

**PENGARUH VARIASI SUHU DAN WAKTU TERHADAP  
PEMBENTUKAN UKURAN SILIKA BERBASIS BATU APUNG  
LAMPUNG SELATAN DENGAN METODE SONIKASI**

(Skripsi)

Oleh  
**Siti Rahmadiarti**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH VARIASI SUHU DAN WAKTU TERHADAP PEMBENTUKAN UKURAN SILIKA BERBASIS BATU APUNG LAMPUNG SELATAN DENGAN METODE SONIKASI**

Oleh

**Siti Rahmadiarti**

Penelitian pengaruh variasi suhu dan waktu sonikasi terhadap unsur penyusun, strukturmikro dan ukuran silika dari batu apung. Bahan yang digunakan yaitu batu apung, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HCl. Variasi suhu yang digunakan 30°C, 60°C dan 80°C serta variasi waktu selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Setelah disonikasi batu apung dikalsinasi pada suhu 800°C selama 4 jam. Batu apung dikarakterisasi menggunakan X-RF, X-RD dan SEM-EDS. Hasil terbaik terdiri dari unsur penyusun SiO<sub>2</sub> sebesar 98,97 Wt%. Strukturmikro didominasi fase amorf dengan morfologi tidak uniform dikarenakan ukuran yang terkarakterisasi berbagai macam ukuran. Ukuran terbaik silika sebesar 5,303 nm. Hasil analysis of variance menunjukkan kedua parameter suhu dan waktu memberikan kontribusi masing-masing sebesar 50,31% dan 46,24%.

***Kata kunci:*** batu apung, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, *silika*, sonikasi, suhu, waktu, X-RF, X-RD dan SEM-EDS.

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF TEMPERATURE AND TIME VARIATIONS ON THE FORMATION OF SILICA SIZE BASED ON PUMICE LAMPUNG SELATAN WITH SONICATION METHOD**

**By**

**Siti Rahmadiarti**

Research on the effect of variations in temperature and sonication time on the constituent elements, phase structure, microstructure and silica size of pumice. The materials used are pumice, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and HCl. Temperature variations used are 30°C, 60°C and 80°C and time variations for 1 hour, 2 hours and 3 hours. After sonication, pumice was calcined at 800°C for 4 hours. Pumice was characterized using X-RF, X-RD and SEM-EDS. The best results consist of the constituent elements of SiO<sub>2</sub> of 98.97 Wt%. The microstructure is dominated by the amorphous phase with non-uniform morphology due to the size characterized by various sizes. The best size of silica is 5,303 nm. The results of the analysis of variance show that both temperature and time parameters contribute 50.31% and 46.24%.

**Keyword:** pumice, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, silica, sonication, temperature, time, X-RF, X-RD and SEM-EDS.

**PENGARUH VARIASI SUHU DAN WAKTU TERHADAP  
PEMBENTUKAN UKURAN SILIKA BERBASIS BATU APUNG  
LAMPUNG SELATAN DENGAN METODE SONIKASI**

Oleh

**SITI RAHMADIARTI**

**Skripsi**

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

Pada

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

Judul Skripsi

: **PENGARUH VARIASI SUHU DAN WAKTU  
TERHADAP PEMBENTUKAN UKURAN  
SILIKA BERBASIS BATU APUNG  
LAMPUNG SELATAN DENGAN METODE  
SONIKASI**

Nama Mahasiswa

: **Siti Rahmadiarti**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1817041081

Program Studi

: Fisika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Drs. Ediman Ginting, M.Si.**  
NIP 195708251986031002

**Yusup Hendronursito, M.T.**  
NIP 198503142014011001

**2. Ketua Jurusan Fisika**

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

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

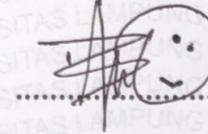
Ketua

: **Drs. Ediman Ginting, M.Si.**



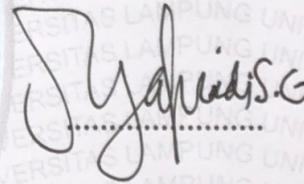
Sekretaris

: **Yusup Hendronursito, M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Drs. Syafriadi, M.Si.**



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



**Dr. Eng Suripto Dwi Yuwono, M.T.**

NIP 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **10 Agustus 2022**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 10 Agustus 2022

Penulis,



Siti Rahmadiarti  
NPM. 1817041081

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Siti Rahmadiarti, dilahirkan pada tanggal 08 September 1999 di Tangerang. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Sudirman dan Ibu Rohaeti.

Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah SD Negeri Cisauk pada Tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri 01 Cisauk pada Tahun 2015, Sekolah Menengah Atas Negeri 28 Kab. Tangerang pada Tahun 2018. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur SBMPTN.

Selama menempuh pendidikan, penulis aktif menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) pada bidang sosial dan masyarakat pada tahun 2019-2020. Penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Metalurgi dan Material (P2MM) LIPI Serpong, Tangerang Selatan pada tahun 2021 dengan judul penelitian “**Analisis Laju Korosi Besi Cor Kelabu menggunakan Corrosion Measurement System (CMS) dan Media Larutan NaCl 3,5%**”. Penulis juga telah mengikuti program pengabdian masyarakat dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2021 di Desa Susunan Baru, Tanjung Karang Barat, Kota Bandar Lampung.

Selanjutnya penulis melakukan penelitian bidang non logam sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul **“Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Terhadap Pembentukan Ukuran Silika Berbasis Batu Apung Lampung Selatan dengan Metode Sonikai”**. Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Non Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM-BRIN), Lampung Selatan, Provinsi Lampung

## MOTTO

*“Jalani dengan Ikhlas dan Syukuri Apapun Hasilnya”*

*“Selalu Ada Harapan Bagi Orang yang Berdoa, Selalu Ada Jalan Bagi yang Berusaha dan Selalu Ada Kesuksesan Bagi yang Yakin dan Percaya”*

*“Dan dia mendapatimu sebagai seseorang yang bingung, lalu dia memberimu petunjuk”*

(Qs. Ad Dhuha:7)

## **PERSEMBAHAN**

Puji Syukur saya panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala nikmatnya kepada saya dan karya ini saya persembahkan

Kepada

**Kedua Orang Tuaku**

**Ayahanda Sudirman dan Ibunda Rohaeti**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi nikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Terhadap Pembentukan Ukuran Silika Berbasis Batu Apung Lampung Selatan dengan Metode Sonikasi”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Skripsi ini membahas tentang pengaruh variasi suhu dan waktu terhadap unsur penyusun, strukturmikro dan ukuran silika berbasis batu apung kemudian dikarakterisasi menggunakan X-RF, X-RD dan SEM-EDS.

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

Bandar Lampung, 10 Agustus 2022

Siti Rahmadiarti  
NPM. 1817041081

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi Kesehatan, hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Terhadap Pembentukan Ukuran Silika Berbasis Batu Apung Lampung Selatan dengan Metode Sonikasi”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Drs. Ediman Ginting, M.Si. selaku Pembimbing Pertama yang telah banyak memberi bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya dan mengajarkan cara penulisan yang baik dan benar selama penulisan skripsi ini;
2. Yusup Hendronursito, M.T. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran, masukan dan arahan dalam penulisan skripsi ini;
3. Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi agar menjadi lebih baik lagi;
4. Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang memberikan masukan serta nasehat selama masa studi di Jurusan Fisika;
5. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si., selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA

Universitas Lampung;

7. Pak Badri, Pak Edi, Tete Anan yang telah membantu penulis dalam proses administrasi dan perlengkapan seminar;
8. Kepala Pusat Riset Teknologi Pertambangan – BRIN – Lampung Selatan yang telah memfasilitasi penulis selama penelitian berlangsung;
9. Pak Solimin, Pak Untung dan Bu Ulin yang telah membantu penulis dalam proses administrasi di BRIN – Lampung Selatan;
10. Ibnu Hambali seseorang yang telah menemani serta memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan kuliah ini;
11. Sahabat-sahabatku Novia Rahmadiana Putri, Nindya Fajrina Febriani, Tirana Dewi Aswanda, Monica Karnailia dan Widya Hardiantika yang telah menjadi kawan diskusi yang baik;
12. Seluruh tim seperjuangan Fisika angkatan 2018. Do'a terbaik untuk kalian semua.

Serta seluruh pihak yang terlibat yang tidak bisa penulis sebutkan Namanya satu persatu. Atas kebaikan mereka semua yang telah membantu menulis skripsi ini.

Bandar Lampung, 10 Agustus 2022

Siti Rahmadiarti  
NPM. 1817041081

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vii
<b>MOTTO</b> .....	ix
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>SANWACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5

## II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batu Apung .....	6
2.2 Silika dari Batu Apung.....	8
2.3 Ekstraksi Silika dari Batu Apung	
2.3.1 Bahan-bahan .....	9
2.3.2 Ekstraksi Silika dari Batu Apung.....	9
2.4 Sonikasi Silika dari Batu Apung	
2.4.1 Bahan-bahan .....	10
2.4.2 Sonikasi Batu Apung .....	10
2.5 Karakterisasi.....	
2.5.1. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	12
2.5.2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	13
2.5.3. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM-EDS) .....	15

## III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	18
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	
3.2.1 Alat Penelitian.....	18
3.2.2 Bahan Penelitian .....	19
3.3 Metode Penelitian	
3.3.1 Preparasi Serbuk Batu Apung .....	20
3.3.2 Ekstraksi Batu Apung .....	20
3.3.3 Sonikasi Batu Apung .....	21
3.3.4 Karakterisasi .....	22
3.3.4.1 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	22
3.3.4.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	23
3.3.4.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM-EDS).....	24
3.4 Diagram Alir	
3.4.1 Diagram Alir Preparasi Serbuk Batu Apung .....	25
3.4.2 Diagram Alir Ekstraksi Silika Batu Apung .....	26
3.4.3 Diagram Alir Sonikasi Silika Batu Apung .....	27

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Suhu dan Waktu Sonikasi Terhadap	
Unsur Penyusun dan Struktur Fase .....	28
4.1.1 Hasil Karakterisasi Batu Apung menggunakan X-RF .....	28
4.1.2 Hasil Karakterisasi Batu Apung menggunakan X-RD .....	29
4.1.3 Hasil Karakterisasi Batu Apung yang telah Diekstraksi	
menggunakan X-RF.....	30
4.1.4 Hasil Karakterisasi Batu Apung yang telah Diekstraksi	

Menggunakan X-RD .....	30
4.1.5 Hasil Karakterisasi Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C menggunakan X-RF.....	31
4.1.6 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C menggunakan X-RD .....	32
4.1.6.1 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C selama 1 jam menggunakan X-RD .....	32
4.1.6.2 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C selama 2 jam menggunakan X-RD .....	34
4.1.6.3 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C selama 3 jam menggunakan X-RD.....	35
4.1.7 Hasil Karakterisasi Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C menggunakan X-RF.....	36
4.1.8 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi Pada Suhu 60°C menggunakan X-RD.....	37
4.1.8.1 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C selama 1 Jam menggunakan X-RD.....	37
4.1.8.2 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C selama 2 Jam menggunakan X-RD.....	39
4.1.8.3 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C selama 3 Jam menggunakan X-RD.....	40
4.1.9 Hasil Karakterisasi Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C menggunakan X-RF.....	41
4.1.10 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi Pada Suhu 80°C menggunakan X-RD.....	42
4.1.10.1 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C selama 1 Jam menggunakan X-RD .....	42
4.1.10.2 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C selama 2 Jam menggunakan X-RD .....	44
4.1.10.3 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C selama 3 Jam menggunakan X-RD .....	45
4.1.11 Hasil perbandingan Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C menggunakan X-RD.....	46
4.1.12 Hasil perbandingan Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C menggunakan X-RD.....	47
4.1.13 Hasil perbandingan Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C menggunakan X-RD.....	48

#### 4.2 Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Sonikasi Terhadap Strukturmikro

dan Ukuran Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi.....	49
4.2.1 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C menggunakan SEM-EDS .....	49
4.2.1.1 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C selama 1 Jam menggunakan SEM-EDS.....	49
4.2.1.2 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C selama 2 Jam menggunakan SEM-EDS.....	51
4.2.1.3 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 30°C selama 3 Jam menggunakan SEM-EDS.....	53
4.2.2 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C menggunakan SEM-EDS .....	55
4.2.2.1 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C selama 1 Jam menggunakan SEM-EDS.....	55
4.2.2.2 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C selama 2 Jam menggunakan SEM-EDS.....	57
4.2.2.3 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 60°C selama 3 Jam menggunakan SEM-EDS.....	59
4.2.3 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C menggunakan SEM-EDS .....	61
4.2.3.1 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C selama 1 Jam menggunakan SEM-EDS.....	61
4.2.3.2 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C selama 2 Jam menggunakan SEM-EDS.....	63
4.2.3.3 Hasil Karakterisasi Silika dari Batu Apung yang telah Disonikasi pada Suhu 80°C selama 3 Jam menggunakan SEM-EDS.....	65
4.3 Hasil <i>Analysis of Variance</i> (Annova).....	68

## V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan .....	72
5.2 Saran.....	73

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Batu Apung dari Pantai Gubug Garam-Lampung Selatan.....	6
<b>Gambar 2.2</b> <i>Ultrasonic cleaner</i> di BPTM-BRIN .....	11
<b>Gambar 2.3</b> Prinsip kerja X-RF .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Difraksi sinar-X .....	14
<b>Gambar 2.5</b> Hukum Bragg.....	15
<b>Gambar 2.6</b> SEM-EDS .....	16
<b>Gambar 3.1</b> Alat X-RF .....	22
<b>Gambar 3.2</b> Alat X-RD.....	23
<b>Gambar 3.3</b> Alat SEM-EDS .....	24
<b>Gambar 3.4</b> Diagram alir preparasi serbuk batu apung .....	25
<b>Gambar 3.5</b> Diagram alir ekstraksi silika batu apung .....	26
<b>Gambar 3.6</b> Diagram alir sonikasi silika batu apung.....	27
<b>Gambar 4.1</b> Difraktogram batu apung.....	29
<b>Gambar 4.2</b> Difraktogram batu apung setelah ekstraksi.....	31
<b>Gambar 4.3</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 1 jam .....	33

<b>Gambar 4.4</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 2 jam .....	34
<b>Gambar 4.5</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 3 jam .....	35
<b>Gambar 4.6</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi suhu 60°C selama 1 jam.....	38
<b>Gambar 4.7</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi suhu 60°C selama 2 jam.....	39
<b>Gambar 4.8</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi suhu 60°C selama 3 jam.....	40
<b>Gambar 4.9</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi suhu 80°C selama 1 jam.....	43
<b>Gambar 4.10</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi suhu 80°C selama 2 jam .....	44
<b>Gambar 4.11</b> Difraktogram silika dari batu apung yang telah disonikasi suhu 80°C selama 3 jam .....	45
<b>Gambar 4.12</b> Perbandingan difraktogram X-RD silika dari batu apung Yang telah disonikasi pada 30°C .....	46
<b>Gambar 4.13</b> Perbandingan difraktogram X-RD silika dari batu apung Yang telah disonikasi pada 60°C .....	47
<b>Gambar 4.14</b> Perbandingan difraktogram X-RD silika dari batu apung Yang telah disonikasi pada 80°C .....	48

<b>Gambar 4.15</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 1 jam.....	49
<b>Gambar 4.16</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 1 jam menggunakan SEM .....	50
<b>Gambar 4.17</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 2 jam.....	51
<b>Gambar 4.18</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 2 jam menggunakan SEM .....	52
<b>Gambar 4.19</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 3 jam.....	53
<b>Gambar 4.20</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 30°C selama 3 jam menggunakan SEM .....	54
<b>Gambar 4.21</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 60°C selama 1 jam.....	55
<b>Gambar 4.22</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 60°C selama 1 jam menggunakan SEM .....	56
<b>Gambar 4.23</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 60°C selama 2 jam.....	57
<b>Gambar 4.24</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 60°C selama 2 jam menggunakan SEM .....	58
<b>Gambar 4.25</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 60°C selama 3 jam.....	59
<b>Gambar 4.26</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 60°C selama 2 jam menggunakan SEM .....	60

<b>Gambar 4.27</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 80°C selama 1 jam.....	61
<b>Gambar 4.28</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 80°C selama 1 jam menggunakan SEM .....	62
<b>Gambar 4.29</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 80°C selama 2 jam.....	63
<b>Gambar 4.30</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 80°C selama 2 jam menggunakan SEM .....	64
<b>Gambar 4.31</b> Persebaran unsur kimia silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 80°C selama 3 jam.....	65
<b>Gambar 4.32</b> Hasil karakterisasi silika dari batu apung yang telah disonikasi pada suhu 80°C selama 3 jam menggunakan SEM .....	66
<b>Gambar 4.33</b> <i>Contour plot</i> ukuran silika dari batu apung vs suhu dan waktu .....	69
<b>Gambar 4.34</b> <i>Contour plot</i> kemurnian silika dari batu apung vs suhu dan waktu .....	71



<b>Tabel 4.7</b> Komposisi elemen silika dari batu apung yang disonikasi pada suhu 30°C selama 2 jam .....	52
<b>Tabel 4.8</b> Komposisi elemen silika dari batu apung yang disonikasi pada suhu 30°C selama 3 jam .....	54
<b>Tabel 4.9</b> Komposisi elemen silika dari batu apung yang disonikasi pada suhu 60°C selama 1 jam .....	56
<b>Tabel 4.10</b> Komposisi elemen silika dari batu apung yang disonikasi pada suhu 60°C selama 2 jam.....	58
<b>Tabel 4.11</b> Komposisi elemen silika dari batu apung yang disonikasi pada suhu 60°C selama 3 jam.....	60
<b>Tabel 4.12</b> Komposisi elemen silika dari batu apung yang disonikasi pada suhu 80°C selama 1 jam.....	62
<b>Tabel 4.13</b> Komposisi elemen silika dari batu apung yang disonikasi pada suhu 80°C selama 2 jam.....	64
<b>Tabel 4.14</b> Komposisi elemen silika dari batu apung yang disonikasi pada suhu 80°C selama 3 jam.....	66
<b>Tabel 4.15</b> Kontribusi suhu dan waktu sonikasi terhadap ukuran silika dari batu apung .....	68
<b>Tabel 4.16</b> Perbandingan suhu sonikasi terhadap ukuran silika dari batu apung .....	68
<b>Tabel 4.17</b> Perbandingan waktu sonikasi terhadap ukuran silika dari batu apung .....	69

<b>Tabel 4.18</b> Perbandingan suhu sonikasi terhadap kemurnian silika	
dari batu apung .....	70
<b>Tabel 4.19</b> Perbandingan waktu sonikasi terhadap kemurnian silika	
dari batu apung .....	70

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya mineral logam dan non logam yang berlimpah. Salah satu sumber daya mineral non logamnya seperti batu apung. Batu apung (*pumice*) adalah jenis batuan yang berwarna terang berasal dari letusan gunung api (Miskah, 2018) dan membentuk zona-zona di bagian atas lava silikat (Kumulawati dkk, 2013). Indonesia termasuk negara yang memiliki gunung api aktif terbanyak di dunia sekitar 129 buah (Anthe dkk, 2015), dan sekitar 30% gunung api aktif di dunia berada di Indonesia (Pratomo, 2006).

Salah satu gunung api yang masih aktif di Provinsi Lampung adalah Gunung Krakatau (Tiara, 2019) dan pernah meletus pada tahun 1883 (Simken dan Fiske, 1983). Akibat letusan tersebut mengakibatkan Provinsi Lampung memiliki potensi banyaknya cadangan batu apung yang berasal dari endapan vulkanik hasil letusan Gunung Krakatau yang sebagian besar kandungannya adalah  $\text{SiO}_2$  (77,79%) dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,72%) (Erika dkk, 2018). Hasil letusan tersebut tersebar ke beberapa wilayah di Provinsi Lampung, salah satunya dapat ditemukan di sekitar pesisir pantai Gubug Garam, di selatan Kota Tarahan, Lampung (Putra dan Yulianto, 2017).

Ersoy *et al.*, (2010) melaporkan batu apung memiliki kandungan oksida  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , dan lain-lain. Oksida yang dominan terkandung dalam batu apung adalah  $\text{SiO}_2$  sebesar 70,21%.

Silika disebut juga  $\text{SiO}_2$  adalah mineral yang tersusun dari dua unsur silikon (Si) dan Oksigen ( $\text{O}_2$ ) (Trabelsi *et al.*, 2009). Sedangkan nanosilika adalah bahan *amorf* yang tersusun atas ikatan Si-O-Si dengan gugus silanol (Si-OH) (Miloskovska, 2013) dan ukurannya berukuran nano (Singh *et al.*, 2011).

Ketersediaan silika melimpah di alam, sehingga banyak digunakan dalam bidang industri seperti bahan baku gelas, keramik, kaca, semen, dan industri lainnya (Latif dkk, 2014). Silika di alam dapat diperoleh dari mineral serta nabati. Silika mineral dapat diperoleh dari pasir kuarsa, granit (Fahmi dan Nurfalah, 2016) dan batu apung (Mourhly *et al.*, 2015), sedangkan silika nabati dapat diperoleh dari ampas tebu, tongkol jagung (Wardhani, 2017), dan sekam padi (Shen, 2017).

Silika akan larut dalam keadaan basa dan akan mengendap dalam keadaan asam Kalapaty *et al.*, (2000), sehingga dilakukan ekstraksi silika dari batu apung dengan NaOH untuk mendapatkan silika (Srivastava *et al.*, 2013). Mourhly *et al.*, (2015) melaporkan NaOH termasuk basa kuat yang dapat digunakan untuk mengekstraksi silika dengan kemurnian mencapai 97%. Kandungan silika tertinggi diperoleh pada variasi NaOH 3,0M dengan presentase sebesar 96,3% yang meningkat hingga 18,5% dari kandungan silika batu apung (Erika dkk, 2018).

Silika akan mengendap pada Ph 7, untuk mendapatkan Ph 7 filtrat hasil ekstraksi ditetesi larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sehingga silika akan mengendap dan kemudian endapan tersebut akan menghasilkan gel silika (Mourhly *et al.*, 2015).

Silika yang diperoleh dari hasil ekstraksi masih terdapat kandungan pengotor seperti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  akibat dari larutnya batang magnet yang digunakan saat proses ekstraksi, maka dilakukan proses pemurnian silika untuk menghilangkan kandungan pengotor tersebut dengan cara melakukan pencucian silika menggunakan pelarut asam (HCl) yang efektif menurunkan kandungan pengotor logam 70,22% (Sari dkk, 2019).

Nanomaterial merupakan material yang berukuran antara 1 sampai dengan 100 nm. Material dalam ukuran nano memiliki keunggulan dibandingkan material yang sama dalam ukuran yang lebih besar, dimana material yang berukuran nano memiliki partikel-partikel dengan luas permukaan interaksi yang tinggi. Semakin banyak partikel yang berinteraksi maka semakin kuat ikatan antar partikel sehingga material lebih mudah bereaksi (Hadiyawarman, 2008). Salah satu cara untuk membuat material berukuran nano yaitu dengan cara sonikasi.

Metode sonikasi merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan untuk membuat ukuran partikel yang lebih kecil dan homogen dengan memanfaatkan suhu dan waktu sonikasi (Teh *et al.*, 2017). Metode sonikasi banyak dilakukan karena pengaruh sonikasi yang dapat menghasilkan sampel kristal partikel berukuran nano dan dapat memisahkan penggumpalan partikel (aglomerasi) (Firnando dan Astuti, 2015).

Mukherjee *et al.*, (2021) melakukan penelitian pengaruh sonikasi terhadap ukuran partikel silika yang disonikasi selama 1 jam diperoleh ukuran partikel 105 nm dan

ukuran partikel terus berlanjut menurun menjadi 52,5 nm setelah 3 jam sonikasi dari sampel yang sama.

Penelitian tersebut menjadi acuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu sonikasi terhadap silika berbasis batu apung. Variasi suhu sonikasi yang digunakan yaitu 30°C, 60°C, dan 80°C serta variasi waktu sonikasi yang digunakan yaitu 1 jam, 2 jam dan 3 jam, sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang besar sebagai informasi mengenai batu apung sebagai penerapan nanosilika khususnya menggunakan sonikasi pada bidang industri di Indonesia seperti industri kaca dan semen yang salah satu bahannya menggunakan silika.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu dan waktu sonikasi terhadap unsur penyusun dan struktur fase silika berbasis batu apung?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu dan waktu sonikasi terhadap pembentukan ukuran dan struktur mikro silika berbasis batu apung?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu sonikasi terhadap unsur penyusun dan struktur fase silika berbasis batu apung.
2. Mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu sonikasi terhadap ukuran dan struktur mikro silika berbasis batu apung.

#### 1.4. Batasan Masalah

1. Silika yang digunakan adalah silika dari batu apung Lampung Selatan;
2. Pelarut yang digunakan NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HCl;
3. Menggunakan variasi suhu sonikasi 30°C, 60°C dan 80°C;
4. Menggunakan variasi waktu sonikasi 1 jam, 2 jam dan 3 jam;
5. Metode sonikasi menggunakan alat *ultrasonic* yang berada di BPTM-BRIN Lampung Selatan;
6. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence (X-RF)*, *X-Ray Diffraction (X-RD)*, dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS)* yang berada di BPTM-BRIN Lampung Selatan.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan sonikasi terhadap silika berbasis batu apung yang meliputi unsur penyusun, struktur fase dan struktur mikro.
2. Untuk memberikan pengetahuan pemanfaatan batu apung dapat dijadikan dasar pengembangan pembuatan silika.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Batu Apung

Batu apung adalah batuan vulkanik berpori yang sebagian besar komposisinya adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Ersoy *et al.*, 2010). Batu apung berwarna abu-abu terang, mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinding gelas dan disebut juga batuan vulkanik nanosilikat. Batuan ini terbentuk dari magma hasil letusan gunung api yang mengeluarkan materialnya ke udara, kemudian mengalami transportasi secara horizontal dan terakumulasi sebagai batuan piroklastik (Setiawan, 2012).



**Gambar 2.1** Batu apung dari Pantai Gubug Garam, Lampung Selatan.

Batu apung termasuk jenis batuan berongga serta berdinding tipis yang memisahkan antara rongga yang satu dengan rongga yang lain, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Rongga-rongga yang tersebar pada batu apung terjadi karena material gunung api membeku ketika didalamnya masih terdapat udara sehingga batu apung memiliki massa jenis kurang dari  $1 \text{ gram/cm}^3$ , sehingga mengakibatkan batu apung dapat mengapung di air. Menurut Muralitharan dan Ramasamy (2015),

batu apung memiliki kandungan kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Kandungan kimia batu apung (Muralitharan dan Ramasamy, 2015)

No.	Komposisi	Persentase oksida (%)
1.	Silika ( $\text{SiO}_2$ )	68,56
2.	Aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	21,93
3.	<i>Lost On Ignation</i>	4,40
4.	Magnesium ( $\text{MgO}$ )	2,31
5.	Sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	1,01
6.	Besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0,96
7.	Potasium ( $\text{K}_2\text{O}$ )	0,83

Pada penelitian yang dilakukan oleh Muralitharan dan Ramasamy (2015), dijelaskan bahwa tingginya persentase kandungan  $\text{SiO}_2$  meningkatkan kualitas abrasif pada batu apung, sedangkan kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  membuat batu apung sangat tahan terhadap panas. Batuan vulkanik ada dimana-mana, sehingga kegunaan alami sumberdaya alam ini banyak dikembangkan, mulai dari bahan baku senjata dan alat-alat untuk bahan bangunan. Batuan vulkanik banyak dicari karena sifat fisiknya dapat digunakan dalam proses manufaktur, seperti isolator, absorben, dan abrasif. Persebaran batu apung di Indonesia meliputi Pulau Sumatera bagian tengah, Provinsi Sumatera Selatan, Provinsi Lampung, Provinsi Jawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat, Provinsi Sulawesi Tengah dan Pulau Ternate Provinsi Maluku Utara (Sri yanti dkk, 2019). Di provinsi Lampung, data terkait sumber daya batu apung belum banyak dipublikasikan, namun berdasarkan peta potensi sumberdaya mineral bukan logam di provinsi Lampung yang diterbitkan oleh Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral, terdapat potensi sumber daya batu apung di Lampung Selatan (Isnugroho *et al.*, 2020).

Proses alami membuat batu apung relatif murah untuk konstruksi dan manufaktur misalnya batu apung dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit (Febri dan Ardian, 2013), selain itu batu apung juga dapat dimanfaatkan

sebagai *filler* pengganti semen pada penyusunan campuran aspal dimana persediannya yang berlimpah dan relatif murah dibandingkan semen yang persediannya terbatas dan relatif mahal (Sri yanti dkk, 2019).

## 2.2 Silika Dari Batu Apung

Batu apung merupakan salah satu bahan anorganik yang mengandung silika dengan kadar yang cukup tinggi (Ersoy *et al.*, 2010). Silika mineral dapat diperoleh dari ekstraksi batu apung dan abu terbang batu bara, sedangkan silika nabati dapat diperoleh dari ekstraksi sekam padi, ampas tebu dan tongkol jagung (Yusandika, 2016). Silika yang dihasilkan dari batu apung memiliki beberapa kelebihan, silika batu apung memiliki struktur *amorf* dan bersifat lebih reaktif (Mourhly *et al.*, 2015).

Ekstraksi silika dari batu apung dibutuhkan proses yang tepat agar kemurnian silika yang dihasilkan lebih baik, metode yang digunakan adalah metode sol-gel (Meliyana *et al.*, 2019). Metode sol-gel adalah metode sederhana hemat energi tidak memakan waktu lama dan juga dapat menjadi alternatif dalam pembuatan sintesis silika batu apung (Dewanto *et al.*, 2014). Sol-gel merupakan proses merubah larutan sodium silikat menjadi gel menggunakan asam kuat (Muslim *et al.*, 2017).

Kalsinasi berpengaruh terhadap struktur silika. Kalsinasi merupakan proses pemanasan pada suhu tinggi namun masih berada dibawah titik leleh. Kalsinasi silika pada suhu 1000°C dan 1200°C membentuk fasa *tridymite* dan fasa *cristobalite*, sedangkan pada suhu 800°C membentuk silika *amorf* yang memiliki lebar puncak lebih kecil dibandingkan silika *amorf* yang tidak dikalsinasi (Latif dkk, 2014). Penelitian yang dilakukan oleh (Hilmi dan Handoko, 2011) dijelaskan bahwa silika *amorf* merupakan jenis silika yang paling unggul digunakan dalam

pembuatan semen *portland* dibandingkan dengan silika kristalin karena silika *amorf* lebih mudah larut dibandingkan silika kristalin.

Silika dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar penguat keramik diantaranya borosilikat (Riyanto *et al.*, 2009), aluminosilikat (Riyanto *et al.*, 2017) dan karbosil (Simanjuntak *et al.*, 2012). Salah satu pemanfaatan silika adalah sebagai penyerap kadar air diudara sehingga memperpanjang masa simpan dan sebagai campuran pembuatan keramik (Muslim *et al.*, 2017).

## 2.3 Ekstraksi Silika dari Batu Apung

### 2.3.1 Bahan-bahan

Ekstraksi silika dilakukan menggunakan metode sol gel dengan bahan yang digunakan adalah NaOH sebagai pelarut sumber sol silika, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai sumber gel silika untuk mengubah pH agar sol silika menjadi gel silika dan HCl sebagai pemurnian silika.

### 2.3.2 Ekstraksi Silika dari Batu Apung

Proses ekstraksi silika dimulai dengan menambahkan larutan NaOH kedalam batu apung. Hal ini dilakukan karena silika larut dalam suasana basa dan mengendap ketika ditambahkan asam. Batu apung ditambahkan dengan larutan NaOH yang disertai dengan pengadukan dalam kondisi panas untuk mempermudah proses pelarutan silika. Reaksi antara silika dan larutan NaOH akan menghasilkan larutan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ditunjukkan pada persamaan 2.1.



Batu apung dalam larutan NaOH menghasilkan larutan natrium silikat yang dipisah dengan cara penyaringan. Filtrat yang diperoleh direaksikan dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang berfungsi untuk mengikat SiO<sub>2</sub> sehingga menghasilkan SiO<sub>2</sub> berbentuk gel

yang berwarna putih. Penambahan larutan asam berperan untuk mengikat silika juga menghilangkan pengotor-pengotor yang terkandung dalam batu apung. Reaksi yang terbentuk ditunjukkan pada persamaan 2.2.



Penambahan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada proses ini berperan sebagai pengendap untuk mengendapkan silika. Pengendapan ditandai dengan terbentuknya endapan gel pada larutan. Silika dapat membentuk gel pada pH netral. Selanjutnya endapan silika yang diperoleh dicuci menggunakan *aquadest* secara berulang sehingga didapatkan silika serbuk berwarna putih (Setiadji *et al.*, 2017). Ditunjukkan pada persamaan 2.3.



## 2.4 Sonikasi Silika dari Batu Apung

### 2.4.1 Bahan-bahan

Sonikasi silika dari batu apung dilakukan menggunakan alat *ultrasonic* dengan bahan yang digunakan adalah *aquadest* sebagai pelarut dan batu apung sebagai sumber yang akan disonikasi.

### 2.4.2 Sonikasi Silika dari Batu Apung

Metode sonikasi merupakan metode pembuatan material nano dengan prinsip kerjanya memanfaatkan gelombang ultrasonik. Metode ini memanfaatkan gelombang ultrasonik yang dilewatkan pada larutan yaitu melalui proses pembentukan gelembung - gelembung kavitasi dalam larutan (Priyono dan Suhadi, 2018). Metode sonikasi dimulai dengan menambahkan *aquadest* kedalam batu apung. Batu apung yang ditambahkan *aquadest* kemudian dimasukkan kedalam alat

ultrasonik. Didalam alat ultrasonik terdapat gelombang ultrasonik yang ditembakkan kedalam media cair sehingga menghasilkan gelembung kavitasi yang menyebabkan pecahnya partikel sehingga memiliki diameter berukuran nano (Suslick dan Price, 1999). Prosesnya menggunakan gelombang ultrasonik pada frekuensi 20KHz-10 MHz.

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang longitudinal yang tidak dapat didengar oleh telinga manusia karena memiliki frekuensi tinggi, dapat merambat dalam media padat, cair dan gas (Zhou dan Luo, 2009). Selain gelombang terdapat pula suhu yang menyebabkan panas sehingga mengakibatkan adanya getaran yang dapat memecah partikel silika dari batu apung.

Pemberian gelombang ultrasonik mengakibatkan timbulnya gelembung-gelembung yang berisi gas yang dikenal dengan efek kavitasi. Gelembung-gelembung ini bisa memiliki diameter yang membesar sehingga ukurannya maksimum kemudian berkontak dengan gelembung lainnya dan mengecil sehingga dapat menimbulkan getaran yang dapat memecah partikel silika dari batu apung.



**Gambar 2.2** *Ultrasonic cleaner* di BPTM-LIPI Lampung Selatan.

Sonikasi dapat mempengaruhi ukuran partikel dimana semakin lama sonikasi akan diperoleh ukuran partikel lebih kecil hingga ukuran nano. Pada penelitian yang dilakukan oleh Delmifiana dan Astuti (2013) tentang pengaruh sonikasi terhadap struktur dan morfologi nanopartikel magnetik yang disintesis dari batuan besi dan polietilen glikol (PEG-4000) disimpulkan bahwa penggunaan metode sonikasi diperoleh ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan tanpa metode sonikasi, ukuran paling kecil yaitu pada sonikasi selama 3 jam sebesar 41,6nm. Selain itu, suhu sonikasi juga sangat berpengaruh terhadap ukuran partikel yang dihasilkan dimana pada penelitian yang dilakukan oleh Firnando dan Astuti (2015) tentang pengaruh suhu sonikasi terhadap ukuran partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , suhu yang tinggi yaitu pada suhu  $65^\circ\text{C}$  diperoleh ukuran partikel paling kecil sebesar 93 nm. Penelitian yang dilakukan oleh Yudyanto dkk (2015) tentang pengaruh waktu sonikasi terhadap HA-SiO<sub>2</sub> disimpulkan bahwa rata-rata ukuran partikel HA-SiO<sub>2</sub> dengan waktu sonikasi 1-4 jam berturut-turut yaitu 114,39 nm, 56,74 nm, 67,93 nm dan 51,97 nm, dapat terlihat bahwa dengan semakin lama waktu sonikasi akan semakin seragam dan kecilnya ukuran partikel.

## **2.5 Karakterisasi**

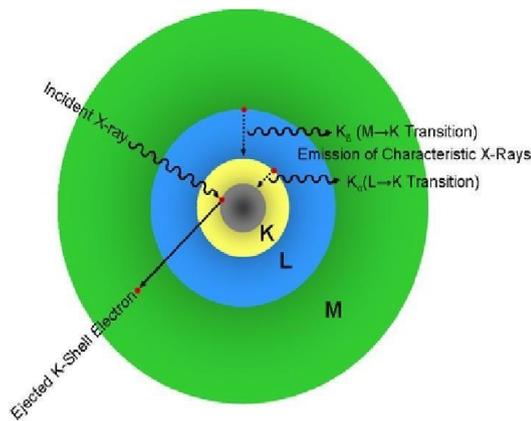
Karakterisasi meliputi:

### *2.5.1. X-Ray Fluorescence (X-RF)*

Karakterisasi menggunakan X-RF digunakan untuk mengetahui unsur penyusun dari bahan dan semua sampel. Teknik ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah sinar-X yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembaki sinar-X berenergi tinggi.

Bahan uji berupa padat, cair, bubuk, hasil penyaringan atau bentuk lainnya. X-RF terkadang juga bisa digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi lapisan dan pelapis (Brouwer, 2010).

Dalam X-RF, sumber *X-Ray* meradiasi sampel sehingga unsur-unsur yang muncul dalam sampel akan memancarkan radiasi *X-Ray* neon dan energi diskrit, seperti warna untuk cahaya optik (Brouwer, 2006) Prinsip kerja X-RF ditampilkan pada Gambar 2.3.



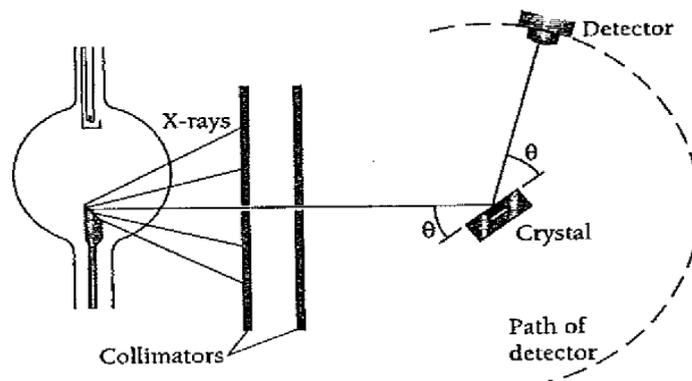
**Gambar 2.3.** Prinsip kerja X-RF (Atmodjo *et al.*, 2013).

Gambar 2.3 reaksi *X-Ray* terjadi selama elektron bergerak dari tingkat energi yang lebih tinggi untuk mengisi kekosongan yang diakibatkan oleh pelepasan elektron, sehingga terjadi perbedaan energi antara dua kulit yang mengakibatkan terjadinya *X-Ray*. Spektrum *X-Ray* yang diperoleh selama proses tersebut terdapat sejumlah puncak energi karakteristik, energi dari puncak tersebut mengarah ke identifikasi unsur yang terdapat dalam sampel (semi-kuantitatif atau kuantitatif analisis) (Atmodjo *et al.*, 2013).

### 2.5.2. *X-Ray Diffraction (X-RD)*

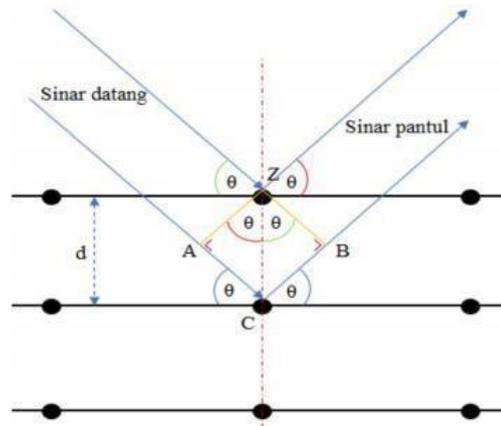
*X-Ray Diffraction (X-RD)* adalah sebuah alat yang digunakan untuk memeriksa struktur fase dari suatu bahan, dengan metode analisis data untuk mengetahui jenis

dan sifat mineral tertentu agar terlihat pola difraksi yang dihasilkan (Oktamuliani *et al.*, 2015). Penyebab utama yang menghasilkan bentuk pola-pola difraksi yaitu ukuran dari setiap selnya, nomor atom dan posisi atom-atom di dalam sel. Analisis difraksi sinar-X dalam padatan kristalin memegang peranan penting untuk mengetahui parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu, dimanfaatkan juga untuk mempelajari cacat pada kristal dengan mendeteksi perbedaan intensitas difraksi di daerah kristal (Smallman dan Bishop, 2000). Skema difraksi sinar-X ditampilkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4.** Difraksi sinar-X

Gambar 2.4 menunjukkan skema sinar-X yang menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar-X ke segala arah dengan berdasarkan Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling meniadakan atau melemahkan. Berkas sinar sefase tersebut yang menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut difraksi tergantung pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan ( $d$ ). Hukum Bragg dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5.** Hukum Bragg

Gambar 2.5 menunjukkan seberkas sinar mengenai atom A pada bidang pertama dan B pada bidang berikutnya. Jarak antara bidang A dengan bidang B adalah  $d$ , sedangkan  $\theta$  adalah sudut difraksi. Berkas-berkas tersebut mempunyai panjang gelombang  $\lambda$ , dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak  $d$  dan sudut  $\theta$ . Agar mengalami interferensi konstruktif, kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak  $n\lambda$ . Sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas adalah  $2d \sin \theta$ . Interferensi konstruktif terjadi jika beda jalan sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang  $\lambda$ , sehingga dapat dituliskan Persamaan (2.1).

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

Pernyataan ini adalah Hukum Bragg. Pemantulan Bragg dapat terjadi jika  $\lambda \leq 2d$ , karena itu tidak dapat menggunakan cahaya kasat mata, dengan  $n$  adalah bilangan bulat = 1, 2, 3, dan seterusnya sampai  $n$  (Beiser, 2003).

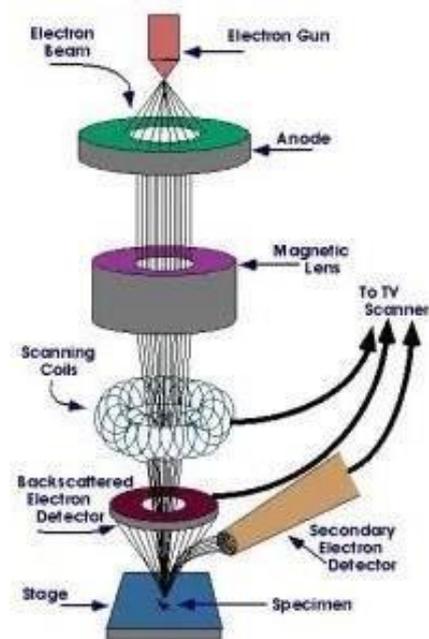
### 2.5.3. Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry

(SEM-EDS)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu jenis metode karakterisasi material yang dapat mengetahui struktur mikro dari suatu material dengan perbesaran mencapai 150.000x. SEM biasanya dilengkapi dengan EDS

untuk menangkap *X-Ray* yang dipantulkan oleh electron. SEM yang umumnya dilengkapi dengan EDS dapat digunakan untuk:

1. Pemeriksaan struktur mikro spesimen metalografi dengan perbesaran hingga 150.000x.
2. Pemeriksaan permukaan patahan dan permukaan yang memiliki kedalaman tertentu yang tidak mungkin diperiksa dengan mikroskop optik.
4. Analisis unsur pada spesimen dalam range mikron pada permukaan bulk spesimen.
5. Distribusi komposisi kimia pada permukaan bulk spesimen sampai jarak mendekati 1 mikron.



**Gambar 2.6** SEM-EDS

Cara kerja SEM dilengkapi dengan filament tungsten berfungsi untuk menembakkan electron dihasilkan dari adanya beda potensial. Elektron kemudian menumbuk benda kerja dan ketika menumbuk terjadi interaksi antara primary elektron dengan spesimen sehingga menghasilkan *X-Ray* dan elektron. Hasil

interaksi yang keluar dari dalam material ditangkap oleh tiga detector :

1. Detektor SE: menangkap *secondary electrons* dan menghasilkan image.
2. Detektor BSE: menangkap *backscattered electrons* dan menghasilkan image sesuai perbedaan kontras berdasarkan perbedaan berat massa atom.
3. Detektor *X-Ray*: mengidentifikasi unsur kimia yang terdapat dalam material.

EDS merupakan suatu sistem peralatan dan software tambahan yang dipasangkan pada suatu mikroskop elektron. EDS dapat digunakan untuk menganalisis semi kuantitatif unsur-unsur dari material. Secara umum EDS dapat digunakan untuk :

1. Menganalisis kontaminan: Analisis inklusi, antarmuka, analisis partikel, pemetaan unsur (*elemental mapping*), analisis deposit korosi, analisis ketidakmurnian (sampai ketelitian diatas 2% berat).
2. Kontrol kualitas: Analisis pelapisan, verifikasi material, inklus (Prasetyo *et al.*, 2012).

*Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) juga dapat digunakan untuk mempelajari sifat-sifat permukaan suatu objek, yang di dalamnya dapat menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam. Proses ini menghasilkan energi *X-Ray* tertentu dan menghasilkan perbedaan antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi *X-Ray* dihasilkan dari proses yang disebut XRF (Viklund, 2008).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Februari 2022 sampai Mei 202 di Laboratorium Non-Logam, Laboratorium *Heat Treatment* dan Laboratorium Analisis Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral – BRIN, Lampung Selatan.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.4 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi alat yang digunakan pada saat preparasi bahan hingga alat yang digunakan pada saat karakterisasi.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Peralatan penelitian

No.	Nama Peralatan	Fungsi Alat
1	<i>Mortar</i>	Menghaluskan sampel serbuk
2	Ayakan 200 <i>mesh</i> ASTM:E11 Nakatama Scientific Type:A6-342A	Memperoleh ukuran mesh
3	Timbangan digital merk <i>Gold series Ohaus</i>	Mengukur berat
4	Oven merk <i>In One</i>	Mengeringkan sampel
5	<i>Beaker glass</i> 500 mL	Mengukur larutan dan <i>aquadest</i>
6	Spatula	Mengambil serbuk dalam wadah

7	Refluks kondensor	Proses ekstraksi
8	Kertas <i>whatman</i> No. 41	Menyaring sampel
9	Kertas pH meter	Mengukur pH
10	<i>Magnetic stirrer</i> serta batang magnet	Proses ekstraksi
11	Pipet tetes	Mentetesi larutan asam
12	Corong	Meletakkan kertas saring saat menyaring
13	<i>Ultrasonic</i>	Proses sonikasi
14	XRF tipe PANalytical Epsilon3 <sup>XLE</sup>	Mengetahui komposisi kimia
15	XRD tipe PANalytical X'Pert <sup>3</sup> Powder	Mengetahui fase
16	SEM-EDS <i>Phenom Pro X</i>	Mengetahui ukuran partikel dan komposisi kimia

---

### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi bahan utama yaitu batu apung yang berasal dari Lampung Selatan, NaOH (3M) Merck, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5M) Merck, HCl (1M) Merck dan *aquadest*.

### 3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Mourhly *et al* (2015) yang terdiri atas beberapa tahapan diantaranya preparasi serbuk batu apung, ekstraksi silika dari batu apung, sonikasi silika dari batu apung dengan variasi suhu dan waktu, kalsinasi, dan karakterisasi menggunakan X-RF, X-RD, dan SEM-EDS. Tahapan-tahapan proses tersebut dapat diterangkan sebagai berikut:

### 3.3.1 Preparasi Serbuk Batu Apung

Tahap awal batu apung dicuci dengan *aquadest* dan dikeringkan pada suhu 80-110°C selama 24 jam. Setelah kering, batu apung dihancurkan dengan mortar dan *meshing* dengan ASTM:E11 lolos ayakan 200 mesh untuk mendapatkan bahan yang halus. Terakhir mencuci kembali menggunakan *aquadest* dan dikalsinasi pada suhu 800°C selama 4 jam.

### 3.3.2 Ekstraksi Silika dari Batu Apung

Untuk memperoleh silika dari batu apung dilakukan ekstraksi hasil pencampuran batu apung yang telah di preparasi, NaOH (3M), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5M), dan HCl (1M). Pertama mencampur 2,5 gr serbuk batu apung dengan 150 mL NaOH (3M). Kemudian di refluks selama 24 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 100°C untuk mengekstraksi silika dari batu apung. Tahap selanjutnya menyaring hasil ekstraksi menggunakan kertas *whattman* No. 41 dan diambil filtratnya. Filtrat kemudian ditetesi tetes demi tetes menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5M) sebanyak 50 mL sambil diaduk hingga mencapai Ph 7. Pada pH 7 akan didapatkan gel putih jernih yang kemudian didiamkan selama 24 jam. Menyaring gel dengan kertas *whattman* No. 41 dan diambil gel nya. Kemudian mencuci gel dengan air *aquadest* untuk menghilangkan garam sulfat. Gel tersebut dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 80-100°C. Setelah kering, gel tersebut di gerus dengan mortar, sehingga didapatkan silika dari batu apung.

Untuk mengurangi pengotor dan pemurnian silika dari bat apung, tahap selanjutnya mencampurkan silika dari batu apung dengan larutan HCl (1M) sebanyak 150 mL

dan direfluks selama 4 jam sambil diaduk pada suhu 110°C. Hasil refluks kemudian disaring dengan kertas *whatman* No.41 sambil dicuci dengan *aquadest* dan diambil residunya. Selanjutnya residu tersebut dikeringkan selama 24 jam pada suhu 110°C dan silika dari batu apung digerus kembali dengan mortar.

### 3.3.3 Sonikasi Silika dari Batu Apung

Sonikasi bertujuan untuk mendapatkan ukuran silika dari batu apung yang lebih kecil dan homogen dengan variasi suhu dan waktu sonikasi. Variasi suhu dan waktu sonikasi didasarkan oleh *Design of Experiment (DOE)* menggunakan bantuan perangkat lunak *Minitab 19* seperti pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Variasi waktu dan suhu sonikasi berdasarkan *Design of Experiment (DOE)*

No Sampel	Suhu (°)	Waktu (Jam)
1	80°	3 jam
2	80°	2 jam
3	60°	1 jam
4	30°	1 jam
5	80°	1 jam
6	60°	2 jam
7	30°	3 jam
8	30°	2 jam
9	60°	3 jam

Proses ini diawali dengan menyiapkan 100 mL *aquadest* dan 1gram serbuk silika. Setelah bahan disiapkan mencampurkan 1gram serbuk silika ke dalam *aquadest* yang telah disiapkan. Tahap selanjutnya campuran serbuk silika dan *aquadest* dimasukkan ke dalam tabung *ultrasonic* untuk disonikasi dengan variasi suhu sonikasi 30°C, 60°C dan 80°C serta variasi waktu sonikasi 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Tahap selanjutnya menyaring hasil sonikasi dengan kertas *whatman* No. 41 dan diambil residunya. Residu silika tersebut dikeringkan selama 24 jam pada suhu 80°C-110°C dan silika keringnya digerus kembali dengan mortar untuk selanjutnya

dikalsinasi pada suhu 800°C selama 4 jam dan dihasilkan serbuk silika berwarna putih bersih.

### 3.3.4 Karakterisasi

Bahan dan sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence (X-RF) Type PANalytical Epsilon3<sup>XLE</sup>*, *X-Ray Diffraction (X-RD) Type PANalytical X'Pert<sup>3</sup> Powder*, dan *Scanning Electron Microscope (SEM-EDS) Phenom Pro X*.

#### 3.3.4.1 *X-Ray Fluorescence (X-RF)*

*X-Ray Fluorescence (X-RF)* dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pada silika dari batu apung. Gambar 3.1 merupakan alat X-RF yang berada di Laboratorium Analisa BRIN – Lampung.



**Gambar 3.1** Alat X-RF

Tabel 3.3 merupakan spesifikasi X-RF *Type PANalytical Epsilon3<sup>XLE</sup>*

**Tabel 3.3** Spesifikasi X-RF tipe PANalytical Epsilon3<sup>XLE</sup>

Spesifikasi	Keterangan
Merk	<i>XRF Epsilon 4 XRF Spectrometer</i> dari <i>Malvern Panalytical</i>
Tegangan operasional	40 kV
Arus operasional	3 mA
Bentuk sampel	Serbuk 200 mesh

#### 3.3.4.2 X-Ray Diffraction (X-RD)

X-Ray Diffraction (X-RD) dilakukan untuk mengetahui struktur fase yang terbentuk pada silika dari batu apung. Gambar 3.2 merupakan alat X-RD yang berada di Laboratorium Analisa BRIN – Lampung.



**Gambar 3.2** Alat X-RD

Tabel 3.4 merupakan spesifikasi X-RD tipe PANalytical X'Pert<sup>3</sup> Powder

**Tabel 3.4** spesifikasi X-RD tipe PANalytical X'Pert<sup>3</sup> Powder

Spesifikasi	Keterangan
Merk	PANalytical X'Pert <sup>3</sup> Powder
Tegangan operasional	40 kV
Arus operasional	30 mA
Bentuk sampel	Serbuk 200 mesh

#### 3.3.4.3 *Spectroscopy Microscope Electron (SEM-EDS)*

*Spectroscopy Microscope Electron (SEM-EDS)* dilakukan untuk mengetahui strukturmikro dan ukuran silika dari batu apung. Gambar 3.3 merupakan alat SEM-EDS yang berada di Laboratorium Analisa BRIN – Lampung.



**Gambar 3.3** Alat SEM-EDS

Tabel 3.5 merupakan spesifikasi alat SEM-EDS Phenom Pro X yang digunakan untuk melihat ukuran partikel silika batu apung.

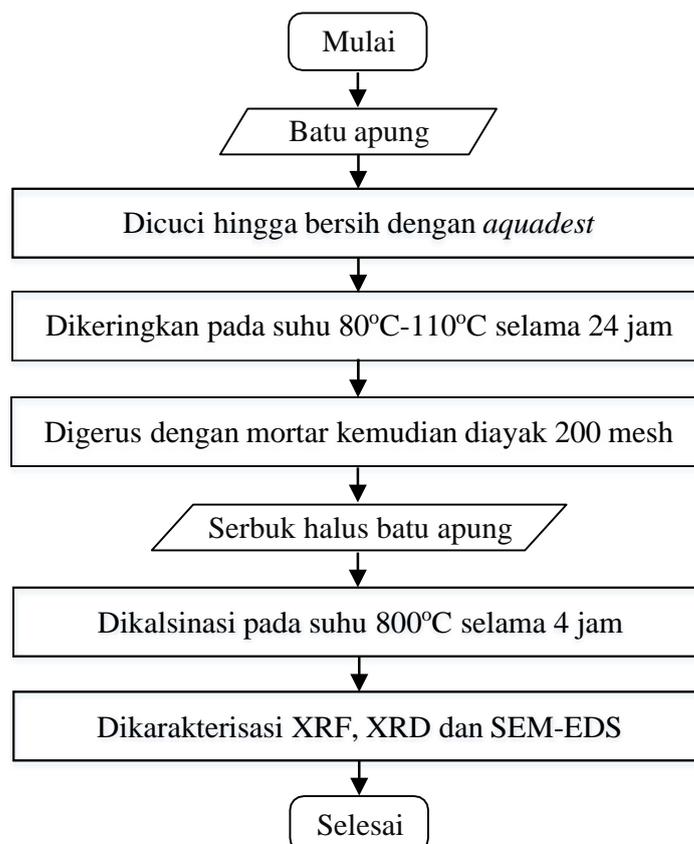
**Tabel 3.5** Spesifikasi SEM-EDS Phenom Pro X

Spesifikasi	Keterangan
Merk	SEM Phenom Pro X
Magnification	Pembesaran hingga 150.000 kali
Kelengkapan	Desktop SEM yang dilengkapi dengan EDS

### 3.4 Diagram Alir

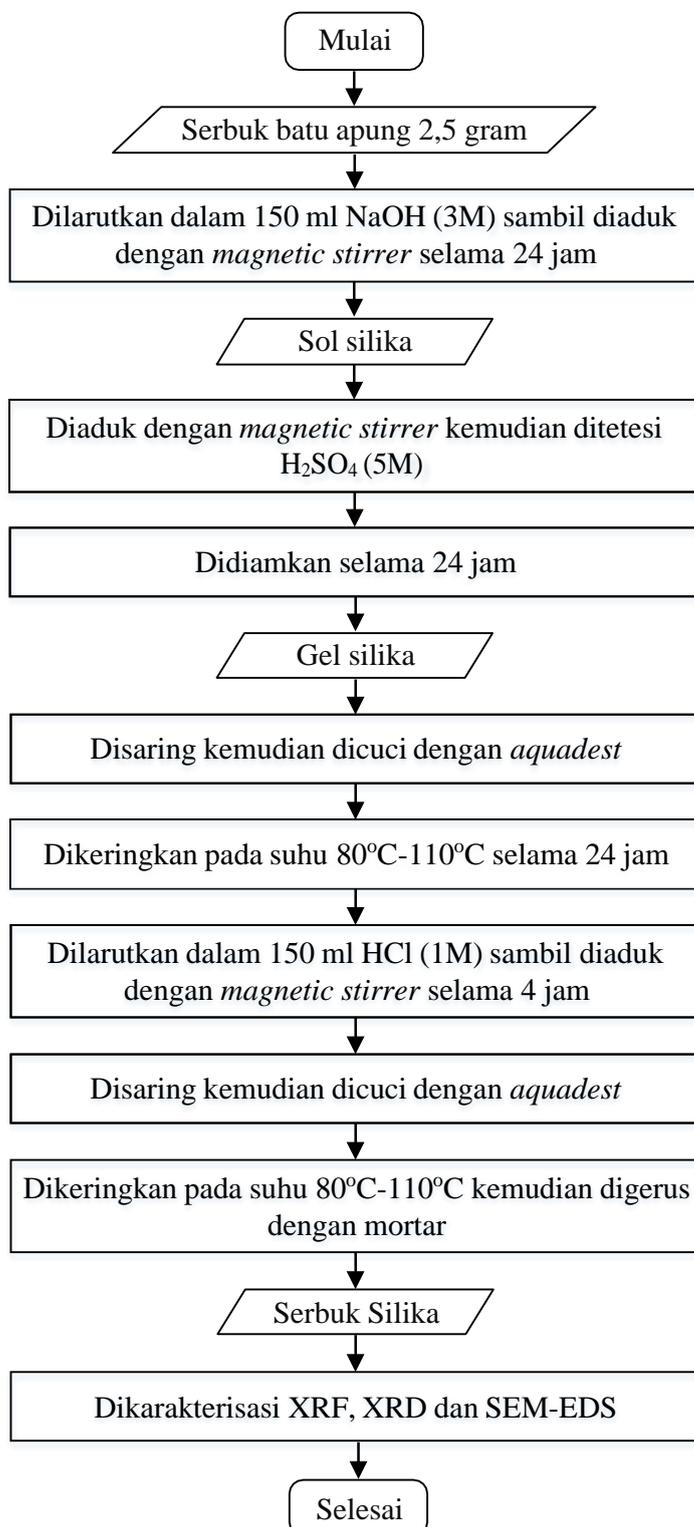
Diagram alir preparasi serbuk batu apung, ekstraksi silika batu apung, dan sonikasi silika batu apung ditunjukkan pada Gambar 3.4-3.6.

#### 3.4.1 Diagram Alir Preparasi Serbuk Batu Apung



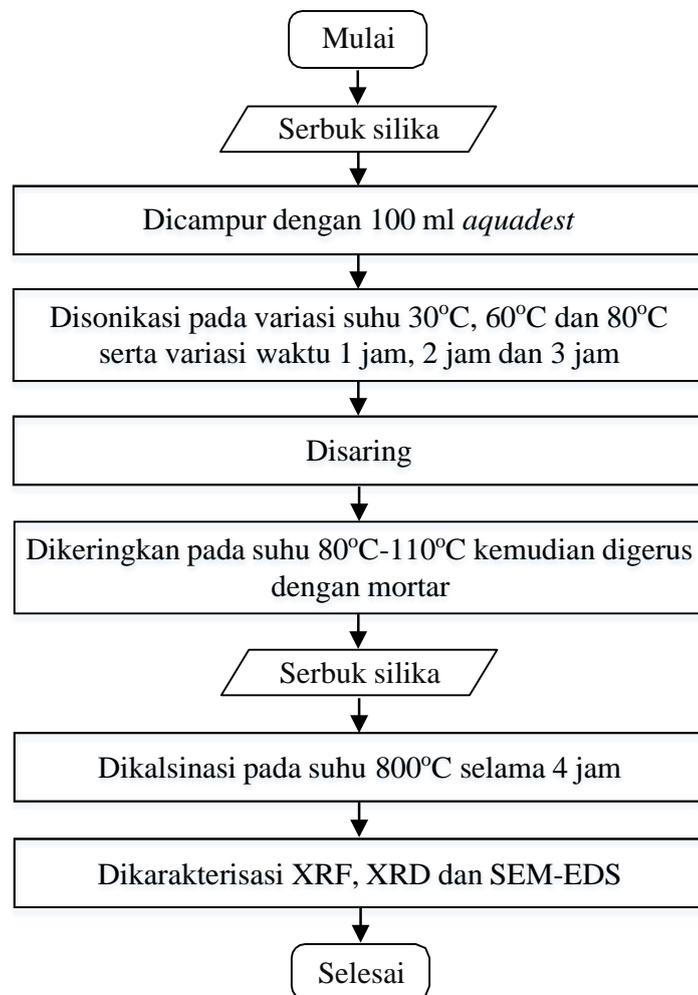
**Gambar 3.4.** Diagram alir preparasi serbuk batu apung

### 3.4.2 Diagram Alir Ekstraksi Silika Batu Apung



**Gambar 3.5.** Diagram alir ekstraksi silika batu apung

### 3.4.3 Diagram Alir Sonikasi Silika Batu Apung



**Gambar 3.6.** Diagram alir sonikasi silika batu apung

## V. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada silika berbasis batu apung, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. a. Suhu dan waktu sonikasi mempengaruhi unsur penyusun, diperoleh kemurnian silika sebesar 98,97 Wt% pada suhu 60°C selama 3 jam dan suhu yang lebih tinggi yaitu 80°C selama 1 jam diperoleh kemurnian silika sebesar 94,24 Wt%.
- b. Suhu dan waktu sonikasi tidak mempengaruhi fase yang terbentuk, yakni batu apung memiliki fase amorf dan silika dari batu apung yang telah disonikasi merupakan silika fase amorf.
2. a. Suhu dan waktu sonikasi mempengaruhi strukturmikro, diperoleh strukturmikro berbentuk bulat (*spherical*) tidak sempurna, terdapat partikel yang menggumpal besar dengan banyak fragmen-fragmen kecil, namun batas antar butir masih cukup jelas pada suhu 30°C selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam serta suhu 60°C selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Suhu yang lebih tinggi yaitu 80°C selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam memiliki batas antar butir tidak terlalu jelas dan terjadi penggumpalan (*agglomerasi*).

b. Suhu dan waktu sonikasi mempengaruhi ukuran silika dari batu apung, diperoleh ukuran partikel terkecil sebesar 5,303 nm pada suhu 60°C selama 3 jam dan suhu yang lebih tinggi yaitu 80°C selama 1 jam diperoleh ukuran partikel sebesar 44,920 nm.

## **5.2 Saran**

Untuk memperoleh ukuran partikel nanosilika yang optimum disarankan menggunakan variasi suhu sonikasi yang lebih rendah dan variasi waktu sonikasi dengan rentang waktu yang lebih dekat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adjiantoro, B., dan Mabruhi, E. 2010. Proses Pemurnian Silikon Tingkat Metalurgi dengan Menggunakan Metoda Pelarutan Kimia. *Maj. Metal.*, Vol. 25. No. 2. Hal. 71–78.
- Anthe, S., Pasau, G., dan Tanauma. A. 2015. Variasi Zona Lemah Struktur Internal Gunung Loko Berdasarkan Studi Seismo-Vulkanik. *Jurnal Ilmiah Sains*. Vol. 15. No. 1. Hal. 27-32.
- Arif Yasthopi Rahadian Zainul AA, Hermansyah Aziz, Syukri Arief, Syukri. 2015. Photoelectrospitting Water for Hydrogen Production Using Illumination with Indoor Lights. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 7:57-67.
- Atmodjo, D. P. D., Suryana, D., dan Wibowo, H. 2013. Pengujian untuk kerja sampel holder XRF epsilon 5. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. Bandung.
- Brouwer, P. 2006. *Theory of XRF 2nd ed.* Panalytical BV. Almelo. Amsterdam.
- Brouwer, P. 2010. *Theory of XRF: Getting Acquainted with The Principles.* Panalytical BV. Almelo. Amsterdam.
- Delmifiana, D., Astuti. 2013. Pengaruh Sonikasi Terhadap Struktur dan Morfologi Nanopartikel Magnetik yang Disintesis dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisik Unand*. Vol 2. No. 3. Hal. 186-189.
- Dewanto, Bharata., Purwasasmita, Bambang Sunendar., Nurridin Ahmad., Daulay, Abdul Halim., and Rahardi, Susanto Sigit. 2014. Pengaruh Kitosan Terhadap Kristalinitas Dan Morfologi Partikel Lithium Titanat The Effect Of Chitosan On Crystallinity And Morfology Of Lithium Titanate Particle. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*. Vol. 4. No. 2. Hal. 43-46.

- Ersoy, B. Sarisik, A. Dikmen, S and Sarisik, G. 2010. Characterization Of Acidic Pumice and Determination Of Its Electrokinetic Properties In Water. *Powder Technology*. Vol. 2. No. 3. Hal. 186-189.
- Firnando, H, G. Astuti. 2015. Pengaruh Suhu Pada Proses Sonikasi Terhadap Morfologi Partikel Dan Kristalinitas Nanopartikel. *Jurnal Fisika Unand*. Vol.4. No. 1. Hal. 1-5.
- Ginting. E. S., Manurung. P., dan Riyanto. A. 2018. Pengaruh Konsentrasi NaOH Pada Ekstraksi Nanosilika Berbasis Batu Apung. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 6. No. 2. Hal. 209-218.
- Hilmi, I. Dan Handoko, T. 2011. Pengolahan Rafinat Hasil Ekstraksi *Spen Catalyst* sebagai Bahan Baku Pembuatan Semen. *Pengembangan Tenologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. Hal. 1-5.
- Isnugroho, K. Hendronursito, Y. Birawidha, D, C. Amin, M. Muttaqi, M, A. 2020. The Potential of Lampung Province as The Area for Producing Mineral Fertilizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Kalpathy, U., Proctor, A., and Shultz, J. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vol. 73. No. 3. P. 257-262
- Kumulawati. A., Tri M., dan Mastaram. Y. 2013. Analisis Penggunaan Abu Batu Apung Sebagai Pengganti Filler Untuk Campuran Aspal. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 2. No. 2. Hal. 191-200.
- Latif, C., Triwikantoro, dan Munasir. 2014. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi pada Struktur Nanosilika. *Jurnal Sains dan Seni pomits*. Vol. 3. No. 1. Hal. 4-7.
- Meliyana, Rahmawati, C. and Handayani, L. 2019. Sintesis Nano Silika Dari Abu Sekam Padi Dengan Metode Sol-Gel. *Prosiding*. 3. Hal.800-807.
- Miskah. 2010. Pemanfaatan batu apung (pumice) sebagai bahan pemucat *crude palm oil*. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 17. No.2. Hal. 75-81.
- Mourhly, A., Khachani, M., Hamidi, A. E., Kacimi, M., Halim, M., and Arsalane, S. 2015. The Synthesis and Characterization of Low-Cost Mesoporous Silica SiO<sub>2</sub> from Local Pumice Rock. *Nanomaterials and Nanotechnology*. Vol. 5. No. 35. p. 1-7.
- Muslim, I., Safrihatini, W. and Aini, W. 2017. Pengaruh Katalis Pada Proses Pembentukan Partikel Nano Silika Sebagai Material Hidrofobik. *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*. Vol. 2. No. 3. Hal. 152-157.

- Mukherjee, S., Mishra, P. C., Chakrabarty, S., Chaudhuri, P. 2021. Effects Of Sonication Period On Colloidal Stability and Thermal Conductivity Of SiO<sub>2</sub>-Water Nanofluid: An Experimental Investigation. *Journal Of Cluster Science*. <https://doi.org/10.1007/s10876-021-02100-w>.
- Oktamuliani, S., Samsidar, M. Z., dan Nehru. 2015. Identifikasi mineral pada batuan granit di geopark merangin provinsi jambi menggunakan x-ray diffraction (XRD) dan scanning elektron microscopy. *Journal of Physics* Vol. 1. No. 1. Hal 56-64.
- Pratomo. I. 2006. Klasifikasi Gunung Api Aktif Indonesia, Studi Kasus Dari Beberapa Letusan Gunung Api Dalam Sejarah. *Jurnal Geologi Indonesia*. Vol. 1. No.4. Hal. 209-227.
- Prasetyo, A., Nafsiati, R., Kholifah, S. N., Botianovi, A. 2012. Analisis permukaan zeolit alam malang yang mengalami modifikasi pori dengan uji SEM-EDS. *Jurnal Saintis*. Vo. 1. No. 2. Hal. 39-46. ISSN: 2089-0699.
- Putra. P. S., dan Yulianto, E. 2017. Karakteristik Endapan Tsunami Krakatau 1883 Di Daerah Tarahan, Lampung. *Jurnal Riset Geologi Pertambangan*. Vol. 27. No. 1. Hal. 83-95.
- Riyanto, Agus., Ginting, One Meus., and Sembiring, Simon. 2009. Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Pembentukan Gugus Borosiloksan (B-O-Si) Berbasis Bahan Keramik Borosilikat. *Prosiding Sn SMAPO9*. Vol. 1. No. 1. Hal. 219-224.
- Riyanto, A., Sembiring, S., dan Junaidi. 2017. Karakteristik Fisis Aluminosilikat Geopolimer Berbasis Silika Sekam Padi Untuk Aplikasi Fast Ionic Conductor. *Reaktor*. Vol. 17, No. 2. Hal. 96-103.
- Reed, S. J. B. 1993. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Gelology*. Florida: Cambridge University Press. Pp. 23-24.
- Sari, L, V., Manurung, P., Yulianti, Y. 2019. Pengaruh Variasi Konsentrasi HCl Pada Pembentukan Nanosilika Berbasis Batu Apung. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 7. No. 2. Hal. 161-168.
- Setiawan, D. B. 2012. Pemanfaatan Beton Ringan dari Agregat Pumice dengan Penambahan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Beton Biasa untuk Struktur Bangunan. *Jurnal Wahana Teknik Sipil*. Vol.17 No.2. p. 6976.
- Setiadji, Soni., Wahyuni, Ani Sri., Suhendar, Dede., Sundari, Citra Deiana Dewi, and Ivansyah, Athhar Luqman. 2017. Pemanfaatan Rumput Gajah Sebagai Sumber Silika Untuk Sintesis Zeolit T. *Al-Kimiya*. Vol.4. No.2. Hal.51-60.
- Sepehr, M. N., Zarrabi, M., Kazemian, H., Amrane, A., Yaghmain, K., Ghaffari,

- H. R. 2013. Removal of Hardness Agents, Calcium and Magnesium by Natural and Alkaline Modified Pumice Stones in Single and Binary Systems. *Journal of Applied Surface Science*. Vol 274. P. 295-305.
- Shen, Y. 2017. Rice Husk Silica Derived Nanomaterials for Sustainable Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 80. Pp. 453- 466.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., and Sebayang, K. 2012. Effect of pyrolysis temperatures on composition and electrical conductivity of carbosil prepared from rice husk. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol. 12. No. 2 Pp. 119-125.
- Singh, L. P., Agarwal, S. K., Bhattacharyya, U., Sharma., and Ahalawat. 2011. Preparation Of Silica Nanoparticles and Its Beneficial Role in Cementitious Materials. *Nanometer. Nanotechnol.* Vol. 1. No.1 p. 44-51.
- Simkin. T., dan Fiske. R. 1983. Krakatau 1883 A Centennial Retrospective On The Eruption And Its Atmospheric Effects. *Weatherwise*. Vol. 36. No. 5. p. 244-254.
- Srivastava, K., Shringi, N., Devra, V., and Rani, A. 2013. Pure Silica Extraction from Perlite:Its Characterization and Affecting Factors. *International Journal of Innovative Research on Science, Engineering and Technology. IJRSET*. Vol.2. No. 7. Hal. 2936-2941.
- Sri Yanti. Rosiana. Alpius. Sandy, D. 2019. Pengujian Batu Apung Sebagai *Filler* Pada Campuran HRS-WC. *Paulus Civil Engineering Journal*. Vol. 1. No. 2. Hal. 50-57.
- Sumarno., Novarida. P. T., January. M., Yuyun. Y. 2015. Pemurnian Pasir Silika Dengan Metode Leaching Asam Dan Bantuan Sonikasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Hal. 1-8.
- Suslick KS, Price GJ. 1999. Applications of Ultrasond To MaterialsChemistry. *Annu. Rev. Mater. Sci* 29:295–326.
- Smallman, R.E., dan Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Sharma, H. S. S., McCall, D., and Kernaghan, K. 1999. Scanning Electron Microscopy, X-ray Microanalysis, and Thermogravimetric Assessment of Linen Fabrics Treated with Crease-Resisting Compound. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol.72.Hal.1209- 1219.
- Tiara, Thongkrajati. E. 2019. Gambaran Tingkat Pengetahuan Perawat Terhadap Penanggulangan Bencana Di Provinsi Lampung. *Jurnal Kesehatan*. Vol. 8. No. 2. Hal. 75-79.

- Trabelsi, W., Benzina, M., and Bouaziz, S. 2009. Physico-Chemical Characterisation Of The Douiret Sand (Southem Tunisia): Valorisation For The Production Of Silica Gel. *Physics Procedia* 2. Vol 1. No.1. p. 1461-1467.
- Viklund, A. 2008. Teknik Pemeriksaan Material Menggunakan XRF,XRD, dan SEM-EDS. *Jurnal Sains*. ITB. Bandung.
- Wardhani, G. A. P. K. 2017. Karakterisasi Nanosilika pada Tongkol Jagung dengan Spektroskopi Infra Merah dan Difraksi Sinar-X. *Jurnal Kimia Riset*. Vol 2. No. 1. Hal. 37-42.
- Yusandika, A. D. 2016. Sintesis Keramik Coerdierite Berbasis Nanosilika Sekam Padi sebagai Material Isolator Listrik. *Jurnal Pendidikan Fisika Al-Biruni*. Vol. 5. No. 2. Hal 161-172.
- Yudyanto. Hartatiek. Saputri, D, R. 2015. Pengaruh Lama Sonikasi Terhadap Kekerasan Nano-hidroksiapatit-SiO<sub>2</sub> Berbasis Batu Onyx dengan Metode Sonokimia. *Seminar Nasional Fisika dan Pembelajarannya 2015*. Hal. 29-34.
- Zhou, Luo Y. 2009. Ultrasound enhanced sanitizer efficacy in reduction of Escherichia coli 0157:H7 population on spinach leaves. *Journal of Food Science*74:308-13.