

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI WOLLASTONITE MENGGUNAKAN
SILIKA ABU DAUN BAMBU DAN *MERETIX-MERETIX* SHELL**

Tesis

Oleh

DIAN MARDINA



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI WOLLASTONITE MENGGUNAKAN SILIKA ABU DAUN BAMBUN DAN MERETIX-MERETIX SHELL

Oleh

DIAN MARDINA

Wollastonite telah disintesis menggunakan limbah bio (daun bambu dan cangkang kerang tahu) dengan metode rekasi padatan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C terhadap sifat termal, fasa yang terbentuk, karakterisasi morfologi, dan gugus fungsi pada *wollastonite*. Karakterisasi yang digunakan yaitu *Differential Thermal Analysis-Thermogravimetric Analysis* (DTA-TGA), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR). Hasil analisa FTIR menunjukkan adanya *wollastonite* dari ketiga sampel yang dikonfirmasi dengan munculnya gugus Si-O-Ca pada setiap sampel. Pembentukan *wollastonite* juga diidentifikasi melalui hasil XRD yang menunjukkan adanya fasa β -CaSiO₃ dan fasa α -CaSiO₃ pada masing-masing sampel. Pembentukan fasa β -CaSiO₃ dan α -CaSiO₃ juga diidentifikasi dari hasil DTA-TGA. Selain itu, analisa DTA-TGA juga menunjukkan adanya penyusutan massa akibat terjadinya penguapan H₂O dan dekomposisi kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi kalsium oksida (CaO) pada sampel *wollastonite*. Morfologi *wollastonite* diamati melalui SEM menunjukkan bentuk partikel *spheroid* (bulat) dengan ukuran butir rata-rata 0,28 μ m, 0,32 μ m dan 0,71 μ m pada sampel *wollastonite* suhu 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C.

Kata kunci: *wollastonite*, daun bambu, *meretix-meretix shell*, reaksi padatan.

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF WOLLASTONITE PRODUCED FROM SiO₂ BAMBOO LEAF ASH AND MERETIX MERETIX SHELL

By

DIAN MARDINA

Wollastonite has been synthesized from bio waste materials (bamboo leave ash and meretix meretix shell) by solid state reaction. The objective of this study to determine the effect of variations in calcination temperature of 900 °C, 1000 °C and 1100 °C on thermal properties, phase formation, morphological characterization, and functional groups in wollastonite. Samples were characterized by Differential Thermal Analysis-Thermogravimetric Analysis (DTA-TGA) to determine the thermal properties, X-Ray Diffraction (XRD) to determine the formed phase, Scanning Electron Microscopy (SEM) to determine the microstructure, and Fourier Transform Infra-Red (FTIR) to determine functional groups. The results of the FTIR analysis showed the presence of wollastonite from the three samples which confirmed the presence of Si-O-Ca groups from the samples. Wollastonite formation was also identified through XRD results which showed the presence of β -CaSiO₃ and α -CaSiO₃ in each sample. The formation of β -CaSiO₃ and α -CaSiO₃ phases was also identified from the DTA-TGA results. DTA-TGA analysis also showed a mass shrinkage due to the evaporation of H₂O and the decomposition of calcium carbonate (CaCO₃) into calcium oxide (CaO) in wollastonite samples. The morphology of wollastonite observed through SEM showed the shape of spheroidal particles (spherical) with an average grain size of 0.28 μ m, 0.32 μ m and 0.71 μ m in wollastonite samples at 900 °C, 1000 °C and 1100 °C.

Keywords: wollastonite, bamboo leave, *meretix-meretix* shell, solid state reaction.

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI WOLLASTONITE MENGGUNAKAN
SILIKA ABU DAUN BAMBU DAN *MERETIX-MERETIX* SHELL**

Oleh

**DIAN MARDINA
1827041005**

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS
Pada
Program Studi Magister Fisika
Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

**Judul Tesis : Sintesis dan Karakterisasi Wollastonite
Menggunakan Silika Abu Daun Bambu
dan Meretix-Meretix Shell**

Nama Mahasiswa : Dian Mardina

Nomor Pokok Mahasiswa : 1827041005

Jurusan : Fisika

Program Studi : Magister Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.
NIP. 196312281986102001

Prof. Moh Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197212111998031002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika

**Ketua Program Studi
Magister Fisika**

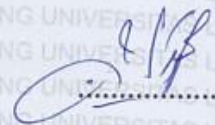
Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 198206182008121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.



Sekretaris : Prof. Moh Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D.



Penguji Anggota : 1. Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D.



2. Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

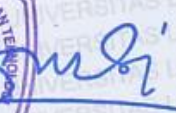


Dr. Eng. Sripto Dwi Yuwono, M. T.
NIP. 19740705 200003 1 001



3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ahmad Soudi Samosir, S.T., M.T.
NIP. 19710415 199803 1 005



Tanggal Lulus Ujian Tesis : 27 Agustus 2021

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis yang berjudul "**Sintesis dan Karakterisasi *Wollastonite* Menggunakan Silika Abu Daun Bambu dan *Meretix-Meretix Shell***" tidak terdapat karya orang lain yang sama persis. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis, kecuali yang diacu dalam naskah ini disebutkan dalam daftar pustaka. Saya menyatakan pula bahwa tesis ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, Agustus 2021



Dian Mardina
NPM. 1827041005

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Rajabasa Lama, 29 Maret 1997.

Penulis adalah anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Musim dan Ibu Evi Eryanti. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Labuhan Ratu pada tahun 2009, Sekolah Menengah

Pertama di SMPN 1 Labuhan Ratu pada tahun 2012, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Way Jepara pada tahun 2014.

Pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Tahun 2018, penulis menyelesaikan pendidikan Strata-1 dan kemudian melanjutkan studi Magister Fisika di Universitas Lampung.

MOTTO

***Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar.
Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa
berusaha.***

(BJ Habibie)

***Hidup itu seperti mengendarai sepeda untuk menjaga
keseimbangan, kita harus terus bergerak.***

(Albert Einstein)

**Dua hal yang menentukan kualitasmu, kesabaranmu ketika kamu tidak
memiliki apapun dan sikapmu ketika kamu memiliki segalanya.**

~Ali Bin Abi Thalib~

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT,
kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang
kusayangi:

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Ayah dan Ibunda tersayang, motivator terbesar dalam hidupku, yang tak pernah berhenti mendoakan dan menyayangiku. Terimakasih atas semua pengorbanan dan kesabaran mengantarku hingga kini.

**Adik serta Keluarga Besar yang Menjadi
Penyemangatku**

Almamater tercinta Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin. Segala Puji hanya milik Allah SWT atas limpahan rahmat, kesehatan dan pertolongan-Nya, penulis bisa menyelesaikan tesis yang berjudul “ **Sintesis dan Karakterisasi Wollastonite Menggunakan Silika Abu Daun Bambu dan *Meretix-Meretix Shell***”. Tujuan utama tesis ini adalah sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk mendapatkan gelar Magister Sains dari Universitas Lampung.

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan tesis ini banyak terdapat kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diperlukan untuk memperbaiki dan menyempurnakan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat.

Bandar lampung, Agustus 2021

Penulis

Dian Mardina

SANWACANA

Assalamu 'alaikum Wr.Wb

Puji syukur senantiasa penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, Rabb semesta alam yang menciptakan langit dan bumi serta penguasa atas semua makhluk. Alhamdulillah penulisan tesis dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi *Wollastonite* Menggunakan Silika Abu Daun Bambu dan *Meretix-Meretix Shell*”, sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk mendapatkan gelar Magister Sains dari Universitas Lampung dapat terselesaikan. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis, Ayah dan Ibu tercinta (Bapak Muslim dan Ibu Evi Eryanti) yang selalu mendo'akan kebaikan bagi penulis.
2. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing I atas kesediannya membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan selalu meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu dan nasihatnya kepada penulis selama proses penelitian dan penulisan tesis.
3. Bapak Prof. Moh Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing II atas kesediannya membimbing dan memberikan saran kepada penulis.
4. Bapak Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D. sebagai dosen Penguji I yang telah berkenan memberikan saran yang membangun serta ilmu yang bermanfaat kepada penulis.

5. Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. sebagai dosen Penguji II dan Kepala Program Studi Magister Fisika, yang telah membantu dan berkenan memberikan saran yang membangun kepada penulis.
6. Rektor Universitas Lampung Prof. Dr. Karomani M.Si.
7. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.
8. Direktur Program Pascasarjana Prof. Dr. Ahmad Soudi Samosir, S.T., M.T..
9. Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Akademik
10. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
11. Para dosen dan staf di Jurusan Fisika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
12. Adikku tersayang yang telah mendo'akan dan siap membantu saat diperlukan.
13. Teman seperjuangan penelitian Amilia Rasitiani yang telah membantu, memberikan saran dan motivasi kepada penulis.
14. Teman-teman Magister Fisika 2018 yang telah membantu dan memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tesis selama ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan niat baik yang telah diberikan.

Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Bandar Lampung, Agustus 2021

Penulis

Dian Mardina

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------------|
| ABSTRAK | ii |
| ABSTRACT | iii |
| HALAMAN JUDUL | iv |
| HALAMAN PERSETUJUAN | v |
| HALAMAN PENGESAHAN | vi |
| HALAMAN PERNYATAAN | vii |
| RIWAYAT HIDUP | vii |
| MOTTO | ix |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | x |
| KATA PENGANTAR | xi |
| SANWACANA | xii |
| DAFTAR ISI | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xvi |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| | |
| I. PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 4 |
| C. Tujuan Penelitian..... | 4 |
| D. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| E. Batasan Masalah | 5 |
| | |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| A. <i>Wollastonite</i> (CaSiO_3) | 6 |
| 1. Karakteristik <i>Wollastonite</i> | 7 |
| 2. Struktur Kristal <i>Wollastonite</i> | 7 |
| 3. Kegunaan <i>Wollastonite</i> | 9 |
| B. Silika (SiO_2) | 10 |

| | |
|--|----|
| 1. Karakteristik Silika | 10 |
| 2. Struktur Kristal Silika | 11 |
| 3. Metode Sintesis Silika | 12 |
| C. Daun Bambu | 13 |
| D. Kalsium Karbonat (CaCO_3) | 15 |
| E. Kerang Tahu | 16 |
| F. Metode Reaksi Padatan | 18 |
| G. Karakterisasi Material | 19 |
| 1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) | 19 |
| 2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> | 20 |
| 3. <i>Fourier Transform Infra-Red</i> | 22 |
| 4. <i>Differential Thermal Analysis / Thermogravimetric Analysis</i> | 23 |

III. METODE PENELITIAN

| | |
|---|----|
| A. Tempat dan Waktu Penelitian | 27 |
| B. Peralatan dan Bahan | 27 |
| C. Prosedur Pembuatan <i>Wollastonite</i> | 28 |
| 1. Preparasi Daun Bambu | 28 |
| 2. Preparasi Abu Daun Bambu (<i>Leaching</i> Asam Sitrat) | 28 |
| 3. Sintesis Silika Dari Abu Daun Bambu (Metode Pengendapan) | 29 |
| 4. Preparasi Cangkang Kerang Tahu (<i>Meretix-Meretix</i> Shell) | 30 |
| 5. Sintesis <i>Wollastonite</i> (Metode Reaksi Padatan) | 30 |
| D. Diagram Alir | 31 |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|--------------------------------------|----|
| A. Hasil Karakterisasi FTIR | 34 |
| B. Hasil Karakterisasi XRD | 41 |
| C. Hasil Karakterisasi DTA-TGA | 46 |
| D. Hasil Karakterisasi SEM | 51 |

V. KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|---------------------|----|
| A. Kesimpulan | 53 |
| B. Saran | 54 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|----------------|
| Gambar 2.1. Struktur kristal α -CaSiO ₃ | 8 |
| Gambar 2.2. Struktur kristal β -CaSiO ₃ | 8 |
| Gambar 2.3. Diagram SiO ₂ – CaO..... | 9 |
| Gambar 2.4. Kerang Tahu | 17 |
| Gambar 2.5. Skema SEM..... | 21 |
| Gambar 2.6. Skema analisis FTIR..... | 23 |
| Gambar 3.1. Proses pembakaran abu daun bambu | 27 |
| Gambar 3.2. Diagram alir preparasi daun bambu..... | 29 |
| Gambar 3.3. Diagram alir preparasi abu daun bambu metode <i>leaching</i> | 30 |
| Gambar 3.4. Diagram alir sintesis silika daun bambu metode pengendapan..... | 31 |
| Gambar 3.5. Diagram alir preparasi (<i>meretix-meretix</i> shell) | 32 |
| Gambar 3.6. Sintesis <i>wollastonite</i> dengan metode reaksi padatan | 33 |
| Gambar 4.1. Spektrum FTIR WBLA 900 °C | 34 |
| Gambar 4.2. Spektrum FTIR WBLA 1000 °C | 36 |
| Gambar 4.3. Spektrum FTIR WBLA 1100 °C | 38 |
| Gambar 4.4 Spektrum FTIR..... | 40 |
| Gambar 4.5 Difaktogram XRD WBLA 900 °C..... | 42 |
| Gambar 4.6 Difaktogram XRD WBLA 1000 °C..... | 43 |
| Gambar 4.7 Difaktogram XRD WBLA 1100 °C..... | 44 |
| Gambar 4.8 Difaktogram XRD | 45 |
| Gambar 4.9 Grafik DTA | 46 |
| Gambar 4.10 Grafik TGA | 47 |
| Gambar 4.11 Grafik DTA-TGA | 48 |
| Gambar 4.12 Morfologi WBLA 900 °C, 1000 °C, 1100 °C | 50 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|----------------|
| Tabel 2.1. Sifat <i>wollastonite</i> (CaSiO_3)..... | 7 |
| Tabel 2.2. Karakteristik silika | 10 |
| Tabel 2.3. Kristal polimorf silika..... | 11 |
| Tabel 2.4. Klasifikasi Daun Bambu | 13 |
| Tabel 2.5. Penelitian Silika Daun Bambu | 14 |
| Tabel 2.6. Klasifikasi Kerang Tahu | 16 |
| Tabel 3.1. Kode Sampel | 35 |

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Wollastonite (CaSiO_3) telah menjadi fokus penelitian karena penerapannya yang luas di berbagai bidang industri. *Wollastonite* memiliki konduktivitas yang rendah, susut massa yang kecil, dan kekerasan yang tinggi, sehingga *wollastonite* digunakan sebagai bahan baku dalam industri semen (Ashaf and Olek, 2016; Saxena *et al.*, 2020), sebagai bahan utama pembuatan ubin lantai dan dinding dalam bidang industri keramik (Crooks, 1999; Yun *et al.*, 2006). Selain itu, *wollastonite* telah banyak digunakan dalam pembuatan cat, plastik, kayu lapis, pupuk, elektronik, otomotif, peralatan rumah dan konstruksi (Luyt *et al.*, 2009; Amin and Oza, 2015). Dalam bidang medis, *wollastonite* telah banyak digunakan sebagai implan (Ding *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010), penumbuhan sel (Zhang *et al.*, 2010; Chehlatt *et al.*, 2015), akar gigi (Saadaldin and Rizkalla, 2014) dan mencegah pertumbuhan bakteri (Wu *et al.*, 2014). Penggunaan *wollastonite* dalam bidang medis, dikarenakan *wollastonite* memiliki sifat bioaktivitas dan biokompatibilitas yang baik (Chen *et al.*, 2010).

Wollastonite dapat diperoleh dengan mereaksikan CaO dan SiO_2 (Wang *et al.*, 2008; Podporska *et al.*, 2008). Sumber SiO_2 dapat diperoleh dari mensintesis sekam padi (Kalapathy *et al.*, 2002; Umeda dan Kondoh, 2010; Yuvakkumar *et al.*, 2012), batang padi (Lu and Hsieh, 2012), tongkol jagung (Velmurung *et al.*,

2015), rumput gajah (Matchi *et al.*, 2016) dan daun bambu (Aminullah *et al.*, 2015). Daun bambu memiliki kandungan silika terbesar kedua setelah sekam padi, dengan kandungan silika 75,90 % sampai 82,86 % (Aminullah *et al.*, 2018). Selain itu ketersediaan daun bambu sangat melimpah, sehingga sangat menguntungkan jika dilakukan sintesis silika dari daun bambu.

Bahan baku potensial untuk mendapatkan CaO dengan biaya rendah adalah cangkang kerang, beberapa jenis kerang yang biasa digunakan yakni kerang darah (Mohamed *et al.*, 2012; Hariharan *et al.*, 2014), kerang kijing (Maulina, 2016), kerang tahu (Suci, 2016; Mijan *et al.*, 2015), bekicot (Neniati, 2016), selain cangkang kerang terdapat pula cangkang telur (Puntharod *et al.*, 2013; Anjaneyulu and Sasikumar, 2014), dan batu kapur (Rashid *et al.*, 2014; Shukur *et al.*, 2014). Penelitian Mijan *et al.*, (2015) menyebutkan bahwa cangkang kerang tahu mengandung komposisi kalsium hingga 95%. Penelitian lainnya mengenai cangkang kerang tahu yakni dilakukan oleh Hariyati *et al.*, (2019) diperoleh kalsium oksida (CaO) sebesar 87 %.

Metode yang digunakan untuk mensintesis *wollastonite* diantaranya yaitu metode hidrotermal (Pei *et al.*, 2010; Puntharod *et al.*, 2013), metode sol gel (Wang *et al.*, 2008; Tangriboon *et al.*, 2011), dan metode reaksi padatan (Nour *et al.*, 2008; Obeid, 2014; Rashid *et al.*, 2014; Phuttawong *et al.*, 2015). Metode reaksi padatan (*solid state reaction*) adalah metode yang paling banyak digunakan dalam mensintesis *wollastonite*. Metode reaksi padatan memiliki beberapa kelebihan yaitu proses pembuatan yang membutuhkan biaya ringan, ramah lingkungan dan tidak beracun (Phuttawong, *et al.*, 2015). Metode reaksi padatan merupakan metode yang mudah dan sederhana, namun mampu menghasilkan

wollastonite murni dengan kristalinitas yang baik (Shukur *et al.*, 2014).

Sintesis *wollastonite* telah dilakukan sebelumnya oleh (Rasyid *et al.*, 2014) menggunakan metode reaksi padatan dengan bahan pasir silika dan batu kapur. Berdasarkan penelitian (Rasyid *et al.*, 2014) diperoleh fasa α -CaSiO₃ pada perbandingan molar 1 : 1 dengan suhu 1450 °C selama 4 jam. Kemudian (Obeid, 2014) juga melakukan penelitian serupa pada bahan pasir silika dan batu kapur menggunakan metode reaksi padatan. Berdasarkan penelitian (Obeid, 2014) diperoleh fasa β -CaSiO₃ pada suhu 1050 °C, kemudian muncul fasa α -CaSiO₃ pada suhu 1150 °C. Penelitian lain juga dilakukan oleh (Phuttawong *et al.*, 2015) menggunakan cangkang siput dan sekam padi sebagai sumber silika. Berdasarkan penelitian (Phuttawong *et al.*, 2015) fase *wollastonite* terbentuk saat penggilingan selama 7 jam dengan suhu kalsinasi 1000 °C selama 2 jam. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Nizami, 2003) *wollastonite* yang terbentuk pada suhu 1100 °C adalah β -CaSiO₃ dan pada suhu 1300 °C adalah α -CaSiO₃. Penelitian lain juga dilakukan oleh (Syafri *et al.*, 2019) yakni mensintesis *wollastonite* menggunakan metode reaksi padatan dari pasir silika dan cangkang kerang darah, dari penelitian ini diperoleh bahwa fase *wollastonite* dengan puncak intensitas tertinggi pada sudut $2\theta = 26,8225$. Gugus fungsi Si-O-Si dan O-Si-O pada panjang gelombang 460 cm⁻¹, Si-O-Ca pada panjang gelombang 962 cm⁻¹ dan O-Si-O cm⁻¹ pada panjang gelombang 901 cm⁻¹.

Belum adanya penelitian mengenai sintesis *wollastonite* menggunakan bahan dasar daun bambu dan cangkang kerang tahu (*meretix-meretix*) menggunakan reaksi padatan dengan suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C sehingga mendorong dilakukannya penelitian ini. Karakterisasi yang dilakukan

yakni menggunakan *Differential Thermal Analysis-Thermogravimetric Analysis* (DTA- TGA) untuk mengetahui sifat termal, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui mikrostruktur, dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C terhadap sifat termal, fasa yang terbentuk, karakterisasi morfologi, dan gugus fungsi pada *wollastonite* berbahan dasar silika daun bambu dan cangkang kerang tahu (*meretix-meretix*) menggunakan metode reaksi padatan?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C terhadap sifat termal, fasa yang terbentuk, karakterisasi morfologi, dan gugus fungsi pada *wollastonite* berbahan dasar silika daun bambu dan cangkang kerang tahu (*meretix-meretix*) menggunakan metode reaksi padatan.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sintesis *wollastonite* menggunakan bahan silika daun bambu dan *meretix-meretix shell*.
2. Sintesis *wollastonite* menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C.

3. Karakterisasi sampel dengan menggunakan DTA-TGA, XRD, SEM dan FTIR.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C terhadap sifat termal, fasa yang terbentuk, struktur mikro dan gugus fungsi pada *wollastonite* berbahan dasar silika daun bambu dan *meretix-meretix shell* menggunakan reaksi padatan.
2. Menjadi bahan acuan bagi penelitian berikutnya yang ingin meneruskan pembuatan *wollastonite* berbahan dasar silika daun bambu dan *meretix-meretix shell*.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alternatif dalam pemilihan metode dalam pembuatan *wollastonite* berbahan dasar silika daun bambu dan *meretix-meretix shell*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan beberapa konsep dasar yang mendukung topik penelitian. Pembahasan dimulai dengan menjelaskan tentang *wollastonite* (CaSiO_3) yakni pengertian *wollastonite* (CaSiO_3), karakteristik *wollastonite*, struktur kristal *wollastonite* (CaSiO_3) serta aplikasi *wollastonite* (CaSiO_3) dalam kehidupan. Kemudian dilanjutkan membahas silika (SiO_2), struktur kristal silika (SiO_2), metode sintesis silika (SiO_2), daun bambu sebagai sumber silika (SiO_2), kalsium karbonat (CaCO_3), kerang tahu (*meretix-meretix*), metode reaksi padatan dan karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini.

A. *Wollastonite* (CaSiO_3)

Wollastonite atau yang biasa dikenal dengan kalsium silikat dengan rumus kimia CaSiO_3 merupakan senyawa yang diperoleh dengan mereaksikan CaO dan SiO_2 (Jacob, 1976; Wang *et al.*, 2008; Podporska *et al.*, 2008). *Wollastonite* memiliki kandungan kalsium (Ca), silikon (Si) dan oksigen (O_2) (Newport *et al.*, 2006; Phuttawong *et al.*, 2015). mengandung sekitar 51,7% berat silikon dioksida (SiO_2) dan 48,3% berat kalsium oksida (CaO) (Collie, 1976; Yazdani *et al.*, 2010). *Wollastonite* banyak tersedia di alam, tetapi tidak murni, biasanya terdapat campuran seperti besi, magnesium, mangan, sodium, dan aluminium (Borodina and Kozik, 2005; Amin and Oza, 2015).

1. Karakteristik *Wollastonite*

Wollastonite memiliki karakteristik berwarna putih kekuningan dengan bentuk padat (Thenmuhil *et al.*, 2014), ukuran partikel rata-rata 29-50 nm (Chakradhar *et al.*, 2006) dan memiliki ukuran butir yang seragam (Istiyati dan Asmi, 2012). Kekuatan lentur *wollastonite* sebesar 41,1 MPa (Pan *et al.*, 2016), menguap sekitar suhu 950 °C (Ismail *et al.*, 2013) dan memiliki titik lebur sebesar 1540 °C (Yazdani *et al.*, 2010). Tingkat porositas *wollastonite* sebesar 15-25 m²/gr yang mirip dengan tulang manusia, serta memiliki sifat bioaktif (Sun *et al.*, 2013). Sifat *wollastonite* lainnya ditunjukkan **Tabel 2.1**.

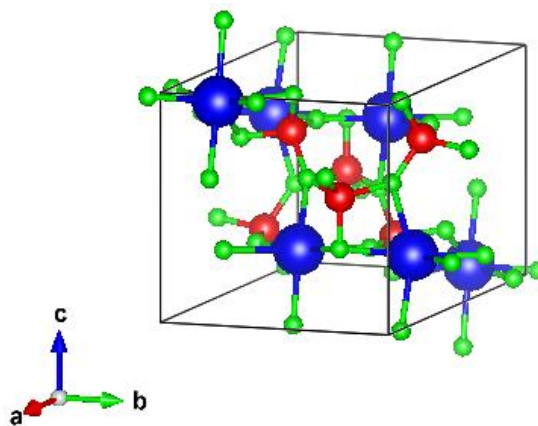
Tabel 2.1. Sifat *wollastonite* (CaSiO₃) (New York City Opera, 2011).

| Kategori | Sifat <i>Wollastonite</i> |
|-------------------------------|---------------------------|
| Rumus molekul | CaSiO ₃ |
| Berat molekul (g/mol) | 116 |
| Berat jenis | 2,8-2,9 |
| Titik lebur (°C) | 1540 |
| Kekerasan | 4-7 |
| pH | 9-10 |
| Indeks bias | 1,63 |
| Densitas (g/cm ³) | 2,91 |
| Warna | Putih |

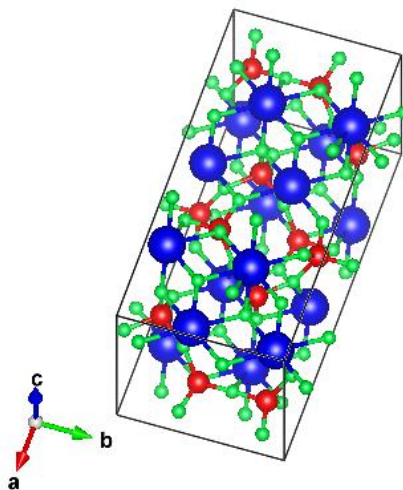
2. Struktur Kristal *Wollastonite*

Secara umum, struktur kristal *wollastonite* terdiri dari *pseudowollastonite* (α -CaSiO₃) dan *parawollastonite* (β -CaSiO₃) (Hesse, 1984; Yang and Prewitt, 1999). *Wollastonite* akan berubah menjadi β -CaSiO₃ pada rentang suhu 900 °C hingga suhu 1100 °C (Zhang *et al.*, 2010). Sedangkan α -CaSiO₃ mulai terbentuk pada suhu 1150 °C hingga 1450 °C (Phuttawong *et al.*, 2015).

Pseudowollastonite (α -CaSiO₃) memiliki sistem kristal *monoclinic*, dengan *space group* P2/c, dan jari-jari ionik Ca yaitu 2,15Å, Si yaitu 1,75 Å, dan O yaitu 1,05 Å. Parameter kisi a = 6,83900 Å, b = 11,87000 Å, c = 19,63100 Å, serta nilai sudut $\alpha = 90,00^\circ$, $\beta = 90,67^\circ$, dan $\gamma = 90,00^\circ$ (Yang and Prewitt, 1999). Struktur kristal *pseudowollastonite* (α -CaSiO₃) ditunjukkan pada **Gambar 2.1** dan struktur kristal *parawollastonite* (β -CaSiO₃) ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



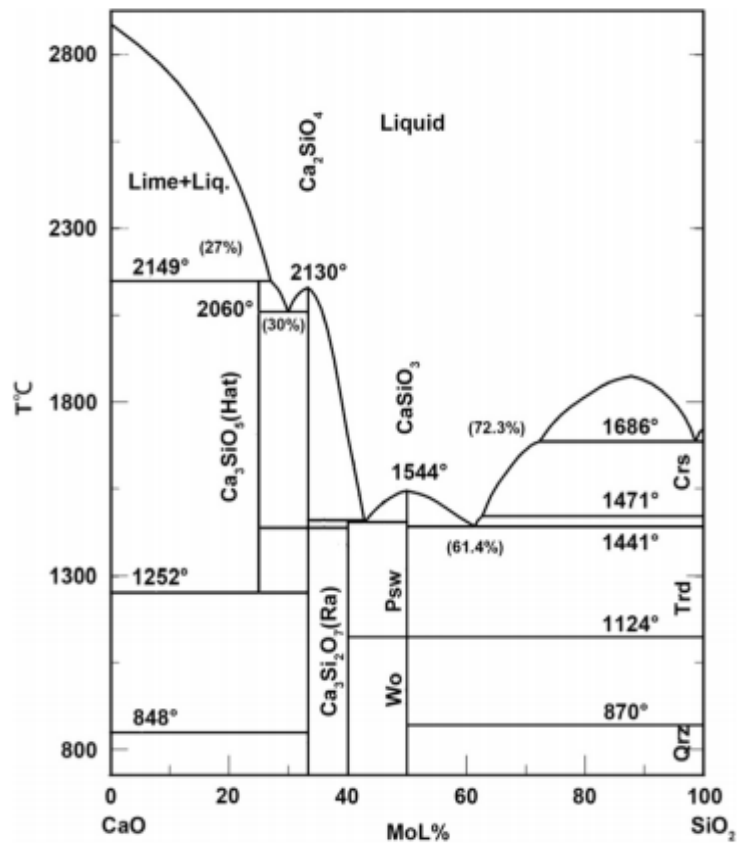
Gambar 2.1. Struktur kristal α -CaSiO₃ yang dibuat menggunakan VESTA (Momma and Izumi, 2011).



Gambar 2.2. Struktur kristal β -CaSiO₃ yang dibuat menggunakan VESTA (Momma and Izumi, 2011).

Parawollastonite (β -CaSiO₃) memiliki sistem kristal *monoclinic*, dengan *space*

group P21/a, dan jari-jari ionik Ca yaitu 2,25 Å, Si yaitu 2,05 Å, dan O yaitu 1,15 Å. Parameter kisi $a = 15,409$ Å, $b = 7,322$ Å, $c = 7,063$ Å, serta nilai sudut $\alpha = 90,00^\circ$, $\beta = 95,30^\circ$, dan $\gamma = 90,00^\circ$ (Hesse, 1984). Diagram fasa SiO_2 - CaO ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3. Diagram SiO_2 - CaO (Pan *et al.*, 2015).

3. Kegunaan *Wollastonite*

Wollastonite mulai dikembangkan sejak tahun 1980. Penggunaan terbesar dari *wollastonite* yaitu dalam bidang industri keramik sebagai bahan utama pembuatan ubin lantai dan dinding (Crooks, 1999). *Wollastonite* juga digunakan sebagai bahan baku dalam industri semen (Crooks, 1999; Ashaf and Olek, 2016). Selain itu, *wollastonite* telah banyak digunakan dalam pembuatan cat, plastik, kayu lapis, pupuk, elektronik, otomotif, peralatan rumah dan konstruksi (Luyt *et*

al., 2009).

Dalam bidang medis, *wollastonite* telah banyak digunakan sebagai implan (Chen *et al.*, 2010; Ding *et al.*, 2009), penumbuhan sel (Zhang *et al.*, 2010), akar gigi (Saadaldin and Rizkalla, 2014) dan mencegah pertumbuhan bakteri (Wu *et al.*, 2014). Penggunaan *wollastonite* dalam bidang medis, dikarenakan *wollastonite* memiliki sifat bioaktivitas dan biokompatibilitas yang baik (Chen *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2008).

B. Silika (SiO₂)

Silikon dioksida atau yang biasa dikenal dengan silika, memiliki rumus kimia SiO₂ dengan ikatan koordinasi tetragonal (Todkar *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2006). Silika merupakan senyawa yang banyak terdapat di alam, tetapi silika yang berada di alam memiliki ikatan fisik ataupun ikatan kimia dengan senyawa lainnya (Manivannan and Ramanathan, 2009). Secara alami, silika terkandung dalam pasir, krikil, dan batu-batuan (Surdia and Saito, 1999). Beberapa bahan non komersil yang dapat digunakan sebagai sumber silika yaitu sekam padi (Ismail *et al.*, 2016; Puttawong *et al.*, 2015; Syamsudin *et al.*, 2017), tongkol jagung (Velmurungan *et al.*, 2015), rumput gajah (Matchi *et al.*, 2016) dan daun bambu (Aminullah *et al.*, 2015). Aplikasi silika digunakan dalam aspek kehidupan yaitu dalam bidang keramik, katalis, elektronik, pelapis, stabilisator, dan pengemulsi (Wang *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2009).

1. Karakteristik Silika (SiO₂)

Silika dapat berbentuk gel, kristal dan amorf (Todkar *et al.*, 2016). Silika memiliki ketahanan abrasi yang baik, isolator listrik, dan stabilitas termal yang

tinggi. (Bhatia *and* Brinker, 2000; Hildayat *et al.*, 2009). Secara teoritis, unsur silika mempunyai sifat menambah kekuatan keramik (Astuti *et al.*, 2012).

Karakteristik silika ditunjukkan **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2. Karakteristik silika (Surdia *and* Saito, 1999).

| Kategori | Karakteristik Silika |
|-----------------------------------|----------------------|
| Sistem kristal | Tetrahedral |
| Bentuk | Padat |
| Berat Jenis (gr/cm ³) | 2,6 |
| Titik lebur (°C) | 1610 |
| Titik didih (°C) | 2230 |
| Kekerasan (Kg/mm ²) | 650 |
| Kekuatan tekuk (Mpa) | 70 |
| Kekuatan tarik (Mpa) | 110 |
| Resistivitas (Ω mm) | 17 |
| Konduktivitas termal | $3,2 \times 10^{-3}$ |

2. Struktur Kristal Silika

Silika memiliki ikatan koordinasi tetrahedral dengan satu ikatan atom silikon (Si) ditengah dan empat atom oksigen (O) yang berada disekitar atom silikon. Silika mempunyai tiga bentuk kristal polimorf yaitu kristobalit, tridimit, dan kuarsa (*quartz*) yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3. Kristal polimorf silika (Smallman *and* Bioshop, 2000).

| Kristal | Rentang (°C) |
|-------------|--------------|
| Kristobalit | > 1470-1723 |
| Tridimit | 870-1470 |
| Kuarsa | < 570-870 |

Struktur kristal kristobalit memiliki sistem kristal tetragonal *dengan space group* P 41 21 2, bernomor *space group* 92, volume sel satuan yaitu 171,104043

\AA^3 . Nilai sudut $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $\gamma = 90^\circ$ dengan parameter kisi $a = b = 4,9717 \text{\AA}$, $c = 6,9223 \text{\AA}$ (Downs dan Palmer, 1994; Dera *et al.*, 2011). Pada suhu 870-1470 °C terbentuk *tridymite*. Struktur kristal *tridymite* memiliki sistem kristal *monoclinic* dengan tipe pola C, memiliki nama *space group* C1, bernomor *space group* 1, volume sel satuan = $2122,287637 \text{\AA}^3$ serta parameter kisi $a = 15,0210 \text{\AA}$, $b = 8,6004 \text{\AA}$, $c = 16,4338 \text{\AA}$ dan nilai sudut $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 91,512^\circ$, $\gamma = 90^\circ$ (Graetsch and Dierdorf, 1996). Berdasarkan perlakuan termal, pada suhu kurang dari 570 °C terbentuk *low quartz*, untuk suhu 570-870 °C terbentuk *high quartz* yang mengalami perubahan struktur menjadi *crystobalite* dan *tridymite*. Struktur kristal *quartz* yang memiliki sistem kristal *hexagonal* dengan tipe pola C, memiliki nomor *space group* 11, volume sel satuan = $113,131145 \text{\AA}^3$, serta parameter kisi $a = b = 4,9160 \text{\AA}$, $c = 5,4054 \text{\AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ (Levien *et al.*, 1980).

3. Metode Sintesis Silika

Berbagai metode telah dilakukan untuk memperoleh silika. Serbuk nanosilika umumnya disintesis dengan menggunakan metode pengabuan (Della *et al.*, 2002; Singh *et al.*, 2011), metode *sol-gel* (Daifullah *et al.*, 2003; Du *et al.*, 2009), metode *leaching* (Kalapathy *et al.*, 2002; Matori *et al.*, 2009; Umeda and Kondoh, 2010), *precipitation* atau pengendapan (Yuvakkumar *et al.*, 2012; Monshizadeh *et al.*, 2014; Haq *et al.*, 2014).

Leaching adalah proses pelarutan bahan terlarut yang terkandung dalam bahan padat oleh pelarut. Proses *leaching* untuk menghilangkan senyawa pengotor sehingga dapat meningkatkan kemurnian sampel (Gupta, 2003). Biasanya menggunakan HCl, H₂SO₄, HNO₃ (Matori *et al.*, 2009), asam sitrat (Umeda dan Kondoh, 2010), dan asam oksalat (Kalapathy *et al.*, 2002). Kemurnian lebih tinggi

dari sekam padi dapat diperoleh dengan proses *leaching* menggunakan zat asam serta sekam padi dibakar pada suhu 800°C selama 30 menit yang akan menghasilkan kemurnian dari silika dari sekam padi sebesar 99,77 % (Umeda *and* Kondoh, 2010).

Precipitation yakni suatu metode untuk membentuk padatan dalam suatu campuran yang menghasilkan serbuk silika dengan kemurnian dan luas permukaan yang tinggi. Metode pengendapan pernah dilakukan oleh (Yuvakkumar *et al.*, 2012), hasilnya menunjukkan bahwa kemurnian tertinggi silika dari abu sekam padi 99,9 % diperoleh pada perlakuan menggunakan NaOH 2,5 N. Metode ini sederhana, hemat biaya, serta mampu menghasilkan kemurnian yang tinggi.

C. Daun Bambu

Bambu merupakan tanaman yang mudah tumbuh di daerah tropis seperti Asia Tenggara, dari sekitar 1.000 jenis bambu 200 jenis diantaranya ditemukan di Asia Tenggara (Dransfield *and* Widjaja, 1995). Indonesia memiliki 143 jenis pohon bambu termasuk yang tumbuh liar dan belum dimanfaatkan. Tanaman bambu tumbuh baik di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian sekitar 3000 meter dari permukaan laut dan pada umumnya ditemukan di tempat-tempat terbuka dan daerahnya bebas dari genangan air (Krisdianto *et al.*, 2000). Tanaman bambu memiliki penyebaran yang lebih banyak di pulau Jawa yaitu mencapai 76,83 % dari total populasi bambu di Indonesia.

Bambu biasa digunakan untuk obat-obatan, bahan bangunan dan juga diterapkan untuk tujuan lingkungan, seperti pengendalian erosi dan penyerapan

karbon (Halvorson *et al.*, 2010). Saat ini, bagian bambu yang banyak dimanfaatkan adalah bagian batang bambu. Sedangkan daun bambu dimanfaatkan sebagai pakan hewan diantaranya sapi, domba dan kambing (Hayashi *et al.*, 2005; Asaolu *et al.*, 2009) namun pemanfaatan daun bambu belum maksimal sebagian besar hanya dibiarkan menjadi limbah agro (Suhardiman, 2011).

Tabel 2.4. Klasifikasi Daun Bambu (Krisdianto *et al.*, 2000).

| | |
|-------------|-------------------|
| Kingdom | Plantae |
| Divisio | Spermatophyta |
| Sub Divisio | Angiospermae |
| Classis | Monokotiledoneae |
| Subclasis | Commenlinidae |
| Ordo | Poales |
| Familia | Poaceae |
| Sub Famili | Bambusoideae |
| Genus | Bambusa |
| Spesies | <i>Bambusa sp</i> |

Tabel 2.5. Penelitian Silika Daun Bambu.

| Penelitian | Komposisi Silika (%) |
|-----------------------------------|----------------------|
| Dwivedi <i>et al</i> (2006) | 75,90 |
| Singh <i>et al</i> (2007) | 75,90 |
| Villar-Cocina <i>et al</i> (2011) | 80,40 |
| Frias <i>et al</i> (2012) | 78,71 |
| Sa'diyah <i>et al</i> (2016) | 84,53 |
| Aminullah <i>et al</i> (2018) | 74,49 |

Daun bambu merupakan salah satu bahan organik yang memiliki kandungan silika yang tinggi, kandungan silika yang cukup tinggi di abu daun bambu, menjadikan daun bambu berpotensi sebagai penghasil silika. Kandungan abu daun bambu atau *bamboo leaf ash* (BLA) dari daun bambu sebesar 20 % dengan

kandungan silika sebesar 75,90 % di mana kandungan silika abu daun bambu ini merupakan yang terbesar kedua setelah abu sekam padi (Aminullah *et al.*.,2018).

Beberapa penelitian terkait silika daun bambu telah banyak dilakukan dan melaporkan bahwa komposisi silika dari daun bambu cukup tinggi seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.5**. Ketersediaan daun bambu sangat melimpah, sehingga sangat menguntungkan jika dilakukan sintesis silika dari daun bambu.

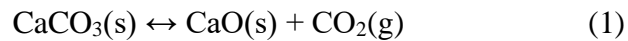
D. Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan mineral paling sederhana, tidak mengandung silikon, dan sumber pembuatan senyawa kalsium terbesar secara komersial. Senyawa ini termasuk penyusun komponen utama dari cangkang organisme laut, siput, mutiara, dan kulit telur, serta terdapat dalam batuan kapur dalam jumlah besar (Bahanan, 2010). Sifat fisis kalsium karbonat umumnya berwarna putih kekuningan dan banyak didapatkan pada batuan seperti batu kapur, kalsit, marmer, dan batu gamping. Kalsium karbonat terdiri dari beberapa unsur yaitu kalsium, karbon, dan oksigen (Bahanan, 2010). Kalsium karbonat memiliki tiga polimorf yaitu *aragonite*, *calcite*, dan *vaterite* (Manoli and Dalas, 2000). *Aragonite* meleleh pada suhu 1339 °C di bawah tekanan 102,5 atm sedangkan *calcite* terurai pada suhu pemanasan 825 °C. *Aragonite* mempunyai densitas sebesar 2,83 g/cm³ sedangkan *calcite* mempunyai densitas sebesar 2,71 g/cm³. Namun keduanya merupakan material yang larut dalam air (Patnaik, 2003).

Reaksi kalsinasi kalsium karbonat (CaCO_3) akan menghasilkan kalsium oksida (CaO). Reaksi kalsinasi tersebut menggunakan pemanasan dengan suhu

900 °C, akibat proses tersebut karbon dioksida (CO₂) yang terkandung dalam kalsium karbonat keluar, dan yang tertinggal hanya kalsium oksida (Britt, 2004).

Reaksinya sebagai berikut:



Akibat pembakaran tersebut maka kalsium oksida dapat dihasilkan (Kazemi *et al.*, 2017).

E. Kerang Tahu (*meretix-meretix*)

Kerang tahu (*meretix-meretix*) merupakan hewan bertubuh lunak (*mollusca*) yang tergolong dalam kelas *bivalvia*, yaitu kelas yang memiliki sepasang katup cangkang pipih dan lateral yang akan membuka dan menutup yang diatur oleh ligamen yang dibantu oleh dua macam otot, yaitu pada bagian anterior dan posterior. Kerang tahu dapat ditemukan di laut dan air tawar. Tubuhnya bersifat simetri bilateral dan berada dalam cangkang. Kakinya biasanya berbentuk seperti kapak dan insang tipis berbentuk seperti papan dan berlapis-lapis atau *lamellibranchia* (Abdullah *et al.*, 2017).

Tabel 2.6. Klasifikasi Kerang Tahu (Abdullah *et al.*, 2017).

| | |
|---------|--------------------------|
| Kingdom | Animalia |
| Filum | Molluska |
| Classis | Bivalvia |
| Ordo | Veneroida |
| Familia | Veneridae |
| Genus | Meretix-meretix |
| Spesies | Meretix-meretix Linnaeus |

Kerang tahu memiliki permukaan luar cangkang yang licin di antaranya berwarna putih, kecoklatan sampai coklat, dan kehitaman. Bagian dalam cangkang berwarna putih. Ukuran lebar cangkang kerang tahu dapat mencapai 7-9

cm. Kerang tahu mendiami perairan dengan substrat pasir berlumpur di zona *intertidal* dan *sublitoral* serta banyak ditemukan di muara sungai dengan topografi pantai yang landai sampai mencapai kedalaman 20 meter. Kerang tahu hidup dengan membenamkan diri dalam substrat. Bagian dagingnya dimanfaatkan sebagai bahan tambahan makanan karena mengandung sumber protein dan cangkangnya biasa digunakan sebagai bahan baku kapur (Priyanto, 2010). Morfologi kerang tahu seperti pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4. Kerang Tahu (Priyanto, 2010).

Kerang tahu terdiri dari 69,85% cangkang kerang. Hal ini menunjukkan bahwa cangkang kerang tahu berpotensi untuk dikembangkan. Cangkang kerang tahu memiliki lapisan periostrakum yang merupakan lapisan organik tipis, terbentuk dari zat kitin dan terletak pada bagian terluar. Periostrakum yang tersusun atas kalsium karbonat berfungsi sebagai pelindung lapisan di bawahnya dari erosi. Cangkang kerang mengandung CaCO_3 yang berpotensi dimanfaatkan sebagai biokeramik untuk beberapa aplikasi rekayasa jaringan (Hoque *et al.*, 2013). Kalsium karbonat ini merupakan mineral paling sederhana yang tidak mengandung silikon dan merupakan sumber pembuatan senyawa kalsium terbesar secara komersial (Othmer, 1965).

Penelitian Mijan *et al.* (2015) menyebutkan bahwa cangkang kerang tahu mengandung komposisi kalsium hingga 95%. Penelitian lainnya mengenai cangkang kerang tahu yakni dilakukan oleh Hariyati *et al.*, (2019) diperoleh kalsium oksida (CaO) sebesar 87%.

F. Metode Reaksi Padatan

Metode reaksi padatan adalah cara yang dilakukan dengan mereaksikan padatan dengan padatan tertentu pada suhu tinggi bahkan mencapai 1000 °C hingga 1500 °C. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk sintesis bahan anorganik, serta merupakan metode konvensional yang tidak beracun, ramah lingkungan, murah dan bebas sampah sintetik tidak seperti metode kimia lain (Phuttawong *et al.*, 2015). Metode reaksi padatan juga sederhana dan mudah namun mampu menghasilkan *wollastonite* murni dengan kristalinitas yang baik (Shukur *et al.*, 2014). Beberapa penelitian yang menggunakan metode reaksi padatan yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Shukur *et al.*, 2014) melakukan sintesis *wollastonite* menggunakan metode reaksi padatan menggunakan bahan dasar batu kapur sebagai kalsium karbonat dan silika dari pasir. Proses penggabungan bahan tersebut dilakukan menggunakan *ball mill* selama 15 jam dengan 300 putaran/menit, lalu bahan di *sintering* pada rentang suhu 1050 sampai 1300 °C dan didapatkan hasil bahwa pada suhu 1050 °C telah muncul fasa β -CaSiO₃ bertransformasi menjadi α -CaSiO₃ pada suhu 1150 °C. Penelitian lainnya telah dilakukan oleh (Rasyid *et al.*, 2014) menggunakan metode reaksi padatan dengan bahan pasir silika dan batu kapur. Berdasarkan penelitian (Rasyid *et al.*, 2014) diperoleh fasa α -CaSiO₃ pada perbandingan molar 1 : 1 dengan suhu 1450 °C selama 4 jam. Kemudian (Obeid, 2014) juga melakukan penelitian serupa

pada bahan pasir silika dan batu kapur dengan sedikit penambahan boron trioksida (B_2O_3) menggunakan metode reaksi padatan. Berdasarkan penelitian (Obeid, 2014) diperoleh fasa β - $CaSiO_3$ pada suhu 1050 °C, kemudian muncul fasa α - $CaSiO_3$ pada suhu 1150 °C. Penelitian lain juga dilakukan oleh (Phuttawong *et al.*, 2015) menggunakan cangkang siput dan sekam padi sebagai sumber silika. Berdasarkan penelitian (Phuttawong *et al.*, 2015) fase *wollastonite* terbentuk saat penggilingan selama 7 jam dengan suhu kalsinasi 1000 °C selama 2 jam. Penelitian lain juga dilakukan oleh (Syafri *et al.*, 2019) yakni mensintesis *wollastonite* menggunakan metode reaksi padatan dari pasir silika dan cangkang kerang darah, dari penelitian (Syafri *et al.*, 2019) diperoleh bahwa fase *wollastonite* dengan puncak intensitas tertinggi pada sudut $2\theta = 26,8225$. Gugus fungsi Si-O-Si dan O-Si-O pada panjang gelombang 460 cm^{-1} , Si-O-Ca pada panjang gelombang 962 cm^{-1} dan O-Si-O cm^{-1} pada panjang gelombang 901 cm^{-1} .

G. Karakterisasi Material

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu XRD, SEM, FTIR, dan DTA/TGA.

1. X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X atau *X-Ray diffraction* (XRD) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal, perubahan fase dan derajat kristalinitas. Prinsip XRD yaitu didasarkan pada radiasi sinar-X yang telah dihasilkan oleh tabung sinar-X akan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji. Material yang akan dianalisis struktur kristalnya harus berada dalam fasa padat karena dalam kondisi tersebut kedudukan atom

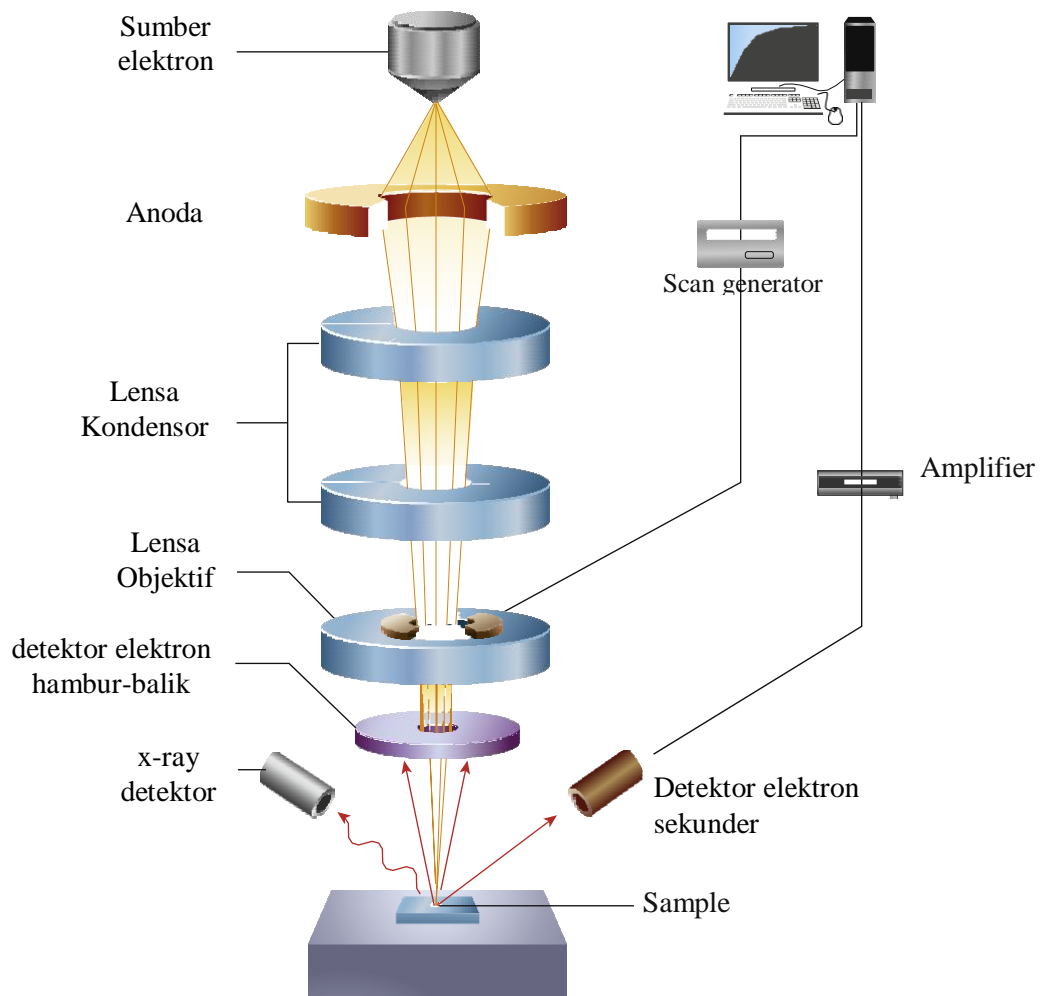
berada dalam susunan yang sangat teratur sehingga membentuk bidang kristal. Ketika suatu berkas sinar-X diarahkan pada bidang kristal tersebut, maka akan timbul pola-pola difraksi. Pola-pola difraksi tersebut terbentuk ketika terjadi interferensi dari pantulan gelombang-gelombang sinar-X yang saling bertemu. Interferensi tersebut terjadi sesuai dengan Hukum Bragg. Interferensi radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal material yang diuji selanjutnya akan dideteksi oleh detektor kemudian akan diperkuat gelombangnya dengan menggunakan *amplifier*, lalu akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak grafik yang ditampilkan pada layar komputer. Dengan menganalisis puncak-puncak grafik tersebut struktur kristal suatu material dapat diketahui (Cullity and Stock, 2001).

2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Prinsip kerja SEM yaitu ketika berkas elektron mengenai permukaan sampel, terjadi interaksi elektron dengan atom-atom di permukaan maupun di bawah permukaan sampel. Akibat interaksi tersebut sebagian besar berkas elektron berhasil keluar kembali, elektron-elektron tersebut disebut sebagai *Backscattered Electrons* (BSE), sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan kemudian memindahkan sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpental ke luar permukaan bahan, yaitu *Secondary Electrons* (SE). Pembentukan elektron-elektron sekunder selalu diikuti proses munculnya X-ray yang karakteristik untuk setiap elemen, sehingga dapat digunakan untuk mengukur kandungan elemen yang ada di dalam bahan yang diteliti (Stokes, 2008).

Proses pembentukan BSE terjadi pada atom-atom di bagian permukaan sampel yang lebih dalam. Ini disebabkan tumbukan antara elektron dari sumber

dengan inti atom. Karena massa proton yang membentuk inti hingga 2000 kali lebih besar dari elektron, maka setiap tumbukan akan menyebabkan terpentalnya sebagian besar elektron ke arah 180° . Artinya, sebagian akan dipantulkan kembali ke arah di mana mereka datang yaitu ke luar permukaan bahan.



Gambar 2.4. Skema SEM (Inkson, 2016).

Elektron-elektron BSE ini membawa informasi tentang atom-atom yang ditumbuknya beserta ikatannya dalam fasa. Jika elektron sumber dalam perjalanannya di dalam bahan hanya melewati awan elektron atau orbital sebuah atom maka elektron tersebut dapat saja memindahkan sebagian energinya

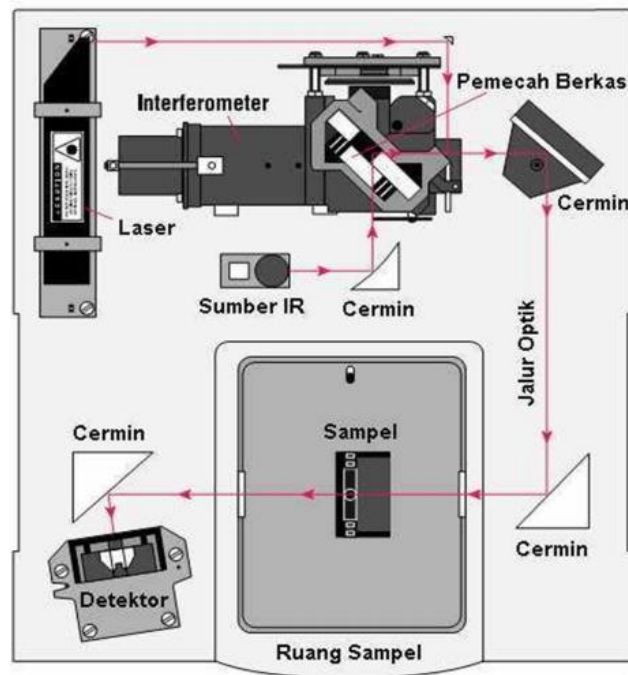
kepada satu atau lebih elektron pada orbit tersebut. Elektron itu akan menjadi tidak stabil dan dalam kondisi tereksitasi sehingga meninggalkan posisinya dan keluar dari permukaan bahan, maka elektron tersebut dikenal sebagai *secondary electron* (SE) atau elektron sekunder (Choudhary and Priyanka, 2017).

Elektron sekunder memiliki energi yang rendah, maka hanya elektron yang berada atau sangat dekat permukaan bahan saja yang dapat lolos ke luar. Dengan bantuan detektor khusus elektron SE dapat dimanfaatkan untuk membentuk image morfologi permukaan bahan dengan baik. Struktur permukaan berikut ciri-cirinya, seperti batas butir, *edge*, porositas, puncak atau lembah akan terlihat lebih detil dengan resolusi yang lebih tinggi dibanding BSE.

3. *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

FTIR merupakan teknik spektroskopi yang dapat mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam sampel, baik organik maupun anorganik. Pada sistem optik FTIR dipakai radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) yang berguna sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi IR agar sinyal radiasi IR diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. *Spectroscopy* FTIR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri dari sumber radiasi, pemisah berkas, cermin, dan detektor. Skema lengkap dari instrumentasi FTIR ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.

Prinsip kerja FTIR yakni energi inframerah diemisikan dari sumber bergerak melalui celah sempit untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan ke sampel. Di sisi lain, berkas laser memasuki interferometer dan kemudian terjadi pengkodean sampel menghasilkan sinyal interferogram yang kemudian keluar dari



Gambar 2.5. Skema analisis FTIR (Griffiths, 1975).

interferogram. Berkas laser kemudian memasuki ruang sampel, berkas akan diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel tergantung dari energinya, yang mana merupakan karakteristik dari sampel. Berkas akhirnya sampai ke detektor (Griffiths, 1975).

4. *Differential Thermal Analysis/Thermogravimetric Analysis (DTA/TGA)*

Analisa termal dapat didefinisikan sebagai pengukuran sifat-sifat fisik dan kimia material sebagai fungsi dari suhu. Dua jenis teknik analisa termal yang utama adalah analisa termogravimetrik (TGA), yang secara otomatis merekam perubahan berat sampel sebagai fungsi dari suhu maupun waktu, dan analisa diferensial termal (DTA) yang mengukur perbedaan suhu antara sampel dengan material referen yang inert sebagai fungsi dari suhu. Thermogravimetri adalah teknik untuk mengukur perubahan berat dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu ataupun waktu. Hasilnya biasanya berupa rekaman diagram yang kontinu

(Gabbot, 2007).

Analisa termal diferensial adalah teknik dimana suhu dari sample dibandingkan dengan material referen selama perubahan suhu terprogram. Suhu sample dan referen akan sama apabila tidak terjadi perubahan, namun pada saat terjadinya beberapa peristiwa termal, seperti pelelehan, dekomposisi atau perubahan struktur kristal pada sample, suhu dari sample dapat berada di bawah (apabila perubahannya bersifat endotermik) ataupun di atas (apabila perubahan bersifat eksotermik) suhu referen. Sampel dan referen ditempatkan bersebelahan dalam *heating block* yang dipanaskan ataupun didinginkan pada laju konstan, termokopel identik ditempatkan pada keduanya dan dikoneksikan. Ketika sampel dan referen berada pada suhu yang sama, output dari pasangan termokopel ini akan sama dengan nol. Pada saat suatu peristiwa termal berlangsung pada sampel, perbedaan suhu timbul antara keduanya yang kemudian terdeteksi dari selisih tegangan dari kedua termokopel. Baseline horizontal, menunjukkan tidak adanya perubahan suhu sedangkan penyimpangan dari baseline akan berupa puncak yang tajam sebagai akibat dari berlangsungnya peristiwa termal pada sampel (Brown, 1988).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai Juni 2021 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung. Proses kalsinasi dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung dan karakterisasi sampel diuji menggunakan DTA/TGA dan FTIR di UPT Laboratorium dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Selain itu karakterisasi XRD dan SEM dilakukan di Laboratorium Universitas Negeri Padang.

B. Peralatan dan Bahan

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: neraca analitik, *beaker glass*; 50, 250 dan 500 ml, termometer, kertas saring, kompor, *blender*, *magnetic stirrer*, pH meter, pipet tetes, cawan, gelas ukur, labu ukur, *erlenmeyer*, corong, penjepit, spatula, botol sampel, *mortar* dan *pestle*, oven, *aluminium foil*, *furnace*. Peralatan karakterisasi yaitu: DTA/TGA, XRD, SEM, dan FTIR.

2. Bahan

Bahan utama yang digunakan untuk mensintesis *wollastonite* yaitu silika berasal dari daun bambu dan cangkang kerang tahu. Selain itu, digunakan pula aquades, $C_6H_8O_7$, HCl, NaOH dan H_2SO_4 .

C. Prosedur Pembuatan *Wollastonite*

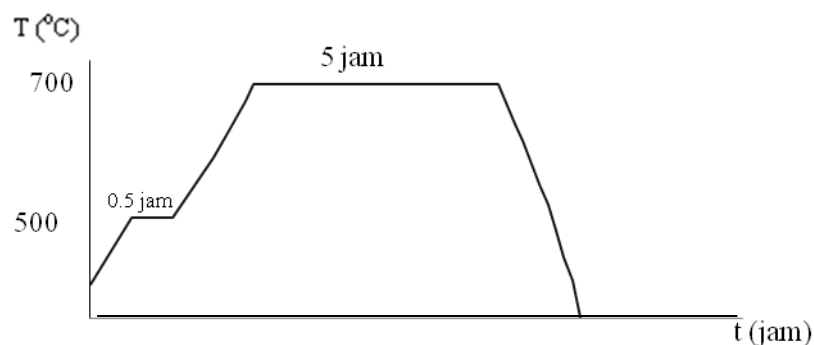
Tahapan-tahapan proses pembuatan *wollastonite* dijelaskan sebagai berikut:

1. Preparasi Daun Bambu

Daun bambu yang digunakan berasal dari Desa Labuhan Ratu Induk, Lampung Timur. Daun bambu dibersihkan dengan air untuk menghilangkan kotoran-kotoran, dan dikeringkan menggunakan panas sinar matahari sampai daun bambu berubah menjadi kecoklatan. Setelah itu, daun bambu dipotong dengan ukuran 0,5 cm dan dikeringkan kembali didalam oven suhu konstan 100 °C selama 5 jam.

2. Preparasi Abu Daun Bambu

Proses preparasi abu daun bambu dengan metode *leaching* sama dengan yang dilakukan oleh Umeda and Kondoh (2010). Sebanyak 30 gr daun bambu dan 50,5 gr asam sitrat dalam 500 ml *aquades* disiapkan. Daun bambu dimasukkan ke dalam larutan asam sitrat dan dipanaskan diatas kompor listrik dengan suhu dijaga konstan 80 °C selama 2 jam sambil diaduk secara perlahan. Setelah itu, daun bambu disaring dan dicuci 5 kali dengan *aquades* masing-masing 300 ml selama 15 menit dengan pengadukan konstan pada suhu ruang untuk menghilangkan kandungan asam sitrat pada daun bambu. Lalu daun bambu disaring kembali menggunakan kertas saring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 3 jam. Dalam proses persiapan abu daun bambu, laju pemanasaan suhu 5 °C/menit seperti ditampilkan pada **Gambar 3.1**. Daun bambu yang dimasukan dalam *furnace* pada suhu awal 30 °C dinaikkan secara perlahan sampai suhu 500 °C dan ditahan selama 0,5 jam dan kemudian suhu dinaikkan lagi hingga 700 °C ditahan selama 5 jam.



Gambar 3.1. Proses pembakaran abu daun bambu.

3. Sintesis Silika dari Abu Daun bambu

Sintesis silika abu daun bambu menggunakan metode pengendapan, sama dengan dilakukan oleh Kalapathy *et al* (2000) dengan langkah-langkah yaitu: menimbang abu daun bambu sebanyak 7,51 gr dan dicuci dalam aquades 50 ml sebanyak 5 kali untuk menetralkan pH dan membuang pengotor. Proses *leaching* dilakukan dalam larutan 6 N HCl selama 1,5 jam pada suhu konstan 100 °C dan abu hasil proses *leaching* disaring menggunakan kertas saring. Kemudian abu daun bambu dibilas menggunakan 50 ml *aquades* panas dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Selanjutnya abu daun bambu dilarutkan dalam larutan 2,5 N NaOH dan dipanaskan pada suhu 80 °C diatas *hot plate* sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1,5 jam untuk menghilangkan kandungan karbon. Selanjutnya abu daun bambu disaring kembali dan endapan abu yang diperoleh dicuci dalam 20 ml *aquades* panas untuk memurnikan proses ekstraksi *sodium silikat*. Proses berikutnya menambahkan beberapa tetes asam sulfat secara bertahap ke dalam larutan *sodium silikat* sambil diaduk pada suhu ruang hingga keasaman larutan mencapai pH 2 dan larutan sodium silikat mengendap. Endapan disaring dan dicuci dengan 50 ml *aquades* panas dengan pengulangan 10 kali. Hasil endapan dipanaskan dalam oven pada suhu 100 °C selama 24 jam agar

membentuk serbuk silika kasar. Serbuk silika yang diperoleh digerus selama 3 jam menggunakan *mortar* dan *pestle* untuk menghasilkan ukuran serbuk yang lebih halus. Kemudian serbuk dikalsinasi pada suhu 700 °C yang sama prosesnya ditunjukkan pada **Gambar 3.1**. Setelah proses kalsinasi, *furnace* dimatikan hingga suhu *furnace* mencapai suhu ruang dan sampel dikeluarkan.

4. Preparasi Cangkang Kerang Tahu

Prosedur preparasi cangkang kerang tahu sama dengan prosedur yang dilakukan oleh Asmi and Zulfia (2017): cangkang kerang tahu dibersihkan dari kotoran yang ada dengan menggunakan air bersih secara berulang-ulang, kemudian cangkang kerang tahu direbus selama 10 jam dengan *aquades*. Membersihkan cangkang kerang tahu dari kotoran menggunakan 5% larutan asam sulfat dan dibilas dengan *aquades* hingga bersih. Cangkang kerang tahu dikeringkan dalam oven suhu 100 °C selama 24 jam. Cangkang kerang tahu digerus menggunakan *mortar* dan *pastle* selama 3 jam dan dikalsinasi pada suhu 1000 °C selama 5 jam.

5. Sintesis Wollastonite

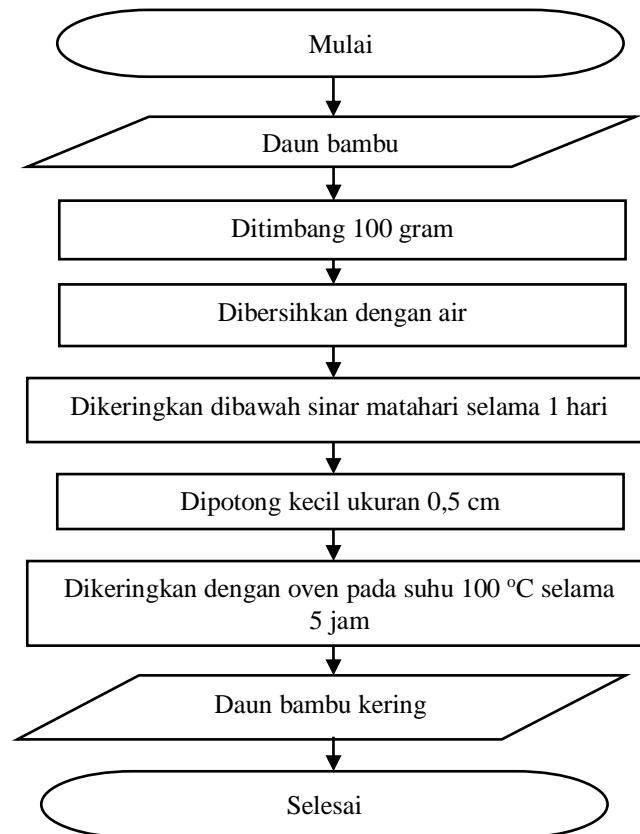
Sintesis *wollastonite* dilakukan dengan metode reaksi padatan (*solid state reaction*) dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) mencampur silika daun bambu dan CaO dari kerang tahu dengan perbandingan molar 1 : 1, (2) membuat larutan etanol 150 ml dan melarutkan bahan dengan larutan etanol menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 jam, (3) campuran silika dan CaO dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 24 jam untuk menghasilkan *wollastonite* dan kemudian digerus selama 3 jam. Sampel disiapkan untuk dikarakterisasi dengan

DTA-TGA. Pembuatan sampel dalam bentuk pelet dengan cara dipress menggunakan *pressing hidrolis* kemudian sampel yang sudah berbentuk pelet dikalsinasi dengan suhu 900 °C, 1000 °C, 1100 °C dengan laju suhu 5 °C/menit ditahan selama 3 jam. Sampel dengan XRD, SEM dan FTIR.

D. Diagram Alir

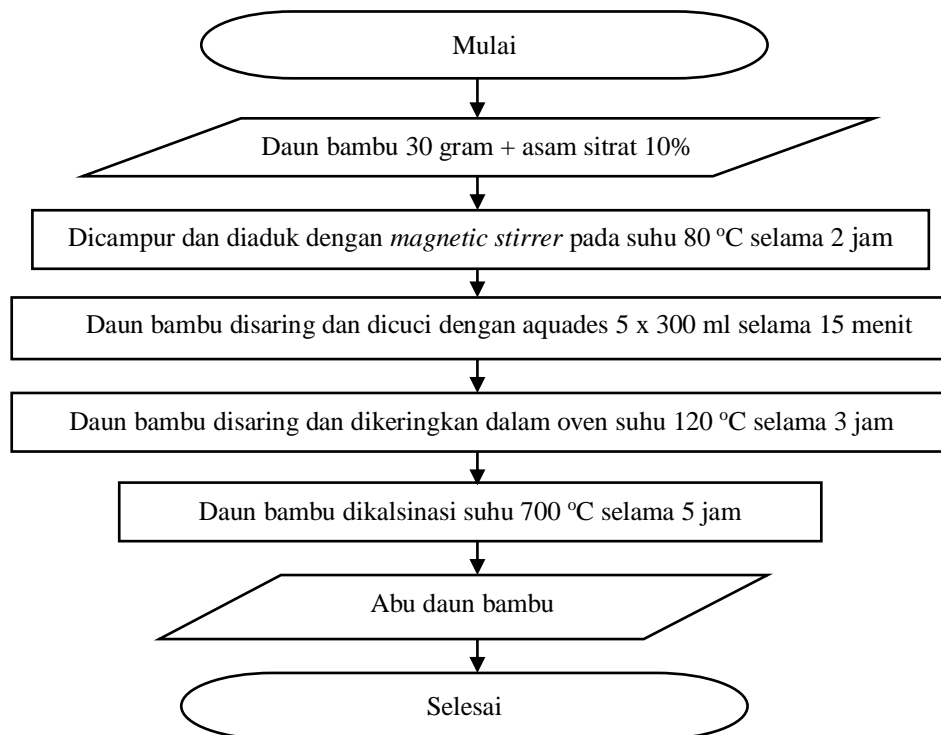
Proses preparasi daun bambu pada penelitian ini ditunjukkan pada

Gambar 3.2.



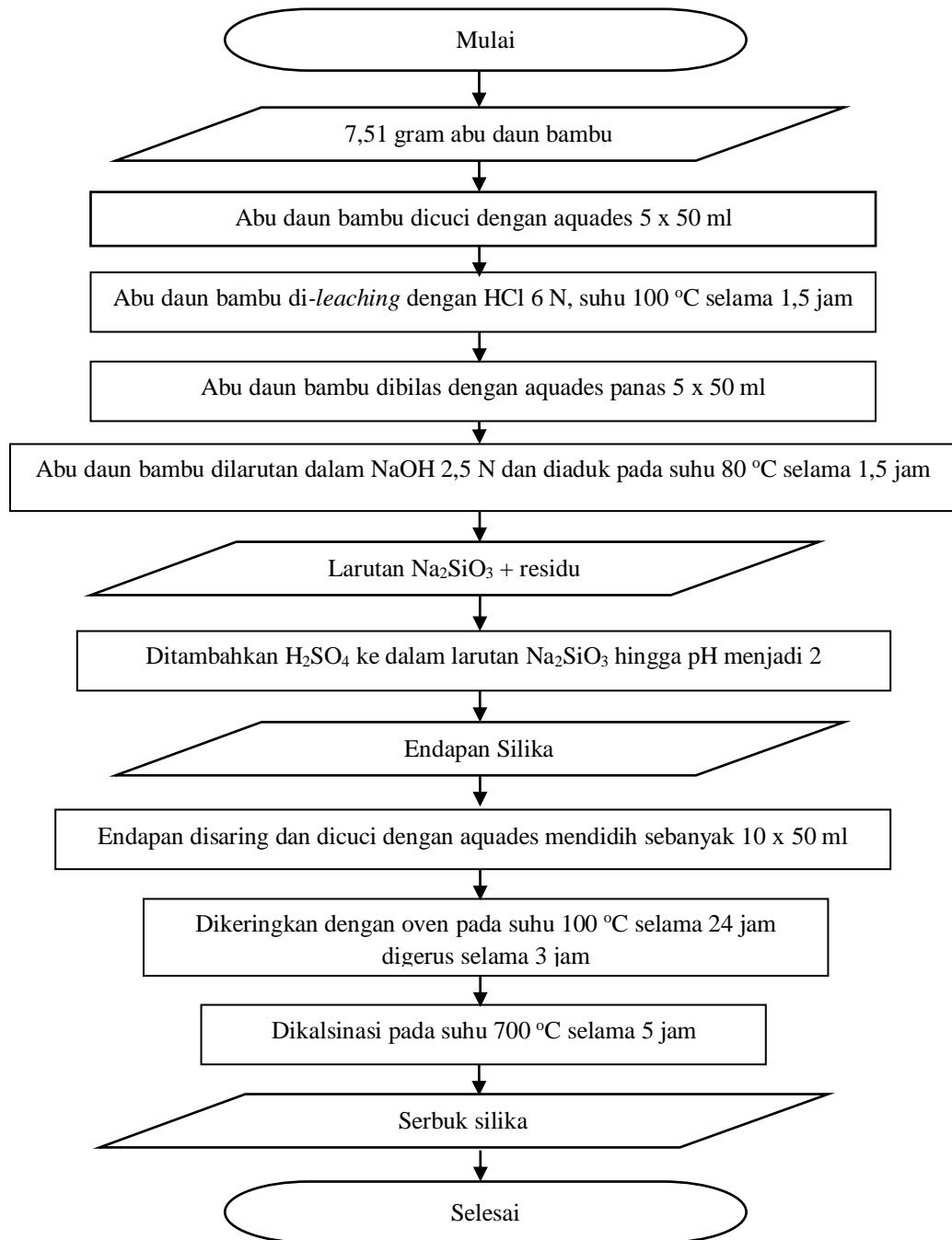
Gambar 3.2. Diagram alir preparasi daun bambu.

Proses preparasi abu daun bambu menggunakan metode *leaching* dengan asam sitrat ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



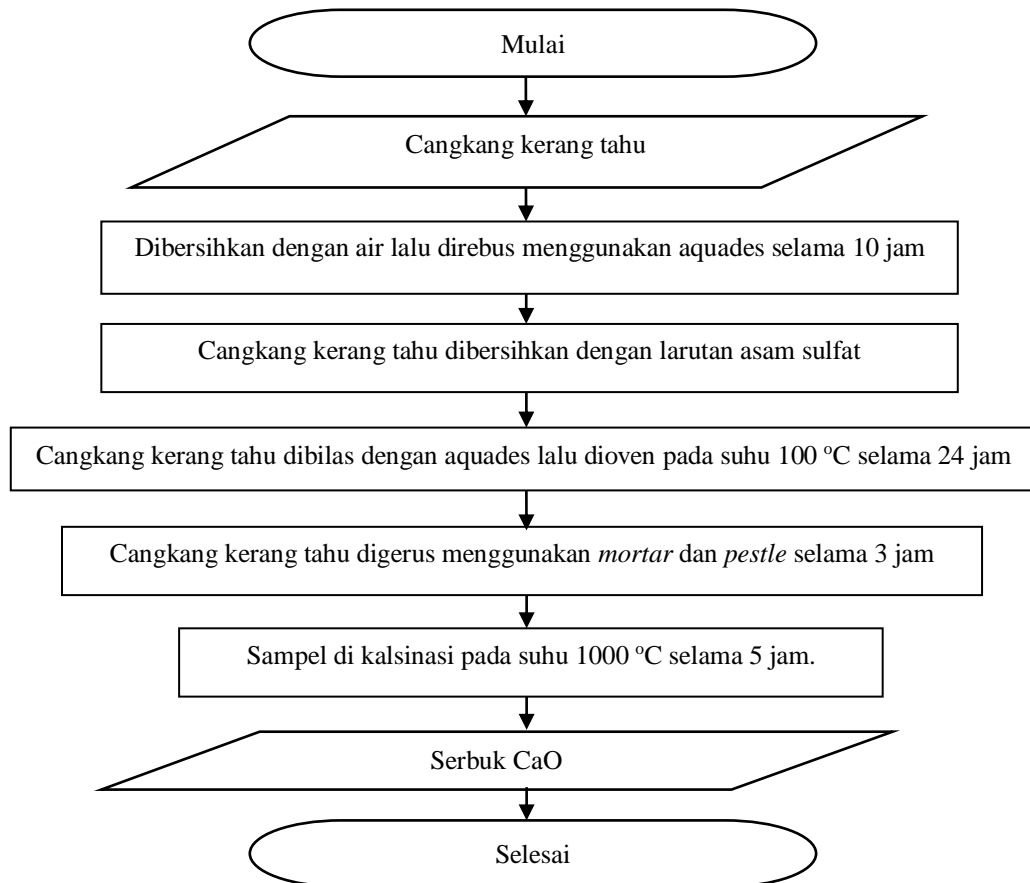
Gambar 3.3. Diagram alir preparasi abu daun bambu menggunakan metode *leaching*.

Proses sintesis silika daun bambu dengan menggunakan metode pengendapan ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4. Diagram alir sintesis silika daun bambu dengan metode pengendapan.

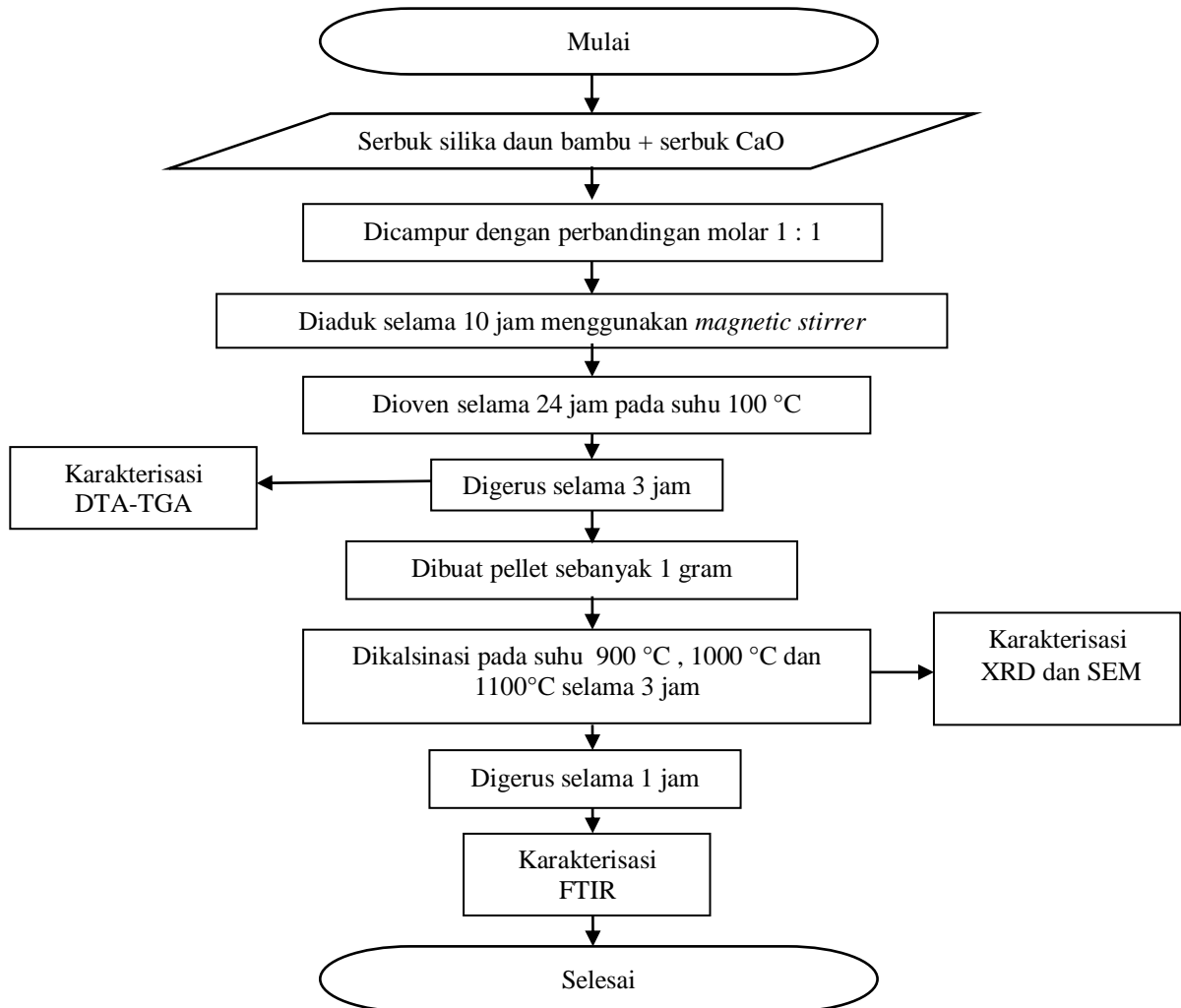
Proses preparasi cangkang kerang tahu (*meretix-meretix*) pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5. Diagram alir preparasi cangkang kerang tahu (*meretix-meretix*).

Proses sintesis *wollastonite* dengan metode reaksi padatan ditunjukkan pada

Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Sintesis *wollastonite* dengan metode reaksi padatan.

Variasi sampel hasil sintesis dalam penelitian ini ditampilkan pada **Tabel 3.1.**

Tabel 3.1. Kode sampel *wollastonite*.

| Kode Sampel | Keterangan |
|--------------|---|
| WBLA 900 °C | Wollastonite Bamboo Leaf Ash yang dikalsinasi pada suhu 900 °C |
| WBLA 1000 °C | Wollastonite Bamboo Leaf Ash yang dikalsinasi pada suhu 1000 °C |
| WBLA 1100 °C | Wollastonite Bamboo Leaf Ash yang dikalsinasi pada suhu 1100 °C |

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Sintesis *wollastonite* telah dilakukan menggunakan limbah bio (daun bambu) dan cangkang kerang tahu (*meretix-meretix*) dengan metode reaksi padatan. Hasil analisa FTIR menunjukkan adanya *wollastonite* pada sampel WBLA 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C yang dikonfirmasi dengan munculnya gugus Si-O-Ca. Hasil tersebut juga didukung dari analisa XRD yang mengidentifikasi adanya fasa β -CaSiO₃ dan α -CaSiO₃ pada masing-masing sampel. Pembentukan fasa β -CaSiO₃ dan α -CaSiO₃ juga dikonfirmasi dari hasil DTA dengan munculnya puncak eksotermik pada suhu 728 °C dan 1062 °C. Selain itu, analisa DTA-TGA juga menunjukkan adanya penyusutan massa akibat terjadinya penguapan H₂O dan dekomposisi kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi kalsium oksida (CaO) pada sampel *wollastonite*. Morfologi *wollastonite* diamati melalui SEM menunjukkan bentuk partikel *spheroid* (bulat) dengan ukuran butir rata-rata 0,28 μ m, 0,32 μ m dan 0,71 μ m pada sampel *wollastonite* suhu 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C. Berdasarkan hasil yang diperoleh, silika daun bambu dan kalsium oksida dari cangkang kerang tahu (*meretix-meretix*) berpotensi digunakan sebagai sumber bahan baku alternatif untuk pembuatan *wollastonite* yang sederhana.

B. Saran

Diperlukan penelitian dan uji karakterisasi fisis lebih lanjut tentang sintesis *wollastonite* berbahan dasar silika daun bambu dan cangkang kerang tahu (*meretix-meretix*).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Nurjanna, H., and Rizky. 2017. Chemical Characteristics of Maretrix, Pholas Dactylus and Babylonia Spirata Meat. *Jurnal Teknik dan Industri Pangan*. Vol. 28. No. 1. Hal. 78-84.
- Adams, L. A., Essien, E. R., and Kaufmann, E.E. 2018. A New Route to Sol-Gel Crystalline Wollastonite Bioceramic. *Journal of Asian Ceramic Societies*. Vol. 6. No. 2. Hal. 132-138.
- Akca, A. H., and Özyurt, N. 2018. Effects of Re-Curing on Microstructure of Concrete After High Temperature Exposure. *Construction and Building Materials*. Vol. 168. Hal. 431-441.
- Almasri, K. A., Aziz., Matori., and Zaid. 2017. Effect of Sintering Temperature on Physical, Structural and Optical Properties of Wollastonite Based Glass-Ceramic Derived from Waste Soda Lime Silica Glasses. *Results in Physics*. Vol. 7. Hal. 2242-2247.
- Amin, A. S., and Oza, B. I. 2015. Study on Effect of Wollastonite on the Thermal Properties of Nylon-6 and Morphological Analysis. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. Vol. 3. No.7. Hal. 4650-4653.
- Aminullah., Rohaeti, E., and Irzaman. 2015. Reduction of High Purity Silicon From Bamboo Leaf As Basic Material in Development of Sensors Manufacture in Satellite Technology. *Journal Procedia Environmental Sciences*. Vol. 24. Hal. 308-316.
- Amu, O., and Adetuberu, A. 2010. Characteristics of Bamboo Leaf Ash Stabilization on Lateritic Soil in Highway Construction. *International Journal of Engineering and Technolog*. Vol. 2. No. 4. Hal. 212-219.
- Anjaneyulu, U., and Sasikumar, S. 2014. Bioactive Nanocrystalline Wollastonite Synthesized By Sol-Gel Combustion Method By Using Eggshell Waste As Calcium Source. *Bulletin Of Materials Science*. Vol. 37. Hal. 207-212.
- Asaolu, V. O., Odeyinka., Akinbamijo, O., and Sodeinde, F.G. 2009. Feed Intake, Nutrient Digestibility And Nitrogen Utilization Of Graded Levels Of Moringa And Bamboo Leaves By West African Dwarf Goats.

Bulletin Of Animal Health And Production In Africa. Vol. 57. No. 4. Hal. 361-368

- Ashraf, W., and Olek, J. 2016. Carbonation Behavior of Hydraulic and Non Hydraulic Calcium Silicates: Potential Of Utilizing Low-Lime Calcium Silicates in Cement Based Materials. *Journal Material Science*. Vol. 51. Hal. 6173-6191.
- Astuti, M. D., Radna, N., and Dwi, R. M. 2012. Immobilization of Silica Gel Onto 1-8-Dihydroxyanthraquinone Through Sol-Gel Process. *Journal of Sains and Chemical*. Vol. 6. No.1. Hal. 25-34.
- Askeland, D., Pradeep., and Wendellin. 2010. *The Science And Engineering of Material 6th Edition*. USA.
- Asmi, D., and Zulfia. 2017. Blood Cockle Shells Waste As Renewable Source For The Production Of Biogenic CaCO₃ and Its Characterisation. *Earth and Environ. Sci*. 94.012049.
- Baciu, D., and Simitzis, J. 2007. Synthesis and Characterization of A Calcium Silicate Bioactive Glass. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. Vol. 9. No.11. Hal. 3320-3324.
- Bahanan, R. 2010. Pengaruh Waktu Sonokimia Terhadap Ukuran Kristal Kalsium Karbonat (CaCO₃). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta. Hal. 19-20.
- Balgies, S. U. D., and Kiagus. D. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit Menggunakan Analisis X-Ray Diffraction. *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar-X ke 8*. Hal. 10-13.
- Beckhoff, B., Kanngießler, B., Langhoff, N., Wedell, R., and Wolff, H. 2006. *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Springer. Germany.
- Bendary, I. M., Isadora M. G., Fabrício M. C., Antonio T., Susana M. W. S., and Vicente C. B. L. 2020. Wollastonite as Filler of an Experimental Dental Adhesive. *Journal of Dentistry*. No. 102. Hal. 1-9.
- Bhadeshia, H.K. 2002. *Thermal Analysis Techniques: Material Science and Metallurgy*. University of Cambridge. Cambridge.
- Bhatia, R. B., and Brinker, C. J. 2000. Aqueous Sol-gel Process for Protein Encapsulation. *Chemical Materials*. Vol. 12. No. 8. Hal. 2434-2441.
- Boisen, M. B., Gibbs, G. V., and Bukowinski, M. S. T. 1994. Framework Silica Structures Generated using Simulated Annealing with a Potential Energy

Function Based on an $H_6Si_2O_7$ Molecule. *Physics and Chemistry of Minerals*. Vol. 21. No. 5. Hal. 269-284.

Borodina, I. A., and Kozik, V. V. 2005. *Composite Materials Based on Wollastonite for Automobile Construction*. Tomsk State University. Russia.

Brown, M. E. 1988. *Introduction Thermal Analysis techniques and Application*. Chapman & Hall. London.

Buhrke, V. E., Jenkins, R., and Smith, D. K. 1998. *A Practical Guide for the Preparation of Specimens for XRF and XRD Analysis*. Wiley. Germany.

Chakradar, R. P. S., Nagabhushana, B. M., Chandrappa, G. T., Ramesh, K. P., and Rao, J. L. 2006. Solution Combustion Derived Nanocrystalline Macroporous Wollastonite Ceramics. *Journal Material Chemistry and Physics*. Vol. 95. Hal. 169-175.

Chehlatt, S., Harabi. A., Oudadesse, H., and Harabi, E. 2015. In Vitro Bioactivity Study of Pure Wollastonite Prepared from Local Raw Materials. *Acta Physica Polonica A*. Vol. 127. No.4. Hal. 106-135.

Chen, C. C., Lai, M. H., Wang, W. C., and Ding, S. J. 2010 . Properties of Anti Washout Type Calcium Silicate Bone Cements Containing Gelatin. *Journal Materials Science: Materials Medic*. Vol. 21. Hal. 1057-1068.

Choudhary, O. P., and Priyanka. 2017. Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. Vol. 6. No. 5. Hal. 1877-1882.

Collie, R.L. 1976. *Solar Heating System*. U.S Patent. USA.

Crooks, A.F. 1999. Wollastonite in South Australia. *Primary Industries and Resource*. Vol. 2. Hal. 1-16.

Cullity, B. D. 1956. *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley. USA.

Cullity, B. D., and Stock, S. R. 2001. *Elements of X-ray Diffraction, Third Edition*. Pearson. USA.

Daifullah, A. A. M., Girgis, B. S., and Gad, H. M. H. 2003. Utilization of Agroresidues (Rice Husk) In Small Waste Water Treatment Plans. *Journal Materials Letters*. Vol. 57. Hal. 1723-1731.

De Aza, P. 2000. Reactivity of Wollastonite Tricalcium Phosphate Bioeutectic Ceramic in Human Parotid Saliva. *Biomaterials*. Vol. 21. No. 17. Hal. 1735-1741.

- Declet, A., Reyes E., and Suarez M. 2016. Calcium Carbonate Preparation: A Review of the Carbonate Crystallization Process and Application in Bioinspired Composites. *Review Advance Material*. Vol. 44. Hal. 87-107.
- Della, V. P., Kuhn, I., and Hotza, D. 2002. Rice Husk Ash as an Alternate Source for Active Silica Production. *Materials Letters*. Vol. 57. Hal. 818-821.
- Dera, P., Lazarz J. D., Prakapenka V. B., Barkley M., and Downs R. T. 2011. New Insights into the High Pressure Polymorphism of SiO₂ Cristobalite. *Physics and Chemistry of Minerals*. Vol. 38. Hal. 517-529.
- Ding, S. J., Shie, M. Y., and Wang, C. Y. 2009. Novel Fast Setting Calcium Silicate Bone Cement With High Bioactivity And Enhanced Osteogenesis In Vitro. *Journal Material Chemistry*. Vol. 19. No. 8. Hal. 1180-1190.
- Downs, R. T., and Palmer, D. C. 1994. The Pressure Behavior of α Cristobalite. *American Mineralogist*. Vol. 79. Hal. 9-14.
- Dransfield, S., and E.A, Widjaya. 1995. Bamboos. *Plant Resources of East Asia (PROSEA) Backhugs Publisher Leiden*. No. 7. Hal. 12-19.
- Du, H., Hamilton, P. D., Reilly, M. A., Biswas, P., and Ravi, N. 2009. A Facile Synthesis of Highly Water-soluble, Core-shell Organo Silica Nano with Controllable Size via Sol-gel Process. *Journal Colloid Interface Science*. Vol. 340. Hal. 202-208.
- Dwivedi, V. N., Singh, N. P., and Singh. 2006. A New Pozzolanic material For Cement Industry: Bamboo Leaf Ash. *Int J Physics Sci*. Vol. 1. Hal. 106-111.
- Frías, M., Villar, E., Rojas, M. I. S., and Santos, S. 2012. Cement & Concrete Composites Characterization and Properties of Blended Cement Matrices Containing Activated Bamboo Leaf Wastes. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 34. Hal. 1019–1023.
- Gabbot, Paul. 2007. *Principles and Applications of Thermal Analysis*. Wiley-Blackwel. USA.
- Gedde, U. W. 1995. *Polymer Physics*. Chapman and Hall. London.
- Graetsch H., and Dierdorf I. T. 1996. Spectrum and Superstructure of Modulated Tridymite. *European Journal of Mineralogy*. Vol. 8, No. 1. Hal. 103-113.
- Griffiths, P. R. 1975. *Chemical Infrared Fourier Transform*. John Willey & SMS. Toronto.
- Gupta, C. K. 2003. *Chemical Metallurgy: Principles and Practice*. Wiley-VCH. India.

- Halvorson, J. J., K. A. Cassida., Kenneth. E., and David B. 2010. Nutritive Value Of Bamboo As Browse For Livestock. *Renewable Agriculture And Food Systems*. Vol. 26. No. 2. Hal. 161-170.
- Hammer, A. 2013. *Thermal Analysis of Polymers*. Mettler Toledo. Switzerland.
- Haq, I. U., Akhtar, A., and Malik, A. 2014. Effect of Experimental Variables on the Extraction of Silica from the Rice Husk Ash. *Journal of Chemical Society of Pakistan*. Vol. 36. No. 3. Hal. 382-387.
- Hariharan, M., Varghese, N., Cherian, A. B., Sreenivasan, P. V., Paul, J., and Antony, A. 2014. Synthesis And Characterization Of CaCO₃ (Calcite) Nano Particles From Cockle Shells Using Chitosan As Precursor. *International Journal of Scientific and Research Publications*. Vol. 4. No. 10. Hal. 1-5.
- Hariyati, Anis, S., and Agus, W. 2019. Ekstraksi Kalsium Karbonat (CaCO₃) Dari Bahan Dasar Cangkang Kerang *Ale-Ale (Meretrix)* Pada temperatur Kalsinasi 500 °C. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. Vol. 8. No. 1. Hal. 54-58.
- Hayashi, Y. S. S., Shah. K. S., and Kumagai. 2005. Dairy Production And Nutritional Status Of Lactating Buffalo And Cattle In Small-Scale Farms In Terai, Nepal. *Livestock Research For Rural Development*. Vol. 17. No. 64. Hal. 1-9.
- Hench, L. 1991. Bioceramics from Concept to Clinic. *Journal Ceramic*. Vol. 74. No. 7. Hal. 1487-510.
- Hesse, K. F. 1984. Refinement of the Crystal Structure of Wollastonite-2m (*Parawollastonite*). *Journal Zeitschrift Fur Kristallographie*. Vol. 168. Hal. 93-98.
- Hildayati, T., Faisal, H., and Sudirman. 2009. Sintesis dan Karakterisasi Bahan Komposit Karet Alam Silika. *Seminar Nasional Pasca Sarjana IX*. Departemen Fisika MIPA Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Hoque, M., Muhammad, S., and Khandakar. 2013. Processing and Characterization of Cockle Shell Calcium Carbonate (CaCO₃) Bioceramic for Potential Application in Bone Tissue Engineering. *Journal Material Sci Eng*. Vol. 2. No. 4. Hal. 132-136.
- Hossain, S. K. S., and P. K. Roy. 2019. Study of Physical and Dielectric Properties of Bio Waste Derived Synththetic Wollastonite. *Journal of Asian Ceramic Societies*. Vol. 6. No. 3. Hal. 289-298.
- Hossain, S. K. S., Sushma Y., Shreyasi M., Krishnamurthy., Ram P., and Roya. 2020. A Comparative Study of Physico-Mechanical, Bioactivity and Hemolysis Properties of Pseudo-Wollastonite and Wollastonite Glass-

- Ceramic Synthesized From Solid Wastes. *Ceramics International* Vol. 46. Hal. 833–843.
- Huang, X., Jiang, D., and Tan, S. 2004. Apatite Formation on The Surface of Wollastonite Tricalcium Phosphate Composite Immersed In Simulated Body Fluid. *Journal of Biomedical Materials Research*. Vol. 69. No. 1. Hal. 70-72.
- Ibrahim, M. H., El-Naas, M. H., Zevenhoven, R., and Al-Sobhi, S. 2019. Enhanced CO₂ Capture Through Reaction With Steel-Making Dust in High Salinity Water. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Vol 91. Hal. 1 – 9.
- Imarally, V. S. R., Willams T. B., Raul G. C., Marcus V. L., and Miguel A. R. 2018. Synthesis of Wollastonite Powders by Combustion Method: Role of Amount of Fuel. *International Journal of Chemical Engineering*. Hal. 1-8.
- Inkson, B.J., 2016. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. *Material Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Halaman 17-43.
- Islam, K. N., Zuki B. A. B., Mustapha M. N., Zubir B. H., Norshazlirah S. B. A. R., and Eaqub A. 2011. Characterisation of Calcium Carbonate and its Polymorphs from Cockle Shell. *Powder Technology*. Vol. 213. Hal. 188-191.
- Ismail, H., Shamsudin, R., Hamid, M.M.A., and Awang, R. 2016. Characteristics of Wollastonite Derived from Rice Straw Ash and Limestone. *Journal of The Australian Ceramic Society*. Vol. 52. No. 2. Hal. 163 – 174.
- Ismail, H., Shamsudin, R., Hamid, M. A. A., and Jalar, A. 2013. Synthesis and Characterization of Nano Wollastonite from Rice Husk Ash and Lime Stone. *Journal Material Science*. Vol. 756. Hal. 43-47.
- Istiyati., and Asmi, D. 2013. Fabrikasi dan Karakterisasi Keramik Kalsium Silikat dari Komposisi Cangkang Telur dan Silika Komersil dengan Reaksi Padatan Pada Suhu 1300 °C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 1. No. 1. Hal. 37-42.
- Jacob, C. J. 1976. *Synthesis of Wollastonite from Natural Materials without Fusion*. Patent. USA.
- Kalapathy, U., Proctor, A., and Shultz, J. 2002. An Improved Method for Production of Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vo. 85. No. 3. Hal. 285-289.

- Kalapathy, U., Proctor, A., and Shultz, J. 2002. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vo.73. No. 3. Hal. 257-262.
- Kashim, M. Z., Haylay, T., Omeid, R., Zainol, A. A. B., and Shahram. 2020. Reaction Mechanism of Wollastonite In Situ Mineral Carbonation for CO₂ Sequestration: Effects of Saline Conditions, Temperature, and Pressure. *American Chemical Society*. Vol. 5. Hal. 28942-28954.
- Krisdianto, S., Sumarni., and Ismiarto, A. 2006. *Sari Hasil Penelitian Bambu*. Departemen Kehutanan Jakarta. Jakarta.
- Kusrini, E., and Sontang, M. 2012. Characterization of X-Ray Diffraction and Electron Spin Resonance: Effects of Sintering Time and Temperature on Bovine Hydroxyapatite. *Radiation Physics and Chemistry*. Vol. 81. No. 2. Hal. 118-125.
- Larsson, T. F., Martinez, J. M. M., and Valles, J. L. 2007. *Biomaterials for Healthcare A decade of Eu-Funded Research*. Industrial Technologies Unit Materials. European.
- Lee, W.E. and Rainforth, W.M. 1994. *Preparation of Ceramic Samples for Microscope in Ceramic Microstructure: Property Control by Processing*. Chapman and Hall. London. Hal. 244-247.
- Lee, B., Hong P. L., Jerry C., Wei-Chuan W., Ping-Hsuan H., Yu-Hsin T., and Yuan-Ling L. 2018. A Novel Sol-Gel-Derived Calcium Silicate Cement with Short Setting Time for Application in Endodontic Repair Of Perforations. *International Journal of Nanomedicine*. Vol. 13. Hal. 261–271.
- Levien, L., Prewitt, C. T., and Weidner, D. J. 1980. Structure and Elastic Properties of Quartz at Pressure P = 1 atm. *American Mineralogist*. Vol. 65. Hal. 920-930.
- Li, Z., Zhang, J., Du, J., Han, B., and Wang, J. 2006. Preparation of Silica with Nano-sized Pores in Ionic Liquid Microemulsions. *Physicochemical and Engineering Aspects*. Vol. 286. No. 1-3. Hal. 117-120.
- Lim, H. C., Zhang, M. L., Lee, J. S., Jung, U. W., and Choi, S. H. 2015. Effect of Different Hydroxyapatite: β -Tricalcium Phosphate Ratios on the Osteoconductivity of Biphasic Calcium Phosphate in the Rabbit Sinus Model. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. Vol. 30. No. 1. Hal. 65–72.
- Lin, K., Chang, J., Chen, G., Ruan, M., and Ning, C. 2007. A Simple Method to Synthesize Single-Crystalline Beta-Wollastonite Nanowires. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 300. No. 2. Hal. 267-271.

- Lin, K., Zhai, W., Ni, S., Zeng, Y., and Qian, W. 2005. Study of the Mechanical Property and in Vitro Biocompatibility of CaSiO Ceramics. *Ceramics International*. Vol. 31. No. 2. Hal. 323-326.
- Liou, T. H., and Wu, S. J. 2009. Characteristics of Microporous Carbons Prepared from Rice Husk and Acid treated Conditions. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 171. No. 1-3. Hal. 693-703.
- Liu, X., and Ding, C. 2001. Reactivity of plasma-sprayed wollastonite coating in simulated body fluid. *Journal of Biomedical Materials Research*. Vol. 59. No. 2. Hal. 259-264.
- Liu, X., Ding, C., and Chu, P. K. 2004. Mechanism of Apatite Formation on Wollastonite Coatings in Simulated Body Fluids. *Biomaterials*. Vol. 25. No. 10. Hal. 1755–1761.
- Lu, P. and Hsieh, Y. 2012. Highly Pure Amorphous Silica Nano-Disks from Rice Straw. *Powder Technology*. Vol. 225. Hal. 149–155.
- Luyt, A.S., Dramicanin, M.D., Antic, A., and Djokovic, V. 2009. Morphology, Mechanical and Thermal Properties of Composites of Polypropylene and Nanostructured Wollastonite Filler. *Polymer Testing*. Vol. 28. No. 3. Hal. 348-356.
- Luis, A. N. R., Romero, M. A. E., Alvarez, A. G., Garcia, J. I. V., Munive, G. C. T. 2018. Evaluation of Bioactive Properties of α and β Wollastonite Bioceramics Soaked in a Simulated Body Fluid. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. Vol. 9. No. Hal. 263 – 276.
- Manivannan, R., and Ramanathan, S. 2009. The Effect of Hydrogen Peroxide on Polishing Removal Rate in CMP with Various Abrasives. *Applied Surface Science*. Vol. 255. No. 6. Hal. 3764-3768.
- Manoli, F., and Dalas, E. 2000. Spontaneous Precipitation of Calcium Carbonate in The Presence of Ethanol, Isopropanol, and Diethylene Glycol. *Journal Crystal Growth*. Vol. 218. No. 2-4. Hal. 359-364.
- Markgraf, S.A., and Reeder, R.J. 1985. High-Temperature Structure Refinements of Calcite and Magnesite. *American Mineralogist* .Vol. 70. Hal. 590-600.
- Matchi, I. I., Barboni, D., Meunier, J. D., Saadou, M., Dussouillez, P., Contoux, C., and Guede, N. Z. 2016. Intraspecific Biogenic Silica Variations in the Grass Species Along An Evapotranspiration Gradient in South Niger. *Journal Flora*. Vol. 220. Hal. 84-93.
- Maulita, Herlina. 2016. Preparasi Dan Karakterisasi Limbah Biomaterial Cangkang Kerang Kijing dari Kecamatan Pekalongan Sebagai Bahan Dasar Biokeramik. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.

- Mijan N. A., Yap Y. H., and Lee H. V. 2015. Synthesis Of Clamshell Derived $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nanoparticles via Simple Surfactant Hydration Treatment. *Journal Industry Engineering Chemistry*. Vol. 262. Hal. 1043–1051.
- Mohamed, M., Yusup, S., and Maitra, S. 2012. Decomposition Study Of Calcium Carbonate In Cockle Shell. *Journal Engineering Science and Technology*. Vol. 7. Hal. 1-10.
- Momma, K., and Izumi, F. 2011. VESTA 3 for Three-dimensional Visualization of Crystal, Volumetric and Morphology Data. *Journal of Applied Crystallography*. Vol. 44. Hal. 1272-1276.
- Monshizadeh, M., Rajabi, M., Ahmadi, M. H., and Mohammadi, V. 2014. Synthesis and Characterization of Nano SiO_2 from Rice Husk Ash by Precipitation Method. *3rd National Conference on Modern Researches in Chemistry and Chemical Engineering*. Iran.
- Neniati, D. W. 2016. Preparasi dan Karakterisasi Limbah Biomaterial Cangkang Bekicot (*Achantina Fulica*) dari Desa Gunung Madu Sebagai Bahan Dasar Biokeramik. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Newport, R. J., Skipper, L. J., Carta, D., Pickup, D. M., Sowrey, F. E., Smith, M. E., Saravanapavan, P., and Hench, L. L. 2006. The Use Of Advanced Diffraction Methods In The Study Of The Structure Of A Bioactive Calcia: Silica Sol Gel Glass. *Journal Materials Science: Material Medic*. Vol. 17. Hal. 1003-1010.
- New York City Opera. 2011. Additional Reading: General Wollastonite Information. *Journal of Own Mineral A World Application*. USA. Vol. 79. Pp. 2.
- Nizami. 2003. Characterization Of A Material Synthesized By Availing Silica From Plant Source. *J Mat. Sci. Thech*. Vol. 19. No. 6. Hal. 599-603.
- Nour, W. M. N., Mostafa, A. A., and Ibrahim, D. M. 2008. Recycled Wastes As Precursor for Ynthesizing Wollastonite. *Ceramics International*. Vol. 34. No. 1. Hal. 101-105.
- Nurdina, A. 2016. Preparasi dan Karaterisasi Limbah Biomaterial Cangkang Kerang Samping dari Daerah Teluk Lampung sebagai Bahan Dasar Biokeramik. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Obeid, M. M. 2014. Crystallization Of Synthetic Wollastonite Preparedfrom Local Raw Aterials. *International Journal of Materials and Chemistry*. Vol. 4. No. 4. Hal. 79-87.
- Othmer, D. F., and Ke Kirk, R. E. 1957. *Inorganic Process Industries*. The Macmillan Company. New York.

- Patnaik, P. 2003. *Handbook of Inorganic Chemicals*. Mc Graw Hill Book Company. New York. Hal. 159.
- Pei, L. Z., Yang, L. J., Yang, Y., Fan, C. G., Yin, W. Y., Chen, J., and Zhang, Q. F. 2010. A Green And Facile Route To Synthesize Calcium Silicate Nanowires. *Materials Characterization*. Vol. 6. No. 11. Hal. 1281-1285.
- Phuttawong, R., Napat, C., Pusit, P., and Ratchadaporn, P. 2015. Synthesis and Characterization of Calcium Silicate from Rice Husk Ash and Shell of Snail *Pomacea Canaliculata* by Solid State Reaction. *Advanced Materials Research*. Vol. 1103. Hal. 1-7.
- Podporska, J., Blazewicz, M., Trybalska, B., and Zych, L. 2008. A Novel Ceramic Material with Medical Application. *Processing and Application of Ceramics*. Vol. 2. Hal. 19-22.
- Priyanto, D. A., 2010. Analisis Pengembangan Desa-Desa Pantai Bagi Pengelolaan Konflik Penangkapan Ale-Ale (*Meretrix* spp.) di Perairan Ketapang Kalimantan Barat. *Tesis*. MSP Universitas Diponegoro. Semarang.
- Puntharod, R., Sankram, C., Chantaramee, N., Pookmanee, P., and Kenneth, H. 2013. Synthesis and Characterization of Wollastonite From Egg Shell and Diatomite by The Hydrothermal Method. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 14. No. 2. Hal. 198-201.
- Rahman, I. A., Ismail, J., and Osman, H. 1997. Effect of Nitric Acid Digestion on Organic Materials and Silica in Rice Husk. *Journal of Materials Chemical*. Vol. 7. No. 8. Hal. 1505-1509.
- Rashid, R. A., Shamsudin, R., Hamid, M. A. A., and Jalar, A. 2014. Low Temperature of Wollastonite from Limestone and Silica Sand Through Solid State Reaction. *Journal of Asian Ceramic Societies*. Vol. 2. Hal. 77-81.
- Robert, F.S. 1994. *Thermal Analysis of Materials*. Marcell Dekker, Inc. Madison Avenue. New York.
- Saxena, S. K., M. Kumar., D.S. Chundawat., and N.B. Singh. 2020. Utilization Of Wollastonite In Cement Manufacturing. *Mat. Today : Proceedings*. Vol. 29. No.3. Hal. 733-737.
- Serway, R. A., and Jewett, John W. 2009. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Salemba Teknika. Jakarta. Hal. 365-367.
- Setiabudi, A., Hardian, R., and Mudzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. UPI Press. Bandung.

- Shamsudin, R., Abdul, A. F., and Ismail, H. 2017. Bioactivity and Cell Compatibility of β -Wollastonite Derived from Rice Husk Ash and Limestone. *Materials*. Vol. 10. No. 10. Hal. 1188.
- Sharafabadi, A. K., Majid A., Amirhossein K., Amirsalar K., and Neriman O. 2017. A Novel and Economical Route for Synthesizing Akermanite ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$) Nano-Bioceramic. *Materials Science and Engineering*. Vol. 71. Hal. 1072–1078.
- Shriver, D. F., and Atkins, P. W. 2006. *Inorganic Chemistry, 4th Edition*. Oxford University Press. Oxford. Hal. 189-190.
- Shukur, M. M., Al-Majeed, E. A., and Obeid, M. M. 2014. Characteristic Of Wollastonite Synthesized From Local Raw Material. *International Journal of Engginering and Technology*. Vol. 4. No. 7. Hal. 426-429.
- Sihole, M. 2008. Analisis Pengaruh Penambahan Mullite $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ dan Variasi Suhu Sintering terhadap Karakteristik Keramik Al_2O_3 dengan Simulasi Program Matlab. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara: Medan. Hal. 32-37.
- Singh, N. B., Singh, N. P., and Divendi, U.N. 2007. Hydration of Bamboo Leaf Ash Blended Portland Cement. *Indian Jurnal of Engineering dan Methods Science*. Vol 14. Hal 69-76.
- Singh, S. P., and Charmakar, B. 2011. Nano Calcium Silicate Particles At Room Temperature. *New Journal of Glass and Ceramics*. Vol. 1. Hal. 49-52.
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 2002. *Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Srinath, P., Reddy, V, G., Samudrala, R, K., Azeem, A, P. 2019. In Vitro Bioactivity and Degradation Behaviour of β -Wollastonite Derived from Natural Waste. *Material Sciences and Engineering*. Vol. 98. Hal. 109-117.
- Stokes, D. J. 2008. *Principles and Practice of Variable Pressure Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM)*. John Wiley & Sons. Chichester.
- Suci, I. A. 2016. Sintesis Hidroksiapatit Berbasis Cangkang Kerang Ale-Ale (*Meretrix Meretrix*) Dan Pelapisannya Pada Paduan Logam. *Thesis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suhardiman, M. 2011. Kajian Pengaruh Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Beton. *Jurnal Teknik*. Vol 1. No 2. Hal. 23-25.
- Sultana, S., Rahman, Md, M., Yeasmin, Z., Ahmed, S., and Rony, F.K. 2020. Effect of the Ratio of Eggshell and Rice Husk as Starting Materials on the

- Direct Synthesis of Bioactive Wollastonite by Solid State Thermal Method. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 21. No. 3. Hal. 285 – 289.
- Sun, Y.S., Li, A.L., Xu, F.J., and Qiu, D. 2013. A Low-Temperature Sol Gel Route for the Synthesis of Bioactive Calcium Silicates. *Chinese Chemical Letters*. Vol. 24. Hal. 170-172.
- Surdia, T., and Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Keempat*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Syafri, R., Hasmalina N., and Antonius M. 2019. Utilization of Blood Cockle Shell (*Anadara Granosa*) Waste and Silica Sand in Manufacturing Calcium Silicate as Fillers in Paper Making Industry. *Advances in Engineering Research*. V. 190. Hal. 80-85.
- Tangriboon, N., Khongnakhon, T., Kittikul, S., Kunanuruksapong, R., and Sirivat. 2011. An Innovative CaSiO_3 Dielectric Material From Eggshells By Sol Gel Process. *Journal Sol Gel Science Technology*. Vol. 58. Hal. 33-41.
- Thenmuhil, D., Vignaswaran., Shultana R. Y., and Pavithra T. 2014. Preparation of Wollastonite from Used Plaster of Paris and Quartz through Solid-State Reaction. *International Conference on Multidisciplinary Reaserch and Practice*. Vol. 8. Hal. 540-543.
- Todkar, B. J., Deorukhkar O. A., and Deshmukh, S. M., 2016. Extraction of Silica from Rice Husk. *International Journal of Engineering Research and Development*. Vol. 12. No. 3. Hal. 69-74.
- Trojer, F. J. 1969. The Crystal Structure Of A High Pressure Polymorph Of CaSiO_3 . *Journal Zeitschrift Fur Kristallographie*. Vol. 130. Hal. 185-206.
- Umeda, J., and Kondoh, K. 2010. High Purification of Amorphous Silica Originated from Rice Husk by Combination of Polysaccharide Hydrolysis and Metallic Impurities Removal. *Industrial Crops and Products*. Vol. 32. No. 3. Hal. 539-544.
- Velmurugan, P., Jaehong, S., Kui-Jae., Min, C., Sung-Sik, L., Sang-Ki, S., Kwang-Min, C., Keuk-Soo, B., and Byung-Taek, O. 2015. Extraction, Characterization, And Catalytic Potential Of Amorphous Silica From Corn Cobs By Sol Gel Method. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*. Vol. 29. Hal. 298-303.
- Vida, S., Jumate, N., Chicinas, I., and Batin, G. 2004. Applications of Scanning Electron Microscopy (SEM) in Nanotechnology and Nanoscience. *Journal Physics*. Vol. 49. No. 9-10. Hal. 955-965.
- Villar-Cociña, E. Morales, E. V., Santos, S. F., Junior, H. S., and Frias, M. 2011. Pozzolanic Behavior of Bamboo Leaf Ash: Characterization and

Determination of The Kinetic Parameters. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 33. No. 1. Hal. 68–73.

Voort, P., Leus, Karen., C., and De, E. 2019. *Introduction to Porous Materials 1st Edition*. John Wiley and Sons, Inc. USA.

Wang, H., Qilong, Z., Hui, Y., and Huiping, S. 2008. Synthesis and Microwave Dielectric Properties of CaSiO Nanopowder by the Sol–Gel Process. *Ceramics International*. Vol. 34. Hal. 1405–1408.

Wang, J., and Becker U. 2009. Structure and Carbonate Orientation of Vaterite (CaCO₃). *American Mineralogist*. Vol. 94. Hal. 380-386.

Wang, Z. L., Gao, R. P., Gole, J. L., and Stout, J. D. 2000. Silica Nanotubes and Nanofiber Arrays. *Journal Advanced Materials*. Vol. 12, No. 24. Hal. 1938-1940.

Warren, B. E. 1969. *X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Massachusetts.

Wu, B. C., Wei, C. K., Hsueh, N. S., and Ding, S. J. 2014. Comparative Cell Attachment, Cytotoxicity, And Antibacterial Activity Of Radiopaque Dicalcium Silicate Cement And White Coloured Mineral Trioxide Aggregate. *International Endodontic Journal*. Vol. 48. No. 3. Hal. 268-276.

Yalcin, N., and Sevinc, V. 2001. Studies on Silica Obtained from Rice Husk. *Ceramics International*. Vol. 27. No. 2. Hal. 219-224.

Yakub, I. 2013. Porosity, Flow, and Characteristics of Fustum Shaped Ceramic Water Filters. *Journal Environmental Engineering*. Vol. 139. NO. 7. Hal. 986-994.

Yang, H., and Prewitt, C.T. 1999. On the Crystal Structure of Pseudowollastonite (CaSiO₃). *American Mineralogist*. Vol. 84. Hal. 929-932.

Yarusova, S. B., Pavel S. G., Yogesh C. S., Aleksandr V. P., and Andrey V. K. 2017. Industrial Waste as Raw Material for Producing Synthetic Wollastonite in Russia. *International Journal of Environmental Science and Development*. Vol. 8. No. 2. Hal. 130-134.

Yazdani, A., Hamid. R., And Hossein. G. 2010. Investigation Of Hydrothermal Synthesis Of Wollastonite Using Silica And Nano Silica at Different Pressures. *Journal Of Ceramic Processing Research*. Vol. 11. No. 3. Hal. 348-353.

Yun, Y. H., Kim, S. B., Kang, B. A., Lee, Y. W., Oh, J. S., and Hwang, K. S. 2006. β -Wollastonite Reinforced Glass Ceramics Prepared from Waste

Fluorescent Glass and Calcium Carbonate. *Journal Material Processing Technology*. Vol. 178. No 1-3. Hal. 61-66.

Yuvakkumar, R., Elango, V., Rajendran, V., and Kannan, N. 2012. High-purity Nano Silica Powder from Rice Husk Using a Simple Chemical Method. *Journal of Experimental Nanoscience*. Vol. 9. No. 3. Hal. 272-281

Zhang, J., Postovit, L. M., and Wang, D. 2009. In Situ Loading of Basic Fibroblast Growth Factor within Porous Silica Nanoparticles for a Prolonged Release. *Nanoscale Research Letters*. Vol. 4. No. 11. Hal. 1297-1302.

Zhang, N., Molenda, J. A., Fournelle, J. H., Murphy, W. L., and Sahai, N. 2010. Effects of Pseudowollastonite (CaSiO₃) Bioceramic on in Vitro Activity of Human Mesenchymal Stem Cells. *Journal Biomaterials*. Vol. 31. Hal. 7653-7665.