sinar-X dapat dihamburkan oleh material. Radiasi emisi dari sampel yang terkena sinar-X akan langsung ditangkap oleh detektor (Gieken dan Markowicz, 2002). Detektor menangkap foton-foton tersebut akan dikonversikan menjadi impuls elektrik. Impuls kemudian akan diproses dengan sinyal PC. Kemudian akan diteruskan ke spektrometri sinar-X. spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan (Munasir, et al., 2012).

#### 7. *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*

SEM (Scanning Electron Microscope) merupakan metode karakterisasi material yang umum digunakan untuk mengkaji morfologi permukaan material nano dan ukuran butir (Mursal, 2018). Mikroskop elektron pemindaian (SEM) dapat melihat batas butir, distribusi, batas fasa, bukti deformasi mekanis, dan komposisi kimia

pada perbesaran 200.000 kali dan ketebalan mulai dari 200 nm hingga 0,5  $\mu\text{m}$ . Temuan karakterisasi partikel menggunakan SEM akan mengungkapkan morfologi permukaan partikel (Mursal, 2016). Secara sederhana, prinsip kerja SEM hampir sama dengan mikroskop optik (MO), hanya saja SEM memiliki resolusi dan kedalaman fokus yang sangat tinggi dibandingkan dengan mikroskop optik, sehingga tekstur, morfologi, topografi serta tampilan permukaan sampel dapat dilihat dalam ukuran mikron. Cara kerja alat SEM ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Skema alat SEM (Sharma dkk., 1999).

Cara kerja SEM yaitu sumber elektron yang berasal dari filamen katoda ditembakkan menuju sampel. Berkas elektron tersebut kemudian difokuskan oleh lensa magnetik sebelum sampai pada permukaan sampel. Lensa magnetik memiliki lensa kondensor yang berfungsi memfokuskan sinar elektron. Berkas elektron kemudian menghasilkan *Backscattered Electron* (BSE) dan *Secondary Electron*

(SE) menuju sampel, dimana SE akan terhubung dengan amplifier yang kemudian dihasilkan pada gambar monitor (Smith, 1990).

Perbesaran gambar dan resolusi SEM yang tinggi dipengaruhi oleh besarnya energi elektron yang diberikan (Pahlepi, 2013). Sehingga dapat dilihat bahwa semakin besar panjang gelombang, maka resolusinya semakin baik (Gabriel, 1985).

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 27 Mei 2023 sampai dengan 27 Juni 2023 di Laboratorium Non-Logam, Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN yang bertempat di Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

##### **3.2.1 Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital, *beaker glass* ukuran 100 ml, cetakan kubus  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ , baskom, sarung tangan, pemadat besi, *Electric Furnance*, mesin uji kuat tekan merk *universal testing machines* (UTM) *made in Thailand Type HT-2402 capacity 50 kN*, *X-Ray Fluorescence* (XRF) *PanAnalytical Type minipal 4*, *X-Ray Diffraction* (XRD) *PanAnalytical type expertpro* dan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) Quattro S.

##### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah liat berasal dari Desa Serdang Kecamatan Tanjung Bintang Lampung Selatan sedangkan *slag* berasal dari PRTP BRIN Tanjung Bintang , dan air.

### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari preparasi bahan, pembuatan keramik gerabah, pengujian keramik gerabah dan karakterisasi (XRD, XRF dan SEM-EDS).

#### 3.3.1 Preparasi Bahan

Proses preparasi sampel dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Tanah liat digiling menggunakan *ball mill* selama 8 jam, kemudian diayak dengan ukuran lolos 100 *mesh*. Setelah itu tanah liat ditimbang sebesar 75% dari berat total bahan yaitu 1 kg.
2. *Slag* digiling menggunakan *ball mill* selama 8 jam, kemudian diayak diayak dengan ukuran lolos 100 *mesh*. Setelah itu *slag* ditimbang sebesar 25% dari berat total bahan yaitu 1 kg.

**Tabel 3.1.** Komposisi bahan dalam pembuatan keramik gerabah

Kode Sampel	Komposisi Bahan (g)			Variasi Suhu (°C)	Keterangan
	Tanah Liat	Slag Boiler	Air (ml)		
700 A1	750	250	100	700	Dengan tekanan
800 A1	750	250	100	800	Dengan tekanan
900 A1	750	250	100	900	Dengan tekanan

2. Tanah liat ditimbang sebesar 75% dan *slag* sebesar 25% dengan total bahan sebesar 1 kg.
3. Bahan dicampur sesuai komposisi dengan pengadukan selama  $\pm 15$  menit menggunakan mixer.
4. Air ditambahkan ke dalam campuran bahan secara bertahap.
5. Setelah campuran bahan teraduk secara merata, bahan dimasukkan ke dalam alat cetakan berukuran  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ .
6. Sampel didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang, kemudian dikeluarkan dari cetakan.
7. Kemudian sampel dioven dengan suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 5 jam.
8. Selanjutnya sampel di *sintering* menggunakan *furnace* dengan suhu  $700^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$  dan  $900^\circ\text{C}$  lalu ditahan selama 3 jam.
9. Kemudian didiamkan pada suhu ruang hingga dingin.

### 3.3.4 Pengujian Fisis dan Mekanis Keramik Gerabah

Proses pelaksanaan pengujian sampel dalam penelitian ini sebagai berikut:

#### 1. Kuat Tekan

Prosedur pengujian kuat tekan sebagai berikut:

- a. Keramik gerabah diletakkan pada mesin uji kuat tekan.
- b. Beban tekan maksimum yang bisa diterima oleh benda uji (F) dicatat apabila pada saat uji kuat tekan keramik gerabah sudah hancur.
- c. Kuat tekan dihitung dengan Persamaan 2.1

#### 2. Pengujian massa jenis, porositas dan absorptivitas

Langkah-langkah pengujian massa jenis, porositas dan absorptivitas adalah:

- a. Massa keramik gerabah dalam keadaan kering ditimbang menggunakan

700 A2	750	250	100	700	Tanpa tekanan
800 A2	750	250	100	800	Tanpa tekanan
900 A2	750	250	100	900	Tanpa tekanan

---

Untuk memudahkan penyajian data, sampel dengan kode 700 A1, 800 A1 dan 900 A1 menunjukkan sampel keramik gerabah dengan pemanasan pada suhu 700°C, 800°C dan 900°C dan ditekan menggunakan mesin press sedangkan sampel dengan kode 700 A2, 800 A2 dan 900 A2 menunjukkan sampel keramik gerabah dengan pemanasan pada suhu 700°C, 800°C dan 900°C tanpa ditekan menggunakan mesin press.

### 3.3.2 Karakterisasi Bahan

#### 1) Tanah Liat

Tanah liat diayak dengan ukuran lolos 325 *mesh*, kemudian dikarakterisasi menggunakan alat karakterisasi yaitu XRF.

#### 2) *Slag*

*Slag* diayak dengan ukuran lolos 325 *mesh*, kemudian dikarakterisasi menggunakan alat karakterisasi yaitu XRF.

### 3.3.3 Pembuatan Sampel Keramik Gerabah

Proses pembuatan keramik gerabah dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Bahan baku keramik gerabah disiapkan yang terdiri dari tanah liat, *slag* dan air.

timbangan digital ( $W_1$ ), kemudian dicatat.

- b. Keramik gerabah direndam didalam air selama 24 jam, tujuannya agar permukaan benar-benar basah.
- c. Sisi permukaan keramik gerabah yang berisi air diusap menggunakan kain lap, kemudian ditimbang pada timbangan digital untuk dicatat massa keramik gerabah setelah direndam dalam air ( $W_2$ ).
- d. Keramik gerabah ditimbang kembali dalam keadaan digantung dalam air ( $W_3$ ). dan menghitung porositas, absorpsi dan densitas.

### **3.3.5 Karakterisasi Keramik Gerabah**

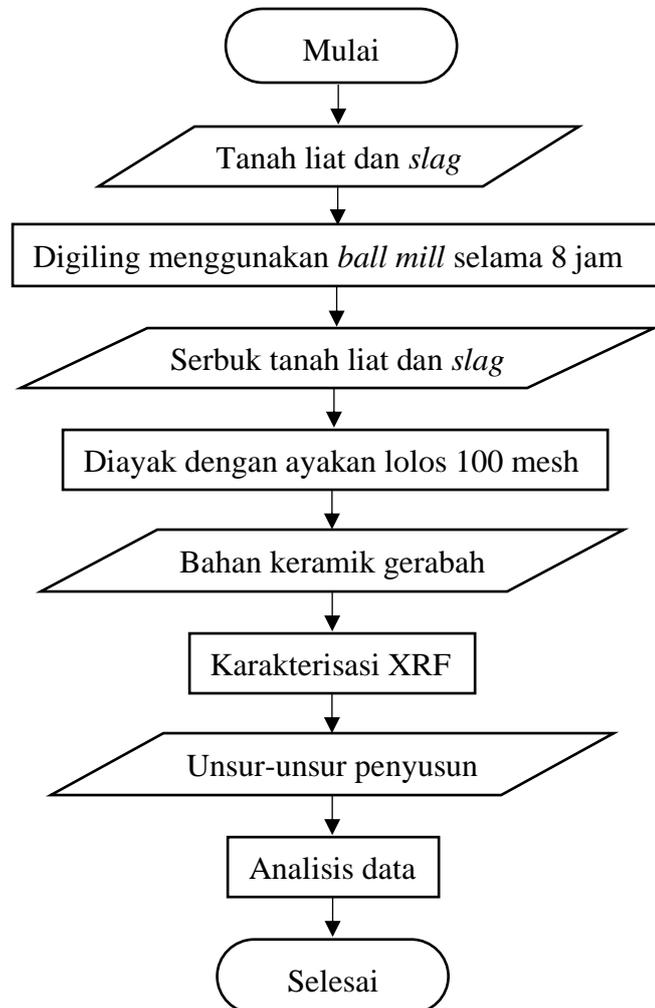
Proses karakterisasi keramik gerabah dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Keramik gerabah yang telah dilakukan pengujian fisis dan mekanis dihaluskan menggunakan mortar.
2. Keramik gerabah yang telah halus, diayak menggunakan ayakan ukuran lolos 325 mesh.
3. Ditimbang sebanyak 5 g.
4. Selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD, XRF dan SEM-EDS.

### 3.4 Diagram Alir

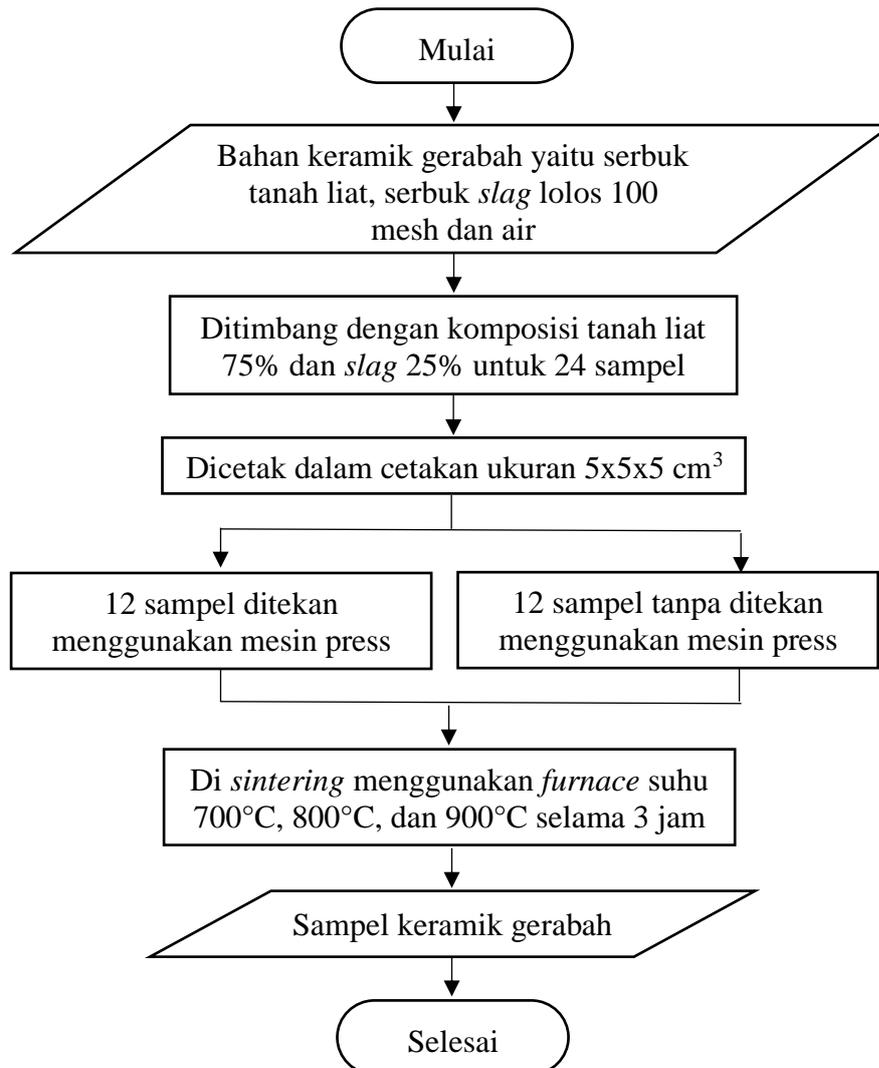
Secara garis besar, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini disajikan dalam diagram alir berikut.

#### 3.4.1 Diagram Alir Preparasi Bahan



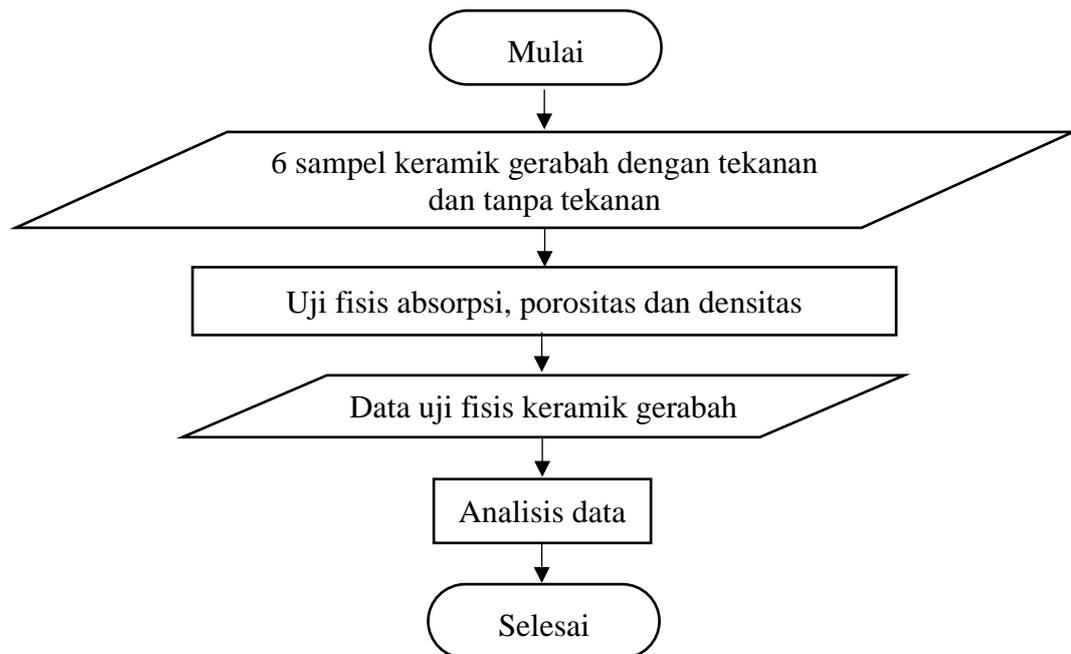
**Gambar 3.1** Diagram alir preparasi sampel.

### 3.4.2 Diagram Alir Pembuatan Sampel Keramik Gerabah



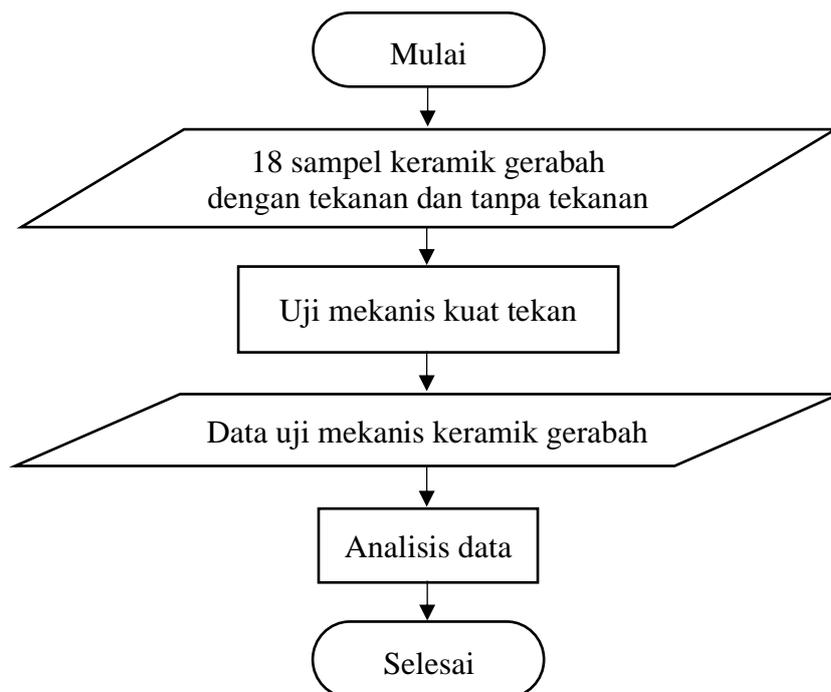
**Gambar 3.2** Diagram alir pembuatan sampel keramik gerabah

### 3.4.3 Diagram Alir Uji Fisis Keramik Gerabah



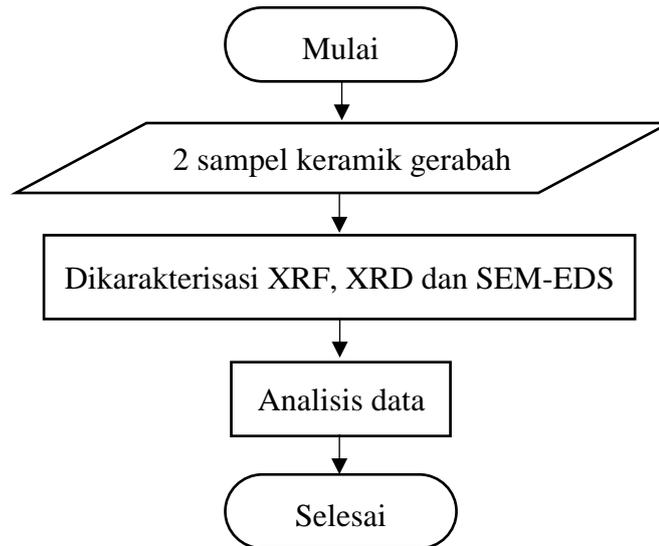
**Gambar 3.3** Diagram alir uji fisis keramik gerabah

### 3.4.4 Diagram Alir Uji Mekanis Keramik Gerabah



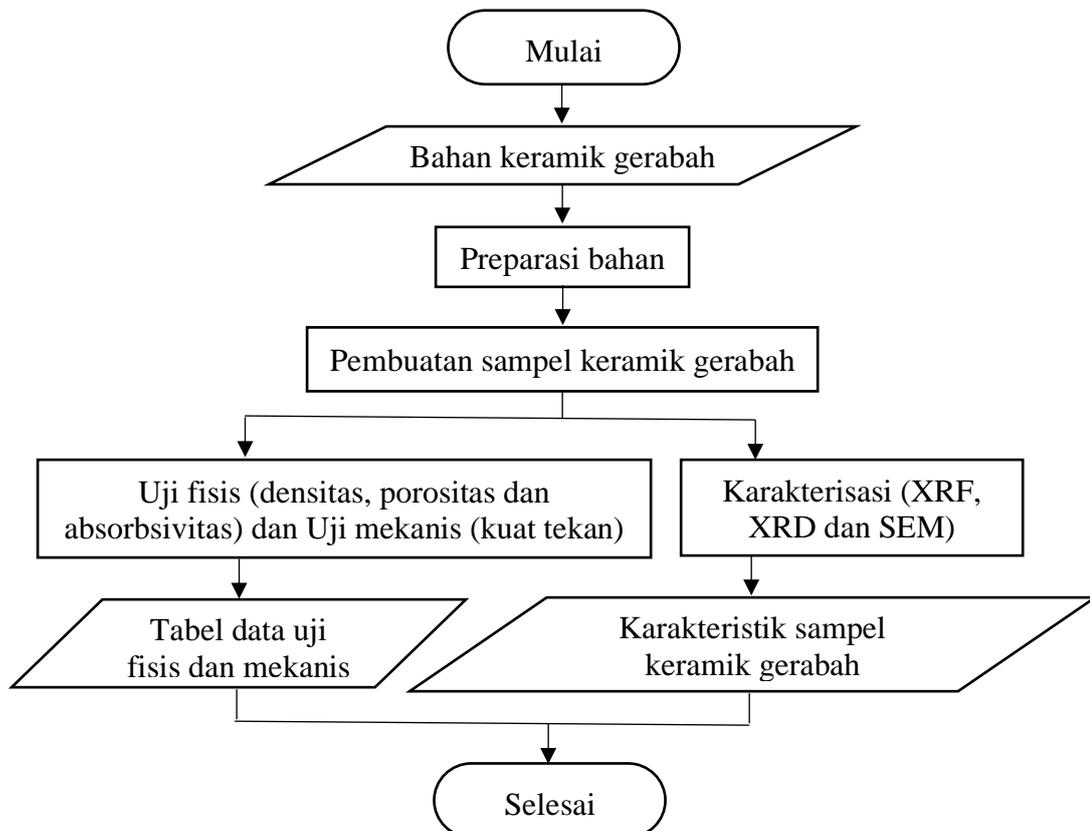
**Gambar 3.4** Diagram alir uji mekanis keramik gerabah

### 3.4.5 Diagram Alir Karakterisasi Keramik Gerabah



**Gambar 3.5** Diagram alir karakterisasi keramik gerabah

### 3.4.6 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.6** Diagram alir penelitian

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi suhu sintering mempengaruhi hasil kuat tekan pada keramik gerabah yang diperoleh hasil terbaik yaitu sampel pada suhu 900°C dengan tekanan yaitu sebesar 20,16 Mpa. Variasi suhu sintering juga mempengaruhi sifat fisis pada keramik gerabah, penambahan suhu menurunkan nilai absorptivitas dengan hasil terbaik pada suhu 900°C dengan tekanan yaitu sebesar 9,5% dan 16,55% tanpa tekanan dan juga menurunkan nilai porositas dengan hasil terbaik pada suhu 900°C dengan tekanan yaitu sebesar 20,44% dan 27% tanpa tekanan. Serta berbanding terbalik dengan kenaikan densitas dengan hasil terbaik pada suhu 900 °C dengan tekanan yaitu sebesar 2,15 g/cm<sup>3</sup> dan 1,63 g/cm<sup>3</sup> tanpa tekanan.
2. Hasil karakterisasi XRF pada sampel keramik gerabah menunjukkan bahwa senyawa yang paling dominan yaitu SiO<sub>2</sub> sebesar 66,906% pada kode sampel 900 A1 dan 53,781% pada kode sampel 900 A2. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan fasa tertinggi keramik gerabah pada sampel 900 A1 dan 900 A2 adalah fasa *Silicon Oxide* (SiO<sub>2</sub>) yang mengindikasikan bahwa keramik gerabah memiliki senyawa SiO<sub>2</sub> yang banyak.

3. Hasil karakterisasi SEM-EDS pada sampel 900 A1 dan 900 A2 menunjukkan hadirnya penyebaran unsur C, O, Al, Si, Ca, Fe dan Mg dengan unsur yang dominan Si dan Al. Dengan hasil sebesar 3,61% dan 2,23% pada sampel 900 A1 dan 2,93% dan 2,43% pada sampel 900 A2 .
4. *Slag boiler* dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembentukan keramik gerabah dikarenakan dapat menghasilkan kualitas keramik gerabah yang cukup baik dengan menurunkan nilai porositas dan absorptivitas, semakin kecil pori yang terdapat pada keramik gerabah maka akan semakin kecil pula penyerapan air pada keramik gerabah sehingga menghasilkan nilai kuat tekan yang tinggi.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Menggunakan bahan baku *slag boiler* dengan kualitas yang lebih baik lagi dengan memvariasikan komposisi dan suhu pemanasan yang berbeda agar memperoleh sifat fisis dan mekanis yang lebih sesuai.
2. Menggunakan suhu *sintering* diatas 900 °C agar *slag boiler* dapat melebur secara sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmat, Ferlyc. 2018. *Kajian Bahan Dasar (Lempung) Terhadap Karakteristik Mekanik Batu Bata Yang Dihasilkan dan Kesesuaian Fungsi Berdasarkan Diagram Winkler*. Universitas Brawijaya.
- Astuti, A. 1997. *Pengetahuan Keramik*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Baes, C. F. dan Mesmer R. E. 1976. *The Hydrolysis of Cations*. A Wiley-Interscience Publication. London, Sydney. Toronto.
- Bakri, A. M. M. A., Kareem, O. A. K. A. A., dan Myint, S. 2011. Study on the Effect of the Alkaline Activators Ratio in Preparation of Fly Ash-Based Geopolymer. *Ipcbee*. Vol. 10. Hal. 13–17
- Barsoum, M. 1997. *Fundamentals of Ceramics*. McGraw-Hill International.
- Beckhoff, B., Kanngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H. 2006. *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Springer, New York.
- Beiser, A. 1963. *Konsep Fisika Modern*. Erlangga. Jakarta.
- Budiyanto, B., dkk. 2004. *Kriya Keramik*. Yogyakarta : Departemen Pendidikan Nasional.
- Callister, William. 2007. *Materials Science and Engineering*. John Wiley dan Sons, Inc. United States of America.
- Cullity, B. D. 1992. *Elements of X-Ray Diffraction*. Departement of Metallurgical. Jakarta.
- Dewi, M. E. 2018. Pengaruh Penambahan Material *Feldspar* Terhadap Kualitas Keramik Gerabah. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Ekberg, C. & Brown, P. L. 2016. *Hydrolysis of Mteal Ions*. The Deutsche Nationalbiblioyhek. Australia.
- Gabriel, B. L. 1985. *SEM: A User Manual Of Material Science*. American Society For Metal. New York. Pp. 37- 44.

- Gautama, Nia. 2011. *Keramik Untuk Hobi Dan Karir*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Giancoli, D. C. 2005. *Physics Principles With Applications*. 6 Ed. Pearson New Jersey.
- Hardiati, E. S., dkk. 2000. *3000 Tahun Terakotta Indonesia, Jejak Tanah dan Api*, Jakarta, Museum Nasional Indonesia
- Haryanti, N. H., dan Manik, T. N. 2016. Pengaruh suhu sintering terhadap sifat mekanik keramik berbahan lempung dan abu sekam padi. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 13(1), 1-10.
- Hidayanti, Nurul. 2019. Karakterisasi Bahan Baku Dan Keramik Tradisional Dengan XRD, SEM EDX. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara.
- Hikmawan, Oksya. 2020. Pengaruh Penambahan Tanah Liat Pada Pemisahan Inti Dan Cangkang Sawit. *Jurnal Teknik dan Teknologi*. Vol. 15. No. 30.
- Hildayati, T., Heny. F., dan Sudirman. 2009. Sintesis dan Karakteristik Bahan Komposit Karet Alam Silika. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Hudan, M. F. 2012. Abu Boiler sebagai Bahan Pengganti Semen dalam Campuran Beton dan Perbandingannya dengan Beton Normal. *Repository Institusi*. Universitas Sumatera Utara
- Indiani, E., dan Umiati, N. A. K. 2009. Keramik porselen berbasis *feldspar* sebagai bahan isolator listrik. *Telkomnika*. Vol. 7. No. 2. Hal. 83-92.
- Irawati, N., Putri, T. N., dan Herryandie, A. B. A. 2015. Strategi perencanaan jumlah material tambahan dalam memproduksi semen dengan pendekatan taguchi untuk meminimalkan biaya produksi (study kasus PT semen padang). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. Vol. 14. No. 1. Hal. 176-191.
- Isnaini, S. K., dan Lodra, I. N. 2016. Bentuk, Teknik, dan Fungsi Ragam Hias Keramik Pada Coco Karunia Keramik Probolinggo. *Jurnal Pendidikan Seni Rupa*. Vol. 4. No. 1. Hal. 136-139.
- Jenkins, R. 1999. *X-Ray Flourescence Spectrometry, Second Edition*. John wiley and son, Inc. New York. Hal. 75-85.
- Kiswanto, H., "Optimasi Sifat-Sifat Mekanik Genteng Press dengan Bahan Aditif Silika dan Dolomite", Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Univeritas Negeri Semarang, 2011
- Kvick, A. 2017. X-ray diffraction, materials science applications. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry*, Third Edition. Pp. 648-655.

- Laoli, M. E., Kaseke, O. H., Manopo, M. R. E., dan Jansen, F. 2013. Kajian penyebab perbedaan nilai berat maksimum campuran beraspal panas yang dihitung berdasarkan metode marshall dengan yang dicari langsung berdasarkan T209. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 1. No. 2. Hal. 128-132.
- Maryoto, Agus. 2009. Penurunan Nilai Absorpsi dan Abrasi Beton dengan Penambahan Calcium stearate dan Fly Ash. *Media Teknik Sipil*. Vol. 9. Pp. 1412-1976.
- McColm, I. J. 1983. *Ceramic Science for Materials Technologies*. Leonard Hill, New York.
- Mencik, J., "Strength and Fracture of Glass and Ceramics" Elsevier, Czechoslovakia, 1992.
- Mirna., Iqbal, H., dan Kasman. 2017. *Analisis Sifat-Sifat Keramik Berbahan Tambahan Abu Ampas Tebu dan Abu Sekam Padi*. Vol. 16. No. 2.
- Mudra, I Wayan. 2019. *Gerabah Bali*. Surabaya: Media Sahabat Cendekia.
- Munasir, T., Zainuri, M., dan Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF Pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas ( $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$ ). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. ISSN: 2087-9946. Vol. 2. No. 1. Hal. 20-29.
- Mursal, I. L. P. 2016. Pengaruh Penambahan Asam Borat ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) Terhadap Hasil Karakterisasi Nanokristal  $\text{TiO}_2$ . *Pharma Xplore: Jurnal Sains dan Ilmu Farmasi*, 1(2).
- Mursal, I. L. P. 2018. Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore: Jurnal Sains dan Ilmu Farmasi*, 3(2).
- Nasrun, M., dan Sujianto, S. (2020). Pembuatan dan pengujian sifat fisis dan sifat mekanik keramik alumina sebagai komponen mekanik. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(2), 249-254.
- Oktamuliani, S., Samsidar, M. Z., dan Nehru. 2015. Identifikasi mineral pada batuan granit di geopark merangin provinsi jambi menggunakan x-ray diffraction (XRD) dan scanning elektron microscopy. *Journal of Physics*. Vol. 1. No. 1. Hal. 56-64.
- Pahlepi, R. 2013. Pengaruh penambahan komposisi MgO pada  $\text{SiO}_2$  terhadap karakteristik komposit MgO- $\text{SiO}_2$  berbasis silika sekam padi. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Pramita, W., dan Lodra, I. N. 2017. Uji Cobs Glasir Timah Pada Gerabah Kecamatan Long Ikis Kabupaten Paser. *Jurnal Pendidikan Seni Rupa*. Vol. 5. No. 2. Hal. 202-210.

- Pramono, S. A. 2014. Sampah sebagai bahan baku pembuatan batu bata. *Prosiding Semnas Entrepreneurship*. Hal. 275-294.
- Pratiwi, D., Daulay, A. H., dan Jumiati, E. 2022. Analisis uji fisis keramik berpori berbahan clay dan kulit kakao. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika Universitas Negeri Medan*. Vol. 8 No. 4.
- Puspitasari, Delvita. 2013. Analisis Sifat Mekanik dan Foto Mikroskopis Keramik Berbahan Dasar Lempung Bersisik (*Scaly Clay*) Formasi Karangsembung Kebumen. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Raharjo, Timbul. 2009. *Historisitas Desa Gerabah Kasongan Yogyakarta: Program Pascasarjana ISI*. Yogyakarta.
- Rangkuti, Nurhadi. 2008. *Buku Paduan Analisis Keramik*. Jakarta, Pusat penelitian dan Pengembangan Arkeologi Nasional
- Razak, R. A. 1981. *Industri Keramik*. Balai Pustaka
- Reed, J. S. 1988. *Introduction to the Principle of Ceramic Processing*. John Wiley & Sons, New York.
- Reed, J. S. 1995. *Principles of Ceramic Processing*. New York State College of Ceramics, Alfred University.
- Reza, M., Tarigan, J., dan Karolina, R. 2014. Pengaruh Limbah Abu Boiler dan Fly Ash Sebagai Bahan pengganti semen dalam Campuran Semen. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Sumatera Utara.
- Rifai, M., dan Hartono, S. B. 2016. Pengaruh Proses Sintering Pada aTemperatur 800°C Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Bending Pada Produk Gerabah. *TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 16. No. 2.
- Sagel, R. 1997. *Pedoman Pengerjaan Beton*. Erlangga. Jakarta.
- Saukani, M., dan Febrianti, R. 2016. Analisa komposisi fasa lempung kalimantan selatan berdasarkan data difraksi sinar x. *Jurnal Fisika FLUX*. Vol. 13. No. 2.
- Sazali, D. (2011). Pengaruh Komposisi Bahan Produk Gerabah Terhadap Sifat Mekanis.
- Sharma, H. S. S., McCall, D., dan Kernaghan, K. 1999. Scanning Electron Microscopy, X-ray Microanalysis, and Thermogravimetric Assessment of Linen Fabrics Treated with Crease-Resisting Compound.
- SII 0021-1978, Mutu dan Uji Bata Merah Pejal, Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan, Bandung.

- Sinaga, S., dan Asmi. 2015. Pengaruh Suhu Pembakaran Terhadap Karakteristik Keramik Silika Daun Bambu Hasil Leachng Asam Sitrat dan Suhu Pembakaran 500°C-700°C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 3. No. 1.
- Smith, J. F. 1990. *Principles of Materials Science and Engineering. Second Edition*. Mc Grawhill Book Co. New York.
- SNI 03-0106-1897, Mutu dan Uji Ubin Lantai Keramik.
- Sumantry, T. 2013. Aplikasi XRF untuk Identifikasi Lempung pada Kegiatan Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII*. Pp. 279-282.
- Suseno, H., Prastumi., Susanti, L., dan Setyowulan, D. 2012. Pengaruh penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran bata terhadap kuat tekan bata. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 6. No. 3. Hal. 272-281. ISSN 1978-5658.
- Suprapedi, Muljadi, & Sardjono, P. (2018). The characterization of ceramic alumina prepared by using additive glass beads. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 299, pp. 012043.
- Swardika, D. P., Herlina, L., Laely, A., dan Kardin, F. 2019. Pengaruh Rasio Larutan Alkali Aktifator Berbasis Fly Ash Ex PLTU Suralaya Banten. *Prosiding Seminar Intelektual Muda, September*. Vol. 2. No.1. Hal. 314-319.
- Utomo, A. 2010. *Pengetahuan Teknologi Bahan Keramik*. Denpasar, ISI Denpasar
- Zhang, H. 2011. *Building Materials in Civil Engineering*. Woodhead Publishing Limited and Science Press. Cambridge.
- Zhang, B.P., Wang, Y., Geng, L. (2011). *Biomaterials – Physics and Chemistry (p. 187)*, Rijeka: InTech
- Zulhijjah, D., Handani, S., dan Mulyadi, S. 2015. Pengaruh variasi ukuran agregat terhadap karakteristik beton dengan campuran abu sekam padi. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*. Vol. 7. No. 2. Hal. 50-55.