

**PENGARUH SUHU PEMBAKARAN TERHADAP STRUKTUR, KUAT  
TEKAN, DAN DAYA SERAP GENTENG BERGLASIR KAOLIN,  
SERBUK SILIKA, DAN ASAM BORAT**

**Skripsi**

Oleh

Fadliansyah Hanan



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### PENGARUH SUHU PEMBAKARAN TERHADAP STRUKTUR, KUAT TEKAN, DAN DAYA SERAP GENTENG BERGLASIR KAOLIN, SERBUK SILIKA, DAN ASAM BORAT

Oleh

FADLIANSYAH HANAN

Genteng termasuk salah satu penutup atap yang baik digunakan sebagai pelindung rumah. Genteng masih memiliki sifat hidrofilik yang besar, sehingga dilakukan pengglasiran untuk mengurangi sifat hidrofiliknya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi suhu pembakaran terhadap struktur kristal, kuat tekan, dan daya serap air genteng berglasir. Pada penelitian ini pembuatan genteng dilakukan dengan mencampurkan lempung tanah dan air yang kemudian dicetak dan dibakar pada suhu 900°C. Kemudian pembuatan bahan glasir dilakukan dengan mencampurkan bahan baku kaolin, serbuk silika, asam borat, dan air hingga menjadi suspensi dan diaplikasikan pada sampel genteng dengan metode celup yang kemudian dibakar pada variasi suhu 800°C, 900°C, dan 1000°C. Struktur kristal dari masing-masing sampel diidentifikasi menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) ditambah dengan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis XRD mengungkapkan ditemukannya fasa *nacrite*, *halloysite*, *metahalloysite*, *quartz*, dan *sassolite* dengan nilai berat persen fasa yang berbeda. Berat persen seluruh fasa cenderung meningkat dengan naiknya suhu pembakaran pada semua sampel. Dalam hasil uji fisis kuat tekan sampel genteng glasir cenderung naik dengan kenaikan suhu berbanding lurus dengan berat persen fasanya, dan nilai kuat tekan terbesar terdapat pada sampel genteng tanpa glasir yaitu sebesar 299,77 kgf/cm<sup>2</sup>. Selanjutnya pada hasil analisis daya serap air menunjukkan bahwa nilai daya serap air menurun seiring dengan kenaikan suhu pembakaran, pada tahap ini fasa kristalin mulai terbentuk yang membuat pori-pori genteng berglasir terisi dan menjadi semakin rapat. Nilai daya serap air terbaik terdapat pada sampel genteng glasir dengan pembakaran suhu 1000°C sebesar 9,937%.

**Kata kunci:** asam borat, genteng, glasir, kaolin, serbuk silika, uji kuat tekan, dan uji daya serap air

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF FIRING TEMPERATURE ON STRUCTURE, COMPRESSIVE STRENGTH, AND ABSORBABILITY OF KAOLIN GLAZED TILES, SILICA POWDER, AND BORIC ACID**

**By**

**FADLIANSYAH HANAN**

*Roof tiles are one of the best roof coverings to protect the house. The tile still has great hydrophilic properties, so glazing is done to reduce its hydrophilic properties. The purpose of this study was to determine the effect of variations in firing temperature on the crystal structure, compressive strength, and water absorption of glazed tile. In this research, roof tiles were made by mixing clay and water which were then molded and fired at 900°C. Then the glaze is made by mixing the raw materials kaolin, silica powder, boric acid, and water until it becomes a suspension and applied to the tile samples using the dipping method which is then fired at various temperatures of 800°C, 900°C, and 1000°C. The crystal structure of each sample was identified using X-ray diffraction (XRD) coupled with qualitative and quantitative analysis. XRD analysis revealed the discovery of nacrite, halloysite, meta-halloysite, quartz, and sassolite phases with different phase weight percent values. The percent weight of all phases tends to increase with increasing combustion temperature in all samples. In the results of the physical test, the compressive strength of the glazed tile samples tended to increase with increasing temperature in direct proportion to the weight of the phase percent, and the largest compressive strength value was found in the unglazed tile sample, which was 299.77 kgf/cm<sup>2</sup>. Furthermore, the results of the analysis of water absorption show that the value of water absorption decreases with the increase in combustion temperature, at this stage a crystalline phase begins to form which makes the glazed tile pores fill and become denser. The best water absorption value was found in the glaze tile sample with a firing temperature of 1000°C of 9.937%.*

**Keywords:** *boric acid, compressive strength test, glaze, kaolin, silica powder, tile, and water absorption test*

**PENGARUH SUHU PEMBAKARAN TERHADAP STRUKTUR, KUAT  
TEKAN, DAN DAYA SERAP GENTENG BERGLASIR KAOLIN,  
SERBUK SILIKA, DAN ASAM BORAT**

**Oleh**

**FADLIANSYAH HANAN**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**Judul Skripsi** : **PENGARUH SUHU PEMBAKARAN TERHADAP STRUKTUR, KUAT TEKAN, DAN DAYA SERAP GENTENG BERGLASIR KAOLIN, SERBUK SILIKA, DAN ASAM BORAT**

**Nama Mahasiswa** : **Fadllansyah Hanan**

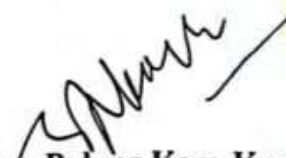
**No. Pokok Mahasiswa** : **1757041009**


**Jurusan** : **Fisika**

**Fakultas** : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

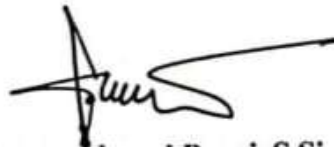
**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

  
**Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.**  
NIP 19610723 198603 1 003

  
**Agus Riyanto, S.Si., M.Sc.**  
NIP 19860822 201504 1 002

**2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA**

  
**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP 19801010 200501 1 002

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua : **Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.**



Sekretaris : **Agus Riyanto, S.Si., 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. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **24 Mei 2023**

## 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 hukuman yang berlaku.

Bandar Lampung, 24 Mei 2023



Fadliansyah Hanan  
NPM. 1757041009

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Fadliansyah Hanan dilahirkan di Lebak, Provinsi Banten pada tanggal 21 Maret 1999. Merupakan anak kedua dari 3 bersaudara yang lahir dari pasangan Bapak Birmansyah dan Ibu Yuyu Yudiati. Ia telah menempuh pendidikan di TK Raudhatul Athfal pada tahun 2004-2005, SDN 3 Pondok Cina Depok pada tahun 2005-2011, SMP Perguruan Rakyat 1 Jakarta Selatan pada tahun 2011-2014, dan SMA Negeri 1 Rangkasbitung pada tahun 2014-2017. Pada tahun 2017, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung (UNILA) melalui jalur Seleksi Mandiri. Selama menempuh jenjang pendidikan S1 di Fisika FMIPA Unila, penulis mengambil konsentrasi keilmuan bidang Fisika Material. Penulis juga aktif dalam kegiatan keorganisasian dengan menjabat sebagai anggota pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) Jurusan Fisika FMIPA Unila tahun 2018-2019. Pada tahun 2020, penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Bandar Lampung. Kemudian pada tahun 2021 penulis mengikuti program KKN di Desa Cikoneng Kecamatan Anyer Kabupaten Serang, Banten. Pada bulan September 2021 penulis melakukan penelitian terkait tugas akhir yang berjudul **“PENGARUH SUHU PEMBAKARAN**



**TERHADAP STRUKTUR, KUAT TEKAN, DAN DAYA SERAP  
GENTENG BERGLASIR KAOLIN, SERBUK SILIKA, DAN ASAM  
BORAT”** yang bertempat di Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika  
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, Bandar Lampung.

## **MOTTO**

“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya  
sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

**(Q.S Al-Insyirah:5)**

“Jika kamu ingin hidup yang sulit kamu harus membuat pilihan yang mudah dan  
jika kamu ingin hidup yang mudah kamu harus membuat pilihan yang sulit”

**(Fadliansyah Hanan)**

## PERSEMBAHAN

*Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, penulis mempersembahkan Karya ini kepada:*

*Bapaku Birmansyah dan Ibuku Yuyu Yudiati*

Terimakasih karena selalu ada, semua kasih sayang, doa, dukungan, perjuangan, dan pengorbanan selama ini yang tak pernah henti. Terimakasih telah menjadi orang tua terhebat di dunia hingga mampu dan berhasil mendidik hingga mencapai gelar sarjana.

*Bapak-Ibu Dosen*

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan yang telah diberikan, semoga dapat bermanfaat dan menjadi ladang pahala yang selalu mengalir untuk Bapak dan Ibu.

*Keluarga Besar H. Garjito dan Keluarga Besar H. Matori  
Serta Kakak dan Adikku*

Terimakasih selalu mendukung, selalu mengerti keadaan penulis, dan telah memberikan banyak keceriaan pada penulis.

Teman-teman seperjuangan Fisika FMIPA Unila 2017 dan 2016

dan

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

## KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT yang telah memberikan pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi Fisika FMIPA Unila yang berjudul **“Pengaruh Suhu Pembakaran Terhadap Struktur, Kuat Tekan, Dan Daya Serap Genteng Berglasir Kaolin, Serbuk Silika, Dan Asam Borat”**. Penelitian ini merupakan studi terkait pengaruh variasi suhu pembakaran pada proses glasir. Penggunaan bahan kaolin, serbuk silika, dan boraks diharapkan dapat memberikan efek lebih baik terhadap produk glasir dengan dilakukannya karakterisasi XRD, uji kuat tekan, dan uji daya serap air. Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak, demi penyempurnaan serta perbaikan dalam draft skripsi ini.

Bandar Lampung, 24 Mei 2023

Fadliansyah Hanan

## SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“PENGARUH SUHU PEMBAKARAN TERHADAP STRUKTUR, KUAT TEKAN, DAN DAYA SERAP GENTENG BERGLASIR KAOLIN, SERBUK SILIKA, DAN ASAM BORAT”** Penulisan skripsi ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa tenaga maupun pemikiran. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si sebagai pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan memberi pemahaman.
2. Bapak Agus Riyanto, S.Si., M.Sc sebagai pembimbing kedua yang senantiasa membantu dan memberi masukan dalam penelitian ini.
3. Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si sebagai dosen pembahas yang telah memberikan saran dalam penulisan skripsi ini agar lebih baik lagi.
4. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng sebagai dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penulis menempuh bangku perkuliahan.

6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh bangku perkuliahan.
7. Kedua Orang Tua, Bapak Birmansyah dan Ibu Yuyu Yudiati, Kakak Agung Hardiansyah beserta Kakak ipar Mega Aprilia, dan Adik Jihan Fauziah yang selalu mendoakan, mengusahakan, memotivasi, dan memberikan semangat kepada penulis hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
8. Keluarga Besar H. Garjito dan Keluarga Besar H. Matori yang selalu menghibur, mendoakan, dan memberikan motivasi serta pelajaran hidup untuk penulis.
9. Teman-teman seperjuangan Fisika angkatan 2017 dan 2016. Serta berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah Subhanahu wa ta'ala dapat membalas seluruh kebaikan dan mempermudah segala urusannya.

Bandar Lampung, 24 Mei 2023

Penulis

Fadliansyah Hanan

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvii</b>
 <b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	6

## II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Genteng .....	7
2.2 Kaolin.....	9
2.3 Serbuk Silika.....	11
2.4 Asam Borat .....	12
2.5 Glasir.....	13
2.6 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) dan Hukum Bragg .....	16
2.7 Analisis <i>Rietveld</i> menggunakan Perangkat Lunak Rietica .....	18
2.8 Uji Kuat Tekan.....	20
2.9 Uji Daya Serap Air.....	20

## III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.3 Prosedur Penelitian .....	22
3.3.1 Pembuatan Genteng .....	22
3.3.2 Pembuatan Bahan Glasir.....	23
3.3.3 Proses Pengglasiran .....	23
3.4 Karakterisasi .....	24
3.4.1 Karakterisasi XRD .....	24
3.4.2 Pengujian Kuat Tekan.....	24
3.4.3 Pengujian Daya Serap Air.....	25
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	26

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Fasa Sampel Genteng .....	29
4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Genteng Glasir .....	36
4.3 Hasil Pengujian Daya Serap Air Genteng Glasir .....	41

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	44
5.2 Saran .....	45

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Difraksi Sinar-X pada Kristal .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Pembuatan Sampel Genteng .....	26
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Pengglasiran Genteng .....	27
<b>Gambar 4.1</b> (a) Sampel genteng tanpa glasir, (b) Sampel genteng glasir dibakar dengan suhu 800°C, (c) Sampel genteng glasir dibakar dengan suhu 900°C, dan (d) Sampel genteng glasir dibakar dengan suhu 1000°C .....	28
<b>Gambar 4.2</b> Hasil difraktogram sampel genteng non glasir dan genteng glasir dengan variasi suhu pembakaran 800°C, 900°C, dan 1000°C ( $\lambda=1,54060 \text{ \AA}$ ) .....	30
<b>Gambar 4.3</b> Hasil penghalusan data sampel genteng (a) non glasir, sampel genteng glasir suhu pembakaran (b) 800°C, (c) 900°C, dan (d) 1000°C. Data pengamatan dan pola perhitungan masing-masing ditunjukkan oleh garis solid hitam dan merah. Beda intensitas keduanya ditunjukkan oleh garis hijau di bawah plot, sedangkan garis vertikal biru menunjukkan puncak difraksi .....	34
<b>Gambar 4.4</b> Grafik hubungan antara kuat tekan setiap sampel dengan waktu, (a) sampel non glasir, (b) sampel glasir suhu 800°C, (c) sampel glasir suhu 900°C, dan (d) sampel glasir suhu 1000°C .....	37
<b>Gambar 4.5</b> Grafik hubungan variasi suhu dengan nilai kuat tekan pada sampel genteng glasir dengan suhu pembakaran 800°C, 900°C, dan 1000°C.....	38
<b>Gambar 4.6</b> Grafik hubungan variasi suhu pembakaran dengan nilai daya serap air pada sampel genteng glasir .....	42

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Komposisi kimia basa kaolin .....	10
<b>Tabel 3.1</b> Alat-alat penelitian .....	21
<b>Tabel 3.2</b> Alat-alat uji karakterisasi .....	22
<b>Tabel 3.3</b> Bahan-bahan penelitian .....	22
<b>Tabel 4.1</b> Hasil analisis fasa sampel genteng non glasir dengan perangkat lunak QualX.....	31
<b>Tabel 4.2</b> Hasil analisis fasa sampel genteng glasir suhu pembakaran 800°C dengan perangkat lunak QualX.....	31
<b>Tabel 4.3</b> Hasil analisis fasa sampel genteng glasir suhu pembakaran 900°C dengan perangkat lunak QualX.....	32
<b>Tabel 4.4</b> Hasil analisis fasa sampel genteng glasir suhu pembakaran 1000°C dengan perangkat lunak QualX.....	32
<b>Tabel 4.5</b> Persentase parameter kesesuaian penghalusan sampel genteng.....	34
<b>Tabel 4.6</b> Persentase fasa dalam persen berat (%w) .....	35
<b>Tabel 4.7</b> Parameter kisi dari setiap fasa sampel genteng non glasir .....	36
<b>Tabel 4.8</b> Parameter kisi dari setiap fasa sampel genteng glasir dengan suhu pembakaran 800°C, 900°C, dan 1000°C.....	36
<b>Tabel 4.9</b> Hasil uji kuat tekan sampel genteng.....	38
<b>Tabel 4.10</b> Hasil uji daya serap air sampel genteng .....	42

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Genteng merupakan salah satu jenis penutup atap rumah yang banyak digemari oleh sebagian besar masyarakat Indonesia. Banyaknya gedung-gedung yang dibangun maka sangat dibutuhkan juga bahan untuk penutup atap yang baik. Atap merupakan pelindung rangka atas suatu bangunan secara keseluruhan terhadap pengaruh cuaca seperti musim panas, hujan, dan angin. Persyaratan penutup atap yang baik yaitu harus kuat, tidak mudah bocor, dan tahan lama. Bahan penutup atap yang memenuhi persyaratan juga harus kuat, ringan, dan kedap air. Genteng merupakan salah satu penutup atap yang baik digunakan sebagai pelindung rumah yang terbuat dari lempung dengan atau tanpa campuran bahan lain dan dibakar pada suhu tinggi sehingga tidak hancur apabila direndam dalam air (Torres, 2009). Genteng yang baik harus memiliki bobot ringan dan daya serap air yang rendah (Febrianto dan Lestariningsih, 2003). Peningkatan kualitas genteng salah satunya dapat dilakukan dengan penambahan lapisan glasir pada permukaan genteng yang akan mengurangi kadar serap air pada genteng.

Glasir sendiri merupakan cairan suspensi yang mempunyai butiran mineral sangat kecil yang dapat diaplikasikan dengan cara penuangan, pengkuasan, pencelupan, atau penyemprotan dalam proses pengaplikasiannya pada permukaan genteng dan dibakar pada suhu dimana kandungan yang terdapat di dalam glasir meleleh

bersama-sama membentuk lapisan kaca pada permukaan yang dilapisi (Boch dan Niepce, 2001). Menurut Arifin dan Primadona pada tahun 2014, faktor-faktor yang mempengaruhi baik buruknya suatu lapisan glasir yaitu komposisi glasir, cara pengglasiran, lama pembakaran, suhu pembakaran, dan garam-garam yang terlarut di dalam lempung. Glasir pada genteng umumnya dibuat dari kombinasi satu atau lebih oksida basa (*flux*), oksida asam (silika), dan oksida netral (alumina) yang dapat disusun dengan berbagai komposisi sesuai suhu kematangan glasir yang dikehendaki (Arici dkk, 2010). Bahan penyusun glasir secara garis besar terdiri dari bahan pembentuk fasa gelas (*glass former*) sebagai pembentuk struktur kerangka dari fasa gelas, bahan pelebur (*flux*) sebagai bahan pembentuk leburan gelas selama proses pembakaran, dan bahan penstabil (*stabilizer*) sebagai bahan pengikat atau perekat terhadap semua bahan yang ada.

Bahan utama untuk campuran pembuatan glasir biasanya yaitu lempung atau kaolin, feldspar, pasir kuarsa, dan batu kapur (Norsker dan Danish, 1993). Kaolin digunakan sebagai bahan baku glasir karena memiliki sifat kaku setelah dikeringkan dan *vitreous* (bersifat kaca) setelah dipanaskan pada suhu yang sesuai. Selain kaolin, silika juga digunakan sebagai bahan baku glasir karena memiliki daya adhesi yang baik dan dapat menahan difusi uap air, ion-ion, maupun oksigen (Mahendrata dan Anggono, 2019).

Pada penelitian yang dilakukan Selvianingrum dkk (2013) pengglasiran genteng menggunakan material serbuk kaca/ $\text{TiO}_2$  sebagai bahan baku campuran glasir. Hasil penelitian menunjukkan pembakaran ganda menggunakan suhu  $900^\circ\text{C}$ , nilai uji daya serap air terkecil terjadi pada penambahan  $\text{TiO}_2$  sebanyak 0,12%;

meningkat pada penambahan 0,16%; dan kemudian menurun pada penambahan  $\text{TiO}_2 > 16\%$  (Selvianingrum *et al*, 2013).

Pada penelitian yang dilakukan Yustana, pembuatan suspensi glasir dengan bahan baku feldspar 47,5 gram; kaolin sebanyak 14,6 gram; *whiting* sebanyak 18,6 gram; *zinc oxide* sebanyak 5,9 gram; dan Fe sebanyak 15 gram. Pembakaran dengan suhu  $1200^\circ\text{C}$  dan variasi ukuran 100 *mesh* diperoleh hasil glasir berwarna coklat, karakter glasir ini memiliki warna yang tidak jauh berbeda antara warna basah dengan warna setelah dilakukannya pembakaran (Yustana, 2010).

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Mahendrata, bahan baku yang digunakan sebagai bahan suspensi glasir yaitu serbuk silika, timbal oksida, boraks, dan kaolin. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan *furnace* pada suhu  $800^\circ\text{C}$  dan  $1000^\circ\text{C}$  serta waktu tahan pada masing-masing suhu selama 30 menit dan 45 menit, spesimen dengan suhu pembakaran  $1000^\circ\text{C}$  mempunyai hasil glasir yang lebih baik dari hasil spesimen pada suhu pembakaran  $800^\circ\text{C}$ . Semakin tinggi komposisi kaolin maka akan semakin sulit proses peleburan dan semakin tinggi suhu pembakaran dan semakin lama waktu pembakaran maka meningkatkan peleburan spesimen secara sempurna (Mahendrata, 2019).

Penelitian pada tugas akhir ini yaitu akan dilakukannya pembuatan spesimen genteng dengan menggunakan bahan baku lempung dan tanah yang selanjutnya dilakukan pengglasiran pada spesimen genteng tersebut dengan menggunakan bahan baku kaolin, serbuk silika, dan asam borat sebagai bahan utama pembuatan glasir. Pengglasiran dilakukan karena ingin meminimalisir sifat hidrofilik yang terdapat pada spesimen genteng. Pembakaran spesimen glasir akan dilakukan

menggunakan suhu 800°C, 900°C, dan 1000°C. Dilakukan pengujian kuat tekan dan uji daya serap air dengan waktu perendaman 24 jam. Kemudian karakterisasi yang dilakukan adalah XRD. Dilakukan untuk mengetahui fasa atau struktur kristal pada sampel glasir. Dilakukannya pengglasiran dengan bahan baku dan suhu tersebut karena pada penelitian sebelumnya, glasir dengan bahan baku tersebut menghasilkan spesimen glasir yang bagus, begitupun suhu pembakaran yang dipakai. Pada penelitian ini mencoba untuk mencari tahu hasil glasir dari penggabungan penelitian-penelitian sebelumnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi suhu pembakaran terhadap struktur kristal, kuat tekan, dan daya serap air genteng berglasir.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi suhu pembakaran terhadap struktur kristal, kuat tekan, dan daya serap air genteng berglasir.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bahan baku genteng yang digunakan yaitu lempung dan tanah;
2. Sampel genteng dibakar pada suhu 900°C dimulai dari suhu ruang dan waktu tahan 1 jam;

3. Bahan baku glasir yang digunakan yaitu  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (kaolin),  $\text{SiO}_2$  (serbuk silika) dan  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (asam borat);
4. Bahan baku glasir berukuran partikel lolos 100 *mesh*;
5. Pengglasiran dilakukan dengan teknik celup;
6. Variasi suhu pembakaran yang digunakan sebesar 800°C, 900°C, dan 1000°C dengan kenaikan suhu 10°C/menit dimulai suhu ruang dan waktu tahan 1 jam;
7. Pengujian daya serap air dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2095-1998 dan pengujian kuat tekan dilakukan dengan mengacu pada SNI 6887:2012;
8. Karakterisasi struktur kristal pada sampel genteng berglasir digunakan XRD (*MiniFlex*) HyPix-400 MF (2D HPAD) *detector* pada rentang sudut  $2\theta$  dari 10° hingga 80° yang *dicoupling* dengan aplikasi QualX dan metode *rietveld*;
9. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2022 - November 2022;
10. Pembentukan dan pengujian Daya Serap Air sampel genteng berglasir dilakukan di Laboratorium Fisika Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung;
11. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Rekayasa dan Desain Bangunan Kayu, Institut Pertanian Bogor; dan
12. Karakterisasi XRD sampel genteng berglasir dilakukan di PT Inovasi Hijau Indonesia, Bandung.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Mencari alternatif bahan baku yang terbaik dalam pembuatan glasir agar lebih ekonomis;
2. Untuk mendapatkan informasi mengenai proses pengglasiran dengan menggunakan teknik celup;
3. Dapat digunakan sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya; dan
4. Mencari pembaruan dalam pembuatan glasir.



## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Genteng**

Atap merupakan salah satu bagian rumah yang paling terlihat dari luar dan sangat menentukan penampilan suatu rumah. Atap bangunan memiliki peran yang sangat penting baik secara fungsional maupun secara estetis. Secara fungsional atap merupakan bagian paling besar peranannya dalam memberikan perlindungan terhadap cuaca dan iklim karena merupakan bagian bangunan yang paling banyak terpapar oleh panas dan hujan. Sedangkan secara estetis, atap adalah elemen yang sangat menentukan ciri atau karakter suatu bangunan misalnya bentuk rumah gadang dan joglo paling mudah dikenali dari bentuk atapnya (Prianto, 2013).

Ada banyak bahan baku yang dapat dipilih sebagai pembuatan atap bangunan sebuah rumah. Produk baru selalu berfungsi untuk menggantikan bahan lama dengan bahan baru agar bisa memenuhi kriteria bangunan yang lebih unggul. Jenis bahan atap yang sering digunakan yaitu genteng tanah liat, genteng keramik, genteng beton, genteng sirap, asbes, seng, genteng metal, atap ijuk, dan lain sebagainya. Namun material atap yang sering digunakan pada rumah di Indonesia yaitu genteng tanah liat. Bahan tanah liat sudah dikenal jauh sebelum abad ke-19. Namun awal mula perkembangan genteng baru pesat di Indonesia pada tahun 1920-an. Genteng tanah liat termasuk salah satu bahan dalam membangun rumah.

Genteng tanah liat merupakan salah satu dari jenis genteng rumah yang paling banyak digunakan oleh masyarakat di Indonesia karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan jenis genteng lainnya. Genteng merupakan salah satu properti rumah yang dibuat dengan bahan dasar lempung. Genteng bermutu baik apabila memenuhi sejumlah persyaratan, diantaranya adalah memiliki kuat tekan yang tinggi dan daya serap air yang rendah. Sejauh ini pembuatan genteng umumnya hanya meliputi pencetakan dan pembakaran genteng serta pengglasiran genteng. Pengglasiran dilakukan untuk melapisi permukaan genteng agar genteng tampak mengkilap dan memiliki warna yang bagus, selain itu juga untuk mengurangi daya serap genteng terhadap air (Sianita, 2017).

Genteng merupakan bagian penutup suatu bangunan yang melingkupi permukaan bagian di bawahnya dengan susunan saling bertindih (*overlapping*) yang ditopang kayu ataupun baja ringan. Atap dapat dibuat dari berbagai jenis bahan seperti kayu, tanah liat, kaca, plastik, asbes, dan seng tergantung kebutuhan dan biaya pembangunan. Genteng merupakan salah satu komponen penting suatu bangunan untuk melindungi bangunan dari suhu, hujan, dan fungsi lainnya. Kualitas genteng yang optimal berarti memiliki daya serap air seminimal mungkin. Kolawole menyatakan untuk mendapat genteng dengan daya serap tinggi dapat dilakukan memvariasi bentuk genteng yang bergelombang (Kolawole, 2014).

Perkembangan produksi genteng menghasilkan produk yang bervariasi. Corak dan warna, bentuk, hingga kuat daya tekan menjadi inovasi dari para produsen. Berbagai upaya untuk mencetak genteng dengan kualitas terbaik selalu dilakukan. Salah satu dari bentuk upaya menghasilkan genteng adalah dengan memberi

komposisi campuran dalam pembuatannya. Pemanfaatan kaca, sampah organik, semen, maupun pasir memungkinkan untuk menjadi campuran komposisi genteng.

Syarat Mutu Genteng Menurut Standar Nasional Indonesia menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2095-1998, meliputi :

1. Sifat Tampak

Genteng harus memiliki permukaan atas yang mulus, tidak terdapat retak, atau cacat lain yang mempengaruhi sifat pemakaiannya;

2. Penyerapan Air

Penyerapan air maksimal 20%; dan

3. Kuat Daya Tekan

Genteng keramik harus mampu menahan beban minimum 65-140 kgf.

## 2.2 Kaolin

Kaolin merupakan suatu mineral lempeng berwarna putih yang memiliki komposisi terbesar meliputi kaolinit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Komposisi kaolin meliputi 46,54%  $\text{SiO}_2$ ; 39,50%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; dan 13,96%  $\text{H}_2\text{O}$ . Partikel kaolin biasanya berupa lembaran heksagonal dengan diameter sekitar 0,05 - 10 mm (rata-rata 0,5 mm). Mineral kaolin dapat terjadi melalui proses pelapisan dan proses hidrotermal perubahan pada batuan beku felspartik dan mika. Struktur kristal kaolin terdiri dari pasangan lapis lembaran silika tetrahedral dan lembaran alumina oktahedral. Masing-masing dari lembaran tersebut bergabung melalui atom oksigen secara selang-seling menjadi satu kesatuan melalui ikatan hidrogen antara oksigen dari

silika dan oksigen hidrolis dari aluminium dengan ketebalan setiap lapisan sekitar 0.72 nm (Jamo dan Abdu, 2014).

**Tabel 2.1** Komposisi kimia basa kaolin (Ababneh dkk., 2020).

Komponen	% Berat
SiO <sub>2</sub>	52,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,9
SO <sub>3</sub>	0,4
CaO	2,01
MgO	1,29
K <sub>2</sub> O	1,5
Na <sub>2</sub> O	0,2

Kaolin sering disebut tanah liat Cina, adalah sejenis tanah liat berkualitas tinggi yang merupakan bahan galian industri yang berasal dari pelapukan mineral feldspar atau pelapukan batuan granit. Untuk pembentukan kaolin, maka proses pelapukan atau alterasi. harus bersih dari ion-ion seperti ion Na, K, Ca, Mg dan Fe. Kaolin tidak menyerap air, sehingga tidak dapat mengembang ketika kontak dengan air. Kaolin adalah aluminium silikat hidrat alam yang telah dimurnikan dengan pencucian dan telah dikeringkan, mengandung bahan pendispersi.

Kaolin berupa serbuk ringan, putih, bebas dari butiran kasar, tidak berbau, tidak mempunyai rasa, dan licin. Kaolin secara alami mengandung mineral yang digunakan dalam formulasi oral dan topikal dibidang farmasi. Kaolin praktis tidak larut dalam dietil eter, etanol 95%, air, pelarut organik lainnya, asam encer dingin, dan larutan alkali hidroksida. Kaolin merupakan bahan atau material yang stabil dan tidak beracun (Rowe et al, 2009).

### 2.3 Serbuk Silika

Serbuk merupakan butiran-butiran kecil yang berasal dari batu-batuan yang hancur digerus oleh alam. Batuan silika lebih bersifat batuan keras, mempunyai warna putih kecoklatan. Batu silika mempunyai tekstur agak kasar dan sedikit tajam karena berbatu dasar berupa kristal. Batuan silika ditinjau dari kandungan kimia yang ada maka terdapat suatu kandungan yang dinamakan silika yang merupakan suatu kata yang diambil dari nama senyawa kimia *siliconedioxide* atau silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ). Butiran berukuran antara 0,06 mm sampai 2 mm.

Kandungan serbuk tersebut berbeda-beda sesuai dengan tempatnya dan memiliki warna sesuai dengan asal pembentuknya. Serbuk yang banyak mengandung silika disebut serbuk silika atau pasir kuarsa. Pada umumnya, silika digunakan untuk manufaktur gelas, keramik, dan penggunaan tradisional lainnya (Haus et al., 2012). Untuk memproduksi produk silika untuk industri, seperti silika gel, presipitat silika, silika sol (koloid silika), bahan-bahan baku silika perlu diberi perlakuan secara kimia. Serbuk silika sering juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti silikon dioksida.

Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari  $\text{SiO}_2$  dan pengotornya yang memiliki kecenderungan berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya (Fahad, 2014). Serbuk silika pada umumnya mengandung senyawa pengotor (*impurities*) seperti  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ , dan  $\text{K}_2\text{O}$ . Endapan serbuk silika banyak tersebar di beberapa tempat di Indonesia dengan kadar silikon dioksida antara 55,30 - 99,87%. Silika dalam senyawa kimia disebut

silikon dioksida dengan rumus kimia  $\text{SiO}_2$  merupakan campuran heterogen yang memiliki sifat menarik pada ukuran dan keadaan yang berbeda (Vassilev et al., 2012).

Oleh karena itu perlu adanya analisis komposisi fasa silika untuk mengetahui sifat-sifatnya. Fasa-fasa yang dapat terbentuk dari silika dengan senyawa  $\text{SiO}_2$  adalah kuarsa, kristobalit, dan tridimit. Kuarsa adalah mineral utama dari silika, dengan struktur atom tetrahedral, dimana satu atom silika dikelilingi empat atom oksigen (Mahapatra, 2010). Pada suhu kamar, satuan tetrahedral dari silika tersusun dalam suatu susunan heksagonal, tetapi pada suhu  $875^\circ\text{C}$  kestabilan susunan tertrahedral silika berubah. Fasa suhu rendah dari silika disebut kuarsa, sedangkan pada suhu tinggi terbentuk fasa yang disebut kristobalit. Di sisi lain, perubahan dari fasa kuarsa ke fasa tridimit memerlukan perubahan besar dalam susunan kristalnya. Sedangkan kristobalit mengalami suatu perubahan struktur yang lebih baik tetapi bukan pematangan. Sedangkan tridimit mengalami dua perubahan pada jangkauan metastabilnya, yaitu yang pertama pada suhu  $117^\circ\text{C}$  dan suhu  $163^\circ\text{C}$  (Roy, 1964).

#### **2.4 Asam Borat**

Boron adalah unsur kelima dalam tabel periodik yang tidak muncul di alam dalam bentuk unsur. Boron bergabung dengan oksigen sebagai garam atau ester asam borat. Tiga mineral mewakili 90% borat yang digunakan oleh industri meliputi *borax* yang merupakan natrium borat; *ulexite* yaitu natrium-kalsium borat; dan *colemanite* yaitu kalsium borat (Akarslan, 2015).

Beberapa proses telah dikembangkan untuk produksi asam borat dari *colemanite* ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Pada umumnya, produksi asam borat yaitu menggunakan ekstraksi heterogen dari *colemanite* yang dicampurkan dengan asam sulfat pada suhu  $88\text{-}92^\circ\text{C}$  yang kemudian menghasilkan fase air dan selanjutnya mengalami pemisahan untuk mendapatkan asam borat, yang dicampur dengan garam yang tidak larut (Bulutcu *et al.*, 2001). Seluruh bentuk asam borat dapat dianggap sebagai hidrat dari borat oksida dan diformulasikan sebagai  $\text{B}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  untuk asam ortobat dan  $\text{B}_2\text{O}_3\cdot \text{H}_2\text{O}$  untuk asam metaborat.

Asam borat yang bersifat aditif umumnya digunakan sebagai fluks agen dalam pembakaran dalam produksi bahan tahan panas (seperti refraktor dan keramik), agen antiseptik dalam medis formulasi produk farmasi dan sebagai katalis untuk oksidasi udara hidrokarbon. Asam borat juga digunakan dalam produksi baja, *glass, and fiberglass*, deterjen serta sektor kimia lainnya (Ipeksever and Gönen, 2020). Penggunaan asam borat dalam pembuatan glasir memiliki kompatibilitas terbesar keramik sehubungan dengan penurunan suhu pembakaran dan peleleh pada campuran glasir yang memiliki titik leleh paling rendah (Andric *et al.*, 2012).

## 2.5 Glasir

Glasir ialah lapisan yang diberikan pada keramik sebelum dilakukannya proses pembakaran. Glasir merupakan cairan suspensi yang mempunyai butiran mineral sangat kecil yang diterapkan dengan teknik penuangan, teknik pengkuasan, teknik pencelupan atau juga dengan teknik penyemprotan pada permukaan keramik, dan setelah kering dibakar kembali pada suhu dimana kandungan di dalamnya akan meleleh bersama-sama membentuk lapisan kaca pada permukaan yang dilapisi.

Glasir juga merupakan material yang terdiri dari beberapa bahan tanah atau batuan silikat yang mana bahan-bahan tersebut selama proses pembakaran akan melebur dan membentuk lapisan tipis seperti gelas yang melekat menjadi satu pada permukaan badan keramik (Kavanová, 2017).

Glasir merupakan material yang terdiri dari beberapa bahan tanah atau batuan bahan-bahan tersebut selama proses pembakaran akan melebur dan membentuk lapisan tipis seperti gelas yang melekat menjadi satu pada permukaan badan keramik. Karakteristik penyebaran panjang gelombang oleh unsur-unsur dalam glasir yang ditambahkan dalam glasir akan menghasilkan warna. Beberapa oksida logam dalam glasir yang dapat menghasilkan warna antara lain  $\text{CuO}$ ,  $\text{C}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}_2$ , dan  $\text{TiO}_2$ . Penambahan oksigen logam tersebut kemudian disesuaikan dengan jumlah zat yang ditambahkan dan pemanasan yang dapat menghasilkan perbedaan warna dan struktur pada glasir (Yurdakul dkk., 2011).

Glasir merupakan jenis pelapis pada keramik yang berfungsi sebagai pelindung permukaan dan meningkatkan nilai estetika pada keramik. Glasir digunakan sebagai teknik dekorasi memiliki beberapa keunggulan, seperti menambah nilai estetikanya, untuk menutupi cacat produk, membuat permukaan keramik lebih mudah dibersihkan, membuat badan keramik tidak mudah ditembus, melindungi dekorasi di bawah glasir, melindungi badan keramik dari kerusakan secara mekanis, meningkatkan kekuatan keramik, serta memperindah penampilan keramik. Dalam pembuatan bahan glasir terdapat tiga bahan utama yang digunakan, diantaranya yaitu:



### 1. Silika

Silika adalah salah satu bahan utama dalam pembuatan glasir karena silika berfungsi sebagai unsur penggelas yang akan membentuk lapisan gelas dalam keadaan cair dan dapat membeku. Silika murni memiliki bentuk yang menyerupai kristal, yang dapat menjadi faktor estetika dalam penggunaan glasir;

### 2. Alumina

Alumina juga ialah salah satu bahan utama dalam pembuatan glasir yang berfungsi sebagai bahan pengeras dalam glasir. Selain menjadi bahan pengeras dalam keramik, alumina juga berfungsi membuat lapisan glasir menjadi kental, membuat glasir menjadi kuat dan keras, menambahkan kestabilan pada benda keramik, meningkatkan daya tahan, kekerasan, kilap, serta mengurangi pemuaiian glasir; dan

### 3. Fluks

Fluks adalah bahan utama yang digunakan selain silika dan alumina. Fluks dalam lapisan glasir ini berfungsi sebagai bahan peleleh yang digunakan untuk menurunkan suhu lebur bahan glasir tersebut. Selain itu, fluks juga berfungsi untuk membantu melekatnya glasir pada badan keramik yang telah dibakar. Keuntungan menggunakan lapisan glasir pada keramik antara lain yaitu menambah nilai estetika dengan warna dan kehalusan permukaannya, menutup badan (pori-pori) keramik sehingga tidak tertembus oleh air, serta menambah dan meningkatkan kekuatan mekanis dari keramik. Melindungi badan keramik dari kerusakan secara mekanis seperti penggarukan oleh makanan dari asam cuka ataupun lingkungan, menambah ketahanan keramik dari bahan kimia

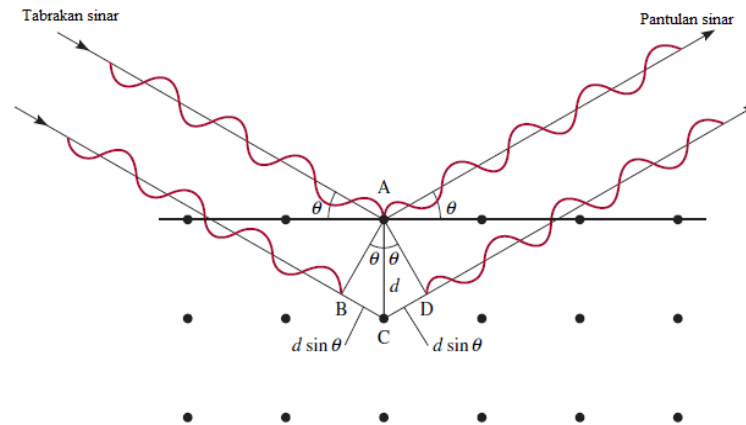
yang bersifat asam ataupun basa, menutupi cacat dari keramik, permukaan keramik mudah dibersihkan, membuat badan keramik tidak mudah ditembus, dan melindungi keramik dari masuknya embun yang dapat merusak badan keramik (Pradell, 2020).

## **2.6 *X-Ray Diffraction* (XRD) dan Hukum Bragg**

Difraksi sinar-X atau *X-ray diffraction* (XRD) merupakan pengujian non-destruktif (*Non-Destructive Testing/NDT*), dengan teknik mengenakan sinar-X jenis karakteristik ke suatu bahan utamanya berwujud kristal yang mendeteksi sudut  $2\theta$  menggunakan sinar-X pada berbagai sudut kemiringan, digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur kristal (seperti stress, ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Karena pola difraksi untuk tiap unsur adalah spesifik, maka metode ini sangat akurat dalam menentukan komposisi unsur dan senyawa yang terkandung pada suatu sampel (Cullity, 1978).

XRD digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal serta mengidentifikasi ukuran kristal dari suatu bahan padat menggunakan metode difraksi sinar-X. Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka tingkat intensitas sinar-X yang ditransmisikan akan lebih kecil dari sinar datang. Hal ini disebabkan karena adanya penyerapan oleh bahan dan penghamburan atom-atom bahan tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menghilang karena fasanya yang berbeda dan juga saling menguatkan ketika fasanya sama, berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut dengan berkas difraksi. Berkas difraksi ini memenuhi Hukum Bragg, dimana detektor akan bergerak dengan kecepatan

sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Skema difraksi sinar-X oleh bahan kristal dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1.** Difraksi Sinar-X pada kristal (Cullity, 1978).

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Untuk rekam data analog berupa grafik garis-garis yang akan direkam per menit dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekam digital akan menginformasikan nilai intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik. Pola difraktometer yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas yang bervariasi sepanjang nilai  $2\theta$ . Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, bergantung pada kisi kristalin, unit parameter, dan panjang gelombang sinar X yang digunakan (Cullity, 1978).

Hukum Bragg merupakan perumusan matematik mengenai proses difraksi yang terjadi sebagai hasil interaksi antara sinar-X yang dipantulkan oleh material. Pantulan tersebut terjadi tanpa mengalami kehilangan energi sehingga menghasilkan pantulan elastis atau *elastic scattering*. Bragg menunjukkan bahwa

bidang yang berisi atom-atom di dalam kristal akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin.

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 menghasilkan penguatan terhadap sinar pantul dan menyebabkan terjadinya difraksi. Sebagaimana terlihat pada gambar dibawah ini, panjang gelombang lintasan berkas cahaya ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2.1)$$

yang selanjutnya dikenal sebagai Hukum Bragg (Cullity, 1978).

Prinsip Kerja XRD berdasarkan sifat difraksi Sinar-X terjadi jika suatu bahan elektroda logam ditembakkan dengan elektron-elektron kecepatan tinggi dalam suatu tabung vakum. Elektron-elektron kecepatan tinggi yang berasal dari *filament* (katoda) menumbuk target (anoda) yang berada dalam tabung Sinar-X sehingga elektron-elektron tersebut mengalami perlambatan Sinar-X (Cullity, 1978).

## **2.7 Analisis *Rietveld* menggunakan Perangkat Lunak *Rietica***

Hugo M Rietveld telah menemukan metode pemrograman yang diberi nama Metode *Rietveld* pada tahun 1967 dengan basis data difraksi sinar-X (XRD) maupun difraksi netron. Pada mulanya program *Rietveld* ini digunakan untuk data difraksi netron, namun dalam penelitian Hill (1986) membuat modifikasi program *Rietveld* pada data difraksi sinar-X (XRD).

Metode *Rietveld* adalah metode penghalusan (*refinement*) struktur kristal yang memanfaatkan langsung pola intensitas yang diperoleh dari pengukuran difraksi bahan serbuk (Hill, 1986). Data dari pola difraksi ini dicatat dalam bentuk numerik intensitas  $y_i$  yang bergantung dari sudut difraksi ( $2\theta$ ) pada ribuan langkah secara simultan. Metode *Rietveld* mencocokkan (*fitting*) antara kurva difraksi teoritis dengan kurva difraksi eksperimen sampai terdapat kesesuaian antara kedua kurva secara keseluruhan dengan indikator tingkat keberhasilan menunjukkan bahwa nilai  $R_{Bragg}$  ( $R_B$ ) lebih kecil dari 10%. Metode ini didasarkan pada metode kuadrat terkecil (*least-squares method*) yang selanjutnya digunakan sebagai basis algoritma beberapa perangkat lunak analisis material seperti Rietica (Hunter, 1997).

Berdasarkan analisis *Rietveld* menggunakan perangkat lunak Rietica, parameter-parameter yang diperhalus meliputi (Pratapa, 2011) :

1. Parameter global (*sample displacement* dan koefisien fungsi polinomial latar (orde 4));
2. Parameter fase (parameter kisi, faktor skala, komponen pelebaran U dan HL (fungsi puncak Voigt), asimetri puncak, dan *preferred orientation*);

Untuk mendapatkan kecocokan kurva yang dapat diterima antara data terukur dan data model maka ada tiga karakter utama yang menjadi indikator dalam pencocokan yaitu tinggi (intensitas), posisi, serta lebar dan bentuk puncak (*peak shape*). Hubungan ketiga karakter tersebut dengan parameter-parameter yang dapat diubah atau diperhalus dalam perangkat lunak Rietica.

## 2.8 Uji Kuat Tekan

Kemampuan tekan bahan didefinisikan sebagai kekuatan bahan menerima kekuatan maksimal sesaat sebelum patah. Kualitas genteng ditentukan oleh kemampuan tekannya. Daya tekan genteng dapat dihitung berdasarkan SNI 6887:2012 dan dapat ditunjukkan pada persamaan (2.2)

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

dengan  $P$  merupakan tekanan mesin uji ( $\text{kgf/cm}^2$ ),  $F_{maks}$  merupakan gaya maksimum pada alat saat patah ( $\text{kgf}$ ), dan  $A$  yaitu luas permukaan bidang normal yang menyentuh sampel genteng ( $\text{cm}^2$ ) (BSN, 2012).

## 2.9 Uji Daya Serap Air

Agar dihasilkan mutu genteng yang baik, maka perlu diperhatikan komposisi material dan homogenitas bahan yang digunakan. Hal tersebut akan menentukan kepadatan genteng. Kepadatan genteng yang tinggi akan menghasilkan kekuatan genteng dan daya serap air yang kecil, sehingga kualitas genteng semakin baik. Besarnya nilai daya serap air berdasarkan SNI 03-2095-1998 dan dapat ditunjukkan pada persamaan (2.3)

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

dengan  $PA$  merupakan Penyerapan air pada sampel genteng (%),  $W_1$  merupakan berat benda uji kering (gram), dan  $W_2$  merupakan berat benda uji setelah perendaman (gram) (BSN, 1998).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dari bulan Oktober 2022 sampai dengan November 2022 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, pengujian Daya Serap Air sampel genteng berglasir dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Rekayasa dan Desain Bangunan Kayu Institut Pertanian Bogor, dan karakterisasi XRD sampel genteng berglasir dilakukan di PT Inovasi Hijau Indonesia, Bandung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dan alat-alat uji karakterisasi pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2**, sedangkan bahan-bahan yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.1** Alat-alat penelitian.

No	Nama Alat	Fungsi
1.	Plastik <i>Zipper</i>	Mencampurkan bahan-bahan serbuk
2.	Timbangan Digital	Menimbang massa bahan
3.	Wadah	Menyimpan bahan baku
4.	Plastik <i>Wrap</i>	Menutup sampel
5.	Sendok Spatula	Pengaduk
6.	Gelas Ukur	Mengukur volume larutan
7.	Gelas <i>Beaker</i>	Mencampurkan bahan baku dengan air
8.	Ayakan 100 <i>Mesh</i>	Menyaring bahan baku
8.	<i>Mortar</i> dan <i>pestle</i>	Menghaluskan serbuk material
9.	<i>Oven</i>	Mengeringkan sampel

10.	<i>Aluminium Foil</i>	Tempat sampel yang hendak dikeringkan
11.	Timbangan Digital	Menimbang massa material
12.	<i>Muffle Furnace</i>	Tungku Pembakaran
13.	<i>Hydrolic Press Machine</i>	Mencetak adonan genteng

**Tabel 3.2** Alat-alat uji karakterisasi.

No	Nama Alat	Fungsi
1.	XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> )	Analisis struktur Kristal
2.	<i>Universal Testing Machine</i> <i>Chun Yen</i>	Menguji kekuatan sampel

**Tabel 3.3** Bahan-bahan penelitian.

No	Nama Bahan	Fungsi
1.	Lempung	Bahan utama pembuatan genteng
2.	Tanah	Bahan campuran pembuatan genteng
3.	Kaolin	Alumina dalam pembuatan glasir
4.	Serbuk Silika	Silika dalam pembuatan glasir
5.	Asam Borat	Fluks dalam pembuatan glasir
6.	Air	Melarutkan bahan baku

### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pembuatan genteng, pembuatan bahan glasir dan pengglasiran sampel uji. Selanjutnya dilakukan juga karakterisasi pada sampel uji genteng berglasir tersebut menggunakan XRD.

#### 3.3.1 Pembuatan Genteng

Preparasi sampel genteng diawali dengan menyiapkan bahan baku yaitu lempung, tanah dan air. Masing-masing ditimbang dengan perbandingan 4:1:1 yaitu 200 gram lempung, 50 gram tanah dan air sebanyak 50 ml, Kemudian semua bahan diaduk hingga tercampur menggunakan mesin pengaduk hingga membentuk adonan yang mengacu pada metode yang telah dilakukan oleh Aminuddin (2019). Adonan yang telah tercampur selanjutnya didiamkan selama 24 jam.



Adonan yang sudah didiamkan selama 24 jam kemudian ditimbang masing-masing sebanyak 5 gram yang selanjutnya dicetak menggunakan mesin press hidrolik hingga berbentuk pelet dengan ukuran diameter 1 cm dan tinggi 1,5 cm. Kemudian sampel tersebut dibakar menggunakan *furnace* dengan suhu pembakaran 900°C dan waktu tahan 1 jam, mengacu pada metode yang telah dilakukan oleh Selvianingrum (2013).

### **3.3.2 Pembuatan Bahan Glasir**

Kaolin ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), serbuk silika ( $\text{SiO}_2$ ), dan boraks ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) masing-masing diayak menggunakan ayakan 100 *mesh*. Preparasi bahan glasir dimulai dengan mencampurkan bahan baku kaolin, serbuk silika, dan boraks yang telah diayak menggunakan ayakan 100 *mesh* ke dalam plastik *zipper* dengan perbandingan 25 gram kaolin, 25 gram serbuk silika, dan 50 gram boraks. Selanjutnya bahan tersebut diaduk hingga tercampur (Budiyanto, 2008).

Konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 100 gram komposisi bahan yang dicampurkan dengan 50 ml air. Pencampuran dilakukan dengan cara diaduk sampai larutan tercampur.

### **3.3.3 Proses Pengglasiran**

Larutan glasir diaplikasikan pada media genteng dengan cara mencelupkan genteng kedalam larutan glasir selama 5 detik yang selanjutnya ditiriskan selama 1 menit, kemudian dibakar dengan menggunakan *muffle furnace* dengan variasi suhu 800°C, 900°C, dan 1000°C mengacu pada metode yang telah dilakukan oleh Supriyadi (2012).

### 3.4 Karakterisasi

Karakterisasi yaitu proses yang dilakukan untuk mengetahui sifat fisika dan kimia suatu sampel uji. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi pada sampel sesudah diglasir. Karakterisasi yang dilakukan adalah XRD. Dilakukan untuk mengetahui fasa pada komposisi bahan.

#### 3.4.1 Karakterisasi XRD

Langkah-langkah karakterisasi sampel genteng yang telah diglasir dengan *X-Ray Diffraction* adalah sampel bubuk genteng yang telah diglasir disiapkan lolos *mesh* 100. Selanjutnya sampel diletakkan pada tempat sampel (*sample holder*) kemudian diratakan menggunakan kaca. Sampel dimasukkan ke dalam difraktometer untuk kemudian dilakukan penembakan dengan sinar-X. Pengujian difraksi dimulai saat (menekan tombol “*start*” pada menu di komputer) dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å. Setelah pengukuran selesai maka akan diperoleh data hasil difraksi dalam bentuk *soft* data yang dapat disimpan dalam bentuk *xrdml*, *xy*, *dll*. Selanjutnya data yang diperoleh akan diolah menggunakan perangkat lunak Rietica untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari sampel.

#### 3.4.2 Pengujian Kuat Tekan

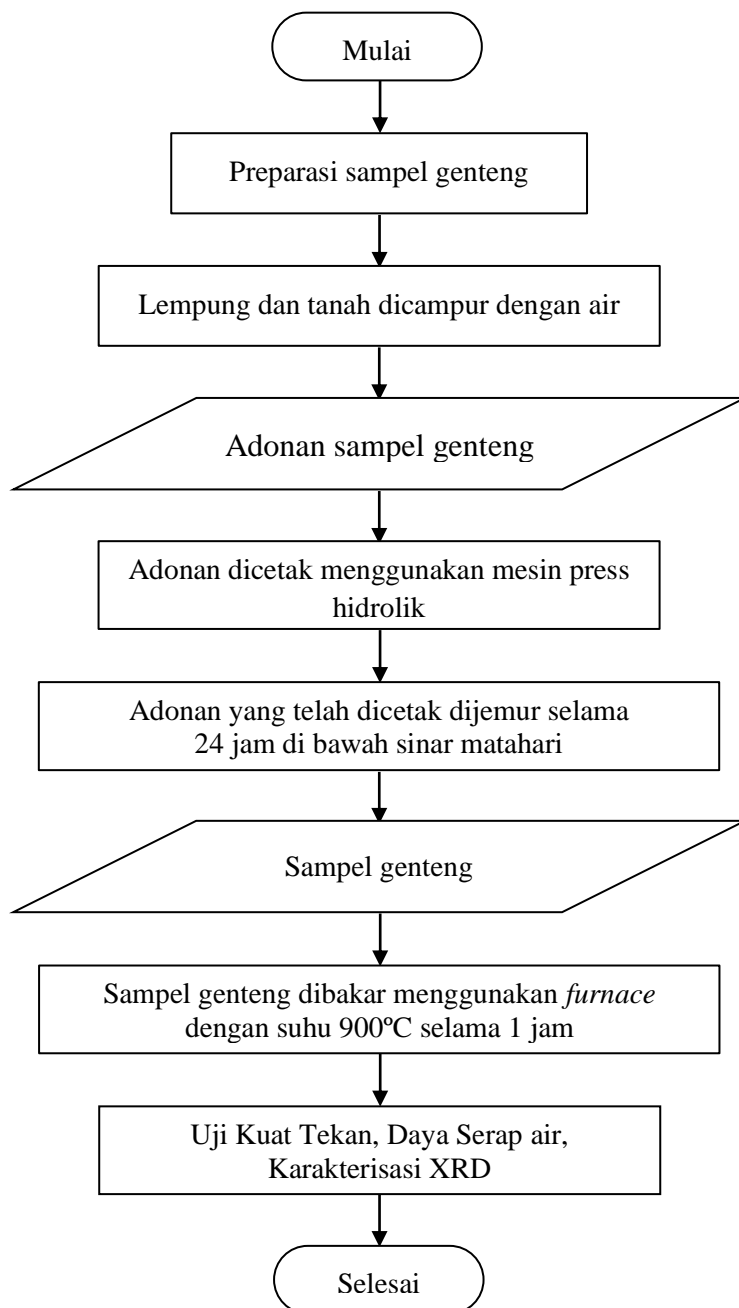
Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari genteng, sampel genteng yang akan diuji diletakkan pada mesin penekan. Genteng ditekan dengan alat penekan sampai genteng pecah. Pada saat pecah dicatat besarnya gaya tekan maksimum yang bekerja (BSN, 2012).

### **3.4.3 Pengujian Daya Serap Air**

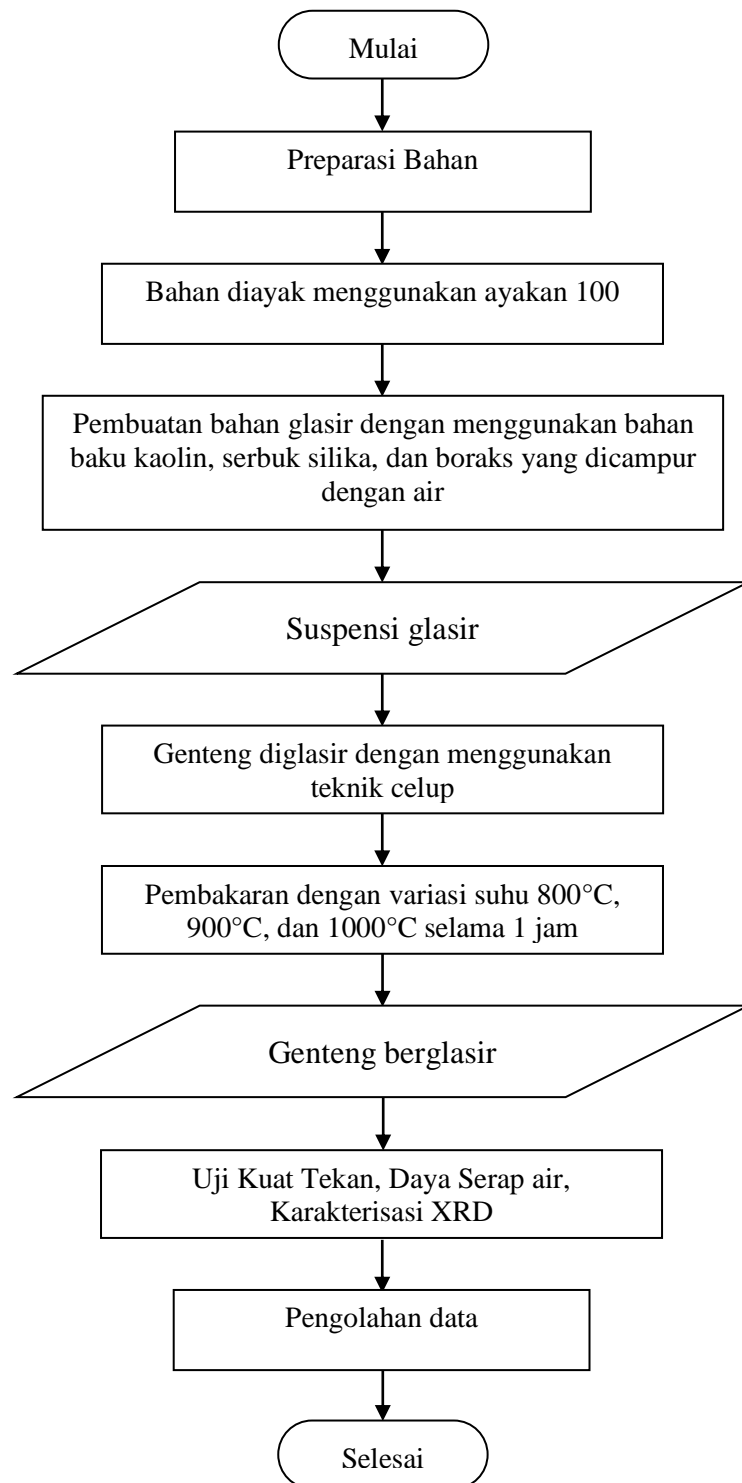
Setelah sampel diglasir, sampel kemudian direndam dalam air dengan waktu perendaman selama 24 jam untuk diuji daya serap airnya menggunakan metode kehilangan berat (BSN, 1998).

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian secara keseluruhan disajikan dalam bentuk diagram alir seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pembuatan Sampel Genteng.



**Gambar 3.2** Diagram Alir Pengglasiran Genteng.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari pengaruh suhu terhadap struktur kristal dengan analisis fasa pada sampel genteng non glasir mengindikasikan keberadaan 3 fasa kristal yaitu fasa *Nacrite* ( $\text{Al}_2\text{H}_4\text{O}_9\text{Si}_2$ ), fasa *Halloysite* ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3(\text{OH})_8$ ), dan fasa *Quartz* ( $\text{SiO}_2$ ). Sedangkan pada sampel genteng glasir dengan suhu pembakaran  $800^\circ\text{C}$ ,  $900^\circ\text{C}$ , dan  $1000^\circ\text{C}$  mengindikasikan keberadaan 4 fasa kristal yang terbentuk yaitu *nacrite* ( $\text{Al}_2\text{H}_4\text{O}_9\text{Si}_2$ ), *metahalloysite* ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), *quartz* ( $\text{SiO}_2$ ), dan *sassolite* ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ). Pengaruh variasi suhu terhadap pembentukan fasa kristal pada sampel genteng glasir menghasilkan fasa kristal yang sama dari semua sampel, hanya saja yang membedakan adalah persentase dari masing-masing fasa tersebut. Semakin tinggi suhu pembakaran maka persentase dari masing-masing fasa semakin besar.
2. Hasil nilai kuat tekan pada penelitian ini telah melampaui nilai acuan yaitu syarat mutu genteng menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2095-1998 dimana genteng keramik harus mampu menahan beban minimum 65-140 kgf. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada sampel genteng non glasir dengan nilai  $299,77 \text{ kgf/cm}^2$ . Untuk pengaruh suhu pembakaran terhadap

nilai kuat tekan sampel genteng glasir yaitu semakin tinggi suhu pembakaran maka nilai kuat tekannya semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu diatas  $800^{\circ}\text{C}$  maka lempung akan mengalami vitrikasi sehingga sampel akan menguat dan nilai kuat tekannya semakin besar. Nilai kuat tekan genteng glasir dengan suhu pembakaran  $800^{\circ}\text{C}$ ,  $900^{\circ}\text{C}$ , dan  $1000^{\circ}\text{C}$  berturut-turut adalah  $95,47 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $100,62 \text{ kgf/cm}^2$ , dan  $183,66 \text{ kgf/cm}^2$ .

3. Hasil uji daya serap air menunjukkan nilai terbaik dengan nilai daya serap air terkecil terdapat pada sampel genteng berglasir dengan suhu pembakaran  $1000^{\circ}\text{C}$  sebesar  $9,937\%$ , sedangkan nilai daya serap air terbesar terdapat pada sampel genteng tanpa glasir sebesar  $24,308\%$ . Pengaruh suhu pembakaran terhadap hasil dari nilai daya serap air ini yaitu semakin tinggi suhu pembakaran maka semakin kecil nilai daya serap airnya. Hal ini terjadi karena bahan glasir dan lempung pada sampel matang pada suhu tinggi diatas  $800^{\circ}\text{C}$  yang membuat pori-pori genteng berglasir menjadi semakin rapat.

## 5.2 Saran

Saran pada penelitian ini sebaiknya menggunakan bahan baku glasir dengan kandungan alumina yang tinggi dan mengurangi komposisi asam borat untuk mendapatkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ababneh, A., Matakah, F., & Aqel, R. (2020). Synthesis of kaolin-based alkali-activated cement: Carbon footprint, cost and energy assessment. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8367–8378.
- Adeniji, S. A., Soboyejo, W. O., Kolawole, F. O., Adeniji, S. A., Idowu, A. T., Owoseni, T. A., & Ngasoh, O. F. (2014). Corrugated Laterite Based Ceramic Roof Tile Stabilized with Cement. *Article in International Journal of Engineering and Technology*, 4(3), 145–149.
- Akarслан, F., & Altınay. (2015). Investigation on water retention properties of boric acid doped textile surfaces. *Acta Physica Polonica A*, 128(2), 405–406.
- Aminuddin, J., Haryadi, A., & Sunardi, S. (2019). Proses Pembuatan Genteng Sokka Kebumen. *Dinamika Journal : Pengabdian Masyarakat*, 1(4), 45–53.
- Andric, L., Pavlovic, Z. A., Trumic, M., Prstic, A., & Tanaskovic, Z. (2012). Materials and Design. *Materials and Design*, 39, 9–13.
- Arici, M., & Karabay, H. (2010). Determination of optimum thickness of double-glazed windows for the climatic regions of Turkey. *Energy and Buildings*, 42(10), 1773–1778.
- Arifin, D. N., Andesit, T., & Lingkungan, R. (2014). *Pengembangan Glasir Non-Timbal Berbahan Baku Limbah Tufa Andesit untuk Memenuhi Syarat Mutu Glasir Genteng Keramik Berdasarkan SNI*. 11(C1), 319–328.
- Badan Standarisasi Nasional. (1998). Genteng Keramik. SNI No. 03-2095-1998. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). Metode Uji Kuat Tekan Silinder Campuran Tanah-Semen. SNI No. 6887:2012. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Biçak, N., Bulutçu, N., Şenkal, B. F., & Gazi, M. (2001). Modification of crosslinked glycidyl methacrylate-based polymers for boron-specific column extraction. *Reactive and Functional Polymers*, 47(3), 175–184.



- Boch, P., & Niepce, J. C. (2001). *Ceramic Materials: Processes, Property and Application*. Hermes Science Publication.
- Brouwer, P. (2003). *Theory of XRF*. Getting Acquainted with the Principles Almelo PANalytical B.V. Netherlands.
- Budiyanto, W. G., Rohmat, S., Fajar, P., & Taufiq, E. Y. (2008). Kriya Keramik Jilid 3. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Department Pendidikan Nasional.
- Cullity, B.D. (1978). *Element of X-ray Diffraction*. United States of America. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Della, M., & Roy, R. (1964). Tridymite-Cristobalite Relations and Stable Solid Solutions. *The American Mineralogist*, 49(7-8), 952-962.
- Fahad, (2014). Densifikasi Komposit Keramik Berbasis SiO<sub>2</sub>- MgO Dengan Penambahan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Pada Temperatur Sinter 1150°C. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Febrianto Y Erfin, Lestariningsih T. (2003). Pembuatan Genteng dan Bata Ringan. Indonesia. L.I.P.I. Pusat Inovasi (Ed.).
- Gibbs, G. V., Boisen, M. B., Downs, R. T., & Lasaga, A. C. (1988). Mathematical modeling of the structures and bulk moduli of TX<sub>2</sub> quartz and cristobalite structure-types, T= C, Si, Ge and X= O, S. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 121, 155.
- Grieken R. E. V dan Marcowicz A. A. 2002. *Handbook of X-Ray Spectrometry Second Edition, Revised and Expanded*. Marcel Dekker, Inc. New York. 341-405.
- Gruner, J. W. (1933). The crystal structure of *nacrite* and a comparison of certain optical properties of the kaolin group with its structures. *Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials*, 85(1-6), 345-354.
- Hadiyawarman, Agus Rijal, Bebeh Wahid Nuryadin, Mikrajuddin Abdullah, Khairurrijal, A., Nuryadin BW, Abdullah M. dan Khairurrijal. (2008). Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, (1) 14-21.
- Haus, R., Prinz, S., & Priess, C. (2012). Assessment of High Purity Quartz Resources. *Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics*, 29-51.

- Hill, R. J. Howard. (1986). A Computer Program for Rietveld Analysis of Fixed Wavelength X-ray and Neutron Powder Diffraction Patterns. Australia: Research Establishment.
- Humbarsono, A. Y. (2007). Lempung Serap Tanjung Harjo Sebagai Pencampur Lempung G. *Pare Godean Untuk Bahan Keramik Melalui Kajian Mineralogi di Pundong Bantul Yogyakarta. Surabaya, Teknik Geologi UPN Veteran. Scientific Research Journal hal*, 700-708.
- Hunter, B. A., & Howard, C. J. (2000). Rietica. Menai, Australia. Australian Nuclear Science and Technology Organization.
- Hunter, B. H. (1997). Manual for Rietica: A computer program for Rietveld analysis of X-ray and neutron powder diffraction patterns. Australia: Lucas Heights Research Laboratories.
- İpeksever, S., & Gönen, M. (2020). Optimization of boric acid extraction from ulexite mineral by using supercritical carbon dioxide. *Journal of Supercritical Fluids*, 166.
- Jamo, H. U., & Abdu, S. G. (2014). Structural analysis and surface morphology of quartz. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(2), 230.
- Kalnicky, D. J., & Singhvi, R. (2001). Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials*, 83(1–2), 93–122.
- Kavanoka, M., Klouzkova, A., & Klouzek, J. (2017). *Characterization of thr Interaction Between Glazes and Ceramic Bodies*. 61(3), 267–275.
- Van Vlack, L. H., & Djaprie, S. (1992). *Ilmu dan teknologi Bahan*. Penerbit Erlangga.
- Linanda, Y. D. (2018). *Pengaruh Pengglasiran Terhadap Kekuatan Tekan dan Penyusutan Ceramic Holder pada Pembakaran Tunggal dan Ganda* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Mahapatra, M. K., & Lu, K. (2010). Seal glass for solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources*, 195(21), 7129–7139.
- Mahendrata. (2019). *Pengaruh Variasi Kaolin terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Lapisan Glasir dengan Bahan Dasar Serbuk Silika, Timbal Oksida, dan Boraks*.
- Mehmel, M. (1935). Ueber die struktur von halloysit und metahalloysit. *Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials*, 90 (1-6), 35-43.

- NA Mazen. (2009). Production of fire clay refractory bricks from local materials, *European Journal of Scientific Research*, (26) 386-392.
- Norsker, H., & Danisch, J. (1993). Glaze Formula Calculations. *Glazes—for the Self-Reliant Potter: A Publication of Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien—GATE. A division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH*, 135-148.
- Pradell, T., & Molera, J. (2020). Ceramic technology. how to characterise ceramic glazes. *Archaeological Science*, 12(8), 1–28.
- Pratapa, Suminar. (2011). Bahan Kuliah Difraksi Sinar-X. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prianto, E., & Dwiyanto, A. (2013). Profil Penutup Atap Genteng Beton Dalam Effisiensi Konsumsi Energi Listrik Pada Skala Rumah Tinggal. *Modul*, 13(1), 23–34.
- Purwanto, A., Suryanto, W., Antoni, & Hardjito, D. (2016). Setting Time dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C.
- Ratri, A. K., Sriatun, S., & Darmawan, A. (2008). Pengaruh Serbuk Kaca dan Variasi Suhu Pembakaran pada Pembuatan Genteng Lempung Sedimentasi Banjir Kanal Timur Kota Semarang terhadap Kuat Tekan serta Daya Serapnya terhadap Air. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 11(3), 63–69.
- Rietveld, Hugo. M. (1969). A profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structure. *Journal Applied Crystallograph*, 65-71.
- Rowe, R. C., Sheskey, P., & Quinn, M. (2009). *Handbook of pharmaceutical excipients*. Libros Digitales-Pharmaceutical Press.
- Rustam, M. S. (2018). Penggunaan Kaolin Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Untuk Perkerasan Kaku Tanpa Tulangan. *Sains*, 14(3), 38-45.
- Selvianingrum, L., Sriatun., & Darmawan, A. (2013). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Pengaruh Tipe Pembakaran terhadap Kualitas Genteng Berglasir Serbuk*. 16(3), 84–89.
- Sianita, M., Azmiyawati, C., & Darmawan, A. (2017). Uji Aktivitas Fotokatalis Genteng Berglasir Silika/TiO<sub>2</sub> terhadap Degradasi Larutan Indigo Carmine, Metanil Yellow Dan Rhodamin. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 20(22), 53–57.
- Sunardi, Susanti, Y., & Mustikasari, K. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Ubi Negara (*Ipomoea batatas* L) dengan Kaolin sebagai Penguat. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 11, 65-76.

- Supriyadi, Cingah, M., & Suardana, P. (2012). Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo Sebagai Bahan Mentah Glasir Stoneware. *Buletin Fisika*, 13(1), 1–8.
- Torres, P., Fernandes, H. R., Olhero, S., & Ferreira, J. M. F. (2009). Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(1), 23–30.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G., & Morgan, T. J. (2012). An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, 1–33.
- Will, G., Bellotto, M., Parrish, W., & Hart, M. (1988). Crystal structures of quartz and magnesium germanate by profile analysis of synchrotron-radiation high-resolution powder data. *Journal of Applied Crystallography*, 21(2), 182-191.
- Yurdakul, H., Turan, S., & Ozel, E. (2011). The mechanism for the colour change of iron chromium black pigments in glazes through transmission electron microscopy techniques. *Dyes and Pigments*, 91(2), 126–133.
- Yustana, P. (2010). *Studi Eksperimen Lima Warna Glasir pada Lima Karakter Tanah Liat*. 2(2), 1–14.
- Zachariasen, W. H. (1934). The crystal lattice of boric acid,  $\text{BO}_3\text{H}_3$ . *Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials*, 88(1-6), 150-161.
- Zhukhlistov, A. P. (2008). Crystal structure of nacrite from the electron diffraction data. *Crystallography reports*, 53, 76-82.