

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KALSIUM SILIKAT  
BERBAHAN DASAR CANGKANG KERANG DARAH  
PADA SUHU KALSINASI 1000 °C**

(Skripsi)

Oleh

**ELISA PUSPITA**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

## ABSTRACT

### SYNTHESIZE AND CHARACTERIZATION OF CALSIUM SILICATE BASED BLOOD COCKLE SHELLS CALCINATION TEMPERATURE AT 1000 °C

By

**Elisa Puspita**

*The objective of this research is to synthesize of calcium silicate based calcium carbonate from blood cockle shells (*Anadara granosa*) and  $\text{CaCO}_3$  commercial as control, along with rice husk as silica by using solid state method and calcined at 1000 °C. The samples obtained were characterized using Differential Thermal Analysis-Thermogravimetric Analysis (DTA-TGA), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX), and Fourier Transform Infra-Red (FTIR). The DTA-TGA result showed that calcium silicate occurs mass shrinkage caused by decomposition  $\text{CaCO}_3$  to  $\text{CaO}$ , which blood cockle shells calcium silicate is 27,52 % and  $\text{CaCO}_3$  commercial calcium silicate is 28,03%. XRD result showed that formed  $\beta\text{-CaSiO}_3$  and  $\alpha\text{-CaSiO}_3$  phase, which  $\beta\text{-CaSiO}_3$  phase is major phase. SEM result showed that samples have a spheroid particles and surfaces begin to agglomerated, which an average particles size of blood cockle shells calcium silicate is 0,287  $\mu\text{m}$  and  $\text{CaCO}_3$  commercial calcium silicate is 0,297  $\mu\text{m}$ . EDX result showed that sample contained Ca, Si, O, C, and K. The functional groups presence in the FTIR result showed that vibration of Si-O, Si-O-Si bonding, vibration of Si-O-Ca, vibration of O-Si-O, vibration of  $\text{CO}_3^{2-}$ , and absorption O-H.*

**Keywords:** *Calcium silicate,  $\beta\text{-CaSiO}_3$ , blood cockle shells (*Anadara granosa*), rice husk silica, calcination.*

## ABSTRAK

### SINTESIS DAN KARAKTERISASI KALSIMUM SILIKAT BERBAHAN DASAR CANGKANG KERANG DARAH PADA SUHU KALSINASI 1000 °C

Oleh

**Elisa Puspita**

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis kalsium silikat berbahan dasar kalsium karbonat dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dan  $\text{CaCO}_3$  komersil sebagai kontrol, serta sekam padi sebagai sumber silika yang dikalsinasi pada suhu 1000 °C menggunakan metode reaksi padatan. Sampel yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *Differential Thermal Analysis-Thermogravimetric Analysis* (DTA-TGA), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX), dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR). Hasil karakterisasi DTA-TGA menunjukkan kalsium silikat mengalami penyusutan massa dikarenakan proses dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$ , dimana kalsium silikat cangkang kerang darah sebesar 27,52 % dan kalsium silikat  $\text{CaCO}_3$  komersil sebesar 28,03 %. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa terbentuk fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  dan  $\alpha\text{-CaSiO}_3$ , dimana fasa mayor merupakan fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$ . Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa partikel berbentuk *spheroid* (bulat) dan permukaan mulai menggumpal (beragglomerasi), dengan ukuran rata-rata kalsium silikat cangkang kerang darah sebesar 0,287  $\mu\text{m}$  dan kalsium silikat  $\text{CaCO}_3$  komersil sebesar 0,297  $\mu\text{m}$ . Hasil karakterisasi EDX menunjukkan adanya kandungan unsur-unsur Ca, Si, O, C, dan K. Gugus fungsi yang terbentuk pada FTIR menunjukkan adanya vibrasi Si-O, ikatan Si-O-Si, vibrasi Si-O-Ca, vibrasi O-Si-O, vibrasi  $\text{CO}_3^{2-}$ , dan absorpsi O-H.

**Kata kunci:** Kalsium silikat,  $\beta\text{-CaSiO}_3$ , cangkang kerang darah (*Anadara granosa*), silika sekam padi, kalsinasi.

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KALSIUM SILIKAT  
BERBAHAN DASAR CANGKANG KERANG DARAH  
PADA SUHU KALSINASI 1000 °C**

**Oleh**

**ELISA PUSPITA**

**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  
2018**

**Judul Skripsi : SINTESIS DAN KARAKTERISASI KALSIMUM SILIKAT BERBAHAN DASAR KERANG DARAH PADA SUHU KALSINASI 1000 °C**

**Nama Mahasiswa : Elisa Puspita**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1317041012**

**Program Studi : Fisika**

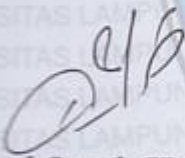
**Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**MENYETUJUI**

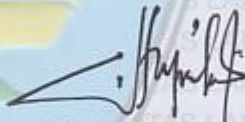
**1. Dosen Pembimbing**

**Pembimbing I**



**Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**  
**NIP. 19631228 198601 2 001**

**Pembimbing II**



**Suprihatin, S.Si., M.Si.**  
**NIP 19730414 199702 2 001**

**2. Ketua Jurusan Fisika**

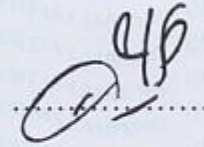


**Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.**  
**NIP. 19710909 200012 1 001**

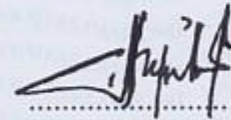
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

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



Penguji Pembimbing : **Suprihatin, M.Si.**



Bukan Pembimbing : **Drs. Ediman Giuting, M.Si.**



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 juni 2018**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 26 Juni 2018



**Elisa Puspita**  
NPM. 1317041012

## RIWAYAT HIDUP



Penulis yang bernama lengkap Elisa Puspita, dilahirkan di Karang Endah pada tanggal 2 April 1996 dari pasangan berbahagia Bapak Slamet dan Ibu Dalela Baiti sebagai anak ke dua dari empat bersaudara.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD N 60 OKU pada tahun 2007 dan melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP N 1 OKU. Pada tahun 2010 penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Plus Negeri 4 OKU. Penulis diterima sebagai mahasiswa di Universitas Lampung, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur SMBPTN pada tahun 2013.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Fisika Unila anggota kesekretariatan. Penulis pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Dasar I, Elektronik Dasar I, Sains Dasar, Fisika Eksperimen, Fisika Inti, dan Biokeramik. Pada tahun 2016 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon. dengan judul “**Evaluasi Performance Parameter Slag Untuk Optimasi Proses Peleburan Baja di Dapur Busur Lisrik (EAF) 9 Pabrik Slab Baja (SSP) PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk**”.



## MOTTO

I want to see what happens  
if I don't give up.

(Elisa Puspita)

I walk SLOWLY, but I NEVER walk BACKWARD.

(Abraham Lincoln)

When you feel like quitting, think about  
why you started.

(Elisa Puspita)

## **PERSEMBAHAN**

Dengan ketulusan dan rasa syukur kepada Allah SWT

kupersembahkan karyaku ini kepada:

“Kedua orangtuaku tercinta (Bapak Slamet dan Ibu Dalela Baiti) yang selalu memberikan segala kasih sayang, dukungan, serta doa demi keberhasilan anak-anaknya”

“Kakak dan adik-adikku tersayang (Alfi Fernandes, Selvi Mega Okta Sari, dan M. Fajri Alkhalid) yang selalu memberikan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini”

“Teman-teman dan almamater tercinta”

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Silikat Berbahan Dasar Cangkang Kerang Darah pada Suhu Kalsinasi 1000 °C”**. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, 26 Juni 2018

Penulis,

**Elisa Puspita**

## SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, sebab hanya dengan kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini tentu tidak terlepas dari bantuan semua pihak yang tulus membantu, membimbing, dan mendoakan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D sebagai pembimbing yang tulus mengajari dan membantu penulis dalam penelitian, membimbing dan memberikan pemahaman.
2. Ibu Suprihatin, M.Si sebagai pembimbing yang senantiasa membantu, memberikan pemahaman, dan masukan dalam penelitian ini.
3. Bapak Drs. Ediman Ginting, M.Si sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan dan koreksi dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila
5. Teman penelitianku Fauza Ramadhan Nekola, Neta Oktavia, dan Mardianto. Terima kasih atas kerjasama dan bantuannya selama penelitian ini. Banyak hal yang sudah kita lalui bersama.
6. Teman seperjuanganku Yuke Agustin yang lebih dulu mendapat gelar. Terima kasih atas semangat dan dukungannya selama ini.

7. Teman terdekatku Anugrah Fajri, Azmi Prilly Naisa, dan Arta Bayti Bonita.  
Terima kasih telah menjadi tempat keluh kesahku.
8. Teman-teman Fisika 2013 yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terima kasih untuk kebersamaan selama ini.
9. Kakak-kakak dan adik-adik tingkat di Jurusan Fisika FMIPA Unila.
10. Semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga atas segala bantuan, doa, motivasi, dan dukungan menjadi yang terbaik untuk penulis. Penulis berharap kiranya skripsi ini bermanfaat bagi semuanya.

Bandar Lampung, 26 Juni 2018

Penulis

**Elisa Puspita**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRACT</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vii
<b>MOTTO</b> .....	viii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	x
<b>SANWACANA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).....	7
2.1.1 Karakteristik Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).....	8
2.1.2 Struktur Kristal Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).....	9
2.1.3 Aplikasi Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).....	11
2.2 Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).....	12
2.2.1 Karakteristik Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).....	13
2.2.2 Struktur Kristal Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).....	14
2.2.3 Aplikasi Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).....	16
2.3 Kerang Darah ( <i>Anadara granosa</i> ).....	16
2.4 Silika ( $\text{SiO}_2$ ).....	19

2.4.1 Karakteristik Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	19
2.4.2 Struktur Kristal Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	20
2.4.3 Aplikasi Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	23
2.4.4 Silika Sekam Padi .....	24
2.5 Metode Sintesis Kalsium Silikat (CaSiO <sub>3</sub> ) .....	25
2.5.1 Metode Hidrotermal .....	26
2.5.2 Metode Sol Gel .....	26
2.5.3 Metode Reaksi Padatan ( <i>Solid State Reaction</i> ) .....	27

### III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	28
3.2 Alat dan Bahan .....	28
3.2.1 Alat Penelitian .....	28
3.2.2 Bahan Penelitian .....	29
3.3 Metode Penelitian .....	29
3.3.1 Preparasi Kalsium Karbonat (CaCO <sub>3</sub> ) dari Cangkang Kerang Darah ( <i>Anadara granosa</i> ) .....	29
3.3.2 Ekstraksi Silika (SiO <sub>2</sub> ) dari Sekam Padi .....	30
3.3.3 Sintesis Kalsium Silikat (CaSiO <sub>3</sub> ) dengan Metode Reaksi Padatan .....	32
3.3.4 Karakterisasi Kalsium Silikat .....	33
3.3.4.1 Karakterisasi DTA-TGA .....	33
3.3.4.2 Karakterisasi XRD .....	34
3.3.4.3 Karakterisasi SEM-EDX .....	35
3.3.4.4 Karakterisasi FTIR .....	36
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	37
3.4.1 Preparasi Kalsium Karbonat (CaCO <sub>3</sub> ) dari Cangkang Kerang Darah ( <i>Anadara granosa</i> ) .....	37
3.4.2 Ekstraksi Silika (SiO <sub>2</sub> ) dari Sekam Padi .....	38
3.4.3 Sintesis Kalsium Silikat (CaSiO <sub>3</sub> ) dengan Metode Reaksi Padatan .....	39

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakterisasi Bahan Dasar .....	41
4.1.1 Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	41
4.1.2 Hasil Analisis <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray</i> (SEM-EDX) .....	44
4.1.3 Hasil Analisis <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) .....	49
4.2 Hasil Sintesis Kalsium Silikat (CaSiO <sub>3</sub> ) .....	53
4.3 Hasil Karakterisasi Kalsium Silikat .....	53
4.3.1 Hasil Analisis <i>Differential Thermal Analysis-Thermogravimetric Analysis</i> (DTA-TGA) .....	53
4.3.2 Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	57
4.3.3 Hasil Analisis <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray</i> (SEM-EDX) .....	59
4.3.4 Hasil Analisis <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) .....	62

**V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	67

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Struktur kristal kalsium silikat yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	9
Gambar 2.2. Struktur kristal $\beta$ -CaSiO <sub>3</sub> ( <i>parawollastonite</i> ) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	10
Gambar 2.3. Struktur kristal $\alpha$ -CaSiO <sub>3</sub> ( <i>pseudowollastonite</i> ) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	10
Gambar 2.4. Struktur kristal <i>calcite</i> CaCO <sub>3</sub> yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	14
Gambar 2.5. Struktur kristal <i>aragonite</i> CaCO <sub>3</sub> yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	14
Gambar 2.6. Struktur kristal <i>vaterite</i> CaCO <sub>3</sub> yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	15
Gambar 2.7. Cangkang kerang darah ( <i>Anadara granosa</i> ).....	18
Gambar 2.8. Struktur kristal silika (SiO <sub>2</sub> ) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	21
Gambar 2.9. Struktur kristal <i>quartz</i> yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	21
Gambar 2.10. Struktur kristal <i>crystalite</i> yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	22
Gambar 2.11. Struktur kristal <i>tridymite</i> yang dibuat kembali menggunakan program VESTA.....	23
Gambar 3.1. Diagram alir preparasi CaCO <sub>3</sub> dari kerang darah .....	38

Gambar 3.2.	Diagram alir ekstraksi SiO <sub>2</sub> sekam padi.....	39
Gambar 3.3.	Diagram alir sintesis kalsium silikat (CaSiO <sub>3</sub> ) .....	40
Gambar 4.1.	Pola XRD CaCO <sub>3</sub> cangkang kerang darah (Simbol: C = <i>calcite</i> dan CH = <i>calcium hydroxide</i> ) .....	42
Gambar 4.2.	Pola XRD CaCO <sub>3</sub> komersil (Simbol: C = <i>calcite</i> ).....	43
Gambar 4.3.	Pola XRD SiO <sub>2</sub> sekam padi .....	44
Gambar 4.4.	Mikrostruktur SEM CaCO <sub>3</sub> (a) cangkang kerang darah, (b) komersil sebagai kontrol .....	44
Gambar 4.5.	Grafik EDX CaCO <sub>3</sub> cangkang kerang darah .....	46
Gambar 4.6.	Grafik EDX CaCO <sub>3</sub> komersil.....	47
Gambar 4.7.	Mikrostruktur SEM SiO <sub>2</sub> sekam padi .....	48
Gambar 4.8.	Grafik EDX SiO <sub>2</sub> sekam padi .....	49
Gambar 4.9.	Spektrum FTIR CaCO <sub>3</sub> cangkang kerang darah .....	50
Gambar 4.10.	Spektrum FTIR CaCO <sub>3</sub> komersil .....	51
Gambar 4.11.	Spektrum FTIR SiO <sub>2</sub> sekam padi.....	52
Gambar 4.12.	Grafik DTA kalsium silikat cangkang kerang darah dan silika sekam padi.....	54
Gambar 4.13.	Grafik DTA kalsium silikat CaCO <sub>3</sub> komersil dan silika sekam padi .....	55
Gambar 4.14.	Grafik TGA kalsium silikat cangkang kerang darah dan silika sekam padi.....	56
Gambar 4.15.	Grafik TGA kalsium silikat CaCO <sub>3</sub> komersil dan silika sekam padi .....	57
Gambar 4.16.	Pola XRD kalsium silikat cangkang kerang darah dan silika sekam padi pada suhu kalsinasi 1000 °C.....	58
Gambar 4.17.	Pola XRD kalsium silikat CaCO <sub>3</sub> komersil dan silika sekam padi pada suhu kalsinasi 1000 °C .....	59

Gambar 4.18. Mikrostruktur SEM kalsium silikat (a) cangkang kerang darah, (b) $\text{CaCO}_3$ komersil sebagai kontrol pada suhu kalsinasi $1000\text{ }^\circ\text{C}$ .....	60
Gambar 4.19. Grafik EDX kalsium silikat cangkang kerang darah dan silika sekam padi pada suhu kalsinasi $1000\text{ }^\circ\text{C}$ .....	61
Gambar 4.20. Grafik EDX kalsium silikat $\text{CaCO}_3$ komersil dan silika sekam padi pada suhu kalsinasi $1000\text{ }^\circ\text{C}$ .....	62
Gambar 4.21. Spektrum FTIR kalsium silikat cangkang kerang darah dan silika sekam padi pada suhu kalsinasi $1000\text{ }^\circ\text{C}$ .....	63
Gambar 4.22. Spektrum FTIR kalsium silikat $\text{CaCO}_3$ komersil dan silika sekam padi pada suhu kalsinasi $1000\text{ }^\circ\text{C}$ .....	65

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Karakteristik kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).....	8
Tabel 2.2. Karakteristik kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).....	13
Tabel 2.3. Klasifikasi kerang darah ( <i>Andara granosa</i> ).....	17
Tabel 2.4. Karakteristik silika .....	20

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kalsium silikat atau biasa dikenal dengan nama *wollastonite* merupakan senyawa yang diperoleh dengan mereaksikan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dengan rumus kimia  $\text{CaSiO}_3$  (Jacob, 1976; Nizami, 2003). Berdasarkan perhitungan massa, kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki komposisi teoritis yaitu CaO sebesar 48 wt % dan  $\text{SiO}_2$  sebesar 52 wt % (Podporska, 2008; Zhang *et al.*, 2013). Kalsium silikat merupakan mineral alami yang berwarna putih kekuningan. Kalsium silikat mengandung unsur kalsium (Ca), silikon (Si) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) (Nizami, 2003; Newport *et al.*, 2006).

Kalsium silikat banyak tersedia di alam, akan tetapi kalsium silikat ini tidak murni, biasanya terdapat campuran seperti besi, magnesium, mangan, sodium, aluminium, dan potassium yang bisa mengganggu produksi kalsium silikat untuk aplikasi produk (Borodina and Kozik, 2005; Amin and Oza, 2015). Kalsium silikat atau *wollastonite* adalah mineral yang memiliki banyak kegunaan di berbagai cabang ekonomi nasional di seluruh dunia (Chakradhar *et al.*, 2006). Kalsium silikat mempunyai banyak kegunaan karena mempunyai beberapa sifat yang unik, yaitu konduktivitas yang rendah, susut massa yang kecil, dan kekerasan yang tinggi. Sifat ini sangat penting untuk berbagai bidang seperti dalam produksi keramik suhu tinggi, pengecoran, lapisan metal, dan industri mobil (Borodina and Kozik, 2005).

Dalam bidang konstruksi bangunan, kalsium silikat digunakan sebagai bahan tambahan semen (Yun *et al.*, 2006; Ashraf and Olek, 2016). Selain itu kalsium silikat juga digunakan dalam bidang medis yakni untuk bahan tulang buatan (Chen *et al.*, 2010; Ding *et al.*, 2009), akar gigi (Saadaldin and Rizkalla, 2014), dan penumbuhan sel (Zhang *et al.*, 2010; Zhong *et al.*, 2011).

Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dapat disintesis menggunakan bahan dasar komersil dan non komersil. Beberapa bahan dasar non komersil yang dapat digunakan sebagai sumber  $\text{SiO}_2$  yakni daun bambu (Aminullah *et al.*, 2015), tongkol jagung (Mohanraj *et al.*, 2012), rumput gajah (Matchi *et al.*, 2016), dan yang paling banyak digunakan adalah sekam padi (Chandrasekhar *et al.*, 2002; Kalapathy *et al.*, 2002). Sekam padi merupakan limbah yang dihasilkan selama proses produksi padi menjadi beras yaitu sekitar 20 % dari berat padi (Mansha *et al.*, 2011). Abu sekam padi mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 91,50 % (Phuttawong *et al.*, 2015).

Sedangkan beberapa bahan dasar non komersil yang dapat digunakan sebagai sumber  $\text{CaCO}_3$  yakni batu kapur (Rashid *et al.*, 2014), cangkang telur (Noor *et al.*, 2015; Istiyati dan Asmi, 2013) dan beberapa jenis kerang seperti kerang kijing (Maulita, 2016; Karnkowsa, 2004), kerang tahu (Suci, 2016; Mijan *et al.*, 2015), bekicot (Neniati, 2016), dan kerang darah (Islam *et al.*, 2011; Hariharan *et al.*, 2014). Sebagian besar kandungan dalam cangkang kerang darah adalah kalsium karbonat yakni sebesar 98,99 % (Mohamed *et al.*, 2012).

Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dapat disintesis dengan berbagai metode seperti metode sol gel (Wang *et al.*, 2008; Tangriboon *et al.*, 2011), metode hidrotermal (Puntharod *et al.*, 2013; Lin *et al.*, 2006), dan metode reaksi padatan (Shukur *et al.*, 2014; Obeid, 2014; Rashid *et al.*, 2014). Dalam mensintesis kalsium silikat, metode

yang paling banyak digunakan adalah metode reaksi padatan (*solid state reaction*). Hal ini dikarenakan metode reaksi padatan mempunyai beberapa keunggulan yakni lebih mudah dan sederhana (Shukur *et al.*, 2014). Selain itu metode ini tidak beracun, ramah lingkungan, bebas sampah sintetik, dan murah dalam biaya pembuatannya (Phuttawong *et al.*, 2015). Metode reaksi padatan juga dapat menghasilkan kalsium silikat yang lebih murni dan kristalinitas yang baik (Shukur *et al.*, 2014).

Penelitian mengenai kalsium silikat ini pernah dilakukan oleh Sang *et al.* (2005), dan hasilnya menunjukkan bahwa pada suhu 900 °C terbentuk fase  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub>, kemudian saat suhu mencapai 1100 °C berubah menjadi fase  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub>. Selain itu Shukur *et al.* (2014) melakukan penelitian tersebut dilakukan dengan mensintesis kalsium oksida (CaO) dari batu kapur dengan sedikit penambahan boron trioksida (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>) dari pasir silika (99,56 wt %). Berdasarkan penelitiannya, pada suhu 1050 °C menunjukkan adanya fase  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub>, kemudian saat suhu mencapai 1150 °C berubah menjadi fase  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub>. Penelitian sejenis juga pernah dilakukan oleh Phuttawong *et al.* (2015), dengan mensintesis kalsium oksida (CaO) dari cangkang siput (*Pomacea canaliculata*) dan silika (SiO<sub>2</sub>) dari abu sekam padi menggunakan metode reaksi padatan dengan waktu penggilingan yakni 5-8 jam. Hasil penelitian Phuttawong *et al.* (2015) menunjukkan bahwa fase kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>) terbentuk saat penggilingan dilakukan selama 7 jam pada suhu kalsinasi 1000 °C selama 2 jam.

Berdasarkan penjelasan di atas mendorong penulis untuk melakukan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) pada suhu kalsinasi 1000 °C

menggunakan metode reaksi padatan. 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-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui mikrostruktur, dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mensintesis kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) berbahan dasar silika sekam padi dan kalsium karbonat dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/ $\text{CaCO}_3$  komersil sebagai kontrol menggunakan metode reaksi padatan?
2. Bagaimana sifat termal kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/ $\text{CaCO}_3$  komersil sebagai kontrol dan silika sekam padi menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ?
3. Bagaimana fasa yang terbentuk pada kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/ $\text{CaCO}_3$  komersil sebagai kontrol dan silika sekam padi menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ?
4. Bagaimana mikrostruktur kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/ $\text{CaCO}_3$  komersil sebagai kontrol dan silika sekam padi menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ?



5. Bagaimana gugus fungsi yang terbentuk dari kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/CaCO<sub>3</sub> komersil sebagai kontrol dan silika sekam padi menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi 1000 °C?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mensintesis kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>) berbahan dasar silika sekam padi dan kalsium karbonat dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/CaCO<sub>3</sub> komersil sebagai kontrol menggunakan metode reaksi padatan.
2. Mengetahui sifat termal kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/CaCO<sub>3</sub> komersil sebagai kontrol dan silika sekam padi menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi 1000 °C.
3. Mengetahui fasa yang terbentuk pada kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/CaCO<sub>3</sub> komersil sebagai kontrol dan silika sekam padi menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi 1000 °C.
4. Mengetahui mikrostruktur kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/CaCO<sub>3</sub> komersil sebagai kontrol dan silika sekam padi menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi 1000 °C.
5. Mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dari kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)/CaCO<sub>3</sub> komersil sebagai kontrol dan silika sekam padi menggunakan metode reaksi padatan pada suhu kalsinasi 1000 °C.

#### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pengujian dan pengamatan dengan batasan masalah:

1. Mensintesis kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) menggunakan bahan dasar kalsium karbonat dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dan  $\text{CaCO}_3$  komersil sebagai kontrol, serta silika dari sekam padi.
2. Sintesis kalsium silikat dilakukan dengan metode reaksi padatan (*solid state reaction*) pada suhu kalsinasi 1000 °C.
3. Karakterisasi bahan yang digunakan meliputi DTA-TGA, XRD, SEM-EDX, dan FTIR.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Dapat mensintesis dan mengetahui sifat termal, fasa yang terbentuk, mikrostruktur, dan gugus fungsi pembuatan kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) menggunakan bahan dasar dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dan silika sekam padi.
2. Menjadi bahan acuan bagi penelitian berikutnya mengenai kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dari bahan baku cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dan silika sekam padi.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alternatif dalam pemilihan bahan dasar untuk pembuatan kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang beberapa konsep dasar teori yang mendukung topik penelitian. Pembahasan dimulai dengan penjelasan mengenai kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) secara umum, struktur kristal kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ), serta beberapa aplikasi kalsium silikat. Selanjutnya penjelasan mengenai bahan penyusun kalsium silikat yakni kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), struktur kristal kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), dan aplikasi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Kemudian dilanjutkan pembahasan mengenai kerang darah (*Anadara granosa*) yang digunakan sebagai sumber kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Kemudian membahas silika ( $\text{SiO}_2$ ), struktur kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ), aplikasi silika ( $\text{SiO}_2$ ), dan sekam padi sebagai sumber silika ( $\text{SiO}_2$ ), serta metode-metode dalam mensintesis kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).

### 2.1 Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ )

Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) atau *wollastonite* merupakan salah satu kelompok senyawa yang diperoleh dari reaksi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Jacob, 1976; Nizami, 2003; Borodina and Kozik, 2005). Kandungan kalsium silikat terdiri atas kalsium (Ca), silikon (Si), dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) (Nizami, 2003; Newport *et al.*, 2006). Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki komposisi massa teoritis yaitu CaO 48,28 % dan SiO sebesar 51,72 % (Collie, 1976; Nizami, 2003; Yazdani *et al.*, 2010). Kalsium silikat dapat dihasilkan dari mineral alam atau secara buatan.

Mineral ini banyak tersedia di alam, tetapi biasanya mineral tersebut tidak murni karena masih terdapat campuran seperti magnesium, besi, mangan, sodium, dan potassium (Mathews, 1992; Borodina and Kozik; Amin and Oza, 2015).

### 2.1.1. Karakteristik Kalsium Silikat (CaSiO<sub>3</sub>)

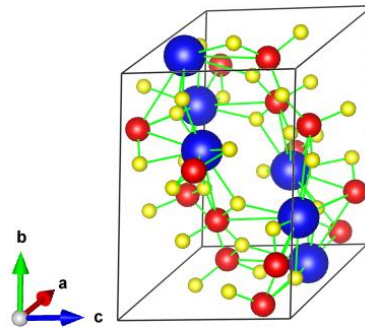
Kalsium silikat merupakan mineral alami yang berwarna putih kekuningan (Nizami, 2003; Newport *et al.*, 2006). Kalsium silikat mempunyai sifat fisik seperti ukuran partikel rata-rata 29-50 nm (Chakradhar *et al.*, 2006), titik lebur sebesar 1540 °C, densitas sebesar 2,91 g/cm<sup>3</sup>, serta kekerasan sebesar 4-7 Mohs (Yazdani *et al.*, 2010). Selain itu, kalsium silikat juga memiliki beberapa sifat seperti menguap sekitar suhu 950 °C dan memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah sebesar  $6,5 \times 10^{-6}$  mm/°C (Ismail *et al.*, 2013). Karakteristik kalsium silikat berdasarkan New York City Opera ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Karakteristik kalsium silikat (New York City Opera, 2011).

NAMA IUPAC	Kalsium Silikat
Rumus kimia	CaSiO <sub>3</sub>
Berat molekul (g/mol)	116
Massa jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	2,8 - 2,9
Titik lebur (°C)	1540
Kristalografi	Acicular
Kekerasan (Mohs)	4 – 7
pH	9 – 10
Indeks bias	1,63
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	2,91
Warna	Putih

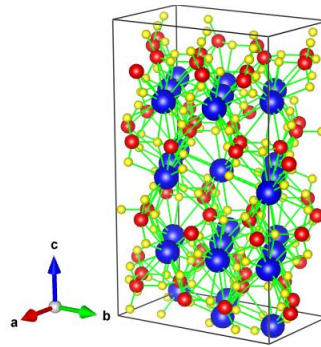
### 2.1.2. Struktur Kristal Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ )

Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki struktur polimorf yang terdiri dari *pseudowollastonite* ( $\alpha\text{-CaSiO}_3$ ) dan *parawollastonite* ( $\beta\text{-CaSiO}_3$ ) (Teixeria *et al.*, 2014). Kalsium silikat berubah menjadi  $\beta\text{-CaSiO}_3$  pada kisaran suhu 900 °C hingga 1100 °C (Sang *et al.*, 2010). Sementara  $\alpha\text{-CaSiO}_3$  terbentuk pada suhu tinggi yaitu pada rentang 1200 °C hingga 1450 °C (Shukur *et al.*, 2014). Struktur kristal kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada Gambar 2.1.



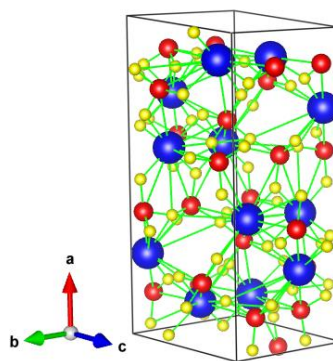
**Gambar 2.1.** Struktur kristal kalsium silikat yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada Gambar 2.1. Ca ditunjukkan dengan warna biru, Si ditunjukkan dengan warna merah dan O ditunjukkan dengan warna kuning. Struktur kristal kalsium silikat memiliki sistem kristal *triclinic*, dimana memiliki *space group* P-1 dengan nomor *space group* adalah 2. Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki jari-jari ionik Ca sebesar 1,97 Å, Si sebesar 1,18 Å, dan O sebesar 0,74 Å. Pada struktur kristal kalsium silikat memiliki parameter kisi  $a = 6,69500 \text{ \AA}$ ,  $b = 9,25700 \text{ \AA}$ ,  $c = 6,66600 \text{ \AA}$ , serta nilai sudut  $\alpha = 86,5000^\circ$ ,  $\beta = 76,1330^\circ$ , dan  $\gamma = 70,3830^\circ$  (Trojer, 1969). Struktur kristal  $\beta\text{-CaSiO}_3$  (*parawollastonite*) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Struktur kristal  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> (*parawollastonite*) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada Gambar 2.2. Ca ditunjukkan dengan warna biru, Si ditunjukkan dengan warna merah dan O ditunjukkan dengan warna kuning. Struktur kristal  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> (*parawollastonite*) memiliki sistem kristal *monoclinic*, dimana memiliki *space group* P 21/a dengan nomor *space group* adalah 14. *Parawollastonite* ( $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub>) memiliki jari-jari ionik Ca sebesar 2,25 Å, Si sebesar 2,05 Å, dan O sebesar 1,15 Å. Pada struktur kristal tersebut memiliki 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). Struktur kristal  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub> (*pseudowollastonite*) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Struktur kristal  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub> (*pseudowollastonite*) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada Gambar 2.3. Ca ditunjukkan dengan warna biru, Si ditunjukkan dengan warna merah dan O ditunjukkan dengan warna kuning. Struktur kristal  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub>

(*pseudowollastonite*) memiliki sistem kristal *monoclinic*, dimana memiliki *space group* P 2/c dengan nomor *space group* adalah 15. *Pseudowollastonite* ( $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub>) memiliki jari-jari ionik Ca sebesar 2,15 Å, Si sebesar 1,75 Å, dan O sebesar 1,05 Å. Pada struktur kristal tersebut memiliki parameter kisi  $a = 6,839 \text{ \AA}$ ,  $b = 11,870 \text{ \AA}$ ,  $c = 19,631 \text{ \AA}$ , serta nilai sudut  $\alpha = 90,00^\circ$ ,  $\beta = 90,67^\circ$ , dan  $\gamma = 90,00^\circ$  (Yang and Prewitt, 1999).

### 2.1.3. Aplikasi Kalsium Silikat (CaSiO<sub>3</sub>)

Kalsium silikat atau *wollastonite* memiliki banyak kegunaan di berbagai cabang ekonomi nasional di seluruh dunia (Chakradhar *et al.*, 2006). Sampai akhir tahun 1970-an, kalsium silikat secara umum hanya digunakan sebagai batu hias. Namun, sejak awal tahun 1980-an, kalsium silikat telah dikembangkan dalam produk asbestos termasuk isolasi papan dan panel-panel, cat, plastik, atap genteng, dan pada perangkat gesekan seperti rem (Bauer *et al.*, 1994).

Selain itu, kalsium silikat juga digunakan sebagai bahan dasar semen (Ashraf and Olek, 2016; Crooks, 1999), pupuk (Crooks, 1999), keramik (Puntharod *et al.*, 2013; Crooks, 1999), pembuatan kayu lapis (Crooks, 1999), dan elektronik (Yazdani *et al.*, 2010). Kalsium silikat sebagai keramik paling banyak digunakan pada dinding ubin dan *dinnerware* (Crooks, 1999). Dalam industri semen dan keramik, kalsium silikat digunakan dalam campuran semen dan keramik karena mempunyai nilai permeabilitas yang tinggi (Yun *et al.*, 2006).

Kalsium silikat juga digunakan dalam bidang medis yakni untuk bahan tulang buatan (Chen *et al.*, 2010; Ding *et al.*, 2009), akar gigi (Saadaldin and Rizkalla, 2014) dan penumbuhan sel (Zhang *et al.*, 2010; Zhong *et al.*, 2011).

Dalam bidang medis, kalsium silikat digunakan sebagai bahan baku karena mempunyai bioaktivitas yang baik. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya nilai kekuatan lentur kalsium silikat yang dekat dengan kekuatan lentur korteks tulang manusia yakni mencapai 95,03 Mpa (Lin *et al.*, 2005). Selain itu, kalsium silikat juga digunakan pada beberapa bahan antibakteri untuk mencegah pertumbuhan bakteri (Wu *et al.*, 2014).

## **2.2 Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>)**

Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) merupakan mineral paling sederhana, tidak mengandung silikon, dan sumber pembuatan senyawa kalsium terbesar secara komersial (Othmer and Kirk, 1965). 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). Di alam, kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dapat ditemui pada batuan kapur dalam berbagai bentuk seperti marmer, kapur, dan batuan kapur (Patnaik, 2001). Kalsium karbonat akan mengendap jika karbon dioksida dialirkan melalui suatu larutan air kapur. Berbagai bentuk kalsium karbonat dikenal sebagai kalsit, aragonit, batu kapur, batu pualam, dan kapur tembok (Keenan, 1992).

Metode yang digunakan untuk sintesis CaCO<sub>3</sub> antara lain metode padatan (Tzuzuki *et al.*, 2000), metode sol gel (Oladoja *et al.*, 2012), metode hidrotermal (Wang *et al.*, 2008), metode gelombang mikro (Dei, 2003; Nagy and Dekany, 2009), metode sonokimia (Alavi and Morsali, 2010; Tang, 2013), dan metode presipitasi (Tang *et al.*, 2008; Mirghiasi *et al.*, 2014).



### 2.2.1. Karakteristik Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>)

Kalsium karbonat umumnya berwarna putih dan sering dijumpai pada batuan seperti batu kapur, kalsit, marmer, dan batu gamping. Kalsium karbonat terdiri dari beberapa unsur yaitu kalsium, karbon, dan oksigen. Setiap unsur karbon terikat kuat dengan tiga oksigen, dan ikatannya lebih longgar dari ikatan antara karbon dengan kalsium pada satu senyawa (Bahanan, 2010).

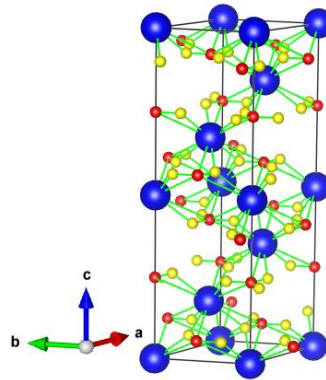
Kalsium karbonat memiliki beberapa sifat fisika antara lain larut dalam air (15 mg/l pada 25 °C),  $K_{sp}$   $4,8 \times 10^{-9}$ , larut dalam asam mineral encer (Patnaik, 2003). Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) memiliki tiga polimorf yaitu *calcite*, *aragonite*, dan *vaterite* (Manoli and Dalas, 2000). *Calcite* terurai pada suhu pemanasan 825 °C, sedangkan *aragonite* meleleh pada suhu 1339 °C di bawah tekanan 102,5 atm. *Calcite* mempunyai densitas sebesar 2,71 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan *aragonite* mempunyai densitas sebesar 2,83 g/cm<sup>3</sup>. Namun keduanya merupakan material yang larut dalam air (Patnaik, 2003). Karakteristik kalsium karbonat dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Karakteristik kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) (Yasue and Arai, 1995).

NAMA IUPAC	Kalsium Karbonat
Rumus kimia	CaCO <sub>3</sub>
Bentuk	Padat
Warna	Putih/tidak berwarna
Massa jenis	2,8 gr/cm <sup>3</sup>
pH	9,5-10,5 pada 100 g/l 20°C (bubur)
Titik lebur	825 °C (penguraian)
Kelarutan dalam air	0,014 g/l pada 20 °C
Suhu penguraian	825 °C
Densitas curah	400-1400 kg/m <sup>3</sup>

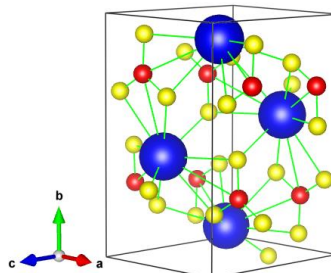
### 2.2.2. Struktur Kristal Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )

Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) memiliki tiga polimorf yaitu *calcite*, *aragonite*, dan *vaterite* (Manoli and Dalas, 2000). Struktur kristal *calcite*  $\text{CaCO}_3$  yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada Gambar 2.4.



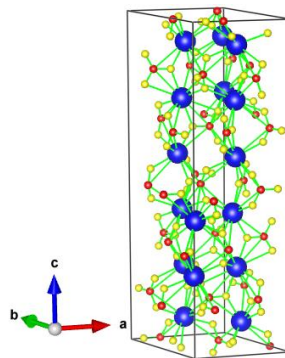
**Gambar 2.4.** Struktur kristal *calcite*  $\text{CaCO}_3$  yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada Gambar 2.4. Ca ditunjukkan dengan warna biru, C ditunjukkan dengan warna merah, dan O dengan warna kuning, dimana memiliki *space group*  $R\bar{3}c$  dengan nomor *space group* yaitu 167. Struktur kristal *calcite*  $\text{CaCO}_3$  memiliki sistem kristal *rhombohedral* dengan jari-jari ionik Ca, C, dan O secara berturut-turut yaitu 2,24 Å, 1,54 Å, dan 1,12 Å. *Calcite*  $\text{CaCO}_3$  memiliki parameter kisi  $a = 4,99026 \text{ \AA}$ ,  $b = 4,99026 \text{ \AA}$ , dan  $c = 17,06840 \text{ \AA}$  dengan nilai  $\alpha = 90,00^\circ$ ,  $\beta = 90,00^\circ$ , dan  $\gamma = 120,00^\circ$  (Sitepu, 2009). Struktur kristal *aragonite*  $\text{CaCO}_3$  yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5.** Struktur kristal *aragonite*  $\text{CaCO}_3$  yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada Gambar 2.5. Ca ditunjukkan dengan warna biru, C ditunjukkan dengan warna merah, dan O dengan warna kuning, dimana memiliki *space group*  $P m c n$  dengan nomor *space group* adalah 62. Struktur kristal *aragonite*  $\text{CaCO}_3$  memiliki sistem kristal *orthorhombic* dengan jari-jari ionik Ca, C, dan O secara berturut-turut yaitu 2,12 Å, 1,25 Å, dan 1,04 Å. *Aragonite*  $\text{CaCO}_3$  memiliki parameter kisi  $a = 4,96062$  Å,  $b = 7,97006$  Å, dan  $c = 5,74181$  Å dengan nilai  $\alpha = 90,00^\circ$ ,  $\beta = 90,00^\circ$ , dan  $\gamma = 90,00^\circ$  (Antao and Hassan, 2009). Struktur kristal *vaterite*  $\text{CaCO}_3$  yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Struktur kristal *vaterite*  $\text{CaCO}_3$  yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada Gambar 2.6. Ca ditunjukkan dengan warna biru, C ditunjukkan dengan warna merah, dan O dengan warna kuning, dimana memiliki *space group*  $P 65 2 2$  dengan nomor *space group* adalah 179. Struktur kristal *vaterite*  $\text{CaCO}_3$  memiliki sistem kristal *hexagonal* dengan jari-jari ionik Ca, C, dan O secara berturut-turut yaitu 2,14 Å, 1,27 Å, dan 0,97 Å. *Vaterite*  $\text{CaCO}_3$  memiliki parameter kisi  $a = 7,29000$  Å,  $b = 7,29000$  Å, dan  $c = 25,320200$  Å dengan nilai  $\alpha = 90,00^\circ$ ,  $\beta = 90,00^\circ$ , dan  $\gamma = 120,00^\circ$  (Wang and Becker, 2009).

### 2.2.3. Aplikasi Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>)

Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dapat ditemui pada batuan kapur dalam berbagai bentuk seperti marmer, kapur, dan baturan kapur (Patnaik, 2001). Dalam pengembangannya CaCO<sub>3</sub> memiliki partikel halus sebesar 5-30 µm dengan kemurnian lebih besar dan ukuran lebih homogen (Feng *et al.*, 2000).

Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) sudah cukup luas diaplikasikan terutama dalam bidang industri. Kebutuhan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) sejak tahun 1983 terus meningkat seiring dengan berkembangnya industri pemakaiannya, antara lain industri cat, plastik, kosmetik, PVC compound, ban, sepatu karet, kulit imitasi, pasta gigi dan industri yang lain (Husaini dan Purnomo., 1992; Feng *et al.*, 2000 Xiang *et al.*, 2002).

### 2.3 Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Filum moluska merupakan salah satu filum terbesar dalam kingdom Animalia, dimana terdapat sekitar lebih dari 100.000 spesies moluska yang masih hidup (Kimball, 2000). Moluska berasal dari Bahasa Latin yaitu *mollucus* yang berarti lunak. Namun, sebagian besar moluska dilindungi oleh cangkang keras yang mengandung kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) (Campbell *et al.*, 2000).

Kerang darah atau *cockle shell* adalah sekelompok kerang yang memiliki belahan cangkang yang melekat satu sama lain pada batas cangkang (Darmono, 2001), dimana umumnya belahan cangkangnya berwarna putih dan berselaputkan suatu lapisan berwarna kecoklatan (Ghufran, 2011). Dinamakan kerang darah karena kelompok kerang ini memiliki pigmen darah merah atau hemoglobin yang

disebut *bloody cockles* (Nurjanah *et al.*, 2005). Klasifikasi kerang darah (*Anadara granosa*) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Klasifikasi kerang darah (*Anadara granosa*) (Romimohtarto and Juwana, 2001).

Kingdom	Animalia
Fillum	Mollusca
Kelas	Pelecypoda / Bivalvia
Sub Kelas	Lamelladibranchia
Ordo	Taxodonta
Family	Arcidae
Genus	Anadara
Spesies	Anadara granosa

Kerang darah hidup terbenam di bawah permukaan tanah pada kedalaman perairan 0-1 m (Ghufran, 2011), memiliki substrat pasir berlumpur (Ghufran, 2011; Nurjanah *et al.*, 2005), memiliki tingkat pertumbuhan yang lambat yakni hanya 0,098 mm/hari (Ghufran, 2011), memiliki pergerakan yang lambat, dan bersifat *filter feeder* (menyaring air untuk mendapatkan makanan) sehingga menyebabkan kerang rentan terkena bahan polusi air terutama logam berat yang bersifat akumulatif dalam tubuh kerang (Darmono, 2001). Kerang darah (*Anadara granosa*) dengan ukuran yang lebih besar memiliki konsentrasi logam berat merkuri (Hg) yang lebih tinggi dibandingkan dengan kerang darah yang berukuran lebih kecil. Kerang darah dengan ukuran < 2,5 cm memiliki kandungan sebesar 0,032 – 0,041 mg/kg. sedangkan kerang darah dengan ukuran > 3 memiliki kandungan sebesar

0,037 – 0,047 mg/kg (Fauziah *et al.*, 2012). Cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** Kerang darah (*Anadara granosa*) (Azis *et al.*, 2015).

Cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dapat disintesis menjadi bahan biokeramik yaitu kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (Anggraini, 2016; Islam *et al.*, 2011; Hoque *et al.*, 2013), dimana cangkang kerang darah mengandung kalsium karbonat sebesar 98,99 % (Mohamed *et al.*, 2012). Selain itu beberapa pemanfaatan limbah cangkang kerang darah antara lain bahan penyusun hidroksiapatit (Nastiti *et al.*, 2015; Rusnah *et al.*, 2014; Musa *et al.*, 2016), sintesis nanohidroksiapatit sebagai *bone implan* untuk kerusakan tulang (Hafisko *et al.*, 2014), sintesis dan karakterisasi kalsium karbonat partikel nano dari cangkang kerang menggunakan kitosan sebagai precursor (Hariharan *et al.*, 2014), biodiesel dari minyak sawit (Boey *et al.*, 2011), dan karakterisasi cangkang kerang kalsium karbonat biokeramik untuk aplikasi rekayasa jaringan tulang (Hoque *et al.*, 2013).

#### **2.4 Silika ( $\text{SiO}_2$ )**

Senyawa kimia silikon dioksida, juga dikenal dengan nama silika merupakan oksida silikon dengan rumus kimia  $\text{SiO}_2$  (Hildayati *et al.*, 2009). Silika merupakan

senyawa logam oksida yang banyak terdapat di alam, namun keberadaannya di alam tidak dalam kondisi bebas, melainkan terikat dengan senyawa lain baik secara fisik maupun secara kimia (Adam *et al.*, 2006). Di alam silika terdapat dalam pasir, kaca, kuarsa, dan lain-lain (Bergna and Roberts, 2006). Beberapa bahan non komersil yang dapat digunakan sebagai sumber SiO<sub>2</sub> yakni daun bambu (Aminullah *et al.*, 2015), tongkol jagung (Mohanraj *et al.*, 2012), rumput gajah (Matchi *et al.*, 2016), dan yang paling banyak digunakan adalah sekam padi (Chandrasekhar *et al.*, 2002; Kalapathy *et al.*, 2002).

Beberapa metode yang digunakan dalam sintesis silika adalah metode pengabuan (Singh *et al.*, 2007), metode sol gel (Daifullah *et al.*, 2003), metode pengendapan atau presipitasi (Jal *et al.*, 2004), metode hidrotermal (Hsieh *et al.*, 2009), dan metode *leaching* (Umeda *et al.*, 2007). Dari beberapa metode tersebut, metode sol gel adalah metode yang paling banyak digunakan untuk sintesis silika (Le *et al.*, 2013). Melalui metode sol gel, silika dihasilkan dengan ukuran partikel yang halus yaitu sekitar 15 nm hingga 91 nm (Adam *et al.*, 2011)

#### **2.4.1. Karakteristik Silika (SiO<sub>2</sub>)**

Silika memiliki sifat hidrofilik (dapat menyerap air) atau hidrofobik (tidak dapat menyerap air) sesuai dengan struktur atau morfologinya (Sriyanti *et al.*, 2005), bersifat non konduktor (Hildayati *et al.*, 2009). Secara teoritis, unsur silika mempunyai sifat menambah kekuatan lentur adonan keramik dan kekuatan produk keramik (Astuti *et al.*, 2012). Penguatan badan keramik terjadi karena adanya pengisian ruang kosong yang ditinggalkan akibat penguapan dari proses pembakaran adonan dengan leburan silika sedemikian rupa hingga produk menjadi

lebih rapat (Hanafi dan Nandang, 2010). Karakteristik silika ditunjukkan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4.** Karakteristik silika (Surdia and Saito, 2000).

NAMA IUPAC	Silika
Rumus kimia	SiO <sub>2</sub>
Berat jenis (g/cm <sup>3</sup> )	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik cair (°C)	1610
Titik didih (°C)	2230
Kekerasan (kg/mm <sup>2</sup> )	650
Kekuatan tekuk (MPa)	70
Kekuatan tarik (MPa)	110m
Modulus elastisitas (GPa)	73 – 75
Resistivitas (Ohm. m)	>1014

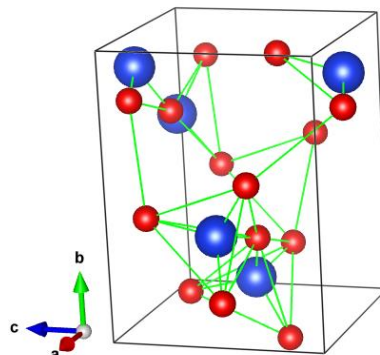
#### 2.4.2. Struktur kristal silika (SiO<sub>2</sub>)

Silika (SiO<sub>2</sub>) dapat berbentuk amorf (tak beraturan) atau polimerfisme kristal (bentuk kristal yang berbeda-beda) (Hindrayawati dan Alimudin, 2010). Silika dapat berupa kristal maupun amorf tergantung dari suhu pembakaran tanaman menyerap silika, dipolimerisasi, dan dispresipitasi (Sisman *et al.*, 2011). Perubahan silika amorf menjadi fase kristal terjadi pada saat suhu pemanasan sekitar 800 °C dan optimal pada saat suhu mencapai 900 °C (Sugita, 1993).

Silika mempunyai tiga bentuk kristal yaitu *quartz*, *crystalite*, dan *tridymite*. Masing-masing kristal ini memiliki stabilitas dan kerapatan yang berbeda (Brindley

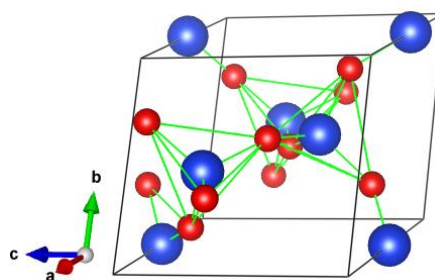


and Brown, 1980). Struktur kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8.** Struktur kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

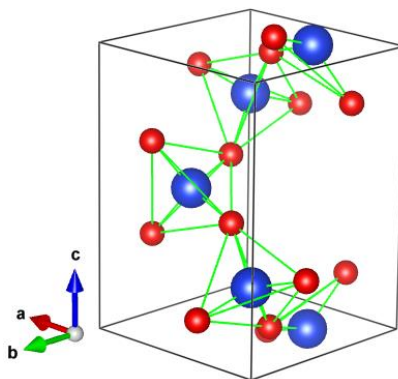
Pada Gambar 2.8. Si ditunjukkan dengan warna biru dan O ditunjukkan dengan warna merah dimana memiliki *space group*  $Pn\bar{a}2_1$  dengan nomor *space group* yaitu 33. Struktur kristal silika memiliki sistem kristal *orthorhombic* dengan jari-jari ionik Si dan O secara berturut-turut yaitu  $1,97 \text{ \AA}$  dan  $1,15 \text{ \AA}$ . Silika memiliki parameter kisi  $a = 5,048 \text{ \AA}$ ,  $b = 6,657 \text{ \AA}$ , dan  $c = 4,937 \text{ \AA}$ , serta nilai sudut  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  (Boisen *et al.*, 1994). Struktur kristal *quartz* yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9.** Struktur kristal *quartz* yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

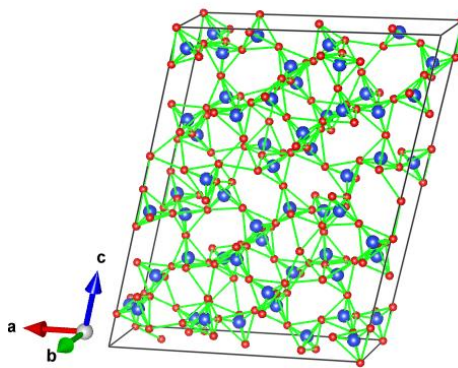
Pada Gambar 2.9. Si ditunjukkan dengan warna biru dan O ditunjukkan dengan warna merah dimana memiliki *space group*  $P3_22_1$  dengan nomor *space group* yaitu 154. Struktur kristal *quartz* memiliki sistem kristal *trigonal* dengan jari-

jari ionik Si dan O secara berturut-turut yaitu 1,45 Å dan 0,98 Å. *Quartz* memiliki parameter kisi  $a = 4,91600$  Å,  $b = 4,91600$  Å, dan  $c = 5,40540$  Å, serta nilai sudut  $\alpha = 90,00^\circ$ ,  $\beta = 90,00^\circ$ , dan  $\gamma = 120,00^\circ$  (Levien *et al.*, 1980). Struktur kristal *crystalite* yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10.** Struktur kristal *crystalite* yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada Gambar 2.10. Si ditunjukkan dengan warna biru dan O ditunjukkan dengan warna merah dimana memiliki *space group* P 41 21 2 dengan nomor *space group* yaitu 92. Struktur kristal *crystalite* memiliki sistem kristal *tetragonal* dengan jari-jari ionik Si dan O secara berturut-turut yaitu 1,65 Å dan 0,97 Å. *Crystalite* memiliki parameter kisi  $a = 4,95010$  Å,  $b = 4,95010$  Å, dan  $c = 6,92590$  Å, dengan nilai sudut  $\alpha = \beta = \gamma = 90,00^\circ$  (Dera *et al.*, 2011). Struktur kristal *tridymite* yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11.** Struktur kristal *tridymite* yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada Gambar 2.11. Si ditunjukkan dengan warna biru dan O ditunjukkan dengan warna merah dimana memiliki *space group*  $Cc$  dengan nomor *space group* yaitu 9. Struktur kristal *tridymite* memiliki sistem kristal *monoclinic* dengan jari-jari ionik Si dan O secara berturut-turut yaitu 1,78 Å dan 0,98 Å. *Tridymite* memiliki parameter kisi  $a = 18,524$  Å,  $b = 5,003$  Å, dan  $c = 23,810$  Å dengan nilai sudut  $\alpha = 90,00^\circ$ ,  $\beta = 105,82^\circ$ , dan  $\gamma = 90,00^\circ$  (Dollase and Baur, 1976).

#### 2.4.3. Aplikasi Silika (SiO<sub>2</sub>)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, silika dapat dimanfaatkan untuk pembuatan keramik (Adam *et al.*, 2008; Kurama and Kurama, 2008), zeolit sintesis, katalis, berbagai jenis komposit organik dan anorganik (Suka *et al.*, 2008; Kordatos *et al.*, 2008), serta bahan penunjang industri (Prastikharisma *et al.*, 2010). Selain dalam produk olahan, silika juga telah dimanfaatkan secara langsung untuk pemurnian minyak sayur, sebagai aditif dalam produk farmasi dan deterjen, sebagai fase diam dalam kolom kromatografi, bahan pengisi (*filler*) polimer, dan sebagai adsorben (Sriyanti *et al.*, 2005; Jang *et al.*, 2009). Silika digunakan sebagai adsorben dan material pendukung katalis karena memiliki kestabilan tinggi

terhadap pengaruh mekanik, temperatur, dan kondisi keasaman. Selain itu silika juga merupakan material pembawa yang menjanjikan dan cocok untuk pengembangan bahan antibakteri yang baik (Sisman *et al.*, 2011).

#### **2.4.4. Silika Sekam Padi**

Sekam padi merupakan limbah yang hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk memasak atau dibuang begitu saja (Putro dan Prasetyo, 2007). Sekam padi merupakan bahan baku terbesar penghasil silika (Kalapathy *et al.*, 2002). Abu sekam padi adalah salah satu bahan baku yang mengandung banyak silika yaitu 90-98 % (Bakar *et al.*, 2010; Real *et al.*, 1996). Silika dalam bentuk amorf didapatkan saat sekam padi dibakar pada suhu yang stabil di bawah 700 °C (Real *et al.*, 1996). Kereaktifan silika dipengaruhi oleh temperatur pengabuan dimana kereaktifan optimum diperoleh saat sekam padi di bakar pada temperatur 550-700 °C (Kalapathy *et al.*, 2002). Perubahan bentuk silika amorf ke bentuk silika kristal terjadi jika abu dibakar pada suhu di atas 850 °C (Real *et al.*, 1996).

Silika kristal digunakan pada keramik (Prasad *et al.*, 2001) dan industri semen (Saha *et al.*, 2001). Sedangkan silika amorf digunakan dalam pembuatan bata tahan api (Prasad *et al.*, 2001; Isaia *et al.*, 2003), proses pemurnian air (Saha *et al.*, 2001; Foletto *et al.*, 2009), proses vulkanisasi (Siriwandena *et al.*, 2001), dan sebagai serbuk insulasi pada pabrik baja (Mukunda *et al.*, 2003).

Selain didukung dengan jumlah yang melimpah, silika sekam padi dapat diperoleh dengan sangat mudah, yakni dengan ekstraksi alkali (Kalapathy *et al.*, 2002). Untuk menghasilkan silika amorf dengan kemurnian tinggi, sebelum diberikan perlakuan panas terlebih dahulu dilakukan *leaching* sekam padi dengan

asam dan alkali, seperti HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, CHCOOH, NaOH, KOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, dan KMnO (Patel *et al.*, 1987; Javed *et al.*, 2010; Harsono, 2002). Dengan prosedur ini, maka dapat diperoleh padatan silika dengan kemurnian sekitar 93 % (Harsono, 2002).

Silika bentuk amorf yang dihasilkan dari sekam padi dengan metode sol gel memiliki luas permukaan spesifik 245 m<sup>2</sup>/g, volume pori 0,78 cc/g, dan diameter partikel antara 15-91 nm (Adam *et al.*, 2011). Sementara itu, melakukan *leaching* pada sekam padi sebelum disintesis dapat menghasilkan silika amorf sebesar 95,55 % dengan luas permukaan 409 m<sup>2</sup>/g dan volume pori 0,95 cm<sup>3</sup>/g dengan rata-rata ukuran pori 10,89 nm (Ghorbani *et al.*, 2015).

Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus yakni 20 µm, lebih reaktif, biaya yang relatif murah, dan ketersediaan bahan baku yang melimpah, serta dapat diperbaharui. Dengan kelebihan tersebut, menunjukkan bahwa silika sekam padi berpotensi cukup besar sebagai sumber silika yang merupakan bahan material yang memiliki aplikasi yang cukup luas penggunaannya (Sun and Gong, 2001).

## 2.5 Metode Sintesis Kalsium Silikat (CaSiO<sub>3</sub>)

Kalsium silikat terbentuk dari dua senyawa yaitu kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dan silikon oksida (SiO<sub>2</sub>). Reaksi pembentukan kalsium silikat ini dapat dilihat pada persamaan 1.



Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dapat disintesis dengan berbagai metode seperti metode hidrotermal (Puntharod *et al.*, 2013; Lin *et al.*, 2006), metode sol gel (Wang *et al.*, 2008; Tangriboon *et al.*, 2011), dan metode reaksi padatan (Shukur *et al.*, 2014; Obeid, 2014; Rashid *et al.*, 2014).

### 2.5.1 Metode Hidrotermal

Metode hidrotermal adalah metode yang menggunakan temperatur rendah dengan tekanan tinggi dan dapat menghasilkan kalsium silikat dengan kemurnian tinggi berukuran nano (Lin *et al.*, 2006). Beberapa bahan kalsium silikat dihasilkan dari suspensi yang mengandung diatomit, kapur, dan air, kemudian disintesis secara hidrotermal dengan proses pemanasan dan tekanan tinggi (Puntharod *et al.*, 2013). Metode hidrotermal diterapkan untuk mensintesis *nanowires*  $\beta$ - $\text{CaSiO}_3$ . Namun, dalam metode ini sejumlah besar menggunakan pelarut organik yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Di sisi lain, metode ini tidak cocok untuk mensintesis *nanowires*  $\beta$ - $\text{CaSiO}_3$  pada skala yang besar (Lin *et al.*, 2006).

### 2.5.2 Metode Sol Gel

Metode sol gel merupakan metode untuk memproduksi material dengan komposisi baru dengan kemurnian dan homogenitas yang tinggi, serta mengontrol distribusi ukuran pori dalam skala nano meter, baik dalam bentuk *bulk*, *fiber*, *tube*, lapis tipis, maupun partikel pada temperatur rendah. Metode sol gel memungkinkan untuk memodifikasi material sehingga menghasilkan material baru dengan sifat-sifat baru. Metode ini relatif mudah dilakukan, tidak memerlukan waktu yang lama,

dan interaksi antara padatan dan bahan yang dimobilisasi relatif kuat (Brinker and Scheree, 1990).

Kalsium silikat yang disintesis dengan metode sol gel akan menghasilkan sampel yang lebih homogen, akan tetapi sampel tersebut memiliki tingkat bioaktivitas yang lebih tinggi daripada kalsium silikat yang dibuat dengan metode reaksi padatan (Lara *et al.*, 2010). Metode sol gel ini menggunakan suhu yang rendah (tidak melebihi 1200 °C), namun sangat mahal dan memiliki efisiensi yang rendah jika dibandingkan dengan metode reaksi padatan atau *solid state reaction* (Podporska *et al.*, 2008).

### **2.5.3 Metode Reaksi Padatan (*Solid State Reaction*)**

Metode reaksi padatan merupakan metode yang dilakukan dengan mereaksikan padatan dengan padatan tertentu pada suhu tinggi. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk sintesis bahan anorganik dengan mengikuti rute yang hampir universal, yakni melibatkan pemanasan berbagai komponen pada temperatur tinggi selama periode yang relatif lama. Reaksi ini melibatkan pemanasan campuran dua atau lebih padatan untuk membentuk produk yang berupa padatan juga. Tidak seperti pada fasa cairan atau gas, faktor pembatas dalam reaksi kimia padat biasanya adalah difusi (West, 1984). Namun, proses reaksi metode ini panjang dan diperlukan kalsinasi pada suhu tinggi (lebih dari 1200 °C) serta produk kalsium silikat yang dihasilkan cenderung memiliki ukuran butir besar (Lin *et al.*, 2007).

### **III. METODE PENELITIAN**

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

Penelitian ini dilakukan pada November sampai dengan Februari 2018 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Unila. Kalsinasi dan uji DTA/TGA dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) FMIPA Universitas Lampung. Uji XRD, SEM-EDX, dan FTIR dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang.

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

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

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven untuk mengeringkan bahan, panci untuk merebus cangkang, sikat untuk membersihkan cangkang kerang, *blender* sebagai penghancur cangkang kerang, baskom untuk mencuci cangkang kerang dengan larutan, ayakan untuk mengayak bubuk cangkang kerang setelah digerus, *mortar* dan *pestle* untuk menggerus serbuk, *ball mill* untuk menggiling bubuk cangkang kerang agar lebih halus, neraca digunakan untuk menimbang bahan, spatula digunakan untuk mengambil bahan dasar saat proses penimbangan, *magnetic stirrer* digunakan untuk mengaduk bahan saat proses sol gel, gelas *beaker* digunakan untuk mereaksikan bahan, gelas ukur untuk



mengukur volume larutan, kertas saring digunakan sebagai media penyaringan, kertas lakmus untuk mengetahui pH sampel, dan *furnace* untuk melakukan sintering atau kalsinasi. Sementara itu, alat-alat yang digunakan untuk karakterisasi sampel adalah *Differential Thermal Analysis – Thermogravimetric Analysis* (EXSTAR SII 7300) untuk mengetahui sifat termal sampel, *X-Ray Diffraction* (XPERT PRO) digunakan untuk mengetahui struktur fasa sampel, *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray* (AMETEK) digunakan untuk mengetahui mikrostruktur sampel, dan *Fourier Transform Infra-Red* (SHIMUDZU) untuk mengetahui gugus fungsi sampel.

### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dari pantai Puri Gading Lampung Timur sebagai bahan dasar  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$  komersil, sekam padi sebagai bahan dasar silika, HCl, KOH,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan aquades.

## **3.3 Metode Penelitian**

Penelitian ini terdiri dari empat tahap yaitu preparasi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari cangkang kerang darah, ekstraksi silika dari sekam padi ( $\text{SiO}_2$ ), sintesis kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ), dan karakterisasi sampel.

### **3.3.1 Preparasi Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)**

Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dipreparasi dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mengeluarkan bagian dalam cangkang.
2. Membersihkan cangkang dari kotoran yang ada menggunakan air bersih secara berulang-ulang.
3. Merendam cangkang menggunakan air panas selama 5 jam.
4. Mengeringkan cangkang dalam oven pada suhu 100 °C selama 3 jam.
5. Membuat larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan komposisi 5 % : 95 % (5 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan 95 % aquades).
6. Membersihkan bagian yang menempel pada cangkang menggunakan larutan tersebut dengan cara disikat.
7. Mencuci cangkang dengan air hingga bersih.
8. Mengeringkan cangkang dalam oven pada suhu 250 °C selama 3 jam.
9. Menghaluskan cangkang dengan blender, kemudian mengayak menggunakan ayakan.
10. Menggerus bubuk cangkang menggunakan *mortar* dan *pestle* selama 3 jam.
11. Menggiling bubuk cangkang kerang darah menggunakan alat *ball mill* selama 2 jam.
12. Serbuk kalsium karbonat dikalsinasi pada suhu 700 °C selama 3 jam.

### **3.3.2 Ekstraksi Silika (SiO<sub>2</sub>) dari Sekam Padi**

Sebelum melakukan ekstraksi silika dari sekam padi, terlebih dahulu dilakukan preparasi sekam padi dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membersihkan sekam padi menggunakan air dan merendam selama 1 jam.
2. Membuang sekam padi yang mengapung pada permukaan air dan mengambil yang masih tenggelam.

3. Merendam sekam padi menggunakan air panas selama 15 menit, hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan kotoran-kotoran (zat organik) yang larut dalam air seperti tanah, pasir, debu, dan zat pengotor lain terlepas dari sekam padi.
4. Meniriskan dan mengeringkan sekam padi menggunakan panas sinar matahari selama kurang lebih dua hari agar kering secara merata.
5. Mengeringkan sekam padi menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 2 jam agar sekam benar-benar kering.

Setelah dipreparasi, selanjutnya sekam padi hasil preparasi diekstraksi untuk mendapatkan silika. Silika dari sekam padi diekstraksi dengan metode sol gel seperti yang telah dilakukan sebelumnya oleh Daifullah *et al.* (2002). Adapun langkah-langkah ekstraksi silika dari sekam padi ini sebagai berikut:

1. Menimbang sekam yang telah dipreparasi sebanyak 50 gram.
2. Memasukkan ke dalam *beaker glass*.
3. Menambahkan larutan KOH 5 % sebanyak 500 ml.
4. Mendidihkan sekam yang telah direndam dalam larutan KOH 5 % hingga 100 °C selama kurang lebih 30 menit.
5. Mengaduk sekam yang dididihkan terus-menerus agar panasnya merata dan busa tidak meluap.
6. Setelah uap panas hilang, melakukan penutupan dengan aluminium foil dan mendiamkan selama kurang lebih 24 jam. Proses ini disebut *aging* (penuaan).
7. Memisahkan ampas sekam dari ekstrak sekam menggunakan corong *bucher* untuk memperoleh *sol* silika (filtrat silika terlarut) yang mempunyai pH = 8 dan menyaring filtrat tersebut menggunakan kertas saring.

8. Meneteskan larutan HCl 10 % ke dalam *sol* silika setetes demi setetes untuk memperoleh *gel* silika dengan pH 7. Perubahan proses *gel* ini dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* agar larutannya homogen.
9. Mendinginkan *gel* yang terbentuk selama 24 jam agar terjadi proses *aging* (penuaan). Sehingga *gel* berubah warna menjadi coklat kehitaman.
10. Menyaring *gel* menggunakan kertas saring.
11. Mencuci *gel* dengan air hangat dan pemutih hingga warna *gel* menjadi putih.
12. Mengeringkan silika *gel* dengan oven pada suhu 100 °C selama 8 jam hingga diperoleh silika padatan.
13. Menggerus silika padatan menggunakan mortar dan *pestle* hingga selama 3 jam menjadi serbuk halus dan berwarna putih.
14. Serbuk silika dikalsinasi pada suhu 700 °C.

### 3.3.3 Sintesis Kalsium Silikat (CaSiO<sub>3</sub>) dengan Metode Reaksi Padatan

Sintesis kalsium silikat dilakukan dengan metode reaksi padatan (*solid state reaction*) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mencampur kedua bahan dengan perbandingan massa CaCO<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub> adalah 1 : 1.
2. Membuat larutan etanol 150 ml.
3. Melarutkan kedua bahan dengan larutan etanol menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 jam.
4. Menguapkan etanol dan mengeringkan sampel menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 100 °C.
5. Menggerus sampel dengan *mortar* dan *pestle* selama 3 jam.

6. Melakukan uji karakteristik DTA-TGA pada sampel.
7. Membuat pelet dari sampel tersebut dengan cara dipress menggunakan *pressing hidrolis* dengan tekanan  $100 \text{ g/cm}^3$ .
8. Mengkalsinasi sampel yang sudah berbentuk pelet dengan suhu  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  dengan laju temperatur  $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$  selama 6 jam 50 menit.
9. Membiarkan sampel dingin di dalam furnace. Kemudian mengeluarkan sampel yang telah dingin.
10. Mengkarakterisasi sampel dengan XRD, SEM-EDX dan FTIR.

### **3.3.4 Karakterisasi Kalsium Silikat**

Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan empat alat yaitu *Differential Thermal Analysis - Thermogravimetric Analysis* (DTA-TGA), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX), dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR).

#### **3.3.4.1. Karakterisasi DTA-TGA**

Karakterisasi menggunakan DTA-TGA (*Differential Thermal Analysis - Thermogravimetric Analysis*) dilakukan untuk menganalisis sifat termal dan stabilitas bahan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses DTA-TGA adalah:

1. Menyiapkan cawan platina kosong untuk digunakan sebagai wadah sampel.
2. Memasukkan serbuk sampel kalsium silikat ke dalam cawan platina.
3. Meletakkan kedua cawan platina pada posisi vertikal di sampel holder dengan memutar posisi furnace ke arah sampel holder yang dilanjutkan dengan

mengatur *setting* temperatur yaitu  $T_{start} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{pengukuran} = 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$  *heating read* (kenaikan suhu =  $5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ ).

4. Menekan tombol power furnace pada posisi “ON”. Pemanasan akan bekerja sesuai dengan program yang telah diatur, saat inilah grafik pada monitor komputer akan terlihat dan diamati sampai temperatur  $T_{pengukuran}$  tercapai. Apabila  $T_{pengukuran}$  telah tercapai maka power furnace dapat dimatikan dengan menekan tombol “OFF”. Selanjutnya melakukan print hasil pengukuran.

#### 3.3.4.2. Karakterisasi XRD

Karakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk mengetahui struktur kristal bahan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses XRD adalah:

1. Menyiapkan sampel yang akan dianalisis, kemudian merekatkannya pada kaca dan memasang pada tempatnya berupa lempeng tipis berbentuk persegi panjang (*sampel holder*) dengan lilin perekat.
2. Memasang sampel yang telah disimpan pada *sampel holder* kemudian meletakkannya pada *sampel stand* dibagian *goniometer*.
3. Memasukkan parameter pengukuran pada *software* pengukuran melalui komputer pengontrol, yaitu meliputi penentuan *scan mode*, penentuan rentang sudut, kecepatan *scan* cuplikan, memberi nama cuplikan dan memberi nomor urut file data.
4. Mengoperasikan alat difraktometer dengan perintah “*start*” pada menu komputer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang  $1,5406 \text{ \AA}$ .

5. Melihat hasil difraksi pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut  $2\theta$  tertentu dapat dicetak oleh mesin printer.
6. Mengambil sampel setelah pengukuran selesai. Data yang terekam berupa sudut difraksi ( $2\theta$ ), besarnya intensitas (I), dan waktu pencatatan per langkah (t).
7. Membandingkan data yang diperoleh dengan data standard (*data base* PDF = *Power Diffraction File data base*) menggunakan *search match analysis*.

#### **3.3.4.3. Karakterisasi SEM-EDX**

Karakterisasi SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur bahan. Langkah-langkah dalam proses SEM-EDX adalah:

1. Memasukkan sampel yang akan dianalisa ke *vacuum column*, dimana udara akan dipompa keluar untuk menciptakan kondisi vakum. Kondisi vakum ini diperlukan agar tidak ada molekul gas yang dapat mengganggu jalannya elektron selama proses berlangsung.
2. Menembakkan elektron. Kemudian elektron akan melewati berbagai lensa yang ada menuju ke satu titik di sampel.
3. Sinar elektron tersebut akan dipantulkan ke detektor lalu ke amplifier untuk memperkuat sinyal sebelum masuk ke komputer untuk menampilkan gambar atau *image* yang diinginkan.

#### 3.3.4.4. Karakterisasi FTIR

Uji FTIR ini dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi  $\text{CaCO}_3$  yang terdapat pada sampel dan pembanding. Adapun langkah-langkah dalam uji FTIR ini sebagai berikut:

1. Menghaluskan kristal KBr murni dalam *mortar* dan *pestle* kemudian mengayak KBr tersebut.
2. Menimbang KBr halus yang sudah diayak seberat  $\pm 0,1$  gram, kemudian menimbang sampel padat (bebas air) dengan massa  $\pm 1\%$  dari berat KBr.
3. Mencampur KBr dan sampel kedalam *mortar* dan *pestle* aduk sampai tercampur merata.
4. Menyiapkan cetakan *pellet*.
5. Mencuci bagian sampel, *base* dan *tablet frame* dengan *kloroform*.
6. Memasukkan sampel KBr yang telah dicampur dengan set cetakan *pellet*.
7. Menghubungkan dengan pompa vakum untuk meminimalkan kadar air.
8. Meletakkan cetakan pada pompa hidrolik kemudian diberi tekanan  $\pm 8$  *gauge*.
9. Menghidupkan pompa vakum selama 1 menit.
10. Mematikan pompa vakum dan menurunkan tekanan dalam cetakan dengan cara membuka keran udara.
11. Melepaskan *pellet* KBr yang sudah terbentuk dan menempatkan *pellet* KBr pada *tablet holder*.
12. Menghidupkan alat dengan mengalirkan sumber arus listrik, alat interferometer dan komputer.
13. Klik “*shortcut 8400*” pada layar komputer yang menandakan program interferometer.



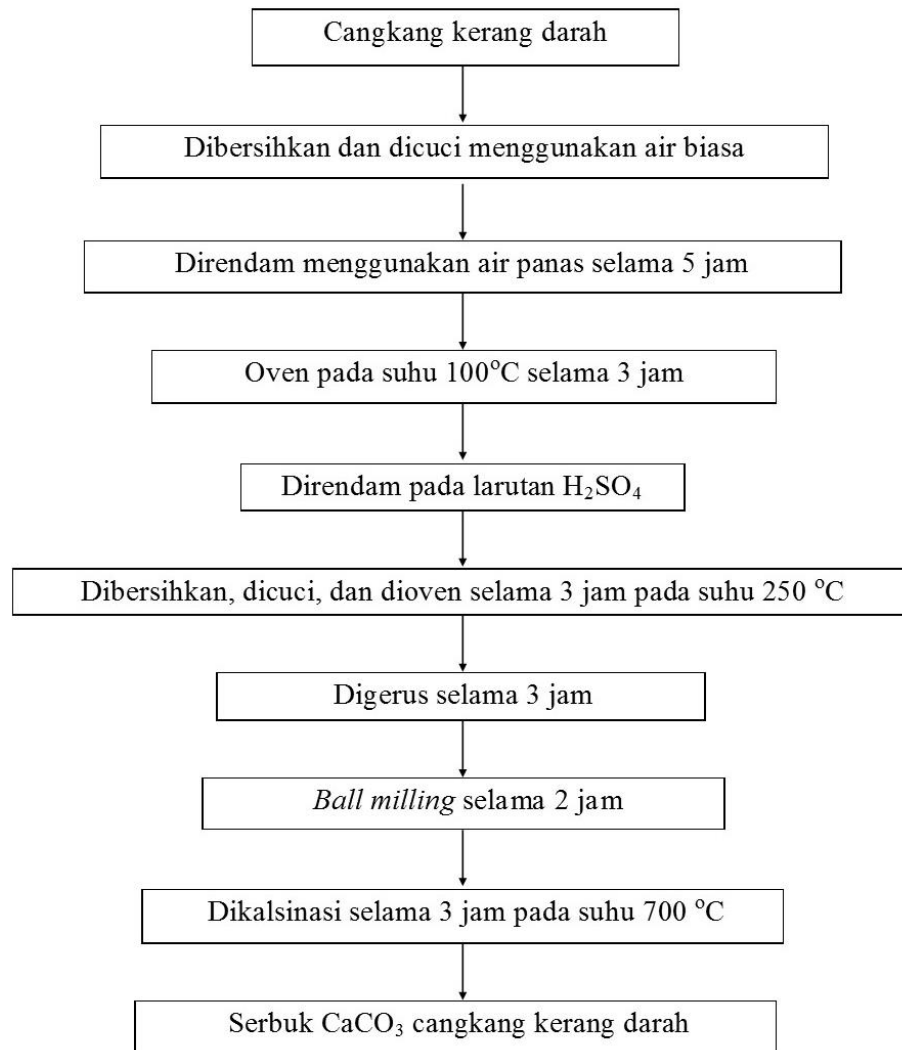
14. Menempatkan sampel dalam alat interferometer pada komputer klik “FTIR 8400” dan mengisi data file.
15. Klik “*Sample Start*” untuk memulai, dan untuk memunculkan harga bilangan gelombang klik “*clac*” pada menu, kemudian klik “*Peak Table*” lalu klik “OK”.
16. Mematikan komputer, alat interferometer, dan sumber arus listrik.

### **3.4 Diagram Alir Penelitian**

Secara garis besar, langkah kerja penelitian ini terbagi menjadi tiga bagian yaitu preparasi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*), ekstraksi silika ( $\text{SiO}_2$ ) dari sekam padi dan sintesis kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).

#### **3.4.1. Preparasi Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)**

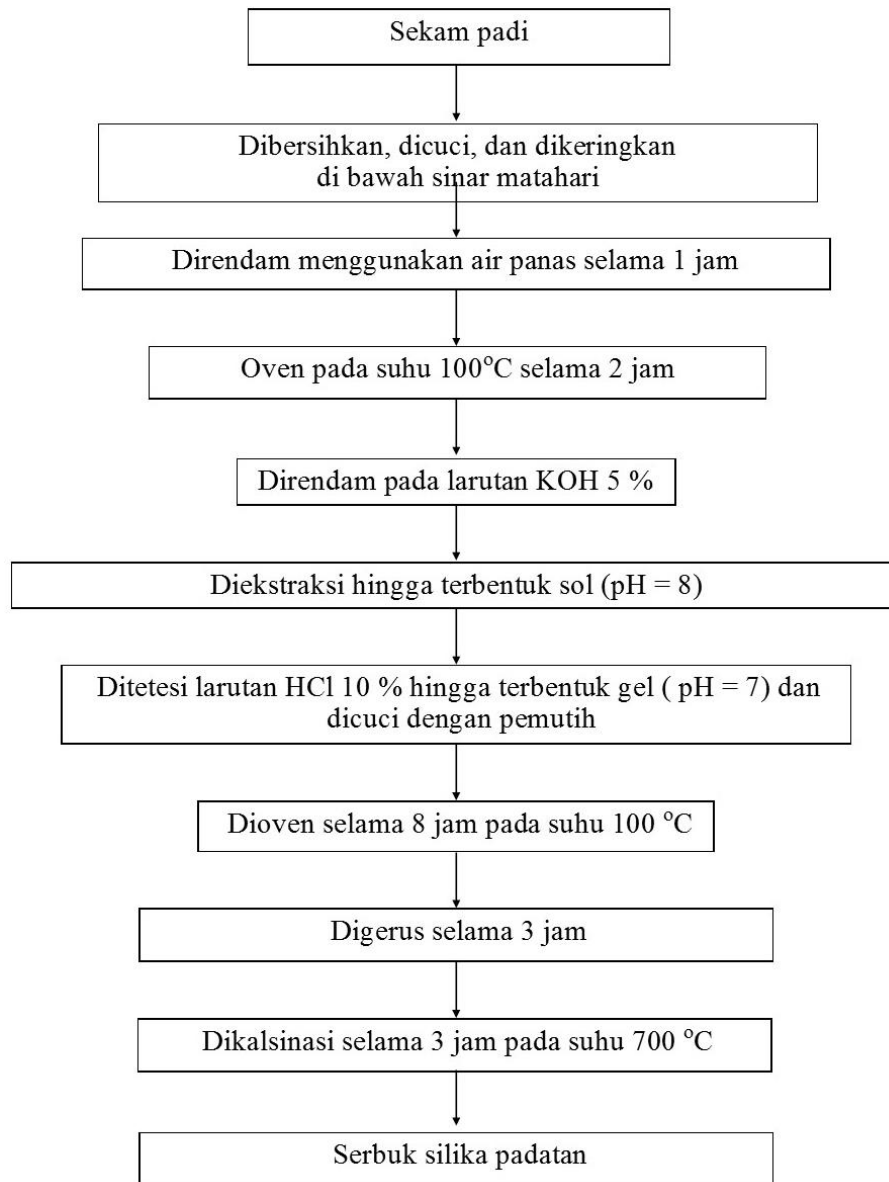
Preparasi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dimulai dengan membersihkan cangkang kerang darah hingga didapat serbuk  $\text{CaCO}_3$ . Diagram alir preparasi kalsium karbonat dari cangkang kerang darah dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Diagram alir preparasi  $\text{CaCO}_3$  dari cangkang kerang darah.

### 3.4.2. Ekstraksi Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dari Sekam Padi

Ekstraksi silika sekam padi yang dimulai dengan preparasi sekam padi hingga dihasilkan serbuk silika menggunakan metode sol gel. Diagram alir ekstraksi silika sekam padi dapat dilihat pada Gambar 3.2.

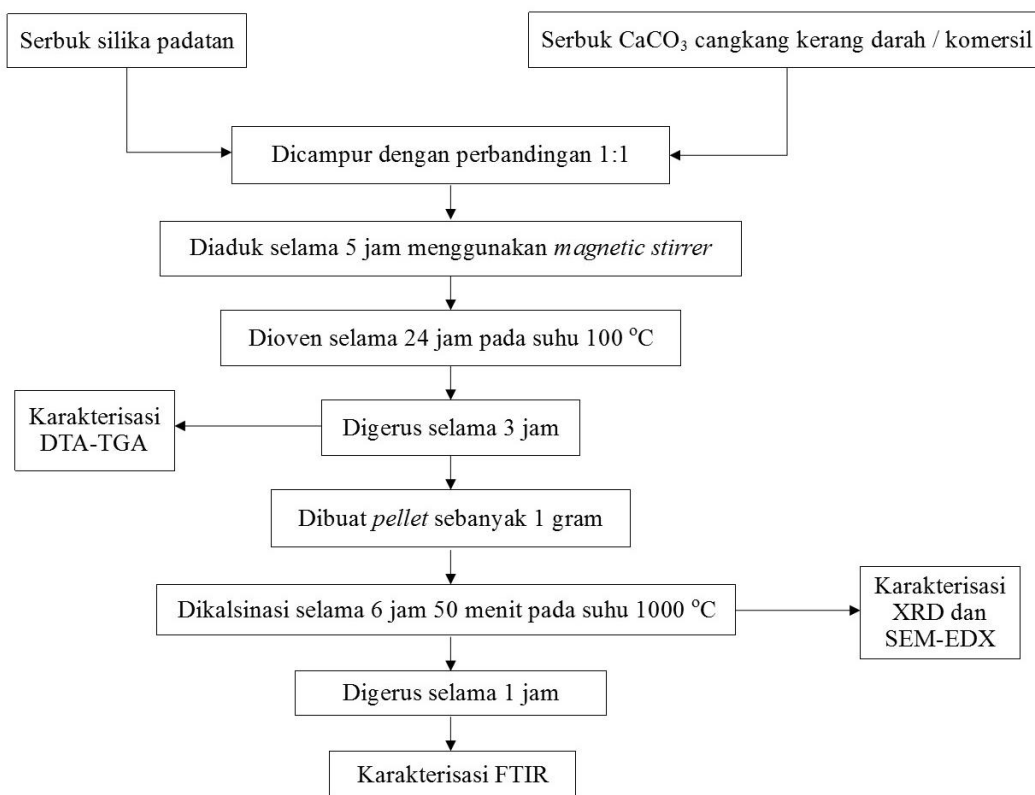


**Gambar 3.2.** Diagram alir ekstraksi SiO<sub>2</sub> sekam padi.

### 3.4.3. Sintesis Kalsium Silikat (CaSiO<sub>3</sub>) dengan Metode Reaksi Padatan

Sintesis kalsium silikat dengan metode reaksi padatan yang dimulai dengan mencampur kedua bahan dengan perbandingan massa 1:1 hingga didapatkan sampel kalsium silikat dalam bentuk *pellet* yang selanjutnya dilakukan kalsinasi

dan karakterisasi. Diagram alir sintesis kalsium silikat dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3.** Diagram alir sintesis kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kalsium silikat berhasil disintesis menggunakan bahan dasar kalsium karbonat dari cangkang kerang darah dan  $\text{CaCO}_3$  komersil sebagai kontrol, serta silika dari sekam padi pada suhu kalsinasi  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  dengan metode reaksi padatan sebanyak 19,74 gram.
2. Hasil analisis DTA-TGA menunjukkan bahwa kalsium silikat cangkang kerang darah mengalami penyusutan massa pada suhu  $717\text{ }^\circ\text{C}$  sebesar 27,52 %. Sedangkan kalsium silikat  $\text{CaCO}_3$  komersil mengalami penyusutan massa pada suhu  $736\text{ }^\circ\text{C}$  sebesar 28,03 %. Penyusutan terjadi karena adanya proses dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$ .
3. Hasil analisis XRD pada kalsium silikat bahan dasar cangkang kerang darah dan  $\text{CaCO}_3$  komersil yang dikalsinasi pada suhu  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  menunjukkan bahwa terbentuk fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  dan  $\alpha\text{-CaSiO}_3$ , dimana fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  merupakan fasa mayor.
4. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa mikrostruktur kalsium silikat bahan dasar cangkang kerang darah dan  $\text{CaCO}_3$  komersil yang dikalsinasi pada suhu  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  berbentuk *spheroid* (bulat) dan permukaan mulai

menggumpal (beragglomerasi). Kalsium silikat cangkang kerang darah memiliki ukuran rata-rata partikel sebesar  $0,287 \mu\text{m}$ . Sedangkan kalsium silikat  $\text{CaCO}_3$  komersil memiliki ukuran rata-rata partikel sebesar  $0,297 \mu\text{m}$ .

5. Hasil analisis EDX menunjukkan kandungan unsur kalsium silikat yang dikalsinasi pada suhu  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  adalah unsur Ca, Si, O, C, dan K.
6. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi yang terbentuk pada kalsium silikat yang dikalsinasi pada suhu  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  adalah Si-O, Si-O-Si, Si-O-Ca, O-Si-O,  $\text{CO}_3^{2-}$ , dan O-H. Gugus fungsi Si-O-Ca merupakan pembentuk kalsium silikat.

## **5.2. Saran**

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengkajian lebih detail tentang sifat termal, fasa yang terbentuk, mikrostruktur, dan gugus fungsi supaya hasil yang diperoleh dapat memberikan informasi lebih detail tentang kalsium silikat berbahan dasar cangkang kerang darah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Balakhrisan, S., and Wong, P.L. 2006. Rice husk ash silica as a support material for ruthenium based heterogeneous catalyst. *Journal of Physical Science*. Vol. 17. No. 2. Pp. 1-13.
- Adam, F., Ahmed, A. E., and Min, S. L. 2008. Silver modified porous silica from rice husk and its catalytic potential. *Journal Porous Material*. Vol. 15. No. 4. Pp. 433-444.
- Adam, F., Chew, T. S., and Andas, J. 2011. A simple template free sol gel synthesis of spherical nanosilica from agricultural biomass. *Journal Sol Gel Science Technology*. Vol. 59. No. 3. Pp. 580-583.
- Alavi, M. A. and Morsali, A. 2010. Ultrasonic assisted synthesis of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and  $\text{CaO}$  nanostructures. *Journal Experimental Nanoscience*. Vol. 5. No. 2. Pp. 93-105.
- 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. Pp. 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. Pp. 308-316.
- Anggraini, A.S. 2016. Preparasi dan karakterisasi limbah biomaterial cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dari pantai muara gading mas sebagai bahan dasar biokeramik. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Antao, S. M. and Hassan, I. 2009. The orthorhombic structure of  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{PbCO}_3$  and  $\text{BaCO}_3$ : liner structural trends. *Journal the Canadian Mineralogist*. Vol. 47. No. 5. Pp. 1245-1255.
- 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. Pp. 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. Pp. 25-34.
- Azis, Y., Jamarun, N., Zultiniar, Arief, S., and Nur, H. 2015. Synthesis of hydrothermal method from cockle shell (*Anadara granosa*). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. Vol. 7. No. 5. Pp. 798-804.
- 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. Pp. 3320-3324.
- Bahanan, R. 2010. Pengaruh waktu sonokimia terhadap ukuran kristal kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta. Pp. 19-20.
- Bakar, B. H. A., Putrajaya, R., and Abdulaziz, H. 2010. Malaysian rice husk ash improving the durability and corrosion resistance of concrete: pre-review. *Journal Concrete Research Letter*. Vol. 1. No. 1 Pp. 6-13.
- Bauer, R. R., Copeland, J. R., and Santini, Ken. 1994. Wollastonite, minerals, and rocks. *Journal Industrial Mineral and Rocks*. Vol 6. Pp. 1119-1128.
- Bergna, H. E. and Roberts, W. O. 2006. *Colloidal Silica: Fundamentals and Applications*. Taylor and Francis. Boca Raton. Pp. 9-37.
- Brindley, G. W., and Brown, G. 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. *Journal Clay Minerals*. Vol. 16. No. 5. Pp. 217-219.
- Brinker, L.J. and Scheree, G.W. 1990. *Sol Gel Science the Physic and Chemistry of Sol Gel Processing*. Academic Press New York. USA. Pp.108.
- Boey, P. L., Maniam, G. P., Hamid, S. A., and Ali, D. M. H. 2011. Utilization of waste cockle shell (*Anadara granosa*) in biodiesel production from palm olein: optimization using response surface methodology. *Journal Fuel*. Vol 90. Pp. 2352-2358.
- 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  $\text{H}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  molecule. *Journal Physics and Chemistry of Minerals*. Vol. 21. No. 5. Pp. 269-284.
- Bokau, N. S. 2013. Sintesis membran kitosan termodifikasi silika abu sekam padi untuk proses dekolorisasi. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Boro, J., Thakur, A. J., and Deka, D. 2011. Solid oxide derived from waste shell or *Turbonilla striatula* as a renewable catalyst for biodiesel production. *Journal Fuel Processing Technology*. Vol. 92. No. 10. Pp. 2061-2067.



- Borodina, I. A. and Kozik, V. V. 2005. *Composite Materials Based on Wollastonite for Automobile Construction*. Tomsk State University. Russia.
- Campbell, N. A., Jane B. R., and Lawrance G. R. 2000. *Biologi*. Erlangga. Jakarta. Pp. 224-225.
- Carmona, V. B., Oliveira, R. M., Silva, W. T. L., Mattoso, L. H. C., and Marconcini, J. M. 2013. Nanosilica from rice husk: extraction and characterization. *Journal Industrial Crops and Products*. Vol. 43. Pp. 291-296.
- 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. Pp. 169-175.
- Chandrasekhar, S., Pramada, P. N., Raghavan, P., and Satyanarayana, K. G. 2002. Microsilica from rice husk as a possible substitute for condensed fume for high performance concrete. *Journal of Materials Science Letters*. Vol. 21. Pp. 1245-1247.
- Chatterjee, A., Khobragade, P., Mishra, S., and Naik, J. Advanced microemulsion synthesis and characterization of wollastonite (CaSiO<sub>3</sub>)/polystyrene one-dimensional nanorods with core-shell structures. *Journal of Particuology*. Vol 914. Pp. 1-11.
- 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. Pp. 1057-1068.
- Chen, J. and Xiang, L., 2009. Controllable synthesis of calcium carbonate polymorphs at different temperatures. *Journal Powder Technology*. Vol. 189. No. 1. Pp. 64-69.
- Collie, R.L. 1976. Solar heating system. U.S Patent. No. 3.955.554.
- Crooks, A.F. 1999. Wollastonite in south australia. *Primary Industries and Resource*. Australia. Vol. 2. Pp. 1-16.
- Daifullah, A. A. M., Girgis, B. S., and Gad, H. M. H. 2003. Utilization of agro-residues (rice husk) in small waste water treatment plans. *Journal Materials Letters*. Vol. 57. Pp. 1723-1731.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Rhinneka Cipta. Jakarta.
- Dei, A. N. L. 2003. Ca(OH)<sub>2</sub> nanoparticles from W/O microemulsions. *Journal Langmuir*. Vol. 19. No. 3. Pp. 933-938.
- Dera, P., Lazarz, J. D., Prakapenka, V. B., Barkley, M., and Downs, R. T. 2011. New insights into the high pressure polymorphism of SiO<sub>2</sub> critobalite. *Journal Physics and Chemistry of Minerals*. Vol. 38. No. 7. Pp. 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. Pp. 1180-1190.
- Dollase, W. A. and Baur, W. H. 1976. The superstructure of meteoritic low tridymite solved by computer simulation. *Journal American Mineralogist*. Vol. 61. No. 102. Pp. 971-978.
- Estevez, M., Vargas, S., Castano, V. M., and Rodriguez, R. 2009. Silica nanoparticles produced by worms through a biodigestion process of rice husk. *Journal Non-Crystalline Solids*. Vol. 335. No. 14-15. Pp. 844-850.
- Fauziah, A.R., Rahardja, B.S., and Cahyoko, Y. 2012. Correlation of blood shell fish's size (*Anadara granosa*) with concentration of heavy metals mercury (Hg) in the estuary of ketingan river sidoarjo residence, east java province. *Journal of Marine and Coastal Science*. Vol 1. No. 1. Pp. 34-44.
- Feng L. Q., G. Pu., Y. Pei., F. Z. Cui., H. D. Li., and T. N. Kim. 2000. Polymorph and morphology of calcium carbonate crystals induced by proteins extracted from mollusc shell. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 216. No. 1. Pp. 459-465.
- Foletto, E. L., Castoldi, M. M., Oliveira, L. H., Hoffman, R., and Jahn, S. L. 2009. Conversion of rice husk ash into zeolitic materials. *Journal Latin American Applied Research*. Vol. 39. No. 1. Pp. 75-78.
- Ghorbani, F., Sanati, A. M., and Maleki, M. 2015. Production of silica nanoparticles from rice husk as agricultural waste by enviromental friendly technique. *Journal Enviromental Studies of Persian Gulf*. Vol. 2. No. 1. Pp. 56-65.
- Ghufran, M. 2011. *Budidaya 22 Komoditas Laut untuk Konsumsi Lokal dan Ekspor*. Lily Publisher. Yogyakarta. Pp. 62-67.
- Hafisko, H., Ardiyanto, dan Trixi, M. 2014. Pemanfaatan limbah cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dalam sintesis nanohidroksiapatit sebagai bone implan untuk kerusakan tulang. *Program Kreatifitas Mahasiswa*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Pp. 3.
- Hanafi, A. S. dan Nandang, A. R. 2010. Studi pengaruh bentuk silika dari abu ampas tebu terhadap kekuatan produk keramik. *Jurnal Kimia Indonesia*. Vol. 5. Pp. 35-38.
- Hariharan, M., Varghese, N., Cherian, A. B., Sreenivasan, P. V., Paul, J., and Antony, A. 2014. Synthesis and characterization of CaCO<sub>3</sub> (Calcite) nano particles from cockle shells using chitosan as precursor. *International Journal of Scientific and Research Publications*. Vol. 4. No. 10. Pp. 1-5.
- Harsono, H. 2002. Pembuatan silika amorf dari limbah sekam padi. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 3. No. 2. Pp. 98-103.

- Hesse, K. F. 1984. Refinement of the crystal structure of wollastonite-2m (*parawollastonite*). *Journal Zeitschrift Fur Kristallographie*. Vol. 168. Pp. 93-98.
- Hildayati, Triwikantoro, Faisal, H., dan Sudirman. 2009. Sintesis dan karakterisasi bahan komposit karet alam silika. *Seminar Nasional Pasca Sarjana IX*. Departemen Fisika MIPA Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Hindrayawati, N. dan Alimuddin. 2010. Sintesis dan karakterisasi silika gel dari abu sekam padi dengan menggunakan natrium hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*. Vol 7. No. 2. Pp. 75-77.
- Hoque, M. E., Shehryar, M., and Islam, M.N. 2013. Processing and characterization of cockle shell calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) bioceramic for potential application in bone tissue engineering. *Journal Material Science And Engineering*. Vol. 2. No. 4. Pp. 1-5.
- Hsieh, Y., Du, Y. X., Jin, F. M., Zhou, Z. Y., and Enomoto, E. 2009. Alkaline pretreatment of rice hulls for hydrothermal production of acetic acid. *Journal Chemical Engineering Research*. Vol. 87. No. 1. Pp. 13-18.
- Husaini dan Purnomo, H. 1992. *Percontohan Pembuatan Kapur Ringan dengan menggunakan Sistem Penggelembungan*. Pusat Pengembangan Teknologi Mineral. Bandung.
- Isaia, G. C., Gastaldini, A. L. G., and Moraes, R. 2003. Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high performance concrete. *Journal Cement And Concrete Composites*. Vol. 25. Pp. 69-76.
- Islam, N., Z. Bakar, B. A., Noordin, M. M., Hussein, M. Z. B., Rahman, N. S. B. A., and Ali, M. E. 2011. Characterisation of calcium carbonate and its polymorphs from cockle shells (*Anadara granosa*). *Journal Powder Technology*. Vol. 213. Pp. 188-191.
- 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. Pp. 43-47.
- Istiyati dan 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. Pp. 37-42.
- Jacob, C. J. 1976. *Synthesis of Wollastonite from Natural Materials without Fusion*. U.S Patent. No. 3.966.884.
- Jal, P. K., Sudharsan, M., and Saha, A. 2004. Synthesis and characterization of nanosilica prepared by precipitation method. *Journal Colloids Surf Physicochemical Engineering Aspect*. Vol. 240. No. 1-3. Pp. 173-178.

- Jang, H. T., Park, Y., Ko, Y. S., Lee, J. Y., and Margandan, B. 2009. Highly siliceous mcm-48 from rice husk ash for CO<sub>2</sub> adsorption. *International Journal Greenhouse Gas Control*. Vol. 3. No. 5. Pp. 545-549.
- Javed, S. H., Naved, S., Feroze, N., Zafar, M., and Shafaq, M. 2010. Crystal and amorphous from KMnO<sub>4</sub> treated and untreated rice husk. *Journal of Quality and Technology Management*. Vol. 6. No. 1. Pp. 81-90.
- Kakiage, M., Shiomi, S., Ohashi, T., and Kobayashi, H. 2018. Effect of calcium carbonate particle size on formation and morphology of calcium hexaboride powder synthesized from condensed boric acid poly (vinyl alcohol) product. *Journal of Advanced Powder Technology*. Vol. 29. Pp. 36-42.
- Kalapathy, U., Proctor, A., and Schultz, J. 2002. An improved method for production of silica from rice husk ash. *Journal Bioresource Technology*. Vol. 85. Pp. 285-289.
- Karnkowska, E. J. 2004. Some aspects of nitrogen, carbon and calcium accumulation in molluscs from the zegrzynski reservoir ecosystem. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol 14. No 2. Pp 173-177.
- Keenan, C. W., Kleinfelter, D.C., and Wood, J.H. 1992. *Ilmu Kimia untuk Universitas*. Erlangga. Jakarta.
- Kimball, J. W. 2000. *Biologi Edisi Kelima*. Erlangga. Jakarta. Pp. 907-909.
- Kordatos, K., Gavela, S., Ntziouni, A., Pistiolas, K. N., Kyritsi, A., and Rigopoulou, V. K. 2008. Synthesis of highly siliceous zsm-5 zeolite using silica from rice husk ash. *Journal Microporous Mesoporous Materials*. Vol. 115. No. 1-2. Pp. 189-196.
- Kurama, S. and Kurama, H. 2008. The reaction kinetics of rice husk based corderite ceramics. *Journal Ceramic International*. Vol. 34. No. 2. Pp. 269-272.
- Lara, W. O., Hernandez, D. A. C., Best, S., Brooks, R., and Ramirez, A. H. 2010. Antibacterial properties in vitro bioactivity and cell proliferation of titania wollastonite composites. *Journal Ceramic International*. Vol 36. No.2. Pp. 513-519.
- Le, V. H., Thuc, C. N. H., and Thuc, H. H. 2013. Synthesis of silica nanoparticles from vietnamese rice husk by sol gel method. *Journal Nanoscale Research Letters*. Vol. 8. No. 53. Pp.1-10.
- Lesbani, A., Kurniawati, R., dan Mohadi, R. 2013. Produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak jelantah dengan katalis cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) hasil dekomposisi. *Cakra Kimia Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*. Vol 1. Pp. 1-7.

- Levien, L., Prewitt, C. T., and Weidner, D. J. 1980. Structure and elastic properties of quartz at pressure. *Journal American Mineralogist*. Vol. 65. No. 102. Pp. 920-930.
- Lin, K. L., Zhai, W. Y., Ni, S. Y., Chang, J., Zheng, Y., and Qian, W. J. 2005. Study of the mechanical property and in vitro biocompatibility of CaSiO<sub>3</sub> ceramics. *Journal Ceramic International*. Vol. 31. No. 2. Pp. 323.
- Lin, K., Chang, J., and Lu, J. 2006. Synthesis of wollastonite nanowire via hydrothermal microemulsion methods. *Journal Material Letter*. Vol. 60. Pp. 3007-3017.
- Lin, K., Chang, J., Chen, G., Ruan, M., and Ning, C. 2007. A Simple method to synthesiza single crystalline  $\beta$ -wollastonite nanowires. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 300. Pp. 267-271.
- 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. Pp. 359-364.
- Mansha, M., Javed, S. H., Kazmi, M., and Feroze, N. 2011. Study of rice husk ash as potential source of acid resistance calcium silicate. *Journal Advanced Chemical Enggineer and Science*. Vol. 1. Pp. 147-153.
- 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 *pennisetum pedicellatum* along an evapotranspiration gradient in south niger. *Journal Flora*. Vol. 220. Pp. 84-93.
- Mathews, J. H. 1992. *Numerical Methods for Mathematics, Science, and Engineering*. Prentice Hall. New Jersey.
- Maulita, Herlina. 2016. Preparasi dan karakterisasi limbah biomaterial cangkang kerang kijing (*Pilsbryoconcha exilis*) dari kecamatan pekalongan sebagai bahan dasar biokeramik. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Meiszterics, A. and Sinko, K. 2008. Sol-gel derived calcium silicate ceramics. *Journal Colloids and Surfaces A: Physicochem Engineering Aspects*. Vol. 319. Pp. 143-148.
- Mijan N. A., Yap Y. H., Lee H. V. 2015. Synthesis of clamshell derived Ca(OH)<sub>2</sub> nano-particles via simple surfactant hydration treatment. *Journal Industry Engineering Chemistry*. Vol. 262. Pp. 1043–1051.
- Mirghiasi, Z., Bakhtiar, F., Derezereshki, E., and Esmaelzadeh, E. 2014. Preparation and characterization of CaO nanoparticles from Ca(OH)<sub>2</sub> by direct thermal decomposition method. *Journal Industry Engineering Chemistry*. Vol. 20. No. 1. Pp. 113-117.

- Mohanraj, K., Kannan, S., Barathan, S., and Sivakumar, G. 2012. Preparation and characterization of nano SiO<sub>2</sub> from corn cob ash by precipitation method. *Journal Optoelectronics And Advanced Materials – Rapid Communications*. Vol. 6. No. 3-4. Pp. 394-397.
- Mohamed, M., Yusup, S., and Maitra, S. 2012. Decomposition study of calcium carbonate in cockle shell. *Journal Engineering Science and Technology*. Vol. 7. Pp. 1-10.
- Momma, K. and Izumi, F. 2014. VESTA 3 for three dimensional visualization of crystal, volumetric, and morphology data. *Journal Applied Crystallography*. Vol. 44. No. 6. Pp. 1272-1276.
- Mukunda, H. S., Dasappa, S., Paul, P. J., Rajan, N. K. S., and Subbukrishna, D. N. 2003. A novel process and apparatus for the manufacture of precipitated silica from rice husk ash. *Indian Patent No. 216477*. 18<sup>th</sup> February 2003.
- Musa, B., Raya, I., and Natsir, H. 2016. Synthesis and characterizations of hydroxyapatite derived blood clam shells (*Anadara granosa*) and its potency to dental remineralizations. *International Journal of Applied Chemistry*. Vol. 12. No. 4. Pp. 527-538.
- Nagy, K. and Dekany, I. 2009. Preparation of nanosize cerium oxide particles in W/O microemulsions. *Journal Colloids Surface A*. Vol. 345. No. 1-3. Pp. 31-40.
- Nastiti, A.D., Widyastuti, dan Laihad, F.M. 2015. Bioviabilitas hidroksiapatit ekstrak cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) terhadap sel punca masenkimal sebagai bahan graft tulang. *Jurnal Kedokteran Gigi*. Vol. 9. No. 2. Pp. 123-130.
- 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. Pp. 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, M. 2003. Characterization of a mineral synthesized by availing silica from plant source. *Journal Material Science Technology*. Vol. 19. No. 6. Pp. 599-603.
- Noor, A. H. M., Aziz, S. H. A., Rashid, S. S. A., Zaid, M. H. M., Alassan, Z. N., and Matori, K. A. 2015. Synthesis and characterization of wollastonite glass

- ceramics from eggshell and waste glass. *Journal Solid State Science and Technology Letters*. Vol. 16. No.1-2. Pp. 1-5.
- Nurjanah, Z., Mielke, D., Springfield, T., and Ramasamy, N. 2010. *Practical Applications of FTIR to Characterize Paving Materials*. University of North Texas. Texas.
- Obeid, M. M. 2014. Crystallization of synthetic wollastonite prepared from local raw materials. *International Journal of Materials and Chemistry*. Vol. 4. No. 4. Pp. 79-87.
- Oladoja, N. A., Olalade, I. A., Olaseni, S. E., Olatujoye, V. O., Jegede, O. S., and Agunloye, A. O. 2012. Synthesis of nano calcium oxide from a gastropod shell and the performance evaluation for Cr(VI) removal from aqua system. *Journal Industry Engineering Chemistry*. Vol. 51. No. 2. Pp. 639-648.
- Othmer, D. F. and Kirk, R. E. 1965. *Inorganic Process industries*. The Macmillan Company. New York. Pp. 107-115.
- Patel, M., Karera, A. and Prasanna, P. 1987. Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk. *Journal Materials Science*. Vol. 22. No. 7. Pp. 2457-2464.
- Pattanayak, D. K., Divya, P., Upadhyay, S., Prasad, R. C., Rao, V. T., and Mohan, T. R. R. 2005. Synthesis and evaluation of hydroxyapatite ceramics. *Journal Trends Biomaterial Artificial Organs*. Vol 18. No. 2. Pp. 87-92.
- Patnaik, P. 2003. *Handbook of Inorganic Chemicals*. McGraw-Hill Book Company. New York. Pp. 159.
- 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. *Journal of Advanced Materials Research*. Vol. 1103. Pp 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. Pp. 19-22.
- Prasad C.S., Maiti, K. N., and Venugopal, R. 2001. Effect of rice husk ash in whiteware compositions. *Journal Ceramic International*. Vol. 27. No. 6. Pp. 629-635.
- Prastikharisma, Meida, I., and Setiawan, H. 2010. Sintesis hibrida silika karbon dengan metode sol gel untuk aplikasi adsorbent. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*. Pp. 1411-4216.
- 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. Pp. 198-201.
- Putro, A dan Prasetyo, D. 2007. Abu sekam padi sebagai sumber silika pada sintesis zeolit zsm-e tanpa menggunakan template organik. *Jurnal Akta Kimindo Organik*. Vol. 3. No. 1. Pp. 33.
- 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. Pp. 77-81.
- Real, C., Alcala, D., Maria, C., and Jose, M. 1996. Preparation of silica from rice husk. *Journal American Ceramics Society*. Vol. 79. No. 8. Pp. 2012-2016.
- Reni. 2014. Sintesis dan karakterisasi gugus fungsi dan struktur keramik silika ( $\text{SiO}_2$ ) sekam padi dengan leaching asam sitrat  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$ ). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Rianda., Zuhadjri., dan Arief, S. 2015. Sintesis dan karakterisasi wollastonite berbahan dasar alami dengan metode hidrotermal. *Jurnal Riset Kimia*. Vol. 8. No. 2. Pp. 154-157.
- Rosalia, R., Asmi, D., and Ginting, E. 2016. Preparasi dan karakterisasi keramik silika ( $\text{SiO}_2$ ) sekam padi dengan suhu kalsinasi 800 – 1000 °C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 4. No. 1. Pp. 101-106.
- Romimohtarto, K. and Juwana, S. 2001. *Biologi Laut: Ilmu Tentang Biota Laut*. Djambatan. Jakarta. Pp. 25-27.
- Rujitanapanich, S., Kumpapan, P., and Wanjanoi, P. 2014. Synthesis of hydroxyapatite from oyster shell via precipitation. *Journal Energy Procedia*. Vol. 56. Pp. 112-117.
- Ruiz, M. G., Hernandez, J., Banos, L., Montes, J. N., and Garcia, M. E. R. 2009. Characterization of calcium carbonate, calcium oxide, and calcium hydroxide as starting point to the improvement of lime for their use in construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol. 21. Pp. 694-698.
- Rusnah, M., Reusmaazran, M.M.Y., and Yusof, A. 2014. Hydroxyapatite from cockle shell as a potential biomaterial for bone graft. *Journal of Regenerative Research*. Vol. 3. No. 1. Pp. 52-55.
- Saadaldin, A. A. and Rizkalla, A. S. 2014. Synthesis and characterization of wollastonite glass ceramics for dental implant applications. *Journal Dental Materials*. Vol. 30. Pp. 364-371.
- Saha, J. C., Diksit, K., and Bandyopadhyay, M. 2001. Comparative studies for selection of technologies for arsenic removal from drinking water. *Chemical Analysis Series*, Vol.135, pp 445-463



- Sang, J. L., Choong, H. J., and Man, J. L. 2005. Synthesis and sintering behavior of wollastonite fabricated by a polymer solution technique. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol 6. Pp. 298-301.
- Saravanapavan, P. and Hench, L. L. 2003. Mesoporous calcium silicate glasses. I. synthesis. *Journal of Non-Crystalline Solids*. Vol. 318. Pp. 1-13.
- 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. Pp. 426-429.
- Singh, S. P. and Charmakar, B. 2011. Mechanochemical synrthesis of nano calsium silicate particles at room temperature. *New Journal of Glass and Ceramics*. Vol. 1. Pp. 49-52.
- Siriwardena, S., Ismail, H., and Ishiaku, U. S. 2001. A comparison of white rice husk ash and silica as fillers in ethylene-propylene-diene terpolymer vulcanizates. *Journal Polymer International*. Vol. 50. Pp. 707-713.
- Sisman, C. B., Gezer, E., and Kocaman, I. 2011. Effect of organic waste (rice husk) on the concrete properties for farm buildings. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. Vol. 17, No.1. Pp. 40-48.
- Sitepu, H. 2009. Texture and structural refinement using neutron diffraction data from molybdite ( $\text{MoO}_3$ ) and calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) powders and a Ni-rich  $\text{Ni}_{50.7}\text{Ti}_{49.30}$  alloy. *Journal Powder Diffraction*. Vol. 24. No. 4. Pp. 315-326.
- Sriyanti, Taslimah, Nuryono, and Narsito. 2005. Sintesis bahan hibrida amino-silika dari abu sekam padi melalui proses sol gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 8. No 1.
- Suci, I. A. 2016. Sintesis hidroksiapatit berbasis cangkang kerang ale-ale (*Meretrix meretrix*) dan pelapisannya pada paduan logam CoCrMo. *Thesis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Pp. 3-4.
- Sugita, S. 1993. On the economic production of large quantities of highly reactive rice husk ash. *International Journal of Sains and Research*. Vol. 2. No. 9. Pp. 3-71.
- Suka, I.G., Simanjuntak, W., dan Sembiring, S. 2008. Karakterisasi silika sekam padi dari provinsi lampung yang diperoleh dengan metode ekstraksi. *Jurnal MIPA Unila*. Vol.37. No. 1. Pp. 47-52.
- Sun, L. and Gong, K. 2001. Silicon-based materials from rice husks and their applications. *Journal of India Engineering Chemical Resource*. Vol. 40. No. 25. Pp. 5861-5877.
- Surdia, T and Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradanya Pramita. Jakarta.

- Tang, Z. X. 2013. Sonication assisted preparation of CaO nanoparticles for antibacterial agent. *Journal Quim Nova*. Vol. 36. No. 7. Pp. 933-936.
- Tang, Z. X., Corcuff, R., Belkacemi, K., and Arul, J. 2008. Preparation of nano CaO using thermal decomposition method. *Journal Material Letters*. Vol. 62. No. 14. Pp. 2096-2098.
- Tangriboon, N., Khongnakhon, T., Kittikul, S., Kunanuruksapong, R., and Sirivat, A. 2011. An innovative CaSiO<sub>3</sub> dielectric material from eggshells by sol gel process. *Journal Sol Gel Science Technology*. Vol. 58. Pp. 33-41.
- Teixeria, S. R., Souza, A. E., Carvalho, C. L., Reynoso, V. C. S., Romero, M., and Ma, J. 2014. Characterization of a wollastonite glass ceramic material prepared using sugar cane bagasse ash (SCBA) as one of the raw materials. *Journal Material Characteristic*. Vol. 98. Pp. 209-214.
- Trojer, F. J. 1969. The crystal structure of a high pressure polymorph of CaSiO<sub>3</sub>. *Journal Zeitschrift Fur Kristallographie*. Vol. 130. Pp. 185-206.
- Tzuzuki, T., Hick, K P., and McCormick, P. 2000. Synthesis of calcium carbonate nanoparticles by mechanochemical processing. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 2. Pp. 375-380.
- Umeda, J., Kondoh, K., and Michiura, Y. 2007. Process parameters optimization in preparing high purity amorphous silica originated from rice husks. *Journal Materials Transactions*. Vol. 48. No. 12. Pp. 3095-3100.
- Umbreit, M. H. and Jedrasiewicz, A. 2000. Application of infrared spectrophotometry to the identification of inorganic substances in dosage forms of antacida group. *Journal Acta Poloniae Pharmaceutica*. Vol. 57. No. 2. Pp. 83-91.
- Vichapund, S., Kitiwan, M., Atong, D., and Thavorniti, P. 2011. Microwave synthesis of wollastonite powder from eggshells. *Journal of the European Ceramic Society*. Vol. 31. Pp. 2435-2440.
- Wang, H., Qilong, Z., Hui, Y., and Huiping, S. 2008. Synthesis and microwave dielectric properties of CaSiO<sub>3</sub> nanopowder by the sol gel process. *Journal Ceramics International*. Vol. 34. Pp 1405-1408.
- Wang, J. and Becker, U. 2009. Structure and carbonate orientation of vaterite (CaCO<sub>3</sub>). *Journal American Mineralogist*. Vol. 94. No. 2-3. Pp. 380-386.
- West, A. R. 1984. *Basic Solid State Chemistry Second Edition*. Willey. New York.
- 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. Pp. 268-276.

- Xiang, L., Xiang, Y., Wen, Y., and Wei, F. 2002. Formation of  $\text{CaCO}_3$  nanoparticles in the presence of terpineol. *Journal Material Letters*. Vol. 58. No. 6. Pp. 959-965.
- Yang, H. and Prewitt, C. T. 1999. On the crystal structure of pseudowollastonite ( $\text{CaSiO}_3$ ). *Journal American Mineralogist*. Vol. 84. Pp. 929-932.
- Yasue, T. and Arai, Y. 1995. Particle design for new development of calcium compound. *Journal Shigen to Sozai*. Vol. 111. No. 7. Pp. 439-448.
- Yazdani, A., Rezaie H.R., and Ghassai, H. 2010. Investigation of hydrothermal synthesis of wollastonite using silica and nano silica at different pressures. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 11. No. 3. Pp 384-353.
- Yun, Y. H., Kim, S. B., Kang, B. A., Lee, Y. W., Oh, J. S., and Hwang, K. S. 2006.  $\beta$ -wollastonite reinforced glass-ceramics prepared from waste fluorescent glass and calcium carbonate. *Journal Material Processing Technology*. Vol. 178. No 1-3. Pp. 61-66.
- Zhang, N., Molenda, J. A., Fournelle, J. H., Murphy, W. L., and Sahai, N. 2010. Effects of pseudowollastonite ( $\text{CaSiO}_3$ ) bioceramic on in vitro activity of human mesenchymal stem cells. *Journal Biomaterials*. Vol. 31. Pp. 7653-7665.
- Zhang, N., Molenda, J. A., Mankoci, S., Zhou, X., Murphy, W. L., and Sahai, N. 2013. Crystal structures of  $\text{CaSiO}_3$  polymorphs control growth and osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cell on bioceramic surface. *Journal Biomaterials Science*. Vol. 1. Pp. 1101-1110.
- Zhong, H., Wang, L., Fan, He, Y. L., Lin, K., Jiang, W., Chang, J., and Chen, L. 2011. Mechanical properties and bioactivity of  $\beta$ - $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  ceramics synthesized by spark plasma sintering. *Journal Ceramic International*. Vol. 37. No. 7. Pp. 2459-2465.
- Zuhra, Husin. H., Hasfita, F., dan Rinaldi, W. 2015. Preparasi katalis abu kulit kerang untuk transesterifikasi minyak nyamplung menjadi biodiesel. *Journal of Agritech*. Vol 35. No. 1. Pp. 69-77.