

**PENGARUH RASIO Si/Al TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS,  
KOMPOSISI, STRUKTUR FASA DAN STRUKTUR MIKRO PADA  
ZEOLIT DARI BATU APUNG LAMPUNG DAN LIMBAH KALENG  
ALUMINIUM**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Noni Susanti**



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

## ABSTRAK

### **PENGARUH RASIO Si/Al TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS, KOMPOSISI, STRUKTUR FASA DAN STRUKTUR MIKRO PADA ZEOLIT DARI BATU APUNG LAMPUNG DAN LIMBAH KALENG ALUMINIUM**

Oleh

**NONI SUSANTI**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai konduktivitas zeolit, komposisi yang terkandung di dalam zeolit, mengetahui struktur fasa dan struktur mikro pada zeolit nilai konduktivitas optimum, mengetahui kemampuan zeolit dalam mengolah air sadah dan mengetahui apakah zeolit mampu menurunkan kandungan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) pada air sadah. Zeolit dibuat menggunakan silika dari batu apung, limbah kaleng aluminium, NaOH, dan aquades. Zeolit yang dihasilkan diukur konduktivitasnya menggunakan LCR-meter, kemudian dikarakterisasi XRF. Zeolit dengan nilai konduktivitas optimum dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM. Lalu zeolit digunakan untuk mengolah air sadah. Air sadah yang dihasilkan diuji menggunakan UV-Vis dan ICP. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai konduktivitas tertinggi sebesar  $50,76 \times 10^{-6}$  pada zeolit rasio Si/Al 0,83. Zeolit yang dihasilkan mengandung mineral aluminium, silika, kapur, kalium, fosfor, titanium, vanadium, kromium, mangan dan besi. Jenis zeolit dengan rasio Si/Al 0,83 yang dihasilkan adalah zeolit A, dengan rumus kimia  $Al_{12}Na_{12}O_{48}Si_{12}$ , *nacrite* dengan rumus kimia  $Al_2H_4O_9Si_2$  dan *Mitridatite* dengan rumus kimia  $Ca_6Fe_9H_{18}O_{51}P_9$ . Nilai adsorbansi zeolit terdapat pada rentang 0,0241-0,9036. Dimana adsorbansi zeolit terbesar adalah zeolit dengan rasio Si/Al 0,83. Zeolit yang dihasilkan mampu menyerap pengotor di dalam air sadah sehingga air sadah menjadi jernih serta dapat mengurangi kandungan Ca dan Mg pada air sadah.

**Kata Kunci:** silika, aluminium, zeolit, dan air sadah.

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF Si/Al RATIO ON CONDUCTIVITY, COMPOSITION, PHASE STRUCTURE AND MICRO STRUCTURE OF ZEOLITE FROM LAMPUNG PUMING STONE AND ALUMINUM CAN WASTE**

**NONI SUSANTI**

This research was conducted to determine the conductivity value of the zeolite, the composition contained in the zeolite, determine the phase structure and microstructure of the optimum conductivity value of the zeolite, determine the ability of the zeolite to process hard water and determine whether the zeolite is capable of reducing calcium (Ca) and magnesium (Mg) in hard water. Zeolite is made using silica from pumice, aluminum can waste, NaOH, and distilled water. The resulting zeolite was measured for its conductivity using an LCR-meter, then characterized by XRF. Zeolite with optimum conductivity value was characterized using XRD and SEM. Then zeolite is used to treat hard water. The resulting hard water was tested using UV-Vis and ICP. From the research that has been carried out the highest conductivity value is  $50,76 \times 10^{-6}$  at a zeolite with a Si/Al ratio of 0.83. The resulting zeolite contains the minerals aluminum, silica, lime, potassium, phosphorus, titanium, vanadium, chromium, manganese and iron. The resulting zeolite with a Si/Al ratio of 0.83 is zeolite A, with the chemical formula  $\text{Al}_{12}\text{Na}_{12}\text{O}_{48}\text{Si}_{12}$ , nacrites with the chemical formula  $\text{Al}_{12}\text{Na}_{12}\text{O}_{48}\text{Si}_{12}$  and Mithridatite with the chemical formula  $\text{Ca}_6\text{Fe}_9\text{H}_{18}\text{O}_{51}\text{P}_9$ . The zeolite adsorption value was in the range of 0.0241-0.9036. Where the greatest adsorption of zeolite is zeolite with a Si/Al ratio of 0.83. The resulting zeolite is able to absorb impurities in hard water so that the hard water becomes clear and can reduce the Ca and Mg content in hard water.

**Keywords:** silica, aluminum, zeolite, and hard water.

**PENGARUH RASIO Si/Al TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS,  
KOMPOSISI, STRUKTUR FASA DAN STRUKTUR MIKRO PADA  
ZEOLIT DARI BATU APUNG LAMPUNG DAN LIMBAH KALENG  
ALUMINIUM**

**Oleh**

*Noni Susanti*

**Skripsi**

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

**Pada**

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



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



Judul Skripsi

**: PENGARUH RASIO SI/AL TERHADAP NILAI  
KONDUKTIVITAS, KOMPOSISI, STRUKTUR  
FASA DAN STRUKTUR MIKRO PADA  
ZEOLIT DARI BATU APUNG LAMPUNG  
DAN LIMBAH KALENG ALUMINIUM**

Nama Mahasiswa

**: Noni Susanti**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1817041002

Jurusan

**: Fisika**


Fakultas

**: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

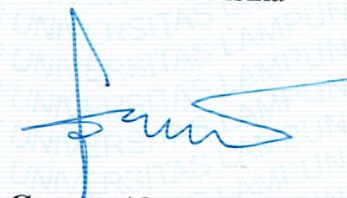


**1. Komisi Pembimbing**

  
**Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**  
NIP. 196107231986031003

  
**Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.**  
NIP. 198203272015021002

**2. Ketua Jurusan Fisika**

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

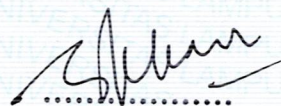


## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

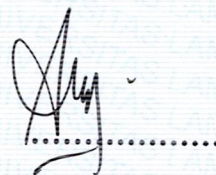
Ketua

: Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.



Sekretaris

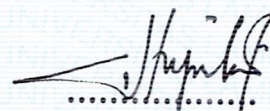
: Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Suprihatin, S.Si, M.Si.



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



**Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.**  
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Desember 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, 12 Desember 2022



Noni Susanti  
NPM. 1817041002

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Noni Susanti, lahir pada tanggal 14 November 2000 di Lampung Barat. Penulis merupakan anak terakhir dari lima saudara dari pasangan Bapak Darman dan Ibu Jasmiana Megawati. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Taman Kanak-Kanak RA Miftahul Huda pada tahun 2006, dilanjutkan Sekolah Dasar Negeri (SDN) Tambak Jaya pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Sekincau pada tahun 2015 dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Way Tenong pada tahun 2018. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN tahun 2018.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi baik tingkat fakultas maupun tingkat universitas. Pada tahun 2019-2020 Penulis aktif di kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) sebagai anggota Bidang Kaderisasi, Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Universitas Lampung sebagai anggota Dinas Pengembangan Sumberdaya Manusia (PSDM), Rohani Islam Mahasiswa (ROIS) sebagai anggota Bidang Kaderisasi dan Keumatan, menjadi anggota Panitia Khusus (Pansus) FMIPA, menjadi Sekretaris Koordinator *Executive Punishment* KWI FMIPA Unila, menjadi anggota Dewan Perwakilan



Mahasiswa (DPM) Komisi III dan menjadi Bendahara Umum Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) periode 2020-2021.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Dasar FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Analisis Gerak Benda terhadap Bidang Miring dan Energi Mekanik terhadap Loop Track”. Penulis juga melaksanakan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2021 di Desa Puralaksana, Kecamatan Fajar Bulan, Kabupaten Lampung Barat. Penulis juga menyelesaikan penelitian skripsi di **Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN** dengan judul “**Pengaruh Rasio Si/Al terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Fasa dan Struktur Mikro pada Zeolit dari Batu Apung Lampung dan Limbah Kaleng Aluminium**”

## *MOTTO*

*“Hidup hanya sekali, maka bermanfaatlah untuk orang lain, jika belum bisa bermanfaat untuk orang lain, bermanfaatlah untuk diri sendiri”*

*“Sebaik-baiknya manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain”*

*(HR. Ahmad, ath- Thabrani, ad-Daruqutni. Dihasankan oleh al-Albani dalam Shahihul Jami’ No:3289)*



## **PERSEMBAHAN**

**Bismillahirrahmanirrahim**

**Dengan segala rasa syukur kepada Allah SWT. telah memberikan Nikmat dan Kasih Sayang-Nya, kupersembahkan karya ini kepada semua orang yang kusayangi dan kucintai.**

***Bapak Darman dan Ibu Jasmiana Megawati***

Kedua orang tuaku yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, selalu memberikan energi kebahagiaan berupa doa, kasih sayang, dukungan moral dan materi sehingga aku mampu menghadapi semua permasalahan dan dapat menyelesaikan pendidikan sampai S1.

***Taufik, Rusli, Rati, Novi dan Dea***

Kakak dan adikku yang selalu memberiku semangat dan canda tawanya sebagai pelengkap penghibur dan kebahagiaan dari semuanya

***Bapak/Ibu Dosen Fisika FMIPA UNILA***  
Terimakasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepadaku

Serta almamaterku tercinta  
***“Universitas Lampung”***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah serta skripsi yang berjudul **“Pengaruh Rasio Si/Al terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Fasa dan Struktur Mikro pada Zeolit dari Batu Apung Lampung dan Limbah Kaleng Aluminium”**. Tujuan penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sehingga dapat menjadi perbaikan untuk kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat, menambah wawasan literasi keilmuan, serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya agar lebih baik dan sempurna.

Bandar Lampung, 12 Desember 2022

Penulis



## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wa ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Rasio Si/Al terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Fasa dan Struktur Mikro pada Zeolit dari Batu Apung Lampung dan Limbah Kaleng Aluminium”. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya memberi pengarahan dan membimbing penulis.
2. Bapak Sudibyo, S.T., M.Sc. selaku Pemimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga serta mengarahkan penulis saat penelitian.
3. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Penguji yang telah banyak memberikan kritik dan saran dalam setiap kekurangan.
4. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang telah banyak memberi nasihat dan juga motivasi dari awal masuk kuliah sampai dengan selesai.
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung. Para *staff* dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis.
8. Seluruh keluarga besar yang selalu memberi motivasi dan dorongan kepada penulis.
9. Rekan penelitian, Monika Oktavioleta, Nindia Agustin, dan Rizki Alam yang saling memberi semangat dan selalu membantu dalam setiap kesempatan.
10. Sahabat tercinta, Intan Pubiyanti, Mei Suryani, Wiwin Sulistiani, Yessi Efridahniar, Shintya Rahma Fadhila, Atika Istikomah, Wulan Warohmah dan Calvina Alivia Wartiman yang selalu membantu, memberi semangat dan juga memberi motivasi kepada penulis.
11. Teman-teman seperjuangan Fisika 2018, kakak tingkat, adik tingkat, keluarga besar Himafi serta keluarga Expun KWI XXX yang telah memberi banyak pengalaman yang sangat luar biasa.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan motivasi, bantuan moril maupun materil kepada penulis.

Semoga Allah SWT. senantiasa memberikan balasan atas segala usaha yang telah dilakukan oleh semua pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat.

Bandar Lampung, 11 Desember 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vi</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>x</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>2</b>
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5

<b>II.</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1	Zeolit .....	6
2.2	Zeolit Alam.....	7
2.3	Zeolit Buatan .....	8
2.4	Karakteristik Zeolit.....	9
2.5	Sifat-Sifat Zeolit .....	10
2.5.1	Sifat Dehidrasi.....	10
2.5.2	Sebagai Penyerap Logam ( <i>Adsorbent</i> ).....	11
2.5.3	Sebagai Pertukaran Ion .....	11
2.5.4	Sebagai Penyaring Molekul .....	11
2.5.5	Sebagai Katalis.....	12
2.6	Batu Apung.....	12
2.7	Aluminium.....	14
2.8	Air Sadah .....	15
2.9	Proses Hidrotermal .....	16
2.10	Adsorpsi.....	17
2.11	<i>X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)</i> .....	18
2.12	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	20
2.13	<i>Scanning Electron Microscopy ( SEM )</i> .....	22
2.14	Spektrofotometri <i>Ultra Violet-Visible ( UV-Vis )</i> .....	23
2.15	<i>Inductively Coupled Plasma ( ICP)</i> .....	25
<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1	Waktu dan Tempat .....	26
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	26
3.2.1	Alat.....	26
3.2.2	Bahan.....	26

3.3	Prosedur Penelitian .....	27
3.3.1	Preparasi Sampel .....	27
3.3.2	Pembuatan Natrium Silikat .....	27
3.3.3	Pembuatan Natrium Aluminat .....	28
3.3.4	Pembuatan Zeolit .....	28
3.3.5	Diagram alir .....	32
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1	Hasil Pengukuran Konduktivitas Zeolit Menggunakan LCR-Meter.....	37
4.2	Hasil Karakterisasi XRF .....	38
4.2.1	Hasil Karakterisasi XRF Natrium Silikat.....	38
4.2.2	Hasil Karakterisasi XRF Natrium Aluminat .....	39
4.2.3	Hasil Karakterisasi XRF Zeolit.....	40
4.3	Hasil Uji Zeolit Menggunakan Air Sadah .....	41
4.3.1	Hasil Uji UV-Vis .....	42
4.3.2	Hasil Uji ICP-OES .....	43
4.4	Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	45
4.5	Hasil Karakterisasi FESEM-EDX .....	46
<b>V.</b>	<b>SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
5.1	Simpulan.....	49
5.2	Saran .....	50
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Struktur Zeolit.....	10
<b>Gambar 2.2</b> Batu Apung .....	13
<b>Gambar 2.3</b> Perangkat XRF .....	19
<b>Gambar 2.4</b> Perangkat XRD .....	20
<b>Gambar 2.5</b> Perangkat SEM .....	22
<b>Gambar 2.6</b> Perangkat Spektrofotometri UV-Vis.....	23
<b>Gambar 2.7</b> Perangkat Alat ICP-EOS .....	25
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Pembuatan Natrium Silikat.....	31
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Pembuatan Natrium Aluminat.....	32
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Pembuatan Zeolit.....	33
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Uji Adsorpsi Zeolit .....	34
<b>Gambar 3.5</b> Diagram Alir Penelitian.....	35
<b>Gambar 4.1</b> Kemampuan Zeolit Mengolah Air Sadah.....	40
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Karakterisasi XRD Zeolit Optimum .....	44
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Karakterisasi SEM 15.000 kali Pembesaran.....	45
<b>Gambar 4.4</b> Hasil Karakterisasi FE-SEM Zeolit Rasio Si/Al 0,83 .....	46
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Spektrum EDS Zeolit Rasio Si/Al 0,83 .....	46



## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Jenis-Jenis Zeolit Alam.....	8
<b>Tabel 2.2</b> Kandungan Mineral pada Kaleng Minum.....	14
<b>Tabel 2.3</b> Tingkat Kesadahan Air .....	16
<b>Tabel 2.4</b> Daftar Panjang Gelombang .....	24
<b>Tabel 3.1</b> Rasio Natrium Silikat dan Natrium Aluminat (Si/Al).....	28
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengukuran Konduktivitas Zeolit Menggunakan LCR-Meter.....	36
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Karakterisasi XRF Natrium Silikat.....	37
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Karakterisasi XRF Natrium Aluminat.....	38
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Karakterisasi XRF Zeolit .....	39
<b>Tabel 4.5</b> Kemampuan Adsorbansi Zeolit .....	41
<b>Tabel 4.6</b> Persentase Penurunan Adsorpsi Zeolit Terhadap Air Sadah.....	42
<b>Tabel 4.7</b> Persentase Penurunan Kandungan Ca dan Mg.....	43
<b>Tabel 4.8</b> Kelimpahan Elemen Zeolit Menggunakan EDX.....	47

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Lampung merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki gunung aktif dan pernah meletus pada tahun 1883 (Simkin dan Fiske, 1983). Letusan tersebut mengakibatkan adanya endapan vulkanik yang tersebar di kawasan yang terkena dampak letusan. Beberapa daerah di Lampung yang terkena dampak letusan tersebut yaitu Kabupaten Lampung Selatan dan Kabupaten Tanggamus. Melalui letusan material-material vulkanik ataupun tsunami yang terjadi dari Gunung Krakatau menghasilkan banyak batu apung yang tersebar di sekitar pantai (Putra dan Yulianto, 2016).

Batu apung (*pumice*) adalah batuan alam hasil dari aktivitas gunung api yang mengandung buih dan terendapkan di dalam lapisan tanah selama bertahun-tahun. Batu apung mengandung jumlah sel yang banyak (berstruktur selular) akibat ekspansi buih gas alam yang terkandung di dalamnya. Batu apung memiliki warna terang yang mengandung buih dan terbuat dari gelembung dan memiliki fisik seperti gelas. Batuan tersebut disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batu apung mempunyai bentuk yang berpori dan mengandung banyak kapiler-kapiler yang halus, sehingga adsorbat akan teradsorpsi pada kapiler tersebut (Endahwati, 2011). Batu apung mengandung banyak mineral silika dan pori-pori berukuran mikro yang sangat baik dalam proses penyerapan limbah cair yang banyak mengandung unsur-unsur logam didalamnya (Rosda, 2017). Batu apung dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan zeolit, dimana komposisi penyusun batu apung terdiri dari silika, alumina, besi oksida dan mineral lainnya (Mahaddilla dkk 2013).

Batu apung umumnya dikenal sebagai adsorben yang baik untuk menghilangkan bahan organik dan logam berat (Deniz, 2017). Adanya perbedaan luas permukaan dan konsentrasi adsorben tidak hanya berpengaruh pada kecepatan adsorpsi, namun juga pada tekanan (untuk gas), suhu, ukuran partikel komposisi kimia dan porositas adsorben. Selain itu juga tergantung pada ukuran molekul yang akan diadsorpsi dan pada kekentalan campuran yang akan dipisahkan (Handoyo, 2019).

Zeolit merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Warna dari zeolit adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran kristal zeolit kebanyakan tidak lebih dari 10-15 mikro. Zeolit terbentuk karena adanya endapan dari aktivitas vulkanik yang banyak mengandung unsur silika (Saputra, 2006). Zeolit dapat dibagi menjadi dua yaitu zeolit alam dan zeolit buatan. Zeolit alam terbentuk dari hasil sedimentasi debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi. Ada empat proses sebagai gambaran awal terbentuknya zeolit alam, yaitu proses sedimentasi debu vulkanik pada lingkungan danau yang bersifat alkali, proses alterasi, proses diagenesis dan proses hidrotermal (Alshameri dkk, 2019).

Zeolit alam juga mengalami perubahan komposisi mineralogi batuan (dalam keadaan padat) karena pengaruh suhu dan tekanan yang tinggi, dan tidak dalam kondisi isokimia yang menghasilkan mineral lempung, kuarsa, oksida atau sulfida logam (Treacy *and* Higgins, 2001). Sebagai produk alam, zeolit alam diketahui memiliki komposisi yang sangat bervariasi, namun komponen utamanya adalah silika dan alumina. Disamping komponen utama ini, zeolit juga mengandung berbagai unsur minor, antara lain Na, K, Ca, Mg, dan Fe (Apreutesei, dkk, 2008).

Zeolit buatan dikembangkan untuk mengatasi kelemahan zeolit alam yang masih banyak mengandung pengotor dan kristalinitasnya rendah sehingga mengurangi kemampuannya sebagai adsorben dan katalis. pembuatan zeolit harus menyesuaikan dengan kondisi zeolit alam yang terbentuk secara alami dengan mengatur suhu, tekanan serta komposisinya. Zeolit dibuat dengan rekayasa yang sedemikian rupa sehingga mendapatkan karakter yang sama dengan zeolit alam. Pembuatan zeolit sangat bergantung pada jumlah Al dan Si. Salah satu metode

yang digunakan untuk membuat zeolit adalah metode hidrotermal (Putri dkk, 2018).

Metode hidrotermal merupakan proses yang melibatkan air dan suhu (panas) yang mengubah larutan menjadi padatan. Larutan dipanaskan pada temperatur yang relatif tinggi ( $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ) dalam wadah yang tertutup. Pemanasan dalam wadah tertutup akan membuat uap air tidak keluar sehingga tidak ada bagian larutan yang hilang dan komposisi larutan masih terjaga (Oye dkk, 2011). Kelebihan metode hidrotermal adalah dapat memperoleh partikel dengan kristalinitas tinggi, relatif sederhana, murah, produk sintesis yang dihasilkan memiliki keaktifan yang tinggi, menjaga kemurnian, dan menstabilkan preparasi senyawa dalam keadaan oksidasi dengan menaikkan tekanan dan temperaturnya (Lee, 1991). Selain itu, metode hidrotermal juga memiliki kelebihan produk terbentuk serbuk secara langsung dari larutan, karena sudah dikalsinasi pada suhu tinggi (Putri dkk, 2018).

Air sadah adalah air yang mengandung ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) yang mempunyai pengaruh dapat membentuk kerak pada ketel dan menghambat pembentukan buih pada sabun. Penyebab air sadah adalah karena adanya ion-ion lain atau logam bervalensi banyak seperti Al, Fe, Mn, Sr dan Zn dalam bentuk garam sulfat, klorida dan bikarbonat dalam jumlah kecil.

Adsorpsi merupakan metode yang diterapkan untuk menghilangkan warna atau kandungan logam pada air limbah industri. Kelebihan adsorpsi diantaranya desain yang sederhana, ramah lingkungan, tidak sensitif terhadap polutan beracun, kemampuan untuk mengolah limbah pewarna pekat, efisiensi tinggi, dan mudah dioperasikan (Astuti dkk, 2019). Pada proses adsorpsi, molekul adsorbat bergerak melalui bulk fasa gas menuju permukaan padatan dan berdifusi pada permukaan pori padatan adsorben. Proses adsorpsi terjadi pada pori-pori kecilnya (*micropore*), sedangkan tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke permukaan mikropori adalah makropori (Bazrafshan, dkk., 2015).

Selain itu pembuatan zeolit secara hidrotermal pernah dilakukan oleh Mahadilla dan Putra (2013), zeolit dibuat dengan pencampuran natrium silika dari batu apung dan natrium aluminat dari  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dengan variasi rasio Si/Al sampel 1



yaitu 0,67, sampel 2 yaitu 1, sampel 3 yaitu 1,33, sampel 4 yaitu 1,67, dan sampel 5 yaitu 2,00. Setelah terbentuk zeolit lalu dilakukan karakterisasi menggunakan LCR meter dan Difraktometer Sinar-X (XRD). Sehingga diperoleh kesimpulan dari penelitian tersebut dimana batu apung dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika dalam proses pembuatan zeolit sintetis secara hidrotermal. Berdasarkan hasil difraktometer sinar-X diketahui bahwa dengan perbandingan rasio Si/Al rendah zeolit sintetis dari batu apung menghasilkan zeolit tipe A. Zeolit dengan rasio 15:15 merupakan zeolit yang memiliki nilai pertukaran ion paling tinggi karena memiliki nilai konduktivitas paling tinggi.

Pada penelitian ini zeolit dibuat menggunakan silika dari batu apung, limbah kaleng aluminium, NaOH, dan aquades. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode hidrotermal. Zeolit yang dihasilkan diukur konduktivitasnya menggunakan LCR-meter, kemudian karakterisasi XRF. Lalu, zeolit dengan nilai konduktivitas optimum dikarakterisasi menggunakan XRD dan FESEM-EDX. Uji adsorpsi zeolit pada penelitian ini menggunakan larutan air sadah kemudian larutan tersebut diuji menggunakan UV-Vis dan ICP.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai konduktivitas dari zeolit yang dihasilkan?.
2. Apa saja komposisi yang terkandung di dalam zeolit yang dihasilkan?.
3. Bagaimana struktur fasa dan struktur mikro yang terbentuk dari zeolit dengan nilai konduktivitas optimum?.
4. Bagaimana kemampuan zeolit dalam mengolah air sadah dan menurunkan kandungan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) pada air sadah?.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bahan yang digunakan adalah batu apung, limbah kaleng aluminium, NaOH, dan aquades.
2. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan LCR-Meter, XRF, XRD, FESEM-EDX, UV-Vis, dan ICP.
3. Uji adsorpsi menggunakan air sadah.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai konduktivitas zeolit buatan.
2. Mengetahui komposisi yang terkandung di dalam zeolit buatan.
3. Mengetahui struktur fasa dan struktur mikro yang terbentuk pada zeolit nilai konduktivitas optimum.
4. Mengetahui kemampuan zeolit dalam mengolah air sadah dan mengetahui apakah zeolit mampu menurunkan kandungan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) pada air sadah.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain:

1. Memanfaatkan batu apung dan limbah kaleng aluminium yang ada di Lampung untuk dijadikan zeolit buatan.
2. Memanfaatkan zeolit dari batu apung dan limbah kaleng aluminium untuk mengolah air sadah.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Zeolit

Zeolit merupakan mineral alumina silikat yang pertama kali ditemukan tahun 1756 oleh mineralogi dari Swedia bernama Baron Axel Cronstedt. Zeolit telah dipelajari oleh mineralogi selama lebih dari 200 tahun. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen, dan batuan metamorfosa. Kemudian zeolit mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga terbentuk mineral-mineral zeolit (Setyawan, 2002).

Nama zeolit berasal dari bahasa Yunani, dari kata *Zein* yang berarti membuih dan *Lithos* yang berarti batu, zeolit dapat diartikan batu yang membuih. Nama ini sesuai dengan sifat mineral dari zeolit, yaitu akan membuih bila dipanaskan dalam tabung terbuka pada temperatur 100-350 °C. Zeolit tersusun atas rongga-rongga didalam yang berisi ion-ion logam, biasanya golongan logam alkali, dan molekul air yang bergerak bebas. Zeolit merupakan mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Mineral ini biasanya dijumpai mengisi celah-celah ataupun rekahan dari batuan tersebut. Selain itu zeolit juga merupakan endapan dari aktivitas vulkanik (Apreutesei dkk, 2008).

Zeolit tersusun atas tetrahedral alumina ( $\text{AlO}_4^{5-}$ ) dan silika ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) yang membentuk struktur bermuatan negatif dan berongga terbuka atau berpori. Kedua tetrahedral tersebut dihubungkan oleh atom-atom oksigen, menghasilkan struktur tiga dimensi terbuka dan berongga yang didalamnya diisi oleh atom-atom logam

biasanya yaitu logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Zeolit telah banyak digunakan sebagai penukar kation (*cation exchangers*), pelunak air (*water softening*), penyaring molekul (*molecular sieves*), sebagai bahan pengering (*drying agents*), adsorben, dan sebagai katalis atau pengemban katalis pada berbagai reaksi kimia. Zeolit juga merupakan salah satu adsorben alternatif yang memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi karena memiliki pori yang banyak dan mempunyai kapasitas penukar kation yang tinggi dan dapat digunakan dalam rentang suhu yang tinggi sehingga sangat cocok digunakan sebagai adsorben (Margeta dkk, 2013).

## 2.2 Zeolit Alam

Zeolit alam merupakan senyawa alumino silikat terhidrasi yang terdiri dari tetrahedral (Si, Al) dan dikelilingi oleh atom-atom O dalam ikatan tiga dimensi. Mineral zeolit yang paling umum dijumpai adalah zeolit *klinoptilolit*. Perbandingan antara atom Si dan Al yang bervariasi akan menghasilkan banyak jenis atau spesies zeolit yang terdapat di alam. Zeolit alam terbentuk dari hasil sedimentasi debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi. Ada empat proses sebagai gambaran awal terbentuknya zeolit alam, yaitu proses sedimentasi debu vulkanik pada lingkungan danau yang bersifat alkali, proses alterasi, proses diagenesis dan proses hidrotermal (Alshameri dkk, 2019).

Zeolit alam terbentuk melalui proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan geofisika memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin. Sebagai produk alam, zeolit alam diketahui memiliki komposisi yang sangat bervariasi, namun komponen utamanya adalah silika dan alumina. Disamping komponen utama ini, zeolit juga mengandung berbagai unsur minor, antara lain Na, K, Ca, Mg, dan Fe (Apreutesei dkk, 2008).



Zeolit alam terbentuk karena proses sedimentasi vulkanik pada lingkungan yang bersifat alkali. Zeolit alam juga mengalami perubahan komposisi mineralogi batuan (dalam keadaan padat) karena pengaruh suhu dan tekanan yang tinggi, dan tidak dalam kondisi isokimia yang menghasilkan mineral lempung, kuarsa, oksida atau sulfida logam (Treacy dan Higgins, 2001). Jenis-jenis zeolit alam yang ditemukan oleh (Treacy dan Higgins, 2001) disajikan pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Jenis-Jenis Zeolit Alam

No	Zeolit alam	Komposisi
1	<i>Analzim</i>	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96})16\text{H}_2\text{O}$
2	<i>Kabasit</i>	$(\text{Na}_2\text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72})40\text{H}_2\text{O}$
3	<i>Klipnotilolit</i>	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96})24\text{H}_2\text{O}$
4	<i>Erionit</i>	$(\text{NaCa}_5\text{K})(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72})27\text{H}_2\text{O}$
5	<i>Ferrierit</i>	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72})18\text{H}_2\text{O}$
6	<i>Heulandite</i>	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72})24\text{H}_2\text{O}$
7	<i>Laumonit</i>	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48})16\text{H}_2\text{O}$
8	<i>Mordenit</i>	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96})24\text{H}_2\text{O}$
9	<i>Filipsit</i>	$(\text{Na}_4\text{K}_4)_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64})20\text{H}_2\text{O}$
10	<i>Natrolit</i>	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20})4\text{H}_2\text{O}$
11	<i>Wairakit</i>	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12})12\text{H}_2\text{O}$

### 2.3 Zeolit Buatan

Zeolit buatan atau sintetis dikembangkan untuk mengatasi kelemahan zeolit alam yang masih banyak mengandung pengotor dan kristalinitasnya rendah sehingga mengurangi kemampuannya sebagai adsorben dan katalis. Pembuatan zeolit harus menyesuaikan dengan kondisi zeolit alam yang terbentuk secara alami dengan mengatur suhu, tekanan serta komposisinya. Zeolit dibuat dengan rekayasa yang sedemikian rupa sehingga mendapatkan karakter yang sama dengan zeolit alam. Pembuatan zeolit sangat bergantung pada jumlah Al dan Si. Salah satu metode yang digunakan untuk membuat zeolit adalah metode hidrotermal. Kemampuan

zeolit buatan sebagai penyerap, katalis dan penukar ion sangat bergantung kepada perbandingan Al dan Si sehingga dapat dikelompokkan menjadi 3 (Mahaddilla dkk, 2013).

- a. Zeolit sintetis dengan kadar Si rendah  
Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai  $0,5 \text{ cm}^3$  tiap  $\text{cm}^3$  volume zeolit.
- b. Zeolit sintetis dengan kadar Si sedang  
Jenis zeolit ini mempunyai perbandingan Si/Al 2 hingga 5. Contoh zeolit sintetis jenis ini adalah zeolit omega.
- c. Zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi  
Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Zeolit jenis ini misalnya zeolit ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

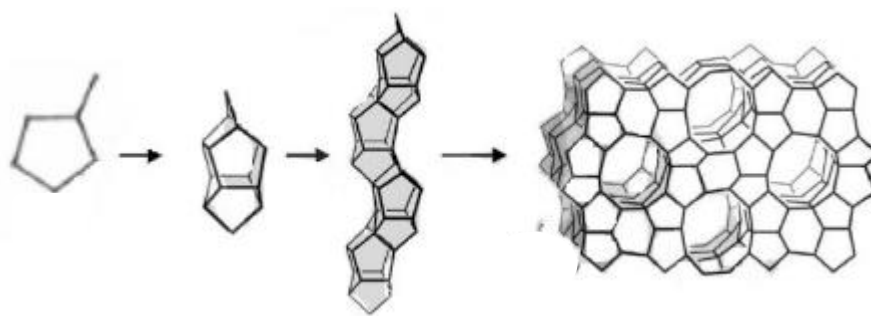
## 2.4 Karakteristik Zeolit

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali dan alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya, secara empiris zeolit mempunyai persamaan  $M_{x/n} [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot zH_2O$ , dengan  $M_{x/n}$  adalah kation,  $x$  adalah jumlah  $AlO_2$ ,  $y$  adalah jumlah  $SiO_2$   $y > x$ ,  $z$  adalah jumlah  $H_2O$ . Umumnya zeolit tersusun oleh satuan unit pembangun primer yang merupakan satuan unit terkecil tetrahedral  $SiO_2$  dan  $AlO_2$ . Dalam struktur zeolit, atom Si dan O tidak memiliki muatan, sedangkan atom Al bermuatan negatif sehingga struktur rantai aluminosilika tersebut akan dinetralkan oleh kation (Ordenez dan Eva, 2009).

Kerangka zeolit berupa rongga yang berisi kation  $M^+$  sebagai kation penyumbang muatan  $AlO_2$ . Beberapa spesimen zeolit berwarna putih, kebiruan, kemerahan, dan juga coklat karena hadirnya oksida besi atau logam lainnya. Densitas zeolit antara  $2,0 - 2,3 \text{ g/cm}^3$  dengan bentuk halus dan lunak. Kilap yang dimiliki bermacam-macam. Struktur zeolit dapat dibedakan dalam tiga komponen yaitu rangka

aluminosilikat, ruang kosong saling berhubungan yang berisi kation logam, dan molekul air dalam fase occluded (Harben, 1996).

Zeolit berbentuk kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung muatan positif dari ion-ion logam alkali dan alkali tanah dalam kerangka kristal tiga dimensi (Hay, 1966). Struktur zeolit dapat digambarkan seperti sarang lebah dengan saluran-saluran dan rongga-rongga yang dihasilkan oleh sambungan-sambungan kaku tetrahedral (Dyer, 1988). Struktur zeolit ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Struktur Zeolit

## 2.5 Sifat-Sifat Zeolit

### 2.5.1 Sifat Dehidrasi

Zeolit mempunyai sifat dehidrasi yaitu mampu melepaskan molekul  $H_2O$  apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut, tapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Molekul  $H_2O$  dapat dikeluarkan secara reversible. Pada pori-porinya terdapat kation-kation dan molekul air. Bila kation-kation dan molekul air tersebut dikeluarkan dari pori dengan perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong. Secara alami, pori-pori zeolit yang belum diolah akan mengandung sejumlah molekul air dan alkali atau alkali tanah hidrat. Proses pemanasan dilakukan pada temperatur 300-400 °C sehingga dapat menghilangkan kandungan air dan hidrat pada alkali atau alkali tanah hidrat. Zeolit yang sudah mengalami pemanasan ini disebut zeolit teraktivasi fisika artinya zeolit terdehidrasi atau zeolit yang kehilangan air (Bish dkk, 2001).

### **2.5.2 Sebagai Penyerap Logam (*Adsorbent*)**

Zeolit mempunyai kapasitas yang tinggi sebagai penyerap (adsorben). Mekanisme adsorpsi yang mungkin terjadi adalah adsorpsi fisika (melibatkan Gaya Van der Walls), adsorpsi kimia (melibatkan Gaya Elektrostatis), ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks koordinasi. Molekul atau zat yang diserap akan menempati posisi pori-pori. Daya serap (absorbansi) zeolit tergantung dari jumlah pori dan luas permukaan. Molekul-molekul dengan ukuran lebih kecil dari pori yang mampu terserap oleh zeolit (Salman, dkk, 2017). Dalam keadaan ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada disekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Aslina dkk, 2007).

### **2.5.3 Sebagai Pertukaran Ion**

Kation-kation pada pori di zeolit berperan sebagai penetral muatan zeolit. Kation-kation ini dapat bergerak bebas sehingga dapat dengan mudah terjadi pertukaran ion. Mekanisme pertukaran kation tergantung pada ukuran, muatan dan jenis zeolitnya. Keberadaan atom aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation. Sifat zeolit sebagai penukar ion karena adanya kation logam alkali dan alkali tanah. Kation tersebut dapat bergerak bebas di dalam rongga dan dapat dipertukarkan dengan kation logam lain dengan jumlah yang sama. Akibat struktur zeolit berongga, anion atau molekul berukuran lebih kecil atau sama dengan rongga dapat masuk dan terjebak. Pertukaran kation biasanya diikuti dengan perubahan yang dramatis pada kestabilan termal, sifat adsorpsi, selektivitas dan aktivitas katalisis (Tsitsishvili dkk, 2017).

### **2.5.4 Sebagai Penyaring Molekul**

Zeolit mempunyai luas permukaan yang besar dan berperan sebagai saluran yang dapat menyaring ion atau molekul. Peran zeolit sebagai penyaring ataupun pemisah molekul didasarkan pada perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas



molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai pori dengan ukuran tertentu. Molekul yang berukuran lebih kecil dari pori dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari pori akan tertahan. Zeolit sebagai penyaring molekul maupun pemisah atas perbedaan bentuk, ukuran dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan oleh zeolit mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ruang hampa dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar hampa akan ditahan (Aslina dkk, 2007).

#### **2.5.5 Sebagai Katalis**

Kemampuan zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat aktif dalam saluran antar zeolit. Pusat aktif tersebut terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe *Bronsted* maupun *Lewis*. Perbandingan kedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi zeolit dan kondisi reaksi. Pusat aktif yang bersifat asam ini selanjutnya dapat mengikat molekul-molekul basa secara kimiawi. Sifat katalitis zeolit disebabkan kation pada atom Al zeolit yang dapat dipertukarkan dengan ion  $H^+$  dan aktif sebagai katalisis reaksi (Tugsuu, dkk, 2017). Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa memengaruhi keseimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekulnya dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk (Aslina dkk, 2007).

### **2.6 Batu Apung**

Batu apung merupakan jenis batuan yang memiliki warna terang yang mengandung buih dan terbuat dari gelembung dan memiliki fisik seperti gelas. Biasanya batuan tersebut disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batu apung mempunyai bentuk yang berpori dan mengandung banyak kapiler-kapiler yang halus, sehingga adsorbat akan teradsorpsi pada kapiler tersebut (Mahadilla dkk, 2013). Batu apung umumnya dikenal sebagai adsorben yang baik untuk menghilangkan bahan organik dan logam berat (Deniz, 2017). Adanya perbedaan luas permukaan dan konsentrasi adsorben tidak hanya berpengaruh pada kecepatan adsorpsi, namun juga pada tekanan (untuk gas), suhu, ukuran partikel

komposisi kimia dan porositas adsorben. Selain itu juga tergantung pada ukuran molekul yang akan diadsorpsi dan pada kekentalan campuran yang akan dipisahkan (Handojo, 2019).

Dari sifat batu apung yang permukaannya luas, sangat berpori dan pori-porinya berukuran molekul maka sangat memungkinkan batu apung mempunyai sifat adsorpsi. Media adsorpsi (serapan) dari batu apung setelah diaktifasi memiliki kemampuan menyerap ion-ion logam sebesar 66-99,5 % sedangkan yang tidak diaktifasi memiliki daya serap sebesar 55-89 % (Humaedi, 2012). Contoh batu apung dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Batu Apung. Sumber: (dokumen pribadi)

Batu apung mengandung  $\text{SiO}_2$  sebanyak 58,3 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebanyak 12 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebanyak 12,4 %,  $\text{K}_2\text{O}$  sebesar 7,73 %,  $\text{CaO}$  sebesar 6,75 %,  $\text{TiO}_2$  sebesar 1,45 % dan  $\text{MnO}$  sebesar 0,42 % (Mega dkk, 2017). pH 5, peresapan air (*water absorption*) 16,67 %, berat jenis  $0,8 \text{ gr/cm}^3$ , dan ketahanan terhadap api sampai dengan 6 jam (Hidayat, 2012).

## 2.7 Aluminium

Aluminium merupakan logam berwarna putih, dalam bentuk serbuk berwarna abu-abu, liat dan dapat ditempa. Melebur pada suhu 659 °C, teroksidasi pada permukaan bila terkena udara, kemudian lapisan oksida ini melindungi objek bagian dalam dari oksidasi lebih lanjut, mudah larut dalam asam klorida encer namun pelarutan lebih lambat dalam asam sulfat encer atau asam nitrat encer. Aluminium merupakan logam yang memiliki beberapa keunggulan yaitu lebih ringan dari pada baja, mudah dibentuk, tidak berasa, tidak beracun, dapat menahan masuknya gas, mempunyai konduktivitas yang baik dan dapat di daur ulang. Dengan keunggulan tersebut maka pemanfaatan material aluminium pada beberapa sektor industri menjadi semakin meningkat. Sehingga pemanfaatan kembali aluminium bekas merupakan salah satu alternatif untuk menanggulangi kelangkaan bahan baku aluminium. Selain itu lebih menghemat sumber daya alam yang ada (Mulyadi dkk, 2012).

Aluminium (Al) merupakan anggota golongan IIIA berada dialam sebagai aluminosilikat dikerak bumi dan lebih melimpah dari pada besi. Aluminium pada botol minuman biasa dicampur untuk menambah sifat mekanis dan kekuatan, seperti aluminium foil dan kaleng minuman mengandung sekitar 92-99 % aluminium selebihnya yaitu tembaga, seng, magnesium, mangan, silika, dan logam lainnya dengan tingkat persen yang sedikit (Zamani, 2014). Kandungan yang terdapat didalam kaleng minuman ringan dapat dilihat pada Tabel 2.2

**Tabel 2.2** Kandungan Mineral pada Kaleng Minuman

No	Jenis kaleng	Kadar mineral (%)				
		Aluminium	Magnesium	Besi	Silikon	Tembaga
1.	<i>Pocari Sweat</i>	96,38	1,14	0,51	0,19	0,19
2.	Cap Kaki Tiga	89,74	3,28	1,79	0,88	2,36
3.	Coca-Cola	93,28	1,17	1,72	0,68	1,26

Dalam pengolahan limbah aluminium ini sebaliknya menggunakan katalis basa kuat, baik itu NaOH dan KOH memberikan hasil hidrogen yang lebih tinggi, tetapi pada penggunaan katalis NaOH waktu reaksi antara aluminium dan air lebih cepat dari pada katalis KOH (Ates, 2018).

## 2.8 Air Sadah

Air sadah adalah air yang mengandung ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) yang mempunyai pengaruh dapat membentuk kerak pada ketel dan menghambat pembentukan buih pada sabun Air sadah tetap adalah air sadah yang mengandung bikarbonat, anion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Air yang mengandung senyawa-senyawa tersebut disebut air sadah tetap, karena kesadahan tidak bisa dihilangkan dengan cara pemanasan. Kesadahan tetap dapat berkurang dengan penambahan larutan soda kapur yang terdiri dari larutan natrium karbonat dan magnesium hidroksi (Droste *and* Ronal, 1997).

Air sadah berasal dari air hujan yang melewati formasi geologi atau lapisan batu kapur. Konsentrasinya berbeda-beda, ada yang besar, ada yang kecil. Yang besarlah yang menjadi masalah karena harus diolah dengan cara pelunakan atau *softening*. Menurut definisinya, kesadahan ialah kehadiran kation multivalen (valensi 2 atau 3) berkonsentrasi tinggi di dalam air. Dari sekian banyak jenis kation itu, penyebab utamanya hanya kalsium dan magnesium. Yang lainnya ialah besi, mangan, timbal, barium, aluminium. Anion yang terlibat biasanya bikarbonat, sulfat, klorida, nitrat, dan silikat (Droste *and* Ronal, 1997).

Kesadahan merupakan istilah yang digunakan pada air yang mengandung kation penyebab kesadahan dalam jumlah yang tinggi. Pada umumnya kesadahan disebabkan oleh adanya logam-logam atau kation-kation yang bervalensi 2, seperti Fe, Sr, Mn, Ca dan Mg, tetapi penyebab utama dari kesadahan adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Kalsium dalam air mempunyai kemungkinan bersenyawa dengan bikarbonat, sulfat, klorida dan nitrat, sementara itu magnesium terdapat dalam air kemungkinan bersenyawa dengan bikarbonat, sulfat dan klorida.

Tingkat kesadahan di berbagai tempat perairan sangat bervariasi. Pada umumnya air tanah mempunyai tingkat kesadahan lebih tinggi dari pada air permukaan. Terbentuknya senyawa penyebab kesadahan dalam air, karena air tanah mengalami kontak dengan batuan kapur yang ada pada lapisan tanah yang dilalui air. Air permukaan lebih lunak dari pada air tanah, kesadahan non karbonat dalam air permukaan bersumber dari kalsium sulfat yang terdapat dalam tanah liat dan endapan lainnya. Sifat kesadahan air berkaitan dengan adanya ion kalsium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) dalam air. Air yang mempunyai kesadahan tinggi sangat merugikan (Winarno, 1992). Tingkat kesadahan air biasanya digolongkan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Tingkat Kesadahan Air

No	mg/l $\text{Ca CO}_3$	Tingkat Kesadahan
1	0-75	Lunak ( <i>soft</i> )
2	75-150	Sedang
3	150-300	Tinggi
4	>300	Tinggi sekali

## 2.9 Proses Hidrotermal

Kata hidrotermal berasal dari bahasa Yunani yaitu *hydros* yang berarti air dan *tormos* yang berarti panas. Proses hidrotermal adalah proses sintesis yang terjadi pada suhu bervariasi antara suhu kamar-200 °C dalam pelarut air maupun organik dalam sistem tertutup. Pada kondisi hidrotermal sifat fisika dan kimia dari reaktan mengalami perubahan yang signifikan (Byrappa dan Yosimura, 2001).

Hidrotermal merupakan proses yang melibatkan air dan suhu (panas) yang mengubah larutan menjadi padatan. Larutan dipanaskan pada temperatur yang relatif tinggi ( $\pm 100$  °C) dalam wadah yang tertutup. Pemanasan dalam wadah tertutup akan membuat uap air tidak keluar sehingga tidak ada bagian larutan yang hilang dan komposisi larutan masih terjaga (Oye dkk, 2011). Kelebihan metode hidrotermal adalah dapat memperoleh partikel dengan kristalinitas tinggi,

relatif sederhana, murah, produk sintesis yang dihasilkan memiliki keaktifan yang tinggi, menjaga kemurnian, dan menstabilkan preparasi senyawa dalam keadaan oksidasi dengan menaikkan tekanan dan temperaturnya (Lee, 1991).

Hidrotermal juga dikenal sebagai teknik pengkristalan dari temperatur tinggi pada keadaan campuran dan tekanan tinggi. Pada umumnya pertumbuhan kristal dibentuk dalam apparatus yang terdiri dari tekanan vessel baja yang disebut *autoclave*. Prinsip teknik hidrotermal yaitu suatu pemanasan reaktan dalam wadah tertutup dengan menggunakan medium air dimana sistem ini memungkinkan tekanan dan temperatur yang meningkat secara cepat. Sintesis hidrotermal dilakukan pada temperatur di bawah 300 °C. Sehingga memperoleh hasil kemurnian dan kristalinitas yang tinggi. Metode hidrotermal memiliki kelebihan yaitu produk terbentuk serbuk secara langsung dari larutan, karena sudah dikalsinasi pada suhu tinggi dan ukuran partikel dan bentuknya dapat dikontrol dengan menggunakan material awal dan kondisi hidrothermal yang berbeda (Putri dkk, 2018).

## 2.10 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses penyerapan atom atau ion, gas, maupun cairan secara difusi ke permukaan padatan sehingga terjadi gaya antarmolekul yang lemah. Zat yang terserap disebut adsorbat, sedangkan bahan padatan penyerap disebut adsorben (Seader dkk, 2011). Adsorpsi terjadi apabila permukaan padatan terkena gas atau cairan sehingga terjadi peningkatan densitas adsorbat disekitar permukaan padatan. Peningkatan konsentrasi adsorbat bergantung pada luas permukaan area antarmuka (Karge and J. Weitkamp, 2008).

Pada proses adsorpsi, molekul adsorbat bergerak melalui fasa gas menuju permukaan padatan dan berdifusi pada permukaan pori padatan adsorben. Proses adsorpsi terjadi pada pori-pori kecilnya (*micropore*), sedangkan tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke permukaan mikropori adalah makropori

(Bazrafshan, dkk., 2015). Berdasarkan besarnya interaksi antara adsorben dan adsorbat, adsorpsi dibedakan menjadi dua macam:

a. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer. Adsorpsi kimia bersifat *irreversibel* dan terjadi pada temperatur tinggi di atas temperatur kritis adsorbat, sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi (10-100 kkal/gmol).

b. Adsorpsi Fisika

Pada adsorpsi fisika, molekul-molekul adsorbat teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan ikatan yang lemah. Adsorpsi terjadi karena adanya Gaya Van der Waals antara adsorbat dan adsorben. Adsorpsi ini bersifat reversibel, sehingga molekul-molekul yang teradsorpsi mudah dilepaskan kembali dengan cara menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut (Keller dan Staudt, 2005). Pada adsorpsi fisika ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150-200 °C selama 2-3 jam.

## 2.11 X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

Spektroskopi XRF adalah salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang banyak mengandung komponen kimia yang terdapat pada batuan atau suatu mineral. Pada umumnya prinsip dari XRF ini apabila *electron* dari suatu kulit atom bagian dalam dilepaskan maka *electron* yang terdapat pada bagian kulit terluar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang dikarakteristik bagi unsur tersebut, orbit pada XRF ini ada orbit K, L, atau M. Analisis XRF juga terjadi karena adanya peristiwa efek fotolistrik, dan untuk setiap atom di dalam sampel

intensitas dari sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom yang ada disampel (Jenkin, 1998). XRF dapat digunakan untuk menganalisis unsur ataupun senyawa yang terkandung bahan baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Prinsip kerja dari analisis XRF disebabkan oleh tumbukan antar atom-atom yang terjadi pada permukaan suatu sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-X (Jenkin, 1998).

XRF digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel. XRF umumnya digunakan untuk menganalisis unsur dalam mineral dan batuan. Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi akibat efek fotolistrik. Proses *x-ray* yang memiliki energi yang sangat cukup maka ion negatif (elektron) akan mengalami eksitasi ke kulit atom yang terdalam, yang dapat menghasilkan *vacancy* di kulitnya, *vacancy* dapat mengakibatkan kondisi atom menjadi tidak stabil. Sehingga untuk menstabilkan kondisi atom tersebut maka ion negatif (elektron) yang terdapat pada kulit terluar ditransfer untuk menutupi *vacancy* tersebut agar atom menjadi stabil. Proses *X-Ray* dapat memberikan karakteristik yang energinya berasal dari energi ikatan antar kulit yang berhubungan itu berbeda. Maka, spektrum *x-ray* yang apabila dipancarkan pada suatu material akan menghasilkan *multiple peak* pada Panjang gelombang yang berbeda (Astini, 2008). Alat karakterisasi XRF yang digunakan berada di Laboratorium Analisa BRIN-Lampung dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Perangkat XRF. Sumber: (dokumen pribadi)



### 2.12 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*) sudah lama dikenal sebagai teknik kristalografi yang digunakan untuk mengukur banyaknya struktur kristal dari zeolit (Suharyana, 2012). Dalam difraksi sinar-X, terjadi penyebaran sinar-X oleh elektron-elektron ke kristal atom. Karena dimensi kristal sama besarnya dengan panjang gelombang sinar-X, maka elektron akan terdistribusi ke seluruh volume atom sehingga sinar-X tersebar ke berbagai daerah kristal bukan dalam satu fase. Adanya interferensi parsial sinar-X yang tersebar dari kepadatan elektron di berbagai wilayah kristal mengakibatkan penurunan amplitudo sinar-X yang tersebar dari sudut difraksi yang bervariasi (Seader dkk, 2011). Alat karakterisasi XRD yang digunakan berada di Laboratorium Analisa BRIN-Lampung dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Perangkat XRD. Sumber: (dokumen pribadi)

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan logam sebagai sasarannya. Oleh karena itu, suatu tabung sinar-X harus mempunyai sumber elektron, voltase tinggi dan logam sasaran. XRD dilengkapi dengan beberapa komponen seperti tabung sinar-X, monokromator, detektor dan lain-lain. Sinar-X terjadi ketika suatu bahan ditembakkan dengan elektron dengan kecepatan dan tekanan tinggi dalam tabung vakum. Elektron-elektron berasal dari filamen (anoda) dipercepat menumbuk target (katoda) yang berada dalam tabung sinar-X, sehingga elektron-elektron

mengalami perlambatan. Sebagian energi kinetik elektron pada filamen diserahkan pada elektron target, mengakibatkan ketidakstabilan elektron. Keadaan tidak stabil akan kembali pada kondisi normal dalam waktu  $10^{-8}$  detik sambil melepaskan energi kinetik elektron sebagai radiasi gelombang elektromagnetik dalam bentuk sinar yang disebut sinar-X primer (Cullity, 1978).

Sinar-X yang menembak sampel, kemudian didifraksikan ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi sudut tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi persamaan Hukum Bragg. Pada Persamaan (2.1) ditunjukkan persamaan Hukum Bragg.

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

Dengan  $d$  adalah jarak antar bidang dalam kristal,  $\theta$  adalah sudut difraksi  $n$  adalah orde difraksi (1,2,3,...)  $\lambda$  adalah panjang gelombang.

Hukum Bragg merupakan perumusan matematik mengenai proses difraksi yang terjadi sebagai hasil interaksi antara sinar-X yang dipantulkan oleh material. Pantulan tersebut terjadi tanpa mengalami kehilangan energi sehingga menghasilkan pantulan elastis atau *elastic scattering*. Bragg menunjukan bahwa bidang yang berisi atom-atom di dalam kristal akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin (Cullity, 1978).

Prinsip kerja XRD adalah jika seberkas sinar-X di tembakkan pada sampel yang berbentuk kristal, maka pada bidang kristal itu akan membelokkan sinar-X yang mempunyai panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibelokkan akan ditangkap oleh detektor yang kemudian menghasilkan puncak sebagai hasil difraksi. Jika pada suatu sampel mengandung banyak bidang kristal, maka akan semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya (Priyanto, 2015). Setiap puncak yang dihasilkan memiliki intensitas

atau ketinggian yang berbeda dimana intensitas ini sebanding dengan jumlah foton sinar-X yang terhitung oleh detektor pada setiap sudut  $2\theta$  (Christyaningsih dan U. Diponegoro, 2020). Pada dasarnya teknik karakterisasi XRD ini digunakan untuk memperoleh informasi antara lain:

- a. Informasi struktur kristal zat padat termasuk geometri dan konstanta kisi,nya,
- b. Untuk menentukan ukuran kristal,
- c. Untuk menentukan orientasi kristal tunggal maupun poli kristal,
- d. Fase yang terbentuk baik dari sintesis material maupun reaksi kimia,
- e. Identifikasi material yang belum diketahui.

### **2.13 Scanning Electron Microscopy ( SEM )**

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan bagian dari seperangkat alat instrumen yang digunakan untuk mempelajari mikrostruktur permukaan secara langsung dari bahan atau sampel padat seperti keramik, logam dan komposit, yang diamati secara tiga dimensi. SEM merupakan alat instrumen yang terdiri dari sumber elektron yang ditembakkan, tiga lensa elektrostatik dan kumparan scan elektromagnetik yang terletak di antara lensa kedua dan ketiga serta tabung foto multiplier untuk mendeteksi cahaya pada layar scanner ke TV (Gunawan dan Azhari, 2010). Alat karakterisasi FESEM-EDX yang digunakan berada di Laboratorium Analisa BRIN-Lampung dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Perangkat SEM. Sumber: (dokumen pribadi )

Prinsip kerja SEM adalah sumber elektron dari filament yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (specimen) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. Akibat interaksi tersebut sebagian besar berkas elektron berhasil keluar kembali, elektron-elektron tersebut disebut sebagai *Backscattered Electrons* (BSE), sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan kemudian memindahkan sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpental ke luar permukaan bahan, yaitu *Secondary Electrons* (SE). Pembentukan elektron-elektron sekunder selalu diikuti proses munculnya *X-Ray* yang karakteristik untuk setiap filamen. Elektron sekunder hasil elektron dengan permukaan specimen ditangkap oleh detektor *Secondary Electron* (SE) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (Sujatno dkk, 2015).

#### 2.14 Spektrofotometri *Ultra Violet-Visible* ( *Uv-Vis* )

Spektrofotometer *Uv-Vis* merupakan pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang di absorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet memiliki panjang gelombang antara 200-400 nm, dan sinar cahaya tampak mempunyai panjang gelombang antara 400-750 nm (Rohman, 2007). Alat Spektrofotometri *UV-Vis* yang berada di Laboratorium Analisa BRIN-Lampung dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Perangkat Spektrofotometri *Uv-Vis*. Sumber: (dokumen pribadi)

Prinsip kerja instrumen ini yaitu cahaya yang berasal dari lampu deuterium ataupun *wolfram* yang bersifat polikromatis diteruskan melalui lensa kemudian menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator lalu mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas cahaya dengan panjang gelombang tertentu lalu dilewatkan ke sampel. Sehingga ada cahaya yang diserap dan ada cahaya yang dilewatkan. Untuk cahaya yang dilewatkan tersebut diterima oleh detektor, yang kemudian akan dihitung cahaya yang diterima sehingga cahaya yang diserap oleh sampel dapat diketahui. Cahaya yang diserap tersebut sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel, oleh karenanya konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif dapat diketahui (Seader dkk, 2011).

Spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk menganalisis suatu zat dalam suatu larutan berdasarkan adsorbansi terhadap warna dari larutan larutan pada panjang gelombang tertentu. Analisa spektrofotometri pada umumnya merupakan suatu pengukuran serapan sinar makromatis oleh suatu jalur larutan berwarna pada panjang gelombang tertentu dengan menggunakan monokromator prisma atau kisi difraksi dengan detektor *fototube* (Wardani dan Laras 2012). Daftar panjang gelombang pada spektrofotometri disajikan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Daftar Panjang Gelombang

Panjang Gelombang (nm)	Warna	Warna Komplementer
400-435	Violet	Kuning-Hijau
436-480	Biru	Kuning
481-490	Hijau-Biru	Orange
491-500	Biru-Hijau	Merah
501-560	Hijau	Ungu
561-580	Kuning-Hijau	Violet
581-595	Kuning	Biru
596-610	Orange	Hijau-Biru
611-750	Merah	Biru-Hijau

### 2.15 *Inductively Coupled Plasma (ICP)*

*Inductively Coupled Plasma (ICP)* ialah suatu teknik penting dan utama dalam analisis unsur. Sampel yang akan dianalisis, jika padat pertama-tama dilarutkan kemudian diencerkan dengan air kemudian dimasukkan ke dalam plasma. Keunggulannya ialah mampu mengukur banyak unsur di dalam suatu sampel baik secara satu persatu atau serentak. Teknik ICP merupakan metode pendeteksian unsur yang sangat handal dan serbaguna untuk penentuan unsur (ultra). Keunggulan tersebut yaitu batas deteksi yang sangat rendah dengan sensitifitas tinggi, range konsentrasi analit yang dapat diukur cukup luas yaitu orde ppm hingga ppt, kemampuan analisis multi unsur, spektranya sederhana dan dapat digunakan untuk analisis isotop (Rasyid, 2011). Alat yang digunakan untuk uji ICP yang berada di Laboratorium Analisa BRIN-Lampung dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Perangkat Alat ICP-EOS. Sumber: (dokumen pribadi)

Prinsip umum pada pengukuran ini adalah mengukur intensitas energi atau radiasi yang dipancarkan oleh unsur-unsur yang mengalami perubahan tingkat energi atom (eksitasi atau ionisasi). Keuntungan dari ICP adalah memiliki kemampuan mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi lebih dari 80 elemen secara bersamaan dari *ultratrace* sampai ke tingkat komponen utama dalam jangka waktu yang singkat yaitu 30 detik dan hanya menggunakan  $\pm 5 \text{ ml}$  sampel (Permatasari, 2017).

### **III. METODE PENELITIAN**

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

Penelitian ini dilakukan di Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN pada bulan Juli sampai September 2022.

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

##### **3.2.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas beker, gelas ukur, corong, corong plastik, kertas saring, botol sampel, *plastic zipper*, neraca analitik, *stirrer*, gunting, mangkok, latex, LCR- meter, XRF, XRD, UV-Vis, FESEM-EDX, dan ICP.

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu apung, aquades, NaOH, kaleng aluminium, larutan air sadah.

### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian pada penelitian ini sebagai berikut:

#### 3.3.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel pada penelitian ini sebagai berikut:

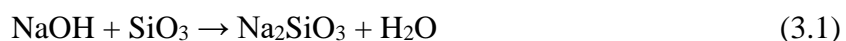
- a. Batu apung yang digunakan sebagai sumber silika direndam dan dicuci agar memisahkan kotoran yang menempel pada batu apung.
- b. Jemur batu apung sampai kering kemudian haluskan batu apung menggunakan bolmil.
- c. Limbah kaleng aluminium yang digunakan dicuci dan dibersihkan agar memisahkan dari kotoran yang menempel
- d. Setelah itu dikeringkan, kemudian dipotong kecil-kecil untuk memudahkan proses pelarutan.

#### 3.3.2 Pembuatan Natrium Silikat

Pembuatan natrium silikat pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Campurkan 10 g batu apung yang sudah dihaluskan dengan 40 g NaOH
- b. Panaskan selama 4 jam pada suhu 350 °C.
- c. Selanjutnya akan terbentuk padatan yang kemudian dilarutkan dalam akuades dan didiamkan selama 12 jam.
- d. Padatan tersebut dikarakterisasi XRF untuk mengetahui unsur dan juga senyawa yang terkandung di dalam natrium silikat yang digunakan dalam pembuatan zeolit.

Persamaan pembuatan natrium silikat ditunjukkan pada persamaan 3.1





### 3.3.3 Pembuatan Natrium Aluminat

Pembuatan natrium aluminat pada penelitian ini sebagai berikut:

- Campurkan 30 g NaOH dengan 300 ml aquades,
- Masukkan 50 g kaleng aluminium yang telah dibersihkan sedikit demi sedikit dengan pengadukan,
- Saring menggunakan kertas saring, lalu keringkan sampai terbentuk padatan,
- Padatan tersebut dikarakterisasi XRF untuk mengetahui unsur dan juga senyawa yang terkandung di dalam natrium aluminat yang digunakan dalam pembuatan zeolit.

Persamaan pembuatan natrium aluminat ditunjukkan pada persamaan 3.2



### 3.3.4 Pembuatan Zeolit

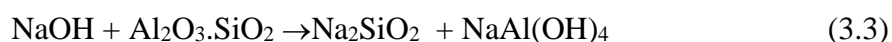
Dalam pembuatan zeolit ada beberapa tahapan, diantaranya sebagai berikut:

- Pengadukan

Langkah-langkah pengadukan sebagai berikut:

- Campurkan natrium silikat dan natrium aluminat ke dalam gelas beker dengan variasi seperti Tabel 3.1,
- Beri aquades sebanyak 60 ml,
- Kemudian letakkan di atas *stirrer* selama 24 jam dengan suhu ruang,
- Setelah 24 jam, matikan *stirrer* dan letakkan sampel pada kertas saring,
- Diamkan *stirrer* selama 5 jam (sampai dingin) kemudian lakukan kepada setiap sampel dengan perlakuan yang sama.

Persamaan pembuatan zeolit ditunjukkan pada persamaan 3.3.



Variasi natrium silikat dan natrium aluminat ditampilkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Rasio Natrium Silikat dan Natrium Aluminat (Si/Al)

No	Natrium Silikat (g)	Natrium Aluminat (g)	Rasio Si/Al
1	10	15	0,67
2	12,5	15	0,83
3	15	15	1,00
4	17,5	15	1,17
5	20	15	1,33
6	22,5	15	1,5
7	25	15	1,67
8	27,5	15	1,83
9	30	15	2,00

2. Pemanasan, pencucian dan pengeringan sampel
  - a. Sampel yang telah terbentuk kemudian dipanaskan pada suhu 100 °C selama 5 jam,
  - b. Selanjutnya sampel dicuci menggunakan aquades dan disaring dengan kertas saring hingga pH netral,
  - c. Sampel kemudian dikeringkan pada suhu 100 °C selama 2 jam,
  - d. Lakukan perlakuan yang sama terhadap semua sampel.

### 3. Karakterisasi XRF

Zeolit yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi XRF untuk mengetahui senyawa dan unsur yang terkandung di dalam zeolit.

### 4. Pengukuran Konduktivitas

Pengukuran konduktivitas zeolit dilakukan menggunakan kotak isolator yang terhubung dengan LCR-meter. Zeolit dengan nilai konduktivitas yang besar memiliki kapasitas ion yang besar sehingga dapat menyerap kation-kation yang kemudian dapat dipertukarkan. Zeolit dengan sifat ini sangat baik dimanfaatkan sebagai penukar ion. Pada penelitian ini, zeolit yang telah diperoleh di hitung konduktivitasnya menggunakan rumus:

$$\sigma = G \left( \frac{l}{A} \right) \quad (3.3)$$

$$G = \frac{1}{R} \quad (3.4)$$

Dengan  $\sigma$  adalah konduktivitas (S/cm),  $G$  adalah konduktansi (Siemens/ $\Omega$ ),  $R$  adalah hambatan ( $\Omega$ ),  $A$  adalah luas penampang ( $\text{cm}^2$ ) dan  $l$  adalah satuan panjang.

## 5. Uji Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu metode yang telah banyak diterapkan untuk menghilangkan pewarna atau kandungan logam pada air limbah industri, dimana kelebihan adsorpsi meliputi desain yang sederhana, ramah lingkungan, tidak sensitif terhadap polutan beracun, kemampuan untuk mengolah limbah pewarna pekat, efisiensi tinggi, dan mudah dioperasikan (Astuti, 2019). Pada penelitian ini uji adsorpsi zeolit menggunakan air sadah. Hal ini dikarenakan zeolit memiliki daya adsorpsi yang sangat tinggi dan efektif untuk digunakan sebagai adsorben.

Langkah-langkah uji adsorpsi sebagai berikut:

- a. Siapkan 1.000 ml larutan air sadah,
- b. Bagi air sadah sebanyak 100 ml kedalam gelas ukur, dan pisahkan 100 ml air sadah untuk di uji UV-Vis,
- c. Siapkan 3 gram dari masing-masing zeolit dan letakkan kedalam kertas saring lalu ikat dengan kencang,
- d. Masukkan zeolit yang telah disiapkan kedalam larutan air sadah kemudian amati perubahan dari larutan air sadah tersebut,
- e. Masukkan larutan yang sudah teradsorpsi kedalam botol untuk dilakukan uji UV-Vis dan ICP.

## 6. Uji UV-Vis dan ICP-EOS

Larutan air sadah yang sudah di kontakkan dengan zeolit di uji menggunakan UV-Vis untuk mengetahui tingkat peresapan dari masing-masing sampel dan ICP-OES dilakukan untuk mengetahui apakah zeolit dapat menyerap logam kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) pada larutan air sadah.

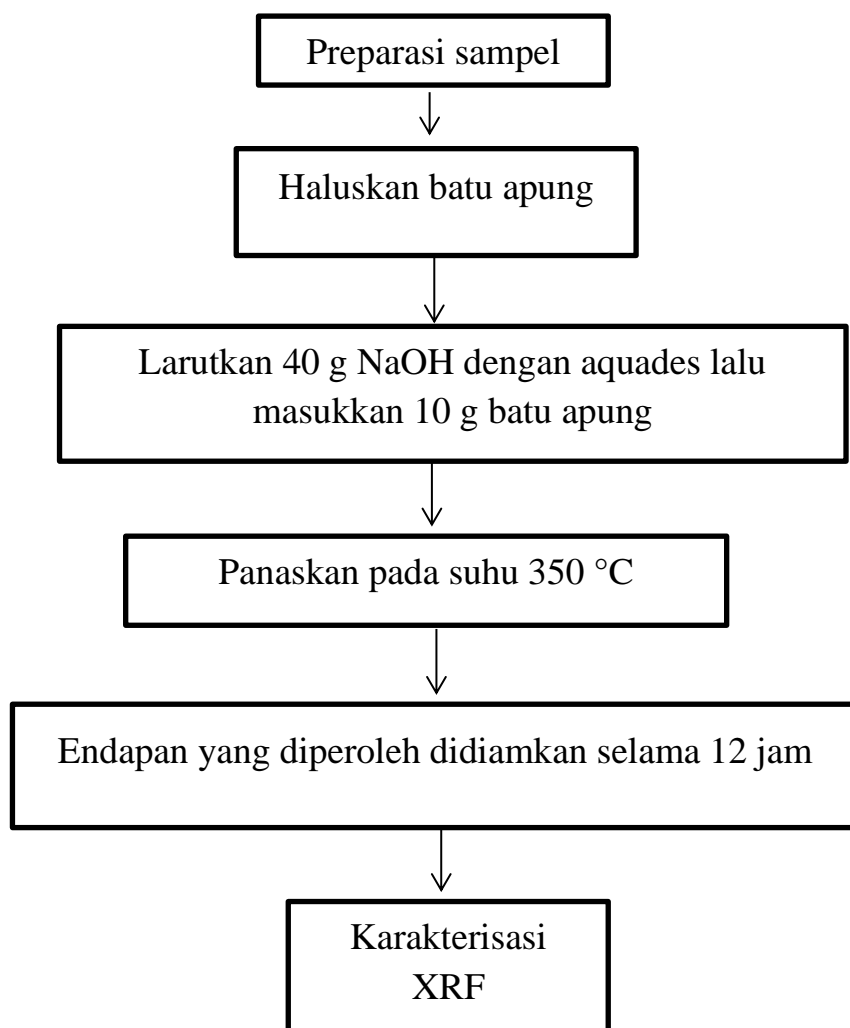
## 7. Karakterisasi XRD dan SEM

Zeolit dengan nilai konduktivitas tertinggi di karakterisasi XRD untuk mengetahui jenis zeolit dan mineral lain yang dihasilkan dan karakterisasi SEM untuk mengetahui topologi dari zeolit.

### 3.3.5 Diagram alir

#### 1. Diagram Alir Natrium Silikat

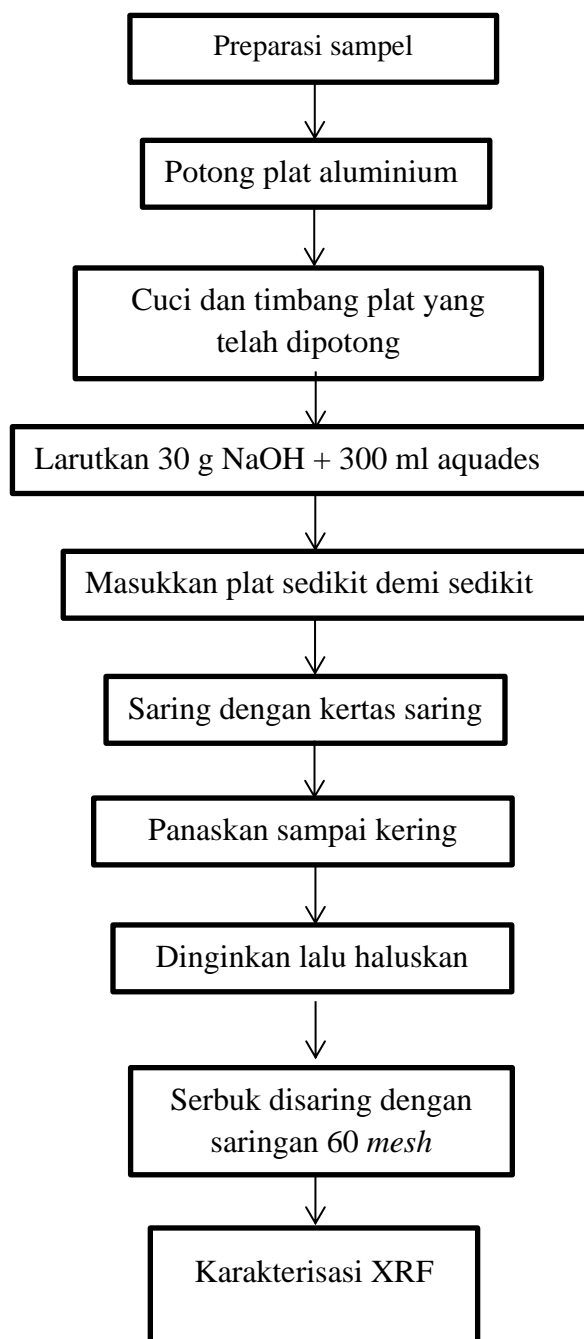
Diagram alir pembuatan natrium silikat pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Diagram Alir Pembuatan Natrium Silikat

## 2. Diagram Alir Natrium Aluminat

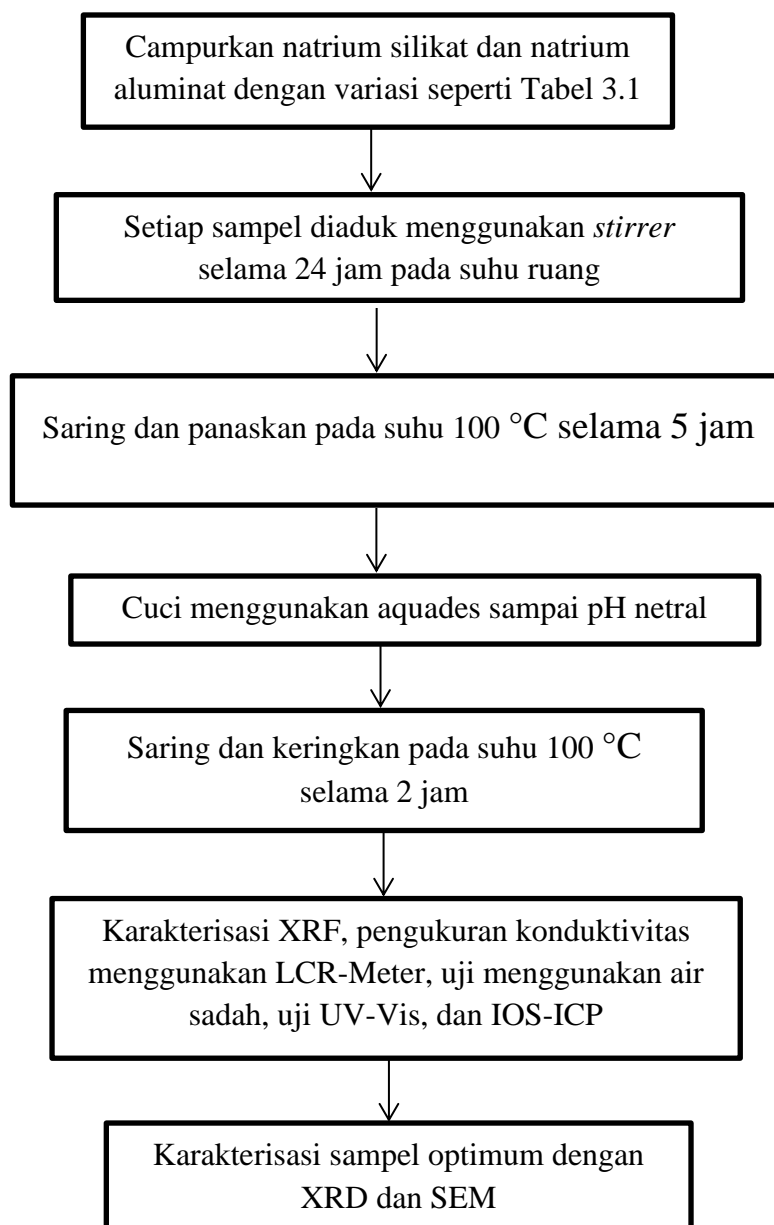
Diagram alir pembuatan natrium aluminat pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** Diagram Alir Pembuatan Natrium Aluminat

### 3. Diagram Alir Pembuatan Zeolit

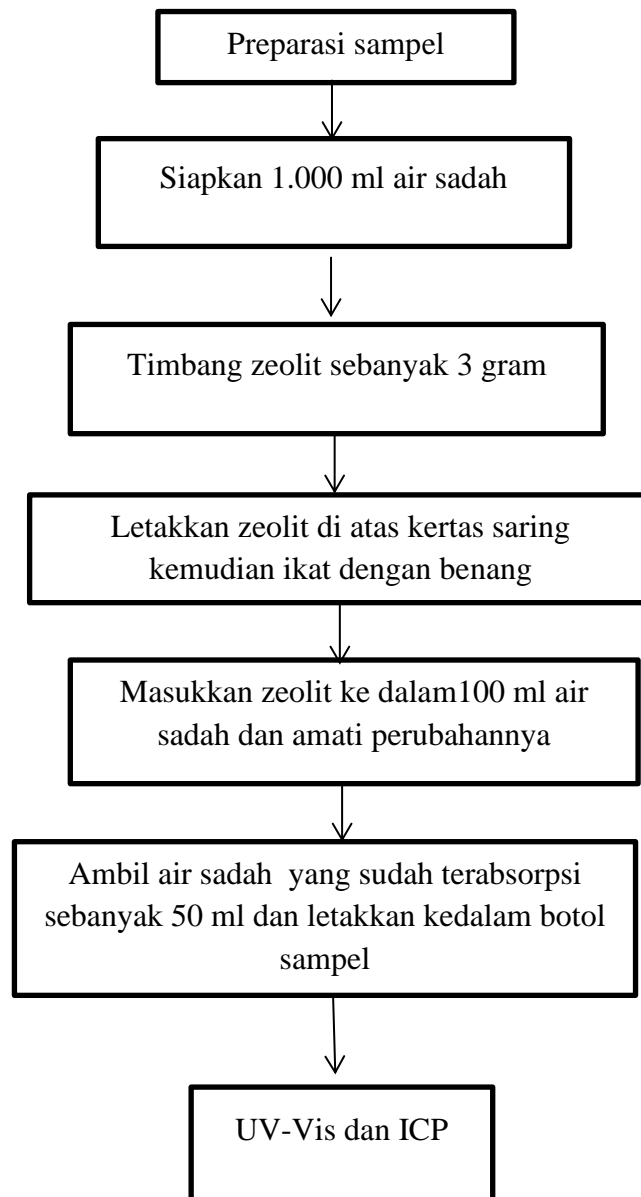
Diagram alir pembuatan zeolit pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Diagram Alir Pembuatan Zeolit

#### 4. Diagram alir Uji Adsorpsi Zeolit pada Larutan Air Sadah

Diagram alir uji adsorpsi zeolit terhadap larutan air sadah pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.4.

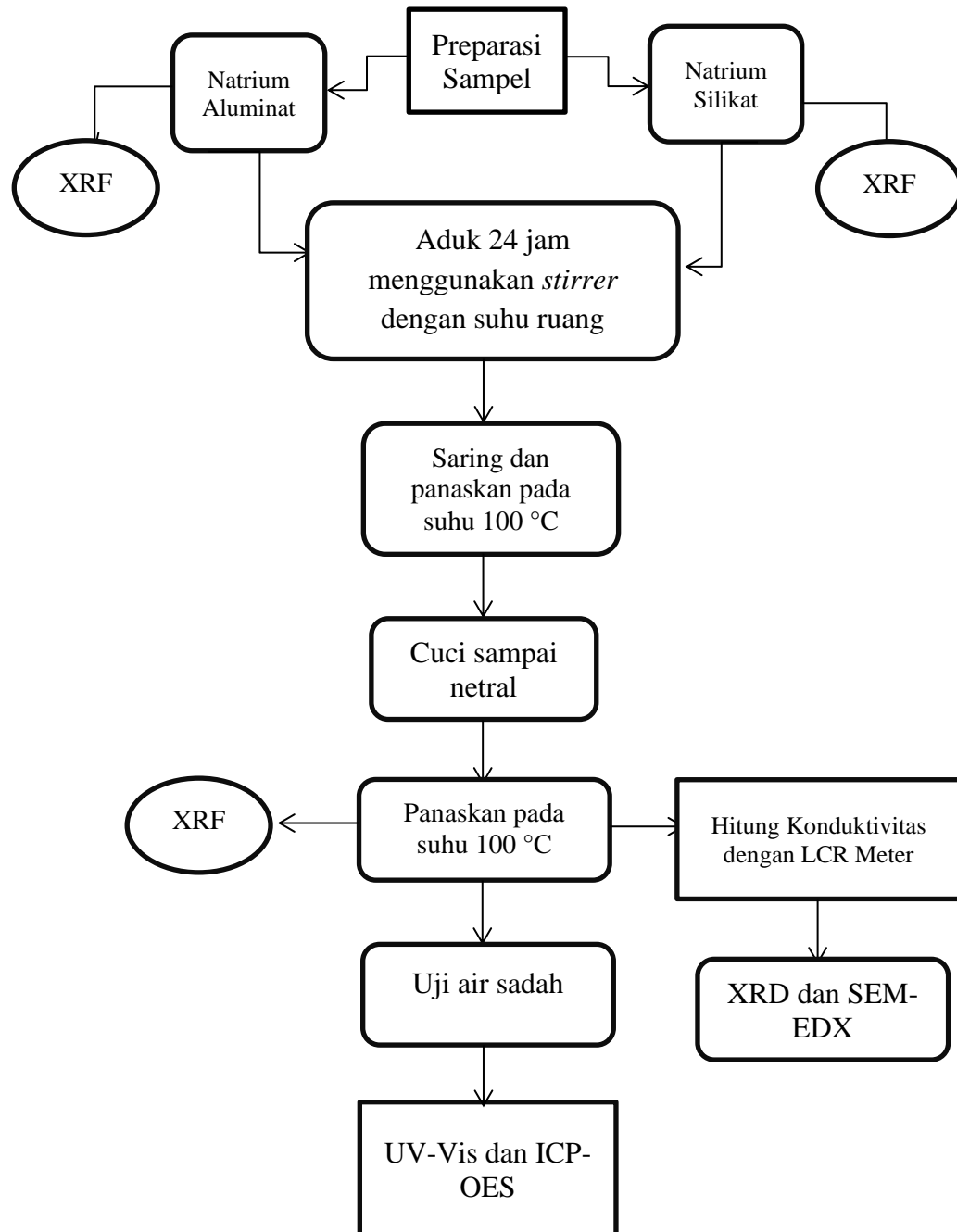


**Gambar 3.4** Diagram Alir Uji Adsorpsi Zeolit



## 5. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.5



**Gambar 3.5.** Diagram Alir Penelitian

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa

1. Zeolit yang dihasilkan memiliki nilai konduktivitas tertinggi sebesar  $50,76 \times 10^{-6}$  pada zeolit rasio Si/Al 0,83.
2. Zeolit yang dihasilkan mengandung mineral aluminium, silika, kapur, kalium, fosfor, titanium, vanadium, kromium, mangan dan besi.
3. Zeolit yang dihasilkan mampu menyerap pengotor dalam air sadah sehingga air sadah menjadi jernih. Zeolit juga mampu mengurangi kandungan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) pada air sadah.
4. Nilai adsorbansi zeolit terdapat pada rentang 0,0241-0,9036. Dimana adsorbansi zeolit terbesar terdapat pada zeolit rasio Si/Al 0,83.
5. Zeolit rasio Si/Al 0,83 adalah jenis zeolit A dengan rumus kimia  $\text{Al}_{12}\text{Na}_{12}\text{O}_{48}\text{Si}_{12}$ , mengandung *nacrite* dengan rumus kimia  $\text{Al}_2\text{H}_4\text{O}_9\text{Si}_2$  dan *Mitridatite* dengan rumus kimia  $\text{Ca}_6\text{Fe}_9\text{H}_{18}\text{O}_{51}\text{P}_9$ .
6. Zeolit rasio Si/Al 0,83 mempunyai permukaan yang tidak rata, dimana terdapat butiran-butiran halus dengan ukuran yang tidak seragam.
7. Zeolit rasio Si/Al 0,83 banyak mengandung oksigen, aluminium dan juga silika. Selain itu, zeolit yang dihasilkan juga mengandung unsur lainnya seperti klorin, zat besi, natrium dan juga magnesium.
8. Zeolit dengan rasio Si/Al 0,83 mengandung Oksigen sebanyak 49,47 %, karbon sebanyak 34,84 %, natrium sebanyak 7,76 %, aluminium sebanyak 4,81 %, silika sebanyak 2,64 %, iron sebanyak 0,16 %, klorin 0,8 % dan magnesium sebanyak 0,02 %.

9. Zeolit dengan rasio Si/Al 0,83 yang dihasilkan merupakan zeolit dengan kadar silika rendah dimana hanya sebanyak 2,64 % silika yang terkandung di dalamnya.

## **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya sebaiknya variasi natrium silikat dan natrium aluminat divariasikan lagi agar mendapatkan kualitas zeolit yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alshameri Arif., Wei Xinghu., Ammar Salman Dawood., Chen Xin., Chunjie Yan., dan Amer M. Assabri. 2019. Characterization of Yemeni Natural Zeolite (Al-Ahyuq Area) and its Environment Applications: A Review. *Journal of Ecological Engineering*. 20:157–166.
- Apreutesei., Roxana Elena., Cezar Catrinescu., dan Carmen Teodosiu. 2008. Surfactant Modified Natural Zeolites for Environmental Applications In Water Purification. *Environmental Engineering and Management Journal*. 7:149-161.
- Astuti., A. Chafidz., E. T. Wahyuni., A. Prasetya., I. M. Bendiyasa., dan A. E. Abasaeed. 2019. Methyl Violet Dye Removal Using Coal Fly Ash (CFA) As A Dual Sites Adsorbent, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 07:103-262
- Aslina Beru Ginting., Dian Anggraini., Sutri Indaryati., dan Rosika Kriswarini. 2007. Karakterisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori Dan Sifat Termal Dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya, Dan Lampung. *Teknologi Bahan Nuklir*. 03:01-48.
- Astini, v. 2008. *Efektifitas Penambahan Karbon Terhadap Proses Reduksi Lansung Besi Oksida*. (Skripsi), Universitas Indonesia, Jakarta.
- Ates, A., 2018. Effect of alkali-treatment on the characteristics of natural zeolits with different compositions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 523:266– 281.

- Bazrafshan, E., Amirian P., Mahvi A.H., dan Ansari Moghaddam. 2015. Application of Adsorption Process For Phenolic Compounds Removal From Aqueous Environments: A Systematic Review. *Global NEST Journal*, 18:146-163.
- Bish., David L., dan J. William Carey. 2018. *Thermal Behavior of Natural Zeolites*. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 45:403–452.
- Byrappa, K. dan Yoshimura, M. 2001. *Handbook of Hydrothermal Technology: A Technology for Crystal Growth and Materials Processing*. Noyes Publications, New Jersey, USA.
- Christyaningsih dan U. Diponegoro, 2020 Aplikasi Fisika Kuantum-Hamburan Pada X-Ray Diffraction (XRD), *Jurnal Fisika*. 18 :146-163.
- Cullity, B. D. 1978. *Elements Of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company., Inc. California.
- Deniz, 2017. *Manganese Adsorption by Iron Impregnated Pumice Composite*. (Skripsi), Namik Kemal University, Turki.
- Droste, Ronald. L, 1997. *Theory and Practice of Water & Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons. New York.
- Dyer A. 1998 *An Introduction to Zeolite Molecular Sieves*, John Willey and Sons Press. United States.
- Endahwati, L. 2011. *Kombinasi Proses Aerasi, Adsorpsi dan Filtrasi Pada Pengolahan Air Limbah Industri Perikanan*. (Skripsi). UPN Veteran. Jakarta
- Georgiev D, Bogdanov B, Krasimira A, Irena M, Hristov Y. 2009. Synthetic zeolites structure, classification, current trends in zeolite synthetic review. *International Science Conference*. 4-5.

- Gunawan, Budi., dan Citra Dewi Azhari. 2010. Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas Dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glicol (PEG). *Jurnal Sains dan Teknologi*. 03:0117.
- Handojo, L. 2019. Kalibrasi Spektrofotometer Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran Dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian. *Indonesian Joulnal Of Laboratory* 1 (2): 01-09.
- Harben, P.W & Kuzvart, M., 1996, Lanthanum Neodymium Co Substituted Calcium Fluorobriholites, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 06: 445-450.
- Hay, R. L., 1966, *Zeolites and zeolitic reactions in sedimentary rocks*. (Skripsi). University of Califonia, Berkeley, California.
- Hidayat, 2012, *Pemakaian Abu Sekam Padi pada Pembuatan Beton Ringan*. (Skripsi), Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Humaedi, A., 2012, *Pemanfaatan Batu Apung (Pumice) Sebagai Media Adsorpsi Limbah Cair*, (Skripsi), Universitas Mathla'ul Anwar, Banten.
- Jenkin, R., 1999. *X-Ray Flourescence Spectrometry*. John Willey and sons. Washington D.C.
- Karge, H. G. and J. Weitkamp. 2008. *Molecular Sieve: Science and Technology*. Heidelberg. Springer.
- Keller, Jurgen and Reiner Staudt. 2005. *Gas Adsorption Equilibria Experimental Methods and Adsorption Isotherms*. Boston. Springer.
- Lee, J. D. 1991. *Conice Inorganic Chemistry*. Chapman and Hall. London.
- Mahaddilla, Febri Melta, dan Ardian Putra. 2013. Pemanfaatan Batu Apung Sebagai Sumber Silika Dalam Pembuatan Zeolit Sintesis, *Jurnal Fisika Unand*. 02:262–68.

- Margeta, Karmen., Natasa Zabukovec Logar., Mario Siljeg., dan Anamarija Farkas. 2013. *Licensee InTech. Natural Zeolites in Water Treatment—How Effective is Their Use*. IntechOpen, Al Ain.
- Mega Putri K, Regina G.L.D., Ade L, Haiyina H., Nura H dan Darminto. 2017. Synthesis of Zeolites from Lombok Pumice as Silica Source for Ion Exchanger. *International Journal Of Electrochemical Science* 244–47.
- Mulyadi S, Dahlan D, Adril E. 2012. Pengaruh Persen Massa Hasil Pembakaran Serbuk Kayu dan Ampas Tebu pada Mortar terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisisnya. *Jurnal Ilmu Fisika*, 04:31–39.
- Ordenez, Salvador., dan Eva Díaz. 2009. *Basic Zeolites: Structure, Preparation and Environmental Applications*. (Skripsi). University of Oviedo Spain. Spanyol
- Oye, G., Sjoblon J., dan Stoker. 2011. Synthesis and Charecterization Of Siliceous and Aluminium-Containing Mesoporous Materials from Different Surfactant Solution, Micropor, Mesopor Mater. *International Journal Of Electrochemical Science* 27:171-180.
- Permatasari, A. 2017. *Analisis Logam Berat Cu, Co, dan V pada Sedimen Perairan Kabupaten Mamuju Menggunakan Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)*. (Skripsi). Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Priyanto, Agus. 2015. *Sintetis dan Aplikasi Silika Dari Abu Daun Bambu Petung (Dendrocalamus asper (Schult.f.) Backerex Heyne) untuk Mengurangi Kadar Ammonium dan Nitrat pada Limbah Cair Tahu*. (Skripsi), UIN Walisongo. Semarang
- Putra dan E. Yulianto, 2016..Stratigrafi Endapan Tsunami Krakatau 1883 di Daerah Limus, Pantai Barat Teluk Semangko, Lampung, *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geol.* 07:04-07

- Putri, H. M. Ritonga, V. Murdiati, dan R. Zainul, 2018. *a Review What Is Hydrothermal* .
- Rasyid, Rafitriany. 2011. *Perbandingan X-Ray Fluorescence (XRF) dan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometer (ICPOES) untuk Analisis Nikel dan Besi dalam Sampel Converter Slag pada Industri Pertambangan Nikel*. (Skripsi). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Belajar: Yogyakarta.
- Rosda, D., 2017, *Hubungan Porositas dan Densitas Mortar Berbasis Batu Apung*. (Skripsi). Universitas Andalas, Padang.
- Salman, Hana., Haitham Shaheen., Ghaiath Abbas., dan Nisreen Khalouf. 2017. Use of Syrian Natural Zeolite for Heavy Metals Removal from Industrial Waste Water: Factors and Mechanism. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 05:452-461.
- Saputra,. 2006. Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri, *Jurnal Hibah Bersaing*. 03:01–08.
- Sholichah, F., Arnelli, Ahmad S., 2013, *Pengaruh Waktu Hidrotermal pada Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi serta Aplikasinya sebagai Builder Deterjen*. (Skripsi). Universitas Diponegoro. Semarang.
- Seader, J. D., Ernest J. Henley, D. Keith Roper. 2011. *Separation Process Principles: Chemical and Biochemical Operation*. Westford : John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Setyawan. 2002. Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium Pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis. *Jurnal Ilmu Dasar*, 03:02.



- Simkin and R. S. Fiske. 1983. *Krakatau 1883 - a centennial retrospective on the eruption and its atmospheric effects*. Smithsonian Institution Press. Washington DC.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, dan Dimyati, A. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*.09:44–50.
- Suharyana. 2012. *Dasar-Dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X*. (Skripsi). Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Treacy, M.M.J. and Higgins, J.B. 2001. *Collection Of Simulated XRD Powder Patterns For Zeolites*. International Zeolite association. Amsterdam.
- Tsitsishvili, Vladimer., Nanuli Dolaberidze., Spartak Urotadze., Maia Alelishvili, Nato Mirdzveli., dan Manana Nijaradze. 2017. Ion Exchange Properties Of Georgian Natural Zeolites. *Chemistry Journal Of Moldova*. 12: 95-101.
- Tugsuu, Tserendorj., Yoshikazu Sugimoto., dan Byambajav Enkhsaruul. 2017. Preparation of the Natural Zeolite Based Catalyst for Hydrocracking Process of Petroleum Derived Atmospheric Residue. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 05: 14-22.
- Wardani, Laras Andria. 2012. *Validasi Metode Analisis dan Penentuan Kadar Vitamin C pada Minuman Buah Kemasan dengan Spektrofotometri UV-Visible*. (Skripsi). Universitas Indonesia. Jakarta.
- Winarno, F.G., S. Fardiaz., dan D. Fardiaz. 1992. *Pengantar Teknologi Pangan*. Gramedia. Jakarta.
- Zamani,H. A., Mina, R., Mohammad, R. A., Soraia, M., 2014. Al<sub>3</sub><sup>+</sup> Selective PVC Membrane Sensor Based on Newly Synthesized 1,4-bis[o- (pyridine-2-carboxamidophenyl)]-1,4-dithiobutane as Neutral Carrier, *International Journal Of Electrochemical Science*, 9:6495-6504.