

**PENGARUH PENAMBAHAN KARBON BERBASIS ARANG KAYU
KARET DALAM RASIO Si/Al TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS,
KOMPOSISI, STRUKTUR FASA, DAN STRUKTUR MIKRO PADA
ZEOLIT BUATAN DARI BATU APUNG LAMPUNG DAN LIMBAH
KALENG ALUMINIUM**

(Skripsi)

Oleh

MONICA OKTA VIOLETA

185704005



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

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN KARBON BERBASIS ARANG KAYU KARET DALAM RASIO Si/Al TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS, KOMPOSISI, STRUKTUR FASA, DAN STRUKTUR MIKRO PADA ZEOLIT BUATAN DARI BATU APUNG LAMPUNG DAN LIMBAH KALENG ALUMINIUM

Oleh

MONICA OKTA VIOLETA

Telah dilakukan penelitian untuk mengamati pengaruh penambahan karbon pada rasio Si/Al dalam pembuatan zeolit, komposisi zeolit yang dihasilkan, dan memanfaatkan zeolit untuk mengolah air sadah (mengurangi kadar kalsium (Ca) dan magnesium (Mg)). Zeolit terbuat dari silika batu apung, limbah kaleng aluminium, arang kayu karet, NaOH, dan aquades. Konduktivitas zeolit diukur dengan LCR meter, dikarakterisasi dengan XRF. Zeolit dengan nilai konduktivitas optimum dikarakterisasi dengan XRD dan SEM. Zeolit kemudian digunakan untuk mengolah air sadah. Air sadah yang dihasilkan diuji dengan UV-Vis dan ICP. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, konduktivitas tertinggi ditemukan $1,97 \times 10^{-5} S/cm$, pada zeolit dengan rasio Si/Al 0,5. Komposisi dari zeolit yang dihasilkan berupa mineral aluminium, silika, fosfor, kalium, kalsium, titanium, vanadium, kromium, mangan, dan besi. Jenis zeolit konduktivitas optimum rasio 0,5 dan UV-Vis optimum rasio 0,75 menghasilkan Zeolit A. Difraktogram XRD menunjukkan bahwa zeolit membentuk fasa *zeolite A*, *sodalite*, *chabazite*, *thermonatrite*, dan *coesite*. Nilai adsorbansi dalam rentang 0,2992 – 0,8974. Zeolit dengan adsorbansi terbesar dalam rasio Si/Al 0,75. Zeolit yang dihasilkan dapat menyerap senyawa pengotor pada air sadah sehingga air sadah menjadi lebih jernih dan dapat menurunkan konsentrasi Mg dan Ca pada air sadah.

Kata kunci: Batu apung, zeolit, air sadah.

ABSTRACT

THE EFFECT OF ADDITION OF CARBON-BASED RUBBER WOOD CHARCOAL IN THE RATIO OF SI/AL ON CONDUCTIVITY, COMPOSITION, PHASE STRUCTURE, AND MICROSTRUCTURE OF ZEOLITE MADE FROM LAMPUNG FLOATING STONE AND ALUMINUM CAN WASTE

By

MONICA OKTA VIOLETA

Research has been carried out to observe the effect of adding carbon on the Si/Al ratio in the manufacture of zeolite, the composition of the resulting zeolite, and the use of zeolite to treat hard water (reducing calcium (Ca) and magnesium (Mg)). Zeolite is made from silica pumice, aluminum cans, rubber wood charcoal, NaOH, and distilled water. Zeolite conductivity was measured by an LCR meter, characterized by XRF. XRD and SEM characterized zeolite with optimum conductivity value. The zeolite is then used to treat hard water. The resulting hard water was tested with UV-Vis and ICP. Based on the research, the highest conductivity was found to be $1,97 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$, in the zeolite with a Si/Al ratio of 0.5. The composition of the resulting zeolite consists of the minerals aluminum, silica, phosphorus, potassium, calcium, titanium, vanadium, chromium, manganese, and iron. The optimum zeolite conductivity ratio of 0.5 and UV-Vis ratio of 0.75 produced Zeolite A. The XRD diffractogram showed that the zeolite formed zeolite-A, sodalite, chabazite, thermonatrite, and coesite phases. Absorbance values in the range 0,2992 – 0,8974. Zeolite with the greatest adsorption in Si/Al ratio of 0.75. The resulting zeolite can absorb impurities in hard water so that the hard water becomes clearer and can reduce the concentration of Mg and Ca in hard water.

Keywords: *pumice, zeolite, and hard water.*

**PENGARUH PENAMBAHAN KARBON BERBASIS ARANG KAYU
KARET DALAM RASIO Si/Al TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS,
KOMPOSISI, STRUKTUR FASA, DAN STRUKTUR MIKRO PADA
ZEOLIT BUATAN DARI BATU APUNG LAMPUNG DAN LIMBAH
KALENG ALUMINIUM**

Oleh

MONICA OKTA VIOLETA

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



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

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Penelitian : Pengaruh Penambahan Karbon Berbasis Arang Kayu Karet dalam Rasio Si/Al terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Fasa, dan Struktur Mikro pada Zeolit Buatan dari Batu Apung Lampung dan Limbah Kaleng Aluminium

Nama Mahasiswa : Monica Okta Violeta

Nomor Pokok Mahasiswa : 1857041005

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.

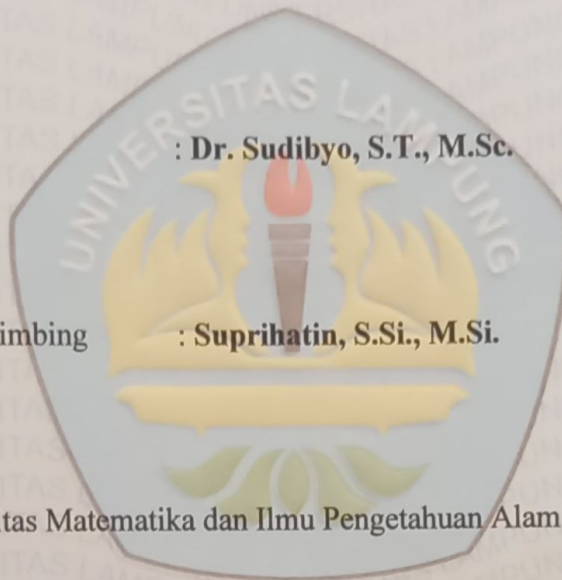
Sekretaris

: 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: 08 Februari 2023

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 08 Februari 2023



Monica Okta Violeta

NPM. 1857041005

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Monica Okta Violeta, lahir pada tanggal 17 Oktober 1999 di Kabupaten Tanggamus. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Bapak Hendro Saputro dan Ibu Yunir. Penulis memulai pendidikan di SD N 1 Tegal Binangun dan lulus pada tahun 2011. Penulis kemudian menempuh pendidikan sekolah menengah di MTs S Diniyyah Puteri Lampung dan lulus pada tahun 2014. Setelah itu, penulis melanjutkan masa pendidikannya di MA S Diniyyah Puteri Lampung. Selama menempuh pendidikan menengah atas, penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Pencak Silat Pusiban Lampung (HPPL), Praja Muda Karana (Pramuka), dan *Central Language Improvement (CLI)* Diniyyah Puteri Lampung, dan lulus pada tahun 2017. Selama masa *gap year* penulis aktif mengajar di *Lovable English Therapy* Pare, Jawa Timur.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMPN), penulis pernah mengikuti Karya Wisata Ilmiah (KWI) di Kecamatan Way Bungur, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2018. Pada tahun 2019 penulis menjadi panitia *Event Division (ED)* sekaligus pembawa acara Karya Wisata Ilmiah (KWI) di Lampung Timur. Pada tahun 2018-2020 penulis mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota di bidang Sosial Masyarakat (SOSMAS), dan menjadi anggota bidang akademik Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) *English Society (ESo)* Unila. Pada awal tahun 2021 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) putra-putri daerah di Desa Margoyoso, Kecamatan Sumberejo, Kabupaten Tanggamus. Kemudian ditahun yang sama penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium

Material, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Pembuatan Silika dan Borosilikat KOH (Kalium Hidroksida) Berbasis Sekam Padi Menggunakan Metode Sol Gel”. Penulis juga mengikuti program Kredensial Mikro Mahasiswa Indonesia (KMMI) Merdeka Belajar - Kampus Merdeka (MBKM) oleh Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud) pada akhir tahun 2021. Penulis juga menyelesaikan penelitian skripsi di **Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN** dengan judul **“Pengaruh Penambahan Karbon Berbasis Arang Kayu Karet dalam Rasio Si/Al terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Fasa, dan Struktur Mikro pada Zeolit Buatan dari Batu Apung Lampung dan Limbah Kaleng Aluminium”**.

MOTTO

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا ۚ

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah : 286)

وَعَسَىٰ أَنْ تَكْرَهُوا شَيْئًا وَهُوَ خَيْرٌ لَّكُمْ ۚ وَعَسَىٰ أَنْ تُحِبُّوا شَيْئًا وَهُوَ شَرٌّ لَّكُمْ ۗ وَاللَّهُ يَعْلَمُ وَأَنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ ۚ

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”

(Al-Baqarah : 216)

وَمَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ بِهِ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ

"Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga."

(HR. Muslim, No. 2699).

الصَّبْرُ كَالصَّبْرِ مُرْفَىٰ مَذَاقَتِهِ # لَكِنَّ عَوَاقِبَهُ أَحْلَىٰ مِنَ الْعَسَلِ

Kesabaran itu seperti *Shabir* (sejenis tanaman obat) yang rasanya pahit
Akan tetapi hasil yang didapatkan setelahnya lebih manis daripada madu

كُنْ حَلِيمًا إِذَا بُلِيتَ بَغِيْظٍ # وَصَبُورًا إِذَا أَتَتْكَ مُصِيبَةٌ

Jadilah penyantun jika engkau diuji dengan sebuah kemarahan
Dan jadilah penyabar jika engkau didatangi oleh sebuah musibah
(Mahfudzat)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

**Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karya ini
dipersembahkan kepada:**

Orang Tuaku:

Ibu Yunir

Seorang ibu yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, dan senantiasa memberikan do'a yang tidak pernah ada putusnya serta segala upaya yang telah dilakukan untuk memberikan yang terbaik sehingga aku dapat menyelesaikan pendidikan sampai S1

Keluarga Besar dan Teman-teman

Terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan sehingga dapat tetap bertahan dalam keadaan suka maupun duka

Bapak/Ibu Dosen Fisika FMIPA Unila

Terimakasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan kepadaku

Bapak/Ibu Periset P RTPB BRIN Tanjung Bintang

Terimakasih telah membimbing selama menyelesaikan tugas akhir

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala Rahmat, Taufik serta Hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Karbon Berbasis Arang Kayu Karet dalam Rasio Si/Al terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Fasa, dan Struktur Mikro pada Zeolit Buatan dari Batu Apung Lampung dan Limbah Kaleng Aluminium”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi literatur serta rujukan bagi penelitian-penelitian berikutnya.

Bandar Lampung, 08 Februari 2023

Monica Okta Violeta

SANWACANA

Puji syukur atas karunia Allah SWT, karena atas berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Pengaruh Penambahan Karbon Berbasis Arang Kayu Karet dalam Rasio Si/Al terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Fasa, dan Struktur Mikro pada Zeolit Buatan dari Batu Apung Lampung dan Limbah Kaleng Aluminium”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Selama menyelesaikan skripsi ini, penulis telah menerima banyak bantuan secara langsung maupun tidak langsung sehingga membuat hasil karya ini menjadi lebih baik. Dengan segala kerendahan hati, penulis menghaturkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Pertama sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang banyak memberi bimbingan, arahan, nasihat, motivasi, serta ilmunya.
2. Bapak Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc., selaku Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu dan tenaga, serta senantiasa mengarahkan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., selaku Pembahas yang telah banyak memberikan pemahaman baru, kritik, dan saran yang membangun dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si, M.Si., selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh bangku perkuliahan.
8. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi dan lainnya selama menjadi mahasiswa Jurusan Fisika.
9. Ibuku tercinta Ibu Yunir, Asyraf, Mbah Putri, Mbah Koko, Bude Lis, Bulek Rita, Mba Ayu, A'aisy, serta keluarga besar yang selalu memberikan doa dan motivasi untuk penulis.
10. Rekan seperjuangan penelitian Noni Susanti, Nindia Agustin, Calvin Alivia Wartiman, dan Rizki Alam atas kerjasamanya selama melaksanakan penelitian ini, saling memberi semangat dan selalu membantu dalam setiap kesempatan.
11. Para teman-teman seperjuangan Elyana Irawati, Wiwin Sulistiani, Annisa Ghina Istighfarany, Rini Vamulia, Intan Pubiyanti, Yessi Efridahniar, dan Mei Suryani yang selalu memberi semangat, motivasi dan dukungan dalam segala kondisi.
12. Teman-teman Fisika Angkatan 2018 atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan motivasi, bantuan moril maupun materil kepada penulis.

Semoga Allah SWT memberikan imbalan berlipat dan memudahkan langkah semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 08 Februari 2023

Monica Okta Violeta

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Zeolit	6
2.2 Struktur Zeolit	7

2.3	Klasifikasi Zeolit	9
2.3.1	Zeolit Alam	9
2.3.2	Zeolit Sintetis	10
2.4	Batu Apung	12
2.5	Kayu Karet	13
2.6	Arang atau Karbon	14
2.7	Aluminium	15
2.8	Metode Hidrotermal	16
2.9	Kesadahan Air	17
2.10	Konduktivitas	18
2.11	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	19
2.12	<i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	21
2.13	<i>Spektrofotometri Ultra Violet Visible (UV-Vis)</i>	22
2.14	<i>Inductively Coupled Plasma (ICP-OES)</i>	24
2.15	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	26
III.	METODE PENELITIAN	29
3.1	Waktu dan Tempat	29
3.2	Alat dan Bahan	29
3.3	Prosedur Penelitian	29
3.3.1	Karbonisasi Kayu Karet	30
3.3.2	Pembuatan Natrium Silikat	30
3.3.3	Pembuatan Natrium Aluminat	30
3.3.4	Pembuatan Zeolit	31
3.3.5	Uji Adsorpsi Zeolit pada Air Sadah	32
3.4	Diagram Alir Penelitian	34
3.4.1	Pembuatan Arang Kayu Karet	35
3.4.2	Pembuatan Natrium Silikat	36
3.4.3	Pembuatan Natrium Aluminat	37
3.4.4	Pembuatan Zeolit dengan Metode Hidrotermal	38
3.4.5	Uji Adsorpsi Zeolit untuk Menurunkan Kesadahan Air	39
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1	Natrium Silikat dari Batu Apung	40
4.1.1	Hasil <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i> Batu Apung	40
4.1.2	Hasil <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i> Natrium Silikat	41
4.2	Natrium Aluminat dari Aluminium	42
4.2.1	Hasil <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i> Natrium Aluminat	42
4.3	Karakterisasi Zeolit Buatan	43
4.3.1	Pengukuran Konduktivitas Zeolit	44
4.3.2	Hubungan Konduktivitas Zeolit terhadap Natrium Silikat, Natrium Aluminat dan Arang Kayu Karet	46
4.4	Uji Adsorpsi pada Air Sadah	49
4.4.1	Uji Adsorpsi Air Sadah	49
4.4.2	Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis	51
4.4.3	Karakterisasi ICP-OES	54
4.5	Hasil Karakterisasi Zeolit	55
4.5.1	Hasil Karakterisasi XRF Zeolit	55

4.5.2 Hasil Karakterisasi XRD Zeolit	57
4.5.3 Hasil Karakterisasi SEM-EDX	60
V. KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	76
1. Perhitungan Konduktivitas Zeolit	77
2. Hasil Karakterisasi XRF Natrium Silikat dan Natrium Aluminat	81
3. Hasil Karakterisasi XRF Zeolit Buatan	83
4. Hasil Karakterisasi XRD Zeolit	93
5. Hasil Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis	98
6. Alat dan Bahan Pembuatan Zeolit Buatan	104
7. Dokumentasi Penelitian	107
8. Video Tutorial Pengolahan Data XRD	113

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Jenis-jenis Zeolit Alam	10
Tabel 2. 2 Zeolit Sintetis dan Kegunaannya	11
Tabel 2. 3 Jenis-jenis Zeolit Sintetis	11
Tabel 2. 4 Nilai resistivitas bahan semikonduktor, konduktor dan isolator.....	19
Tabel 3. 1 Variasi perbedaan rasio natrium silikat, natrium aluminat, dan arang kayu karet.....	29
Tabel 4. 1 Hasil karakterisasi XRF batu apung.....	40
Tabel 4. 2 Kandungan Senyawa Natrium Silikat	40
Tabel 4. 3 Kandungan senyawa natrium aluminat	43
Tabel 4. 4 Hasil pembuatan zeolit buatan terhadap konduktivitas.....	45
Tabel 4. 5 Hasil karakterisasi UV-Vis	49
Tabel 4. 6 Data hasil uji spektrofotometri UV-Vis air sadah pada panjang gelombang 450 <i>nm</i>	50
Tabel 4. 7 Persentase penurunan adsorbansi pada panjang gelombang 450 <i>nm</i> ...	51
Tabel 4. 8 Jumlah kandungan zeolit.....	54
Tabel 4. 9 Hasil karakterisasi XRF kandungan unsur zeolit.....	56
Tabel 4. 10 Hasil karakterisasi EDX.....	64

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Bentuk unit bangun primer zeolit.....	7
Gambar 2. 2 Unit bangun sekunder zeolit.....	8
Gambar 2. 3 Unit bangun tersier zeolit	8
Gambar 2. 4 Batu apung.....	12
Gambar 2. 5 Kayu karet	13
Gambar 2. 6 Arang kayu karet	14
Gambar 2. 7 Kaleng aluminium	16
Gambar 2. 8 Alat <i>X-Ray Diffraction</i>	20
Gambar 2. 9 Alat <i>X-Ray Fluorescence</i>	22
Gambar 2. 10 Alat Spektrofotometer UV-Vis	23
Gambar 2. 11 Diagram alat Spektrometer UV-Vis <i>Single-beam instrument</i>	23
Gambar 2. 12 Skema Spektrofotometer UV-Vis (<i>Double-beam</i>).....	24
Gambar 2. 13 Alat <i>Inductively Coupled Plasma (ICP)</i>	25
Gambar 2. 14 Komponen SEM.....	26
Gambar 2. 15 Alat SEM.....	27
Gambar 3. 1 Diagram alir seluruh penelitian	34
Gambar 3. 2 Proses karbonisasi arang kayu karet.....	35
Gambar 3. 3 Proses pembuatan natrium silikat.....	36
Gambar 3. 4 Proses pembuatan natrium aluminat	37
Gambar 3. 5 Tahapan proses pembuatan zeolit buatan.....	38

Gambar 3. 6 Tahapan proses uji adsorpsi zeolit	39
Gambar 4. 1 Sampel batu apung	41
Gambar 4. 2 Natrium aluminat	42
Gambar 4. 3 Zeolit buatan.....	44
Gambar 4. 4 Perbandingan variasi natrium silikat dengan nilai konduktivitas.....	46
Gambar 4. 5 Perbandingan nilai konduktivitas dan arang kayu karet.....	47
Gambar 4. 6 Pengaruh massa natrium silikat, natrium aluminat, dan arang kayu karet terhadap nilai konduktivitas.....	48
Gambar 4. 7 Hasil karakterisasi XRD zeolit dengan hasil konduktivitas terbesar	57
Gambar 4. 8 Hasil karakterisasi XRD zeolit dengan UV-Vis terbesar	58
Gambar 4. 9 Hasil karakterisasi SEM zeolit sampel optimum uji LCR Meter dengan perbesaran 15000 kali.....	60
Gambar 4. 10 Hasil karakterisasi SEM-EDX senyawa zeolit sampel optimum hasil uji LCR Meter dengan perbesaran 15000 kali	61
Gambar 4. 11 Spektrum EDX zeolit buatan hasil uji LCR Meter	61
Gambar 4. 12 Hasil karakterisasi SEM zeolit sampel terbaik hasil karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis dengan perbesaran 15000 kali	62
Gambar 4. 13 Hasil karakterisasi SEM-EDX zeolit sampel Spektrofotometri UV- Vis dengan perbesaran 15000 kali.....	62
Gambar 4. 14 Spektrum EDX zeolit buatan hasil uji Spektrofotometri UV-Vis...	63

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu permasalahan yang sering timbul di era modernisasi yaitu permasalahan sampah. Berdasarkan data Kementerian Negara Lingkungan Hidup Indonesia (KNLH) di tahun 2017 produksi sampah di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun. Timbunan sampah tersebut menyebabkan pencemaran di darat, air, maupun udara (Sumanik *et al.*, 2019). Salah satu penyebab terjadinya pencemaran karena perkembangan industri makanan dan minuman kaleng sehingga meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan (Ariani dan Mahmudah, 2017). Hal ini terjadi karena pemanfaatan limbah kaleng belum dilakukan secara maksimal. Limbah kaleng dapat mencemari tanah dan menyebabkan polusi tanah, limbah dari kaleng minuman merupakan sampah anorganik yang perlu di daur ulang (Busyairi *et al.*, 2018). Daur ulang menjadi salah satu cara pengolahan yang efektif karena dapat menghasilkan suatu produk yang memiliki nilai ekonomis dan harga jual. Kandungan kaleng minuman pada umumnya aluminium, karena sifat aluminium lebih ringan dari baja, tidak beracun, tidak berbau, penghasil panas yang baik, dapat di daur ulang sehingga tepat digunakan sebagai bahan kaleng minuman (Manurung dan Ayuningtyas, 2010). Dalam mengatasi permasalahan sampah minuman kaleng yang semakin bertambah setiap harinya maka diperlukan cara untuk mengatasinya salah satunya dengan menjadikannya sebagai sumber alumina dalam pembuatan zeolit buatan.

Zeolit merupakan material kristal aluminosilikat yang memiliki pori dan kerangka yang berbentuk molekul (Wustoni *et al.*, 2011). Zeolit terdapat pada alam dan juga hasil sintesis di laboratorium maupun industri. Zeolit alam yang terkandung dalam mineral memiliki potensi yang cukup besar di Indonesia khususnya pada daerah yang terletak pada jalur vulkanik. Sumber zeolit alam Indonesia umumnya

mengandung struktur (topologi) Modernit, Clinoptilolit, dan Smectit (Suminta, 2005). Kemurnian yang rendah dari zeolit alam menyebabkan pemanfaatannya kurang optimal jika dibandingkan dengan zeolit sintetik (Barrer dan Rosemblat, 1982). Berdasarkan pernyataan tersebut, maka dilakukan penelitian yang mengarah pada peningkatan kemurnian zeolit alam dan memiliki kristalinitas yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan nilai manfaatnya (Weitkamp, 2000). Salah satu zeolit alam yang memiliki kandungan silika yang cukup tinggi adalah batu apung.

Batu apung (*pumice*) merupakan endapan vulkanik yang sering dijumpai di Indonesia, sekitar 30% gunung aktif di dunia berada di wilayah Indonesia (Pratomo, 2006). Gunung dengan status aktif yang pernah meletus pada tahun 1883 berada di Provinsi Lampung (Simkin dan Fiske, 1983). Akibat dari letusan gunung tersebut menghasilkan endapan vulkanik yang tersebar di wilayah yang terdampak letusan gunung. Terdapat beberapa daerah di Provinsi Lampung yang terkena dampak letusan gunung tersebut yaitu Kabupaten Lampung Selatan dan Kabupaten Tanggamus melalui letusan material vulkanik maupun tsunami yang terjadi (Putra dan Yulianto, 2017). Zeolit alam Lampung merupakan jenis klinoptilolit yang memiliki luas permukaan dan pori yang lebih besar daripada zeolit Bayah dan Tasikmalaya (Suka *et al.*, 2008). Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Rahmani, batu apung kaya akan silika dan alumina yang dapat digunakan sebagai adsorben alami dan murah untuk menghilangkan minyak, lemak, nitrat, strontium, sesium, fosfor, tembaga, nikel dan senyawa fenolik (Rahmani *et al.*, 2018).

Selain itu, Indonesia memiliki potensi hutan yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Banyaknya kayu dari pepohonan masih belum dimanfaatkan dengan baik, kayu biasanya digunakan dalam industri pengolahan kayu untuk memenuhi kebutuhan papan, dari industri ini menghasilkan limbah kayu penebangan dan limbah industri kayu. Limbah berupa balok atau serpihan kayu yang dapat digunakan menjadi arang, briket arang, dan karbon. Indonesia merupakan salah satu penghasil karet terbesar termasuk Lampung. Salah satu limbah kayu yang potensial adalah limbah kayu tanaman karet. Indonesia berkontribusi sebagai

penghasil karet alam sebesar 40% dari total perkebunan karet dunia (Woelan *et al.*, 2012). Seiring dengan besarnya area perkebunan karet tentu akan menghasilkan limbah kayu yang besar pula sehingga perlu adanya perkembangan dalam pemanfaatan limbah tersebut. Dalam penelitian ini limbah kayu karet dimanfaatkan sebagai karbon, dengan mengubahnya menjadi arang. Arang merupakan residu padat dari penguraian kayu yang sebagian besar komponen kimianya karbon (Yao *et al.*, 2018). Pembuatan arang dapat dilakukan dengan proses karbonisasi.

Zeolit sintetik dikembangkan berdasarkan dua bidang utama termasuk berdasarkan bahan baku dan metode sintesisnya. Perkembangan faktor bahan utama meliputi bahan baku sintetik dan bahan baku yang limbah, oleh karena itulah penelitian ini dilakukan. Belakangan ini banyak peneliti menggunakan bahan dari alam agar lebih ekonomis dalam pembuatannya. Seperti dalam pembuatan zeolit sintesis dari abu sekam padi (Putranto dan Kusumastuti, 2015), limbah batu bara (Septiani *et al.*, 2016), abu terbang (Andarini *et al.*, 2018), limbah kaca (Amelia *et al.*, 2018), dan batu apung (Mahaddilla dan Putra, 2013).

Beberapa peneliti yang telah melakukan pembuatan zeolit dari natrium silikat dan natrium aluminat, salah satunya dilakukan oleh Warsito (2008) mengenai pembuatan zeolit buatan menggunakan metode hidrotermal dengan cara mencampurkan natrium silikat dari abu sekam padi dan natrium aluminat dari $Al(OH_3)$ yang ditambahkan variasi konsentrasi surfaktan *Cetyltrimethyl ammonium bromide* (n-CTMABr), kemudian dikarakterisasi Difraktometer Sinar-X (XRD), spektrofotometer infra merah dan *surface area analyser*. Penelitian tersebut memperoleh kesimpulan sintesis zeolit dari abu sekam padi dengan template n-CTMABr belum dapat menghasilkan zeolit Y, tetapi menghasilkan campuran jenis zeolit HS dan natrium aluminat silikat hidrat. Serta penambahan n-CTMABr dapat meningkatkan kristalinitas dan ukuran pori pada zeolit.

Pembuatan zeolit menggunakan metode hidrotermal telah dilakukan oleh Mahaddilla dan Putra (2013), zeolit dibuat dengan mencampurkan natrium silikat dari batu apung dan natrium aluminat dari $Al(OH_3)$ dan variasi rasio Si/Al sampel

1 sebesar 0,67, sampel 2 sebesar 1, sampel 3 sebesar 1,33, sampel 4 sebesar 1,67, sampel 5 sebesar 2,00. Setelah zeolit terbentuk dilakukan karakterisasi LCR meter dan Difraktometer Sinar-X (XRD). Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan batu apung dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit sintetis menggunakan metode hidrotermal. Dari hasil XRD diketahui perbandingan rasio Si/Al rendah zeolit sintetis batu apung menghasilkan zeolit tipe A, dengan rasio 15:15 yang merupakan zeolit dengan nilai pertukaran ion paling tinggi karena nilai konduktivitas yang dimilikinya.

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dilakukan inovasi dalam pembuatan zeolit yaitu dengan mencampurkan natrium silikat, natrium aluminat, dan arang kayu karet sebagai tambahan. Natrium silikat diperoleh dari batu apung Lampung, natrium aluminat diperoleh dari limbah kaleng aluminium, dan limbah kayu karet yang diolah menjadi arang. Secara garis besar, prosedur pembuatan zeolit dari batu apung yaitu preparasi batu apung, sintesis silika pada batu apung, sintesis natrium aluminat, sintesis zeolit, dan karakterisasi sampel hasil sintesis (Kurniawidi *et al.*, 2021). Pada penelitian ini dilakukan variasi natrium silikat, natrium aluminat, dan arang kayu karet dalam zeolit buatan. Kemudian dilakukan karakterisasi LCR Meter untuk mengetahui nilai konduktivitas dari zeolit yang dihasilkan. Dari karakterisasi LCR Meter akan diperoleh sampel optimum yang kemudian dikarakterisasi *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)* untuk mengetahui komposisi (morfologi), struktur kristal dan struktur mikro dari zeolit yang dihasilkan. Kemudian dilakukan uji adsorpsi air sadah yang bertujuan untuk mengetahui persentase penurunan kandungan senyawa pengotor dalam air sadah. Setelah itu, melakukan karakterisasi Spektrofotometri *Ultra Violet-Visible (UV-Vis)* dan diperoleh sampel optimum yang kemudian dikarakterisasi *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*, *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)* pada zeolit yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapakah nilai konduktivitas dari zeolit buatan?
2. Apa saja komposisi dari zeolit buatan?
3. Bagaimana bentuk struktur kristal dan struktur mikro pada sampel optimum zeolit buatan?
4. Bagaimana kemampuan zeolit buatan dalam menyerap magnesium dan kalsium pada air sadah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai konduktivitas zeolit buatan.
2. Mengetahui komposisi yang dihasilkan zeolit buatan.
3. Mengetahui bentuk struktur kristal dan struktur mikro pada sampel optimum zeolit buatan.
4. Mengetahui kemampuan zeolit buatan dalam menyerap magnesium dan kalsium pada air sadah.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Natrium silikat terbuat dari silika batu apung Lampung, natrium aluminat terbuat dari limbah kaleng aluminium, dan arang terbuat dari kayu karet.
2. Melakukan uji zeolit buatan pada air sadah.
3. Karakterisasi pada sampel menggunakan LCR Meter, XRD, XRF, SEM-EDX, Spektrofotometri UV-Vis, dan ICP-OES.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memanfaatkan potensi batu apung di Provinsi Lampung, limbah kaleng aluminium, dan arang kayu karet sebagai bahan pembuatan zeolit buatan.
2. Memanfaatkan zeolit buatan dalam mengurangi kesadahan air.
3. Dapat menjadi rujukan dan referensi untuk penelitian mendatang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit

Zeolit berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari kata “*zein*” bermakna buih dan “*lithos*” berarti batuan, sehingga *zeolithos* disebut sebagai batu berbuih yang telah ditemukan oleh Axel F. Cronstedt tahun 1756. Zeolit dimanfaatkan sebagai pendehidrasi, penukar ion dan adsorben (Said *et al.*, 2008). Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari ikatan SiO_4 dan AlO_4 tetrahedra yang dihubungkan oleh atom oksigen membentuk kerangka. Pada kerangka zeolit, tiap atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan dengan kation yang mudah dipertukarkan yang mana kation ini ada pada kerangka zeolit yang akan berpengaruh dalam proses adsorpsi dan sifat termal zeolit (Özkan dan Dokumacı, 2019). Aktivasi zeolit ditujukan untuk modifikasi sifat-sifat zeolit dan memperbaiki karakter zeolit (Utami, 2017).

Silikon yang terkandung di dalam kerangka zeolit umumnya bersifat netral dan diganti oleh aluminium bermuatan listrik, sehingga muatan listrik kristal zeolit tersebut bertambah. Muatan listrik yang terdapat di dalam kristal zeolit umumnya diimbangi oleh kation-kation logam seperti K, Na, dan Ca yang berada di dalam kerangka zeolit. Pada kristal zeolit terdapat dua jenis 8 molekul air, yaitu molekul air yang terikat kuat dan molekul air bebas (Smart, L. dan Moore, 1993). Zeolit memiliki beberapa manfaat diantaranya sebagai katalis, molecular sieve pada aplikasi fotonik, membran, penukar ion, dan lain-lain (Corrado *et al.*, 2003).

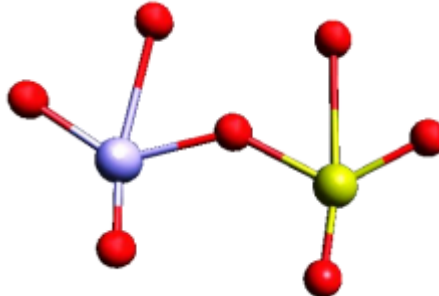
Berdasarkan perbandingan molar Si/Al, zeolit dikelompokkan sebagai berikut:

1. Zeolit kandungan silika rendah (*low silica*) memiliki perbandingan molar Si/Al adalah 1.

2. Zeolit kandungan silika sedang (*intermediate silica*) memiliki perbandingan molar Si/Al adalah 5 dan sangat selektif untuk pemisahan air dan molekul polar.
3. Zeolit kandungan silika tinggi (*high silica*) memiliki perbandingan molar Si/Al=10-100 atau lebih tinggi, sifatnya sangat hidrofobik dan menyerap molekul yang tidak polar, seperti ZSM-5 (Khodariya *et al.*, 2021)

2.2 Struktur Zeolit

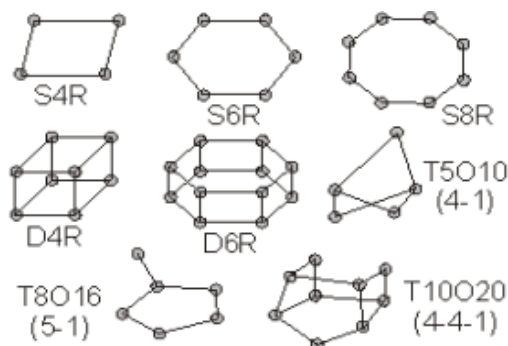
Langkah-langkah pembentukan zeolit menjadi kerangka tiga dimensi meliputi Unit Primer (*Primary Building Unit*), Unit Sekunder (*Secondary Building Unit*), Unit Tersier (*Tertiary Unit Building*). Unit struktural primer zeolit terdiri dari tetrahedral (SiO_4), (AlO_4) atau (PO_4) adalah struktur dasar unit pembangun kerangka zeolit. Unit Bagun Primer adalah fase terbentuknya zeolit karena setiap kerangka atom T terkoordinasi yang memiliki 4 atom oksigen, maka setiap atom oksigen berosilasi dua kerangka atom T. Struktur dasar sesuai dengan bentuk TO_4 tetrahedral (T = Si, Al) seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Bentuk unit bangun primer zeolit
(Bohács *et al.*, 2017)

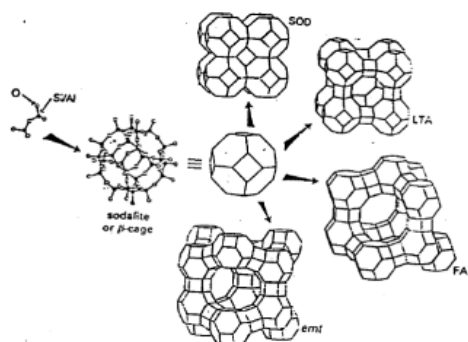
Unit bangun sekunder atau unit tambahan adalah unit pembangun zeolit yang terdiri dari komponen yang tidak terbatas pada pembentukan rantai dan lapisan. Unit bangunan sekunder ini terdiri dari 16 tetrahedra dimana setiap atom saling berkoordinasi (atom T) diambil dari kerangka pada unit bangun primer. Selanjutnya mata rantai tetrahedral ini membentuk suatu cincin/ lingkaran atau sangkar disebut unit bangunan kedua seperti terlihat pada Gambar 2.2, tersusun teratur dan berulang (berperiodik) dalam ruang tiga dimensi membentuk material

berstruktur sangkar atau disebut juga material poros. Material berbentuk sangkar inilah yang kemudian dinamakan zeolit yang dapat kita lihat pada berbagai unit bangun sekunder sesuai Gambar 2.2.



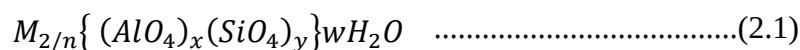
Gambar 2. 2 Unit bangun sekunder zeolit (Bohács *et al.*, 2017)

Unit bangun tersier merupakan gabungan dari unit bangunan sekunder, yang kemudian membentuk struktur tiga dimensi kombinasi menjadi struktur yang berbeda. Unit bangun tersier adalah polihedron besar simetris terdiri dari senyawa tetrahedral, disebut "*polyhedral building block*" adalah kombinasi dari blok bangun sekunder. Penggabungan satu set unit bangun sekunder yang teratur membentuk kristal zeolit cukup besar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Unit bangun tersier zeolit

Bentuk struktur yang unik ini memungkinkan zeolit bersifat sebagai absorber, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalis. Sifat penukar ion ini disebabkan oleh struktur sangkar yang mengandung atom Al dan Si berkoordinasi (berikatan) dengan empat atom oksigen dalam bentuk *Tetrahedra Alumino Silicat*, sehingga atom Al akan bermuatan negatif dan selalu dinetralkan oleh kation alkali atau alkali tanah untuk membentuk struktur sangkar zeolit yang stabil. Rumus empiris zeolit pada umumnya secara *crystallographic* dalam unit sel adalah



Dengan M sebagai kation yang dapat dipertukarkan, n sebagai valensi logam alkali, $(x+y)$ sebagai jumlah tetrahedra dalam unit sel (x dan y adalah bilangan tertentu), dan W sebagai jumlah molekul air dalam unit sel H_2O (Suminta, 2005).

2.3 Klasifikasi Zeolit

2.3.1 Zeolit Alam

Jenis zeolit alam dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu:

- a. Zeolit yang terdapat di antara celah-celah batuan, zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit dan mineral sulfida.
- b. Zeolit yang berupa batuan; hanya sedikit jenis zeolit yang berbentuk batuan, diantaranya adalah: klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabasit dan heulandite (Lestari, 2010).

Zeolit alam terbentuk melalui proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Selain itu zeolit diketahui memiliki komposisi kation yang sangat bervariasi diantaranya Na, K, Ca (Markovska, 2018). Zeolit memiliki beberapa kelemahan akibat adanya pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe. Pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit sehingga kurang optimal apabila diaplikasikan dalam dunia industri (Mockovčiaková *et al.*, 2007). Zeolit alam mempunyai cukup banyak pori yaitu sekitar 30% lebih dari volumenya dan banyak bercampur dengan materi pengotor (*impurities*) selain zeolit, sehingga perlu diaktivasi dan dimodifikasi guna meningkatkan aktivitasnya. Melalui proses aktivasi, unsur pengotor dapat dihilangkan dan merubah rasio Si/Al. Proses aktivasi bisa dilakukan dengan cara pemanasan, penambahan asam maupun basa (Djaeni *et al.*, 2010).

Pada zeolit alam, terdapat molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti dapat menutupi pori-pori dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Inilah alasan mengapa zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Zeolit mempunyai sifat

dehidrasi (melepaskan molekul H_2O) apabila dipanaskan. Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil. Sifat zeolit sebagai penukar ion karena adanya kation logam alkali dan alkali tanah. Kation tersebut dapat bergerak bebas dan dapat dipertukarkan dengan kation logam lain dengan jumlah yang sama (Mahaddilla dan Putra, 2013).

Aktivasi secara fisik dilakukan dengan cara pengecilan ukuran butir, pengayakan dan pemanasan pada suhu tinggi yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor organik, memperbesar ukuran pori. Proses aktivasi fisika dilakukan dengan kalsinasi zeolit alam pada suhu 600°C . Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam klorida (HCl) atau asam sulfat (H_2SO_4), maupun larutan natrium hidroksida (NaOH) yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, menghilangkan senyawa pengotor (Muttaqii *et al.*, 2019). Pembagian jenis zeolit sintetis dan rumus oksidanya disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 4 Jenis-jenis Zeolit Alam (Subagja, 1993)

No.	Zeolit alam yang telah ditemukan	Komposisi
1	Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$
2	Kabasit	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40 \text{H}_2\text{O}$
3	Klinoptilolit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$
4	Erionit	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K})(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27 \text{H}_2\text{O}$
5	Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$
6	Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$
7	Laumonit	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$

2.3.2 Zeolit Sintetis

Zeolit sintetis adalah suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam. Zeolit sintetis dapat dibuat menggunakan tiga jenis bahan kimia yang kegunaannya sama dengan zeolit alam, yaitu karbon aktif, silika gel, dan zeolit buatan (Mahaddilla dan Putra, 2013). Prinsip dasar pembuatan zeolit sintetis adalah bahwa komponen harus mengandung silika dan alumina untuk itu dapat disintesis dari berbagai jenis bahan baku yang terkandung kedua komponen tersebut. Komponen kecil dalam zeolit juga bisa ditambahkan

ke zeolit menggunakan senyawa murni sehingga zeolit sintetis memiliki komposisi dan kemurnian yang tetap tinggi (Rizaldi, 2017). Terdapat beberapa jenis zeolit sintetis dan juga kegunaannya yang telah dikembangkan saat ini yang disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 5 Zeolit Sintetis dan Kegunaannya (Saputra, 2006)

Jenis zeolit	Kegunaan
Zeolit X	<i>catalytic cracking</i> (FCC) dan <i>hydrocracking</i> , mereduksi NO, NO ₂ dan CO ₂
Zeolit Y	removal, pemisah fruktosa-glukosa, pemisah N ₂ di udara, bahan pendingin kering
Zeolit US-Y	memisahkan monosakarida
Zeolit A	pengkonsentrasi alkohol, pengering olin, bahan gas alam padat, pembersih CO ₂ dari udara
Zeolit ZSM-5	<i>dewaxing</i> , produksi <i>synfuel</i> , mensintesis ethylbenzene
Linde Zeolit-A	bubuk pembersih untuk memindahkan ion Ca dan Mg

Topologi kerangka dari sebagian besar zeolit sintetis seringkali terdiri dari kombinasi unsur-unsur anorganik Si, Al dengan tambahan alternatif agen pengarah struktur organik yang juga disebut sebagai templat. Secara kimiawi, setiap struktur zeolit dibedakan berdasarkan rasio Si/Al-nya. (Ameh *et al.*, 2017). Beberapa zeolit sintetis yang telah ditemukan dilampirkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 6 Jenis-jenis Zeolit Sintetis (Markovska, 2018)

No.	Zeolit	Rumus Oksida
1	Zeolit A	Na ₂ O.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .4,5H ₂ O
2	Zeolit N-A	(Na,TMA) ₂ O.Al ₂ O ₃ .4,8SiO ₂ .7H ₂ O TMA – (CH ₃) ₄ N +
3	Zeolit H	K ₂ O.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .4H ₂ O
4	Zeolit Y	Na ₅₆ (AlO ₂) ₅₆ (SiO ₂) ₁₃₆ .25H ₂ O
5	Zeolit X	Na ₂ O.Al ₂ O ₃ .2,5SiO ₂ .6H ₂ O
6	Zeolit P	Na ₂ O.Al ₂ O ₃ .2-5SiO ₂ .5H ₂ O

Teknik sintesis yang sering dilakukan yaitu metode hidrotermal. Tetapi teknik ini memiliki kelemahan, yaitu memerlukan waktu yang lama dan banyak bahan kimia yang terbuang. Zeolit alam biasanya mengandung banyak impuritas, pori-porinya tidak seragam, dan kekuatan asamnya juga lebih sulit dikontrol. Sedangkan zeolit sintetis memiliki struktur yang lebih teratur sehingga membentuk pori-pori yang

seragam dan terstruktur juga. Kekuatan asam zeolit sintetis juga dapat dikontrol, yang menjadikannya salah satu katalis yang banyak diminati oleh industri kimia (Fuadi *et al.*, 2012).

2.4 Batu Apung

Nama batu apung berasal dari kata Latin *pumex* yang berarti busa. Batu apung adalah agregat ringan seperti spons alami yang terbentuk selama pendinginan dan pemadatan cepat lava cair (materi vulkanik). Struktur berpori dari batu apung dibentuk dengan menjebak jutaan lubang udara kecil ketika gas dalam material vulkanik cair terperangkap selama pendinginan (Rashad, 2020). Bentuk batu apung dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Batu apung

Dari Gambar 2.4 dapat dilihat bentuk batu apung yang beragam mulai dari kerikil kecil sampai yang berukuran besar dan memiliki rongga pada struktur permukaannya. Pada prosesnya batu apung terbentuk ketika lava panas dari dalam bumi meluap keluar dan bertemu dengan udara bebas kemudian akan membeku dengan cepat. Batu apung memiliki banyak karakteristik berbeda seperti porositas tinggi (volume pori hingga 85%), kepadatan rendah, luas permukaan spesifik yang besar, inersia kimia dan batu apung merupakan material yang ramah lingkungan (Pusvitasari *et al.*, 2018).

Batu apung dihargai karena bobotnya yang ringan, sifat keroposnya, dan efektivitas biaya. Karena biaya rendah, kemungkinan bahan mudah disiapkan seperti zeolit dan batu apung, bahan ini dapat digunakan dalam stabilisasi katalis, serta menjadi dasar untuk konsolidasi berbagai bahan untuk menghilangkan

kontaminan dari air dan air limbah yang direkomendasikan (Rahmani *et al.*, 2018).

Menurut (Ersoy *et al.*, 2010) batu apung juga memiliki kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 masing-masing sebesar 70,21% dan 13,63%. Batu apung banyak digunakan sebagai alternatif bahan pokok maupun campuran dalam dunia industri, salah satunya sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit sintetis. Efisiensi batu apung hampir sama dengan adsorben mahal, seperti karbon aktif dan kitosan, dan biaya yang murah sama dengan silika gel dan seperti zeolit alam (Trianasari, 2017).

2.5 Kayu Karet

Perkebunan karet merupakan salah satu perkebunan yang banyak tersebar di daerah Lampung, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Kayu karet

Pohon kayu karet ditunjukkan pada Gambar 2.5. Komposisi kimia kayu karet meliputi Holoselulosa 70%, Selulosa 40%, Hemiselulosa 20%, Lignin 20,68%, dan Ekstraktif 4,58% (Toruan-mathius *et al.*, 2016). Kayu karet yang menjadi produk samping dari tanaman karet akan diproses menjadi produk yang dapat bermanfaat. Menurut (Andrian *et al.*, 2014) Pemanfaatan kayu karet sebagai bahan baku industri tidak lagi hanya terbatas untuk kayu pertukangan atau untuk mabel saja, tetapi kayu-kayu yang berukuran lebih kecil dapat pula diproses di pabrik *Medium Density Fiber* (MDF) menjadi bubur kayu yang seterusnya diproses menjadi particle board, fibre board, pulp, dan kertas. Selain itu, kayu

karet juga dapat dimanfaatkan untuk menjadi arang aktif yang dapat digunakan sebagai pemurni di industri bahan makanan, bahan kimia, dan farmasi (Faizal *et al.*, 2014).

Keunggulan batang kayu karet untuk elektroda karbon dibandingkan dengan dalam bentuk serbuk antara lain mudah diaktivasi dan tidak mengalami proses penggilingan dan pengayakan (Zulkifli dan Erman, 2015).

2.6 Arang atau Karbon

Karbonisasi merupakan proses pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen terbatas, sehingga menghasilkan arang. Proses pembakaran ini menyebabkan penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin, serta membentuk uap air, methanol, uap-uap asam asetat dan hidrokarbon. Suhu karbonisasi dapat memberikan pengaruh pada kadar air dari bahan. Semakin tinggi suhu karbonisasi, maka kadar air yang dihasilkan akan semakin rendah (Faizal *et al.*, 2014).



Gambar 2. 6 Arang kayu karet

Gambar 2.6 merupakan bentuk arang dari hasil pembakaran kayu karet. Menurut (Widarti *et al.*, 2016) proses karbonisasi berbeda dengan pembakaran. Pembakaran dikatakan sempurna apabila hasil akhir berupa abu berwarna keputihan dan seluruh energi dalam bahan organik dibebaskan ke lingkungan. Proses pembakaran dihentikan ketika bahan masih membara akan menyebabkan

bahan tersebut menjadi arang yang berwarna kehitaman. Proses karbonisasi menggunakan sebuah wadah kaleng dengan penutup pada bagian atasnya.

Hasil karbonisasi berupa arang yang tersusun atas karbon dan berwarna hitam seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6. Temperatur karbonisasi sangat berpengaruh terhadap arang yang dihasilkan sehingga penentuan temperatur yang tepat akan menentukan kualitas arang (Thoha dan Fajrin, 2010). Arang adalah suatu bahan padat berpori yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu tinggi dengan proses karbonisasi, yaitu proses pembakaran tidak sempurna, sehingga bahan hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi (Siahaan *et al.*, 2013).

Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan melakukan proses karbonisasi dan aktivasi. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan hidrogen, air dan gas-gas pada permukaan karbon aktif dan mengakibatkan perubahan fisiknya. Karbonasi (pengarangan) adalah suatu proses pirolisis (pembakaran) tak sempurna dengan udara terbatas dari bahan yang mengandung karbon. Dalam proses karbonasi terdapat penyusutan sampel. Hal ini dikarenakan pemanasan yang diberikan saat proses karbonasi berlangsung dapat menghilangkan partikel-partikel yang terkandung di dalam sampel sehingga yang tersisa hanya arang (Suherman *et al.*, 2021).

Umumnya arang aktif dapat dibuat dengan dua cara yaitu cara kimia dan cara fisika. Cara kimia menggunakan bahan kimia seperti Zn, Cl_2 , CaCl_2 , H_3PO_4 , Na_2CO_3 , dan lainnya sebagai aktivator sedangkan cara fisika yaitu dengan perlakuan fisik pada berbagai variasi suhu dan waktu reaksi (Pari, 1991).

2.7 Aluminium

Alumina (Al_2O_3) dibutuhkan dalam berbagai bidang yang berkaitan dengan material, antara lain sebagai adsorben, katalis, keramik, komponen suhu tinggi dalam perangkat energi nuklir, dan produksi zeolit sintetik. Bahan baku pembuatan alumina yang biasa digunakan adalah alkoksida logam seperti aluminium alkoksida dan garam aluminium seperti aluminium nitrat dengan menggunakan beberapa macam metode seperti metode sol-gel, *microwave sintering* dan metode hidrolisis. Logam aluminium diperoleh dari proses

elektrolisis alumina, sedangkan alumina dihasilkan dari larutan sodium aluminat. Larutan sodium aluminat merupakan larutan hasil ekstraksi alumina dari bijih bauksit melalui proses Bayer (Amelia *et al.*, 2018). Kaleng aluminium yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber alumina seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Kaleng aluminium

Gambar 2.7 merupakan kaleng minuman yang terbuat dari bahan aluminum yang dapat dijadikan sumber alumina dalam pembuatan natrium silikat. Natrium silikat digunakan sebagai bahan baku berbagai produk seperti silika gel, *silicate based binders*, aditif semen khusus, koagulan pengolahan air limbah, gasket dan aditif air pendingin kendaraan, katalis, tinta, substrat pertumbuhan alga, komponen deterjen, dan sabun (Soeswanto dan Lintang, 2016).

2.8 Metode Hidrotermal

Metode sintesis hidrotermal pertama kali dilakukan oleh Richard Barrer dan Rabenau pada tahun 1940 dengan mengamati konversi fase mineral di dalam larutan garam kuat pada suhu yang relatif rendah dengan tekanan yang cukup tinggi (170-270°C) (Cundy dan Cox, 2003). Prinsip dasar metode hidrotermal adalah metode sintesis untuk menumbuhkan kristal dari berbagai reaksi sejumlah besar pelarut berair pada tekanan yang cukup tinggi melakukan pelarutan *mineralizer* dan rekristalisasi bahan yang kurang larut. Sintesis hidrotermal memiliki keuntungan yang lebih banyak dibandingkan metode konvensional diantaranya:

1. Senyawa dengan oksidasi tidak biasa dapat disintesis seperti ferromagnetic chromium (IV)
2. Metode hidrotermal sangat baik untuk sintesis padatan pada kondisi suhu rendah dan sintesis pada senyawa metastabil
3. Dilakukan pada suhu yang rendah dengan tekanan yang cukup tinggi mengurangi biaya produksi
4. Selama reaksi sintesis padatan berlangsung tidak membutuhkan waktu yang lama dibandingkan metode konvensional.

(Rabenau, 1985).

Sintesis hidrotermal umumnya digunakan untuk mengolah bahan alam seperti mineralizer yang dimasukkan ke dalam pelarut air dan mengalami reaksi, kemudian kristal akan tumbuh pada suhu tertentu di dalam sistem tertutup (Walujodjati, 2008).

2.9 Kesadahan Air

Kesadahan merupakan sifat air yang mengandung ion-ion logam valensi dua dan ion penyebab utama kesadahan Ca dan Mg. Kesadahan berasal dari kontak terhadap tanah dan pembentukan batuan. Air sadah banyak dijumpai pada daerah yang lapisan tanah atas tebal dan ada pembentukan batu kapur. Air yang mempunyai tingkat kesadahan yang tinggi menimbulkan endapan berwarna putih, menyebabkan sabun kurang membusa, menimbulkan korosi pada peralatan yang terbuat dari besi (Ristiana dan Astuti, 2009).

Air tanah pada umumnya memiliki tingkat kesadahan yang tinggi karena adanya kontak langsung dengan batuan kapur yang mengandung Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg). Penghilangan kesadahan dengan proses pemanasan air tanah dapat membentuk garam yang tidak larut dan mengendap (Aidha, 2013). Kesadahan air dapat dibedakan atas dua macam (Fardiaz, 1992), yaitu kesadahan sementara (temporer) dan kesadahan tetap (permanen). Kesadahan sementara disebabkan oleh garam-garam karbonat (CO_3^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-) dari kalsium dan magnesium. Kesadahan karbonat merupakan bagian dari kesadahan total yang ekuivalen dengan alkalinitas yang disebabkan oleh (CO_3^{2-}) dan (HCO_3^-) (Widayat, 2002).

Proses terjadinya air sadah tidak lepas dari siklus hidrologi. Air hujan yang sampai ke daratan ada yang melimpah (*run-off*) ada juga yang meresap (infiltrasi) ke dalam tanah lalu mengalami perkolasi (menyusup) di lapisan tanah dalam. Ketika mengalir di lapisan tanah atas (*top-soil*), di dalam air terjadi aktivitas mikroba yang menghasilkan gas karbondioksida (CO_2). Air dan CO_2 ini lantas membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Asam inilah yang kemudian bereaksi dengan batu kapur atau gamping (CaCO_3 , MgCO_3) menjadi kalsium bikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan magnesium bikarbonat $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Akibatnya, di dalam air ada dua jenis kesadahan, yaitu kesadahan temporer dan kesadahan tetap (Tua, 2015).

2.10 Konduktivitas

Konduktivitas panas merupakan istilah dari karakteristik material yang berhubungan dengan termal sangat menentukan keberhasilan jumlah panas yang dipindahkan. Nilai konduktivitas panas (k) adalah salah satu variabel di dalam persamaan perpindahan panas konduksi. Konduktivitas panas tersebut nilainya antara satu material dengan material lainnya berbeda-beda. Nilai konduktivitas panas terbesar untuk logam adalah aluminium yakni $200 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (Holman, 2010), dan terkecil adalah nanopartikel 10% vol CuNWs (Zhu *et al.*, 2016).

Sedangkan untuk memperoleh laju perpindahan panas yang makin besar diperlukan material dengan nilai konduktivitas lebih besar. Penerapan perpindahan panas di industri proses, banyak menggunakan pipa-pipa distribusi uap, *furnace*, tangki pemanas dan sebagainya, dimana semua peralatan tersebut membutuhkan material yang berhubungan dengan konduktivitas panas. Oleh karena itu diperlukan kemampuan dalam menguji nilai konduktivitas panas suatu material, agar bisa memilih material yang paling tepat untuk diterapkan pada peralatan tertentu (Wuryanti dan Iriani, 2018).

Semikonduktor merupakan bahan yang memiliki nilai resistivitas (ρ) antara bahan isolator dan konduktor. Sedangkan isolator merupakan bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik dengan baik atau bahan yang mempunyai nilai resistivitas elektrik yang tinggi. Perbedaan nilai resistivitas bahan-bahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai resistivitas bahan semikonduktor, konduktor dan isolator

Sifat Bahan	Resistivitas $\rho(\Omega.m)$	Contoh Bahan
Isolator	$10^{10} - 10^{12}$	Plastik dan karet
Semikonduktor	$10^{-3} - 10^6$	Silikon dan germanium
Konduktor	10^{-8}	Logam

Bahan semikonduktor dapat digolongkan dalam 2 jenis, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat alami yang melekat pada unsur itu sendiri. Semikonduktor ekstrinsik dibagi menjadi 2 macam, yaitu. Apabila jumlah elektron dalam pita konduksi jauh lebih besar daripada jumlah lubang dalam pita valensi, dalam hal ini elektron sebagai pembawa muatan mayor, maka semikonduktor ini disebut semikonduktor tipe-n. Apabila jumlah elektron dalam pita konduksi lebih kecil daripada jumlah lubang dalam pita valensi, dalam hal ini hole sebagai pembawa muatan, maka semikonduktor ini disebut semikonduktor tipe-p (Sulandari dan Murwani, 2013).

2.11 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X adalah metode yang mudah untuk menentukan ukuran rata-rata kristal nano dalam bahan curah kristal nano. Fakta bahwa "ukuran kristal" tidak sama dengan "ukuran partikel", sedangkan difraksi sinar-X sensitif terhadap ukuran kristal di dalam partikel. Dari rumus Scherrer yang terkenal ukuran kristal rata-rata (Monshi *et al.*, 2012). Alat *X-Ray Diffraction (XRD)* yang digunakan adalah *PA analytical X'Pert³ Powder* milik PRTB-BRIN LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Alat ini dibuat oleh *Malvern Panalytical*, Inggris. Alat XRD ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Alat *X-Ray Diffraction*

Difraksi sinar-X merupakan suatu metode analisis kualitatif yang berfungsi untuk menganalisis struktur, dan ukuran kristal suatu padatan. Karakterisasi menggunakan XRD akan diamati difraktogram (Fadlulah, 2014). Tiga metode biasanya menentukan komposisi fase mineralogi: (1) teknik penghitungan titik menggunakan mikroskop optik (analisis modal optik), dilengkapi dengan digitalisasi dan analisis gambar serta penerapan teknik mikroskop elektron; (2) perhitungan normatif dari data kimia curah; dan (3) difraksi serbuk sinar-X modal. Analisis modal optik dan modal difraksi serbuk sinar-X biasanya digunakan untuk memverifikasi hasil kandungan (Kozlov dan Fomina, 2020).

Prinsip difraksi sinar-X adalah metode analitik untuk menemukan fase kristal produk menggunakan reaktan tertentu dilakukan secara periodik sampai dapat ditentukan struktur kristal dan dinamika struktural senyawa tersebut (Prasetyoko *et al.*, 2016). Skema kerja difraksi sinar-X adalah sinar-X ditembakkan ke dalam kristal sehingga mengalami pemantulan (refleksi) atau difraksi pada sudut yang berbeda terhadap berkas utama (sinar primer). Sudut pantulan datang sinar-X sebanding dengan jarak kisi dari kristal yang dianalisis. Pola difraksi digambar sesuai intensitas puncak yang mewakili peta parameter kisi kristal, atau indeks Miller (hkl) sebagai fungsi 2θ (Clark *et al.*, 1989).

Jarak antara atom-atom di dalam kristal dapat ditentukan dengan hukum Bragg. Persamaan hukum Bragg dapat dituliskan sebagai unsur utama dalam persamaan tersebut:

$$d = \frac{nl}{2\sin\theta} \dots\dots\dots (2.2)$$

Berdasarkan persamaan 2.2 apabila diturunkan menghasilkan persamaan 2.3 dengan $n\lambda$ sebagai konstanta yang ditentukan.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antara kisi kristal, θ adalah sudut sinar datang, dan $n = 1, 2, 3$ merupakan orde difraksi. Persamaan Bragg tersebut digunakan untuk menentukan parameter sel kristal (Clark *et al.*, 1989).

2.12 X-Ray Fluorescence (XRF)

Analisis fluoresensi sinar-X (XRF) dilakukan dengan penghitungan non-destruktif dan ekspres dari beberapa elemen secara bersamaan tanpa *pretreatment* sampel yang kompleks. Metode tersebut didasarkan pada interaksi radiasi sinar-X dengan atom. Ejeksi elektron dan pembentukan kekosongan terjadi sebagai akibat dari interaksi ini. Biasanya fluoresensi sinar-X yang berasal dari transisi elektron dalam digunakan. Jumlah transisi yang diizinkan terbatas dan inilah alasan tingginya selektivitas metode tersebut. Jumlah garis spektrum relatif kecil dan tumpang tindihnya tidak umum. Analisis kualitatif di XRF didasarkan pada energi karakteristik garis spektrum dan menimbulkan sedikit masalah karena selektivitas yang tinggi. Namun, analisis kuantitatif mungkin menjadi cukup kompleks dalam kasus tertentu karena efek matriks yang disebabkan oleh absorpsi dan penyebaran radiasi insidental dan fluoresensi oleh elemen matriks sampel (Panchuk *et al.*, 2018). Pengujian XRF bertujuan untuk melihat komposisi kimia yang terkandung didalam zeolit dengan menggunakan metode spektrometri (Muttaqii *et al.*, 2019).

Alat *X-Ray Fluorescence (XRF)* yang digunakan adalah *PA analytical Epsilon 3^{XLE}* milik PRTB-BRIN LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Alat ini dibuat oleh *Malvern Panalytical*, Inggris. Alat XRF ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Alat *X-Ray Fluorescence*

Keuntungan lain dari XRF, dalam penyelidikan geokimia, adalah preparasi sampel yang cepat, sederhana dan tidak merusak. Meski XRF memiliki banyak keunggulan, ada beberapa kekurangan yang dimiliki. Pertama, sebagian besar instrumen XRF yang tersedia secara komersial sangat terbatas kemampuannya untuk secara akurat dan tepat mengukur kelimpahan elemen geokimia dari bahan tanah alami yang memiliki tingkat elemen minimal (umumnya kurang dari sebelas elemen), tanpa modifikasi/kalibrasi apapun. Kedua, sebagian besar variasi unsur diukur sebagai hitungan, bukan sebagai konsentrasi. Kalibrasi instrumen XRF untuk mengukur konsentrasi membutuhkan analisis kuantitatif kimia sedimen curah. Aplikasi dari XRF karena fleksibilitas dan kecepatan teknik XRF mengingatkannya dapat diterapkan secara luas di banyak bidang industri dan ilmu pengetahuan (Oyedotun, 2018).

2.13 Spektrofotometri Ultra Violet Visible (UV-Vis)

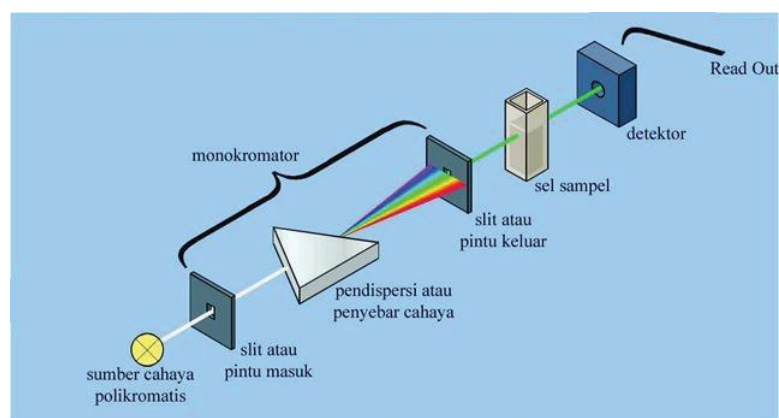
Spektrofotometri UV-Vis adalah alat yang digunakan untuk mengukur serapan yang dihasilkan dari interaksi kimia antara radiasi elektromagnetik dengan molekul atau atom dari suatu zat kimia pada daerah UV-Vis (Ditjen POM, 1995). Alat *Ultra Violet-Visible (UV-Vis)* yang digunakan adalah *ParkinElmer Lambda 365* milik PRTB-BRIN LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Alat ini dibuat oleh *Parkin Elmer, Inc.*, Amerika Serikat, kemudian dirakit oleh PT. Maja Bintang Indonesia, Indonesia. Alat UV-Vis ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Alat Spektrofotometer UV-Vis

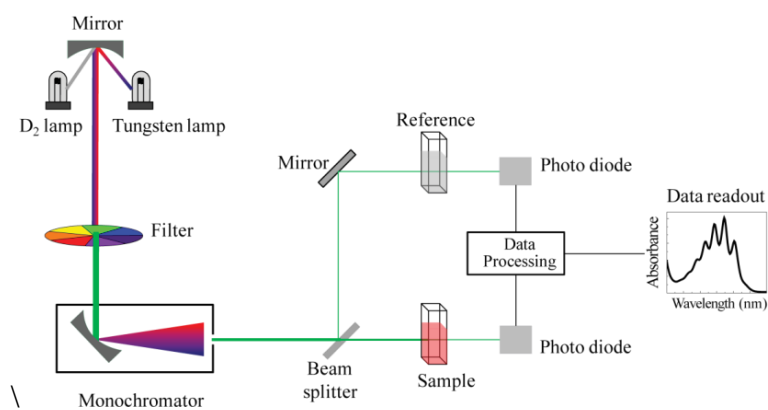
Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk analisa kualitatif maupun kuantitatif karena metode ini memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

- Ultraviolet jauh memiliki rentang panjang gelombang $\pm 10 - 200$ nm, sedangkan ultraviolet dekat memiliki rentang panjang gelombang $\pm 200-400$ nm.
- Cahaya UV tidak bisa dilihat oleh manusia, namun beberapa hewan, termasuk burung, reptil dan serangga seperti lebah dapat melihat sinar pada panjang gelombang UV.
- Interaksi senyawa organik dengan sinar ultraviolet dan sinar tampak, dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul senyawa organik. Bagian dari molekul yang paling cepat bereaksi dengan sinar tersebut adalah elektron-elektron ikatan dan elektron-elektron non ikatan (elektron bebas).



Gambar 2. 11 Diagram alat Spektrometer UV-Vis *Single-beam instrument*
(Sumber : Suhartati, 2017)

Terdapat dua tipe instrumen spektrofotometer, yaitu *single-beam* dan *double-beam*. *Single-beam instrument* (Gambar 2.11) dapat digunakan untuk kuantitatif dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang tunggal. Mempunyai beberapa keuntungan yaitu sederhana, harganya murah, dan mengurangi biaya yang ada merupakan keuntungan yang nyata. Panjang gelombang paling rendah adalah 190 sampai 210 nm dan paling tinggi adalah 800 sampai 1000 nm (Skoog, 1996). *Double-beam instrument* (Gambar 2.12) mempunyai dua sinar yang dibentuk oleh potongan cermin yang berbentuk V yang disebut pemecah sinar. Sinar pertama melewati larutan blanko dan sinar kedua secara serentak melewati sampel. *Double-beam* dibuat untuk digunakan pada panjang gelombang 190 sampai 750 nm (Suhartati, 2017).



Gambar 2. 12 Skema Spektrofotometer UV-Vis (*Double-beam*)
(Suhartati, 2017)

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis adalah ketika cahaya monokromatik melewati suatu medium (larutan), sebagian cahaya diserap (I), sebagian dipantulkan (I_r), dan sebagian dipancarkan (I_t). Penerapan rumus untuk pengukuran kuantitatif dilakukan secara komparatif dengan menganalisis unsur dengan kelimpahan rendah secara kuantitatif dan kualitatif menggunakan kurva kalibrasi yang diperoleh dari hubungan antara deret konsentrasi larutan instrumen (Yanlinastuti dan Fatimah, 2016).

2.14 Inductively Coupled Plasma (ICP-OES)

Inductively Coupled Plasma (ICP) adalah metoda yang berdasarkan ion yang tereksitasi dan memancarkan sinar. Intensitas cahaya yang terpancar pada panjang

gelombang tertentu dan mempunyai karakteristik unsur tertentu berhubungan dengan konsentrasi dari tiap unsur dari sampel. *Inductively Coupled Plasma* (ICP) adalah induksi yang diperoleh dari arus bolak-balik pada frekuensi radio melalui kumparan. Berguna untuk mendeteksi kandungan logam dalam sampel dari lingkungan (Wibawa, 2008). ICP-OES memiliki kemampuan mengidentifikasi dan mengukur semua elemen yang diukur dengan bersamaan dalam waktu yang singkat dan tingkat akurasi yang tinggi (Nurdin *et al.*, 2016).

Alat *Inductively Coupled Plasma* (ICP) yang digunakan adalah *Plasma Quant PQ 9000 Elite* milik PRTB-BRIN LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Alat ini dibuat oleh *Analytic Jena Corp.*, Jerman. Alat ICP ditunjukkan dalam Gambar 2.13.

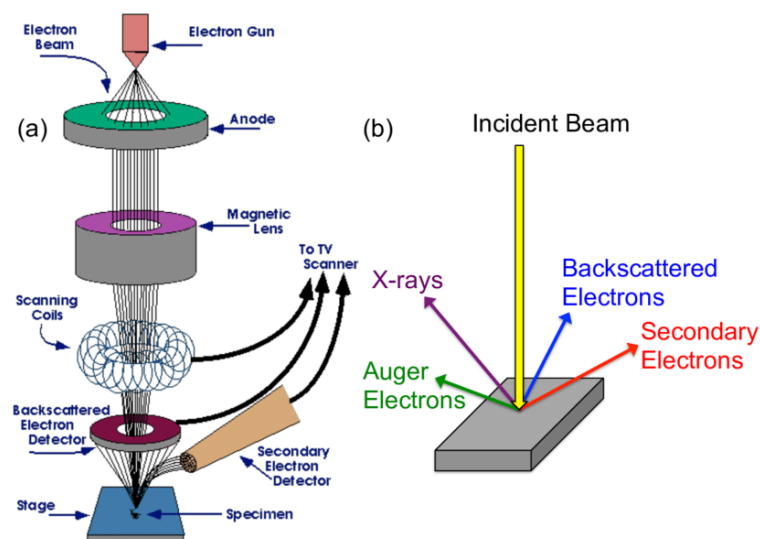


Gambar 2. 13 Alat *Inductively Coupled Plasma* (ICP)

Kelebihan pengukuran alat ini adalah memiliki selektivitas yang tinggi dan pada setiap analisis dapat mendeteksi beberapa unsur sekaligus secara berurutan. ICP cocok untuk mengukur semua konsentrasi elemen dari *ultratrace* sampai ke tingkat komponen utama, batas deteksi pada umumnya rendah dengan rentang dari 1-100 ppm, dapat mendeteksi multi unsur secara bersamaan. Selain mempunyai keunggulan, ada beberapa kekurangan dalam penggunaannya, diantaranya: kurang sensitif terhadap pengukuran unsur yang mempunyai panjang gelombang di bawah 200 nm, memiliki kesulitan menangani analisis senyawa halogens (golongan VII A, seperti F-, Cl-, Br-, I-), dimungkinkan terjadi gangguan spektral pada saat pendeteksian, dan sangat boros dalam penggunaan gas argon (Fredeen, 2004).

2.15 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Teknik karakterisasi material yang berfungsi untuk melihat detail arsitektur permukaan sel suatu padatan berupa morfologi yaitu teknik mikroskopi. Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan golongan mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya (Prasetyoko *et al.*, 2017). Komponen dasar penyusun SEM adalah sistem vakum, sumber berkas elektron, sistem lensa, koil scan, sistem deteksi, proses sinyal, display dan perekam. Analisis mikrostruktur dilakukan menggunakan SEM yang bertujuan untuk melihat morfologi permukaan. Pada prinsipnya, analisis permukaan melibatkan radiasi permukaan dengan sumber energi yang cukup untuk menembus dan menimbulkan beberapa transisi yang menghasilkan emisi dari permukaan berkas energi yang bisa dianalisis. Deskripsi singkat komponen dasar penyusun SEM ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Komponen SEM (Prasetyoko *et al.*, 2017)

Prinsip kerja SEM adalah berkas sinar elektron yang dihasilkan oleh katoda filamen terfokus pada obyek dengan ukuran sangat kecil dan terjadi respons balik dari sampel yang akan disinkronkan dengan berkas sinar dari tabung katoda (Smith dan Oatley, 1995). Kontak antara sinar elektron dengan sampel akan menghasilkan elektron sekunder, backscattered electron yang dideteksi oleh detektor kemudian ditampilkan dalam monitor. Elektron yang dihamburkan oleh sampel pada sudut 90° disebut sebagai *backscatterd electrons* (BSE). Sumber

elektron yang dihasilkan berasal dari filamen tungsten (Abd Mutalib *et al.*, 2017). Instrumen SEM dapat dilengkapi dengan EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) yang berfungsi untuk mendapatkan informasi secara spesifik mengenai pemetaan komposisi unsur pada sampel padatan (West, 1984). Analisis EDX pada SEM mempunyai prinsip interaksi antara material dengan radiasi elektromagnetik. Sinar X terbentuk oleh elektron terluar yang mengalami eksitasi akibat tumbukan elektron. Pada keadaan excited state atom berpindah ke ground state dan elektron Auger akan terpancar menggantikan pancaran sinar X (Shindo dan Oikawa, 2002). Pada prinsipnya SEM-EDX merupakan sistem analisis yang menggabungkan SEM dan EDX kedalam satu unit yang dirancang pada konsep pengembangan produk sehingga memungkinkan analisis untuk mencapai pengamatan cepat, jelas dan akurat (Budiman dan Asmi, 2013).

SEM-EDX adalah alat yang dapat digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif elemen yang didasarkan pada analisis spektral radiasi sinar-X karakteristik yang dipancarkan dari atom sampel pada iradiasi dengan berkas elektron yang difokuskan dari SEM (Figueiredo *et al.*, 2010). Alat *Scanning Electron Microscopy (SEM)* yang digunakan adalah *Thermo Scientific Quattro S* yang terintegrasi dengan karakterisasi *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX)* milik PRTB-BRIN LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Alat ini dibuat oleh *Thermo Fisher Scientific Inc.*, Amerika Serikat. Seperangkat alat SEM ditunjukkan dalam Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Alat SEM

Sampel batuan yang akan dianalisis dihaluskan terlebih dahulu menggunakan mortar atau mill grinding. Setelah dihaluskan ditempelkan pada tempat sampel yang sudah dilekatkan carbon tape, sisa sampel yang tidak melekat dibersihkan pada carbon tape. Kemudian dimasukkan kedalam holder sampel SEM. Alat SEM-EDX memiliki dua monitor. Sistem kerja alat ini adalah dengan sistem vakum, Sebelum proses analisis berlangsung, penghilangan molekul udara didalam alat dilakukan dengan menutup gas. Penghilangan molekul udara menjadi sangat penting karena jika ada molekul udara yang lain, elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran, ini disebabkan karena elektron sangat kecil dan ringan. Didalam alat ini terdapat sebuah pistol elektron yang memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda, kemudian lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel dan sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Atur kamera sehingga memperlihatkan permukaan sampel, kemudian diatur kecerahan dan perbesaran serta fokus pada sampel. Pada monitor SEM, diatur *spot size* dan di *Collect* pada monitor EDX. Ketika sinar elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan akan terbaca ke monitor. Hasil akan diperoleh dalam bentuk gambar permukaan sampel pada SEM dan bentuk grafik atau diagram pada EDX yang menunjukkan persentase unsur-unsur dari sampel yang dianalisa (Andalia *et al.*, 2020).

Dalam pengukuran SEM-EDX, setiap sampel dianalisis menggunakan analisis area. Sinar elektron yang dihasilkan area gun dialihkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini selanjutnya difokuskan menggunakan elektron optik coulumb sebelum sinar elektron tersebut membentuk atau mengenai sampel. Setelah sinar elektron mengenai sampel, akan terjadi beberapa interaksi-interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi–interaksi yang terjadi tersebut selanjutnya akan terdeteksi dan diubah kedalam sebuah gambar oleh analisis SEM dan dalam bentuk grafik oleh analisis EDX (Kobayashi *et al.*, 2004).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Juli sampai September 2022 bertempat di Laboratorium Hidro-Elektro Metalurgi dan Laboratorium Analisis Kimia Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) Badan Riset dan Inovasi Nasional-BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Alat Penelitian yang digunakan seperti LCR-meter, XRF *PAnalytical Epsilon 3^{XLE}*, XRD *PAnalytical X'Pert³ Powder*, SEM-EDX *Thermo Scientific Quatro S*, Spektrofotometri Uv-Vis *ParkinElmer Lambda 365*, ICP-OES *Plasma Quant PQ 9000 Elite*, *ball mill*, stoples, *hot plate*, isolator, *stirrer* dan *magnetic stirrer*, piring, gelas beaker, nampan, corong, neraca analitik, oven, kaleng, kabel penghubung, kertas saring, gelas ukur, mortar dan pestle, ayakan mesh 100, plastik zip, dan *crushible ceramic*.
2. Bahan Penelitian yang digunakan adalah batu apung lampung, arang kayu karet, NaOH, aquades, dan aluminium foil.

3.3 Prosedur Penelitian

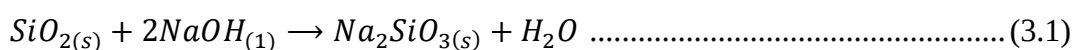
Dalam penelitian ini sintesis zeolit mengacu kepada pembentukan zeolit alam yang terjadi secara hidrotermal yang telah dilakukan oleh Warsito (2008).

3.3.1 Karbonisasi Kayu Karet

Langkah pertama yang perlu dilakukan sebelum membuat zeolit adalah mengumpulkan kayu karet yang berada di sekitar kawasan LIPI Tanjung Bintang lalu menjemurnya di bawah sinar matahari agar kayu kering dan tidak lembab. Pada proses pembakaran menyebabkan penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin, serta membentuk uap air, methanol, uap-uap asam asetat dan hidrokarbon (Faizal *et al.*, 2015). Proses karbonisasi menggunakan sebuah wadah kaleng dengan penutup pada bagian atasnya (Rahmadani *et al.*, 2017). Maka karbonisasi dilakukan dengan memasukkan kayu ke dalam tungku pembakaran sampai kayu berubah menjadi arang. Arang adalah suatu bahan padat berpori yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu tinggi dengan proses karbonisasi, yaitu proses pembakaran tidak sempurna, sehingga bahan hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi (Siahaan *et al.*, 2013). Kemudian dinginkan arang, menghaluskan menggunakan mortar dan pestle, lalu mengayak menggunakan ayakan mesh 100.

3.3.2 Pembuatan Natrium Silikat

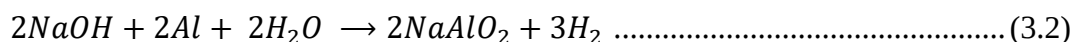
Langkah awal dalam pembuatan natrium silikat yaitu mencuci batu apung dan merendamnya selama 24 jam yang bertujuan membersihkan kotoran yang menempel pada rongga batu apung. Lalu batu apung dijemur di bawah sinar matahari sampai kering, kemudian haluskan batu apung menggunakan *ball mill*. Masukkan 10 g batu apung yang telah dihaluskan ke dalam 40 g NaOH. Kemudian dipanaskan selama 4 jam dalam oven dengan suhu 350 °C. Setelah terbentuk padatan, kemudian dilarutkan dengan aquades dan didiamkan selama 12 jam. Pada proses peleburan batu apung terjadi reaksi sebagai berikut:



3.3.3 Pembuatan Natrium Aluminat

Langkah dalam pembuatan natrium aluminat diawali dengan membersihkan kaleng aluminium dari kotoran yang menempel, lalu mencuci dan mengeringkan kaleng. Kemudian mencampurkan 55 g NaOH ke dalam 600 ml aquades. Lalu memasukkan 70 g kaleng aluminium yang telah dipotong kecil sedikit demi

sedikit dengan pengadukan. Kemudian menyaring padatan menggunakan kertas saring, lalu memanaskan padatan sampai kering. Setelah dingin, haluskan menggunakan mortar dan pestle, dan mengayak menggunakan ayakan mesh 100. Kemudian melakukan karakterisasi XRF untuk mengetahui unsur dan senyawa dalam natrium aluminat. Persamaan dalam pembuatan natrium aluminat ditunjukkan pada persamaan 3.2.



3.3.4 Pembuatan Zeolit

Langkah awal dalam pembuatan zeolit yaitu mencampurkan natrium silikat, natrium aluminat, dan arang kayu karet dengan variasi seperti Tabel 3.1. Lalu melakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan *heating plate* pada suhu ruangan selama 24 jam. Setelah proses pengadukan, sampel disaring menggunakan kertas saring. Setelah digunakan *magnetic stirrer* dengan *heating plate* didiamkan selama 5 jam. Kemudian melakukan kegiatan secara berulang pada setiap sampel.

Tabel 3. 1 Variasi rasio natrium silikat, natrium aluminat, dan arang kayu karet

Sampel	Natrium Silikat (g)	Natrium Aluminat (g)	Arang kayu karet (g)
1	10	15	10
2	12,5	15	10
3	15	15	10
4	17,5	15	10
5	20	15	10
6	15	15	6
7	15	15	8
8	15	15	10
9	15	15	12
10	15	15	14

3.3.4.1 Proses Pemanasan, Pencucian, dan Pengeringan Sampel

Sampel yang terbentuk dipanaskan dengan suhu 100 °C selama 5 jam. Lalu sampel disaring dan dicuci menggunakan aquades sampai pH netral. Setelah itu sampel dikeringkan, lalu melakukan kegiatan secara berulang pada setiap sampel.

3.3.4.2 Karakterisasi

Karakterisasi pada sampel dilakukan menggunakan LCR-Meter, XRF, XRD, dan SEM-EDX. Karakterisasi LCR-Meter dilakukan untuk mengukur konduktivitas pada setiap sampel. Pengukuran dilakukan menggunakan kotak isolator dengan dua plat aluminium yang terhubung dengan LCR-Meter. Nilai konduktivitas pada penelitian ini diperoleh setelah menghitung nilai konduktansi sampel. Nilai konduktansi suatu bahan dirumuskan dalam persamaan 3.3.

$$G = \frac{1}{R} ; \sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$G = \sigma \frac{A}{l} \dots\dots\dots(3.3)$$

Sehingga dalam mencari konduktivitas menggunakan rumus persamaan 3.4.

$$\sigma = G \left(\frac{l}{A} \right) \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan σ sebagai konduktivitas (S/cm), ρ sebagai tahanan jenis bahan ($\Omega \cdot mm^2 / m$), G sebagai konduktansi (Siemens), R sebagai hambatan (Ω), A sebagai luas penampang (cm^2), dan l sebagai satuan panjang (m).

Melakukan karakterisasi XRF pada setiap sampel untuk mengetahui komposisi dari zeolit buatan. Pada sampel optimum hasil karakterisasi LCR-Meter dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM-EDX untuk mengetahui struktur Kristal dan struktur mikro dalam sampel zeolit buatan.

3.3.5 Uji Adsorpsi Zeolit pada Air Sadah

Uji adsorpsi zeolit pada air sadah dilakukan dengan menyediakan 1000 *ml* larutan air sadah (air yang tercemar ion Mg dan Ca) dalam gelas *beaker*. Menimbang setiap sampel zeolit sebanyak 3 *g*, lalu melarutkan setiap zeolit dalam 100 *ml* air sadah dengan pengadukan selama 1 menit. Menyaring larutan menggunakan kertas saring, dan memindahkan 50 *ml* larutan ke dalam botol sampel plastik. Melakukan kegiatan secara berulang pada setiap sampel.

Setelah dilakukan uji adsorpsi menggunakan zeolit buatan, kandungan ion kalsium dan magnesium pada air sadah akan berkurang. Setelah pengambilan data, dapat diukur kemampuan zeolit dalam mengadsorpsi kalsium dan magnesium yang dihitung dengan persamaan 3.5.

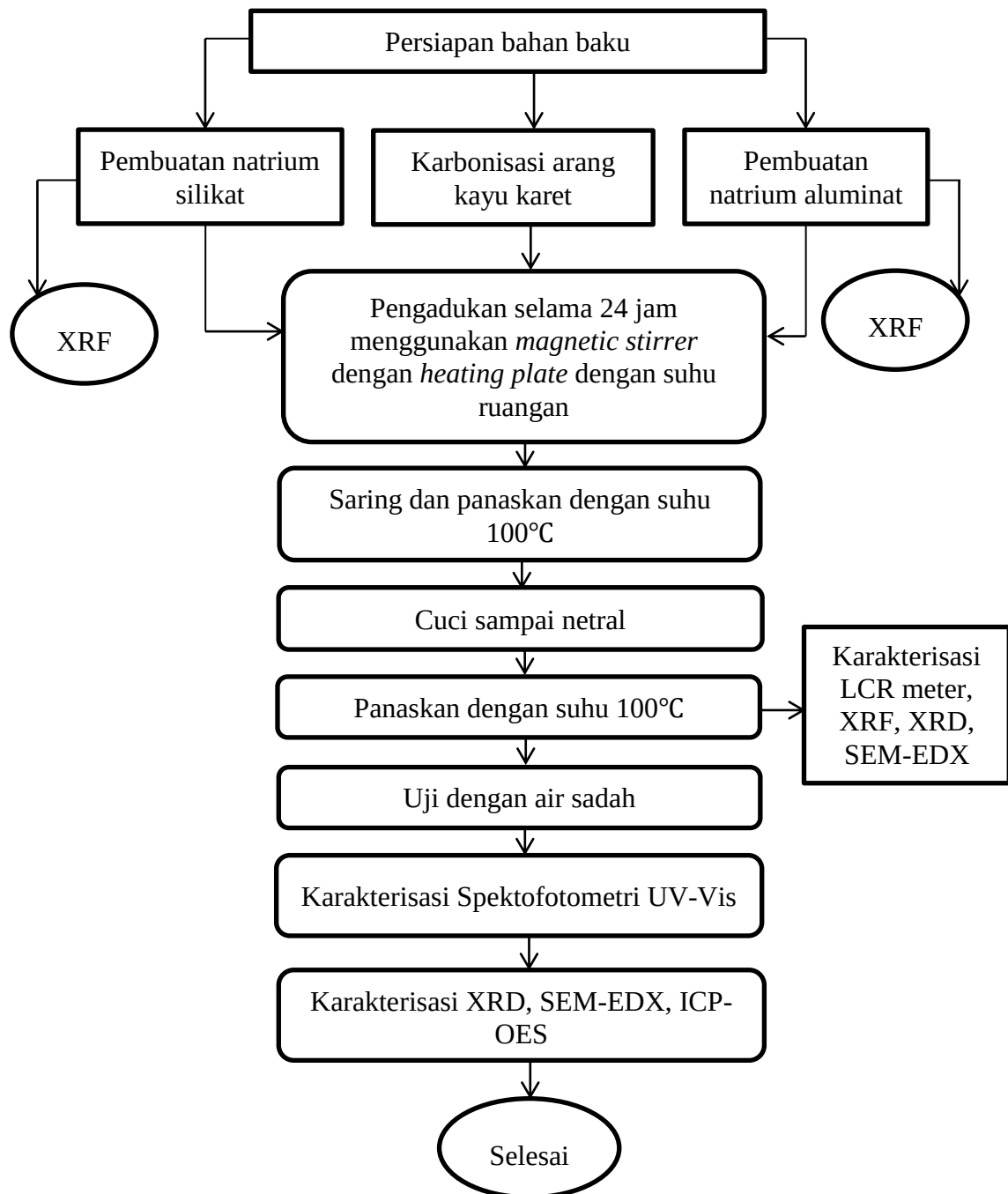
$$\text{Kadar magnesium (mg/l)} = C \times fp \dots\dots\dots(3.5)$$

Dengan C sebagai kadar yang diperoleh dari hasil pengukuran (mg/l), dan fp sebagai factor pengenceran (Khodariya *et al.*, 2021).

Selanjutnya melakukan karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis pada setiap sampel. Sehingga akan diperoleh sampel optimum dari hasil karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis, yang selanjutnya sampel tersebut akan dikarakterisasi XRD, SEM-EDX, dan ICP-OES.

3.4 Diagram Alir Penelitian

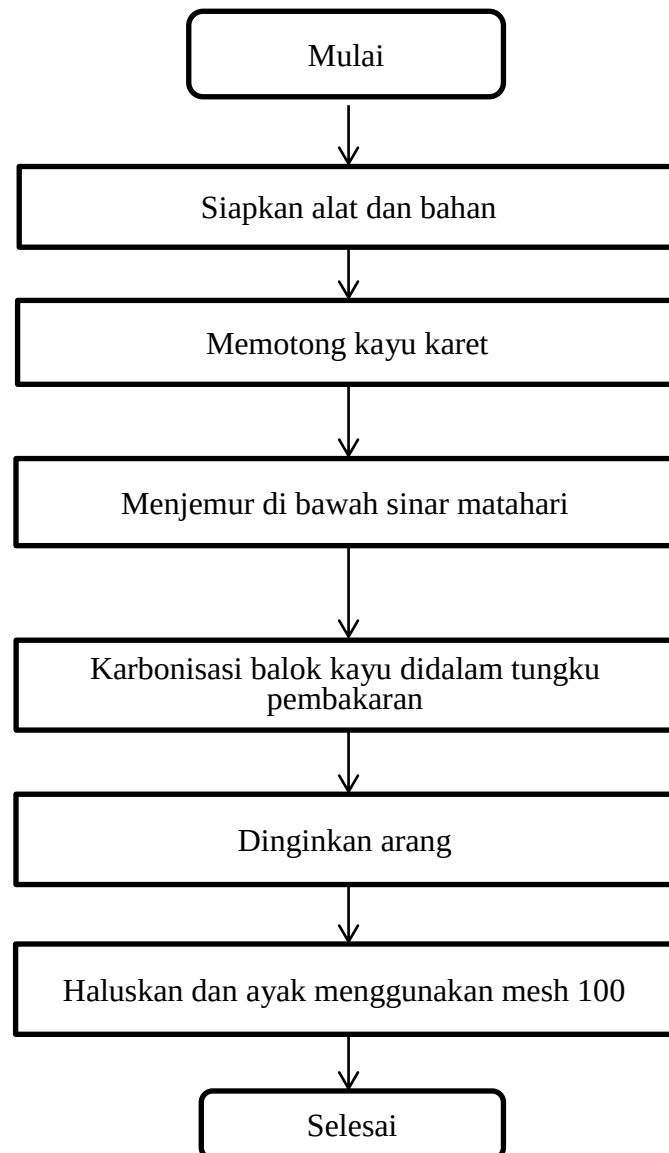
Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir seluruh penelitian

3.4.1 Pembuatan Arang Kayu Karet

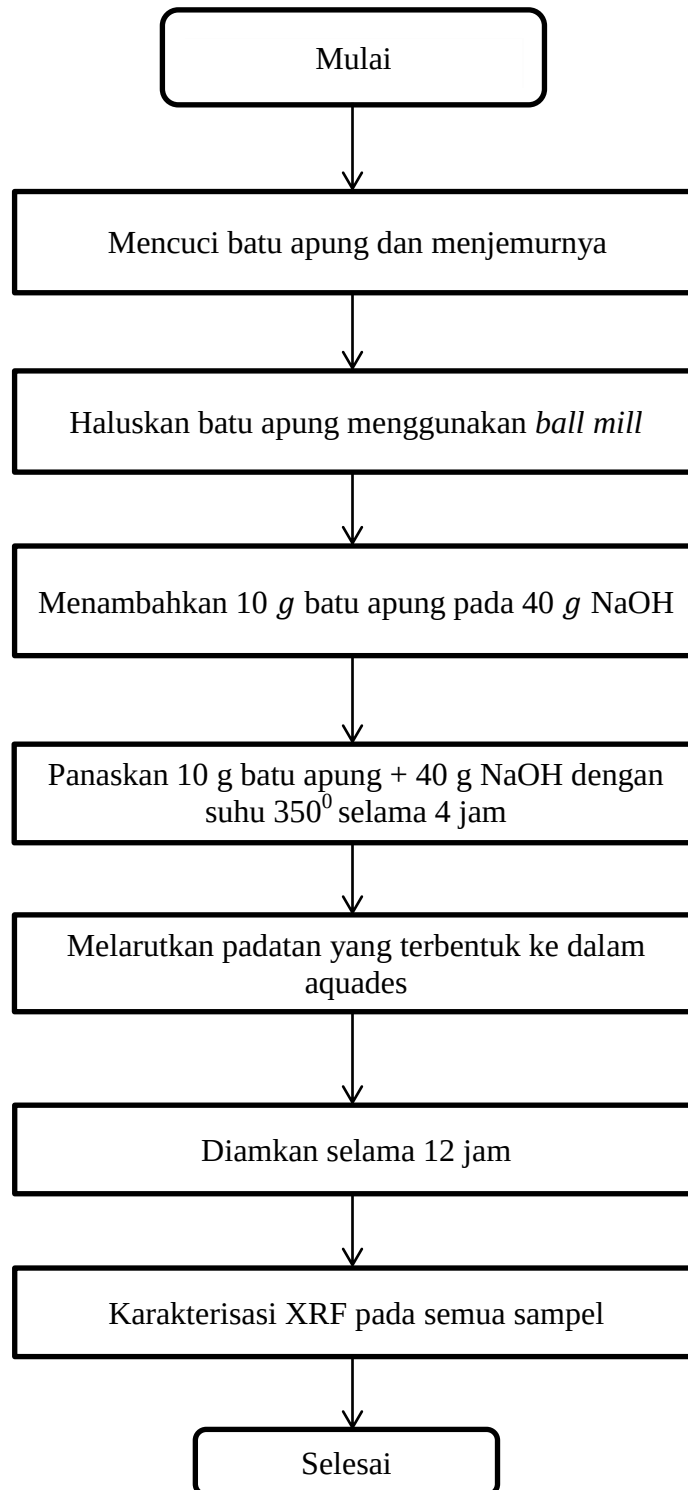
Diagram alir proses karbonisasi arang kayu karet ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Proses karbonisasi arang kayu karet

3.4.2 Pembuatan Natrium Silikat

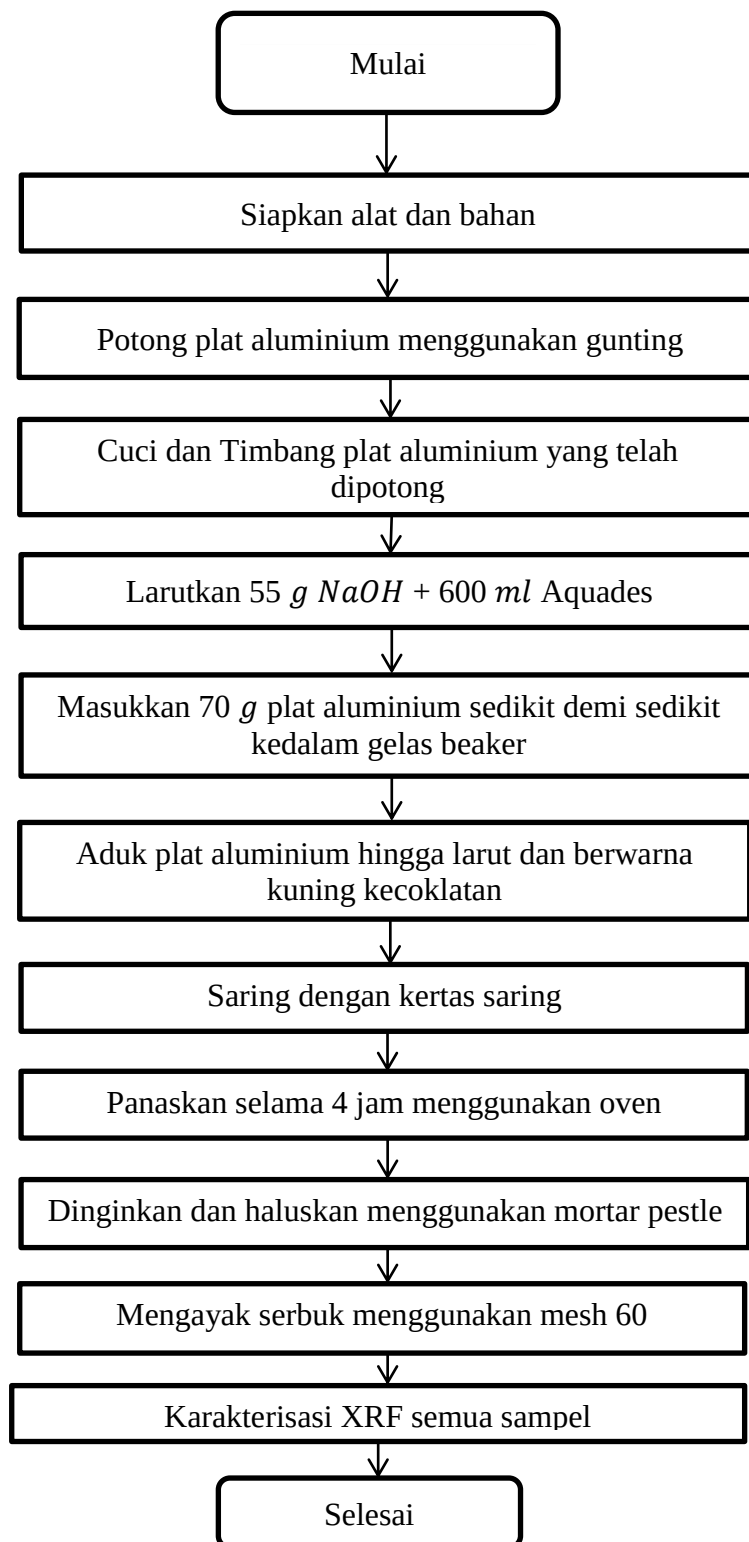
Diagram alir pembuatan natrium silikat ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Proses pembuatan natrium silikat

3.4.3 Pembuatan Natrium Aluminat

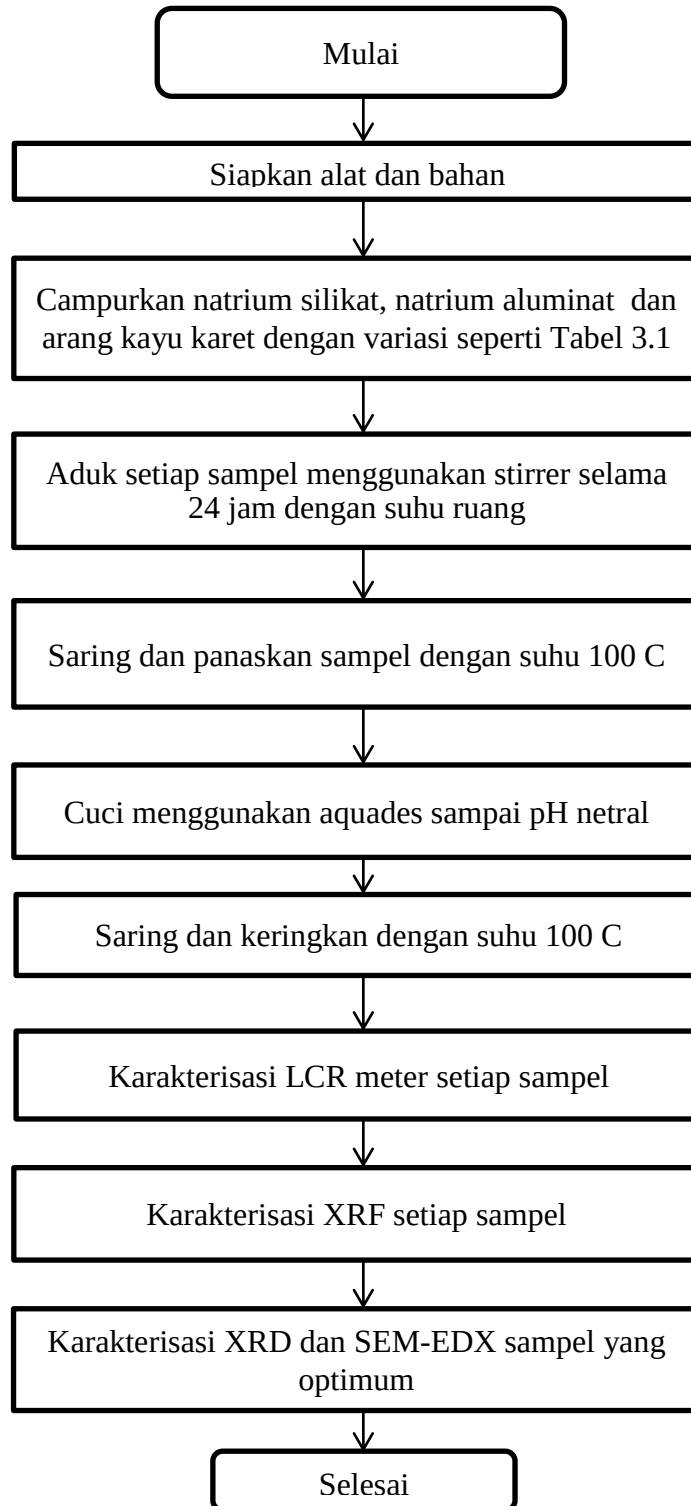
Diagram alir pembuatan natrium silikat ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Proses pembuatan natrium aluminat

3.4.4 Pembuatan Zeolit dengan Metode Hidrotermal

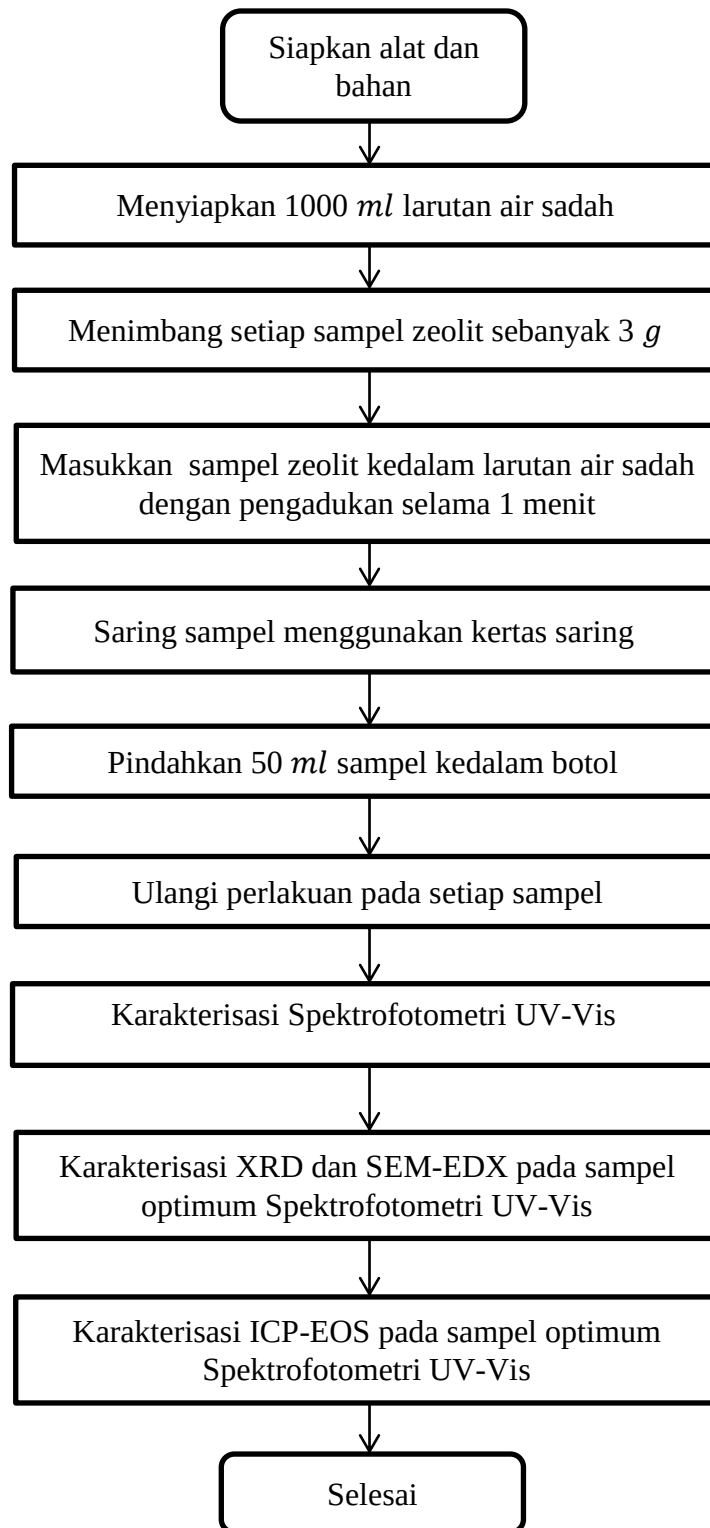
Diagram alir proses pembuatan zeolit ditunjukkan Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Tahapan proses pembuatan zeolit buatan

3.4.5 Uji Adsorpsi Zeolit untuk Menurunkan Kesadahan Air

Diagram alir uji adsorpsi pada air sadah ditunjukkan Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Tahapan proses uji adsorpsi zeolit

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis zeolit dari batu apung dengan campuran arang kayu karet menghasilkan tipe zeolit A.
2. Arang kayu karet dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan zeolit buatan menggunakan metode hidrotermal.
3. Nilai konduktivitas zeolit buatan yang dihasilkan dalam rentang $1,15 \times 10^{-6} S/cm$ sampai $3,49 \times 10^{-6} S/cm$, dengan sampel 5 sebagai sampel optimum dengan nilai konduktivitas $3,49 \times 10^{-6} S/cm$.
4. Setelah uji diperoleh sampel terbaik (optimum) hasil uji UV-Vis pada sampel 1, dan hasil uji konduktivitas pada sampel 5.
5. Sampel zeolit yang di karakterisasi XRD dengan uji konduktivitas optimum memperoleh hasil pada 2θ sebesar $32,06^\circ$, dengan puncak bernama *thermonatrite* yang merupakan pola kristal dari *sodium carbonate hydrate*. Sampel zeolit yang di karakterisasi XRD dengan karakterisasi UV-Vis optimum memperoleh hasil pada 2θ sebesar $29,79^\circ$ dengan puncak bernama *chabazite* yang merupakan pola kristal dari *sodium aluminum silicate hydrate*.
6. Zeolit buatan yang dihasilkan dapat menurunkan kandungan kalsium (Ca) sebesar 99,94% dan magnesium (Mg) sebesar 99,80% pada uji adsorpsi air sadah. Komposisi yang dihasilkan dari zeolit buatan batu apung dan arang kayu karet yaitu aluminium, silika, fosfor, kalium, kalsium, titanium, vanadium, kromium, mangan, dan besi.

5.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya untuk nilai adsorbansi magnesium (Mg) dan kalsium (Ca) sudah bagus, tetapi untuk warna yang dihasilkan masih keruh sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menjernihkan warnanya. Kemudian lebih divariasikan lagi perbandingan bahan dasar pembuatan zeolit buatannya antara natrium silikat, natrium aluminat, dan arang kayu karet. Dengan tujuan agar zeolit yang dihasilkan memiliki nilai dan kemurnian yang lebih baik. Dan diharapkan dapat melakukan uji yang lebih bervariasi agar dapat mengetahui lebih banyak tentang kandungan maupun fungsi zeolit yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib, M., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., dan Jaafar, J. 2017. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V.
- Aidha, N. N. 2013. Aktivasi Zeolit Secara Fisika dan Kimia Untuk Menurunkan Kadar Kesadahan (Ca dan Mg) Dalam Air Tanah. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 35(1), 58.
- Ameh, A. E., Fatoba, O. O., Musyoka, N. M., dan Petrik, L. F. 2017. Influence of aluminium source on the crystal structure and framework coordination of Al and Si in fly ash-based zeolite NaA. *Powder Technology*, 306, 17–25.
- Amelia, N., Marjuki, E. I., dan Fithriyah, N. H. 2018. *Pembuatan Zeolit Sintetis Berteknologi Hidrotermal dari Limbah Kaca dengan Variasi NaOH Dalam Pembuatan Larutan Natrium Silika* (Vol. 17).
- Andalia, R., Rahmi, R., Julinawati, J., dan Helwati, H. 2020. Isolation and characterization of cellulose from rice husk waste and sawdust with chemical method. *Jurnal Natural*, 20(1), 6–9.
- Andarini, N., Lutfia, Z., dan Haryati, T. 2018. Sintesis Zeolit A dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Variasi Synthesis of Zeolite A From Coal Fly Ash with Variation of Si/Al Molar Ratio. *Jurnal Ilmu Dasar*, 19(2), 105–110.
- Andrian, Supriadi, dan Marpaung, P. 2014. Pengaruh Ketinggian Tempat dan Kemiringan Lereng terhadap Produksi Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) di Kebun Hapesong PTPN III Tapanuli Selatan. *E-Journal Agroekoteknologi*, 2(3), 981–989.
- Ariani, N. M., dan Mahmudah, L. 2017. Recycle Afalan Kemasan Aluminium Foil sebagai koagulan pada IPAL. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 2(2).
- Aysan, H., Edebali, S., Ozdemir, C., Celik Karakaya, M., dan Karakaya, N. 2016. Use of chabazite, a naturally abundant zeolite, for the investigation of the adsorption kinetics and mechanism of methylene blue dye. *Microporous and Mesoporous Materials*, 235, 78–86.
- Barrer, R. M., dan Rosembat, M. A. 1982. Observations on sorption and desorption kinetics of n-hexane in zeolite H-RHO. *Zeolites*, 2(3), 231–233.
- Bogdanov, B., Georgiev, D., Angelova, K., Hristov, Y. 2009. Synthetic Zeolites

- and Their Industrial Enviromental Applications Review. *International Science Conference*, 4, 1-5
- Bohács, K., Faitli, J., Bokányi, L., dan Mucsi, G. 2017. Control of Natural Zeolite Properties by Mechanical Activation in Stirred Media Mill. *Archives of Metallurgy and Materials*, 62(2), 1399–1406.
- Budiman, dan Asmi, D. 2013. Sintesis Keramik Kalsium Silikat Menggunakan Kalsium Karbonat (CaCO_3) dan Silikon Dioksida (SiO_2) dengan Teknik Reaksi Padatan pada Suhu Sintering 1200 °C. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 01(01), 1–5.
- Busyairi, M., Sarwono, E., dan Priharyati, A. 2018. Pemanfaatan Aluminium dari Limbah Kaleng Bekas Sebagai Bahan Baku Koagulan Untuk Pengolahan Air Asam Tambang. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 10(1), 15–25.
- Cita, D. W., dan Adriyani, R. 2013. Kualitas Air dan Keluhan Kesehatan Pengguna Kolam Renang di Sidoarjo. *Kesehatan Lingkungan*, 7(1), 26–31.
- Clark, A. H., Gidley, M. J., Richardson, R. K., dan Ross-Murphy, S. B. 1989. Rheological Studies of Aqueous Amylose Gels: The Effect of Chain Length and Concentration on Gel Modulus. *Macromolecules*, 22(1), 346–351.
- Carrado, K. A., Dutta, P. K., Auerbach, S. M. 2003. *Handbook of Zeolite Science And Technology*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Cundy, C. S., Cox, P. A. 2003. The hydrothermal synthesis of zeolites: History and development from the earliest days to the present time. *Chemical Reviews*, 103(3), 663–701.
- Damayanti, A., dan Afifah, A. S. 2016. Filtrasi Limbah Laundry dengan Membran Zeolit-Silika untuk Menurunkan Cod. *Jurnal Purifikasi*, 16(2).
- Djaeni, M., Kurniasari, L., Purbasari, A., dan Sasongko, S. B. 2010. Activation of natural zeolite as water adsorbent for mixed-adsorption drying. *Proceeding of the 1 St International Conference on Materials Engineering, November*, 25–26.
- Dyballa, M., Klemm, E., Weitkamp, J., dan Hunger, M. 2013. Effect of phosphate modification on the Brønsted acidity and methanol-to-olefin conversion activity of zeolite ZSM-5. *Chemie-Ingenieur-Technik*, 85(11), 1719–1725.
- Erdem, E., Karapinar, N., dan Donat, R. 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2), 309–314.
- Ersoy, B., Sariisik, A., Dikmen, S., dan Sariisik, G. 2010. Characterization of acidic pumice and determination of its electrokinetic properties in water. *Powder Technology*, 197(1–2), 129–135.

- Fadlulah, M. 2014. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi 17 (3) (2014) : 100-103 A b s t r a k. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 17(3), 100–103.
- Faizal, M., Andynapratiwi, I., dan Putri, P. D. A. 2014. Pengaruh Komposisi Arang Dan Perekat Terhadap Kualitas Biobriket Dari Kayu Karet. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(2), 36–44.
- Faizal, M., Saputra, M., dan Zainal, F. A. 2015. Pembuatan Briket Bioarang dari Campuran Batubara dan Biomassa Sekam Padi dan Eceng Gondok. *Teknik Kimia*, 21(4), 1–12.
- Figueiredo, E., Silva, R. J. C., Araújo, M. F., dan Senna-Martinez, J. C. 2010. Identification of ancient gilding technology and Late Bronze Age metallurgy by EDXRF, Micro-EDXRF, SEM-EDS and metallographic techniques.
- Fredeen, C. B. B. and K. J. 2004. Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy. *Emission Spectroscopy*, 1–22.
- Fuadi, A., Musthofa, M., Harismah, K., Hidayati, N., Yani Tromol Post, J. A., and Kartasura, P. 2012. Pembuatan Zeolit Sintetis dari Sekam Padi. *Simposium Nasional*.
- Holman, J. P. 2010. Heat Transfer. In *Principles of Metal Manufacturing Processes*.
- I P., S., I P., A. B., dan N. K., J. 2020. Uji Cemarkan Coliform Dan Escherichia Coli pada Air Sumur Gali Disekitar Tempat Pemotongan Ternak Banjar Keden Desa Ketewel Kecamatan Sukawati Kabupaten Gianyar. *Jurnal Widya Biologi*, 11(01), 20–29.
- Khodariya, N., Efendy, M., Amir, N., Nuzula, N. I., Studi, P., Kelautan, I., Pertanian, F., Madura, T., Telang, J. R., Bangkalan, K., ang Timur, J. 2021. Analysis Of Magnesium (Mg) Levels In Water Raw Material Salt In PT. Garam Persero Pamekasan. *Juvenil*, 2(4), 277–281.
- Kobayashi, T., Tahara, Y., Matsumoto, M., Iguchi, M., Sano, H., Murayama, T., Arai, H., Oida, H., Yurugi-Kobayashi, T., Yamashita, J. K., Katagiri, H., Majima, M., Yokode, M., Kita, T., and Narumiya, S. 2004. Roles of thromboxane A and prostacyclin in the development of atherosclerosis in apoE-deficient mice. *Journal of Clinical Investigation*, 114(6), 784–794.
- Kozlov, E., dan Fomina, E. 2020. Geological interpretation of the results of factor analysis of XRF- And XRD-data on carbonatites and aluminosilicate rocks of the kontozero alkaline complex (Kola Peninsula, NW Russia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 609(1).
- Kurniawidi, D. W., Siti, A., Mulyani, S., dan Rahayu, S. 2021. Sintesis Zeolit dari Batu Apung (Pumice) Daerah Ijobalit Lombok Timur Sebagai Adsorben

Logam Fe. 7(2).

- Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia 2010*, 6.
- Mahaddilla, F., dan Putra, A. 2013. Pemanfaatan Batu Apung Sebagai Sumber Silika Dalam Pembuatan Zeolit Sintetis. *Jurnal Fisika Unand*, 2(4), 262–268.
- Manurung, M., dan Ayuningtyas, I. F. 2010. Kandungan Aluminium Dalam Kaleng Bekas dan Pemanfaatannya Dalam Pembuatan Tawas. *Jurnal Kimia*, 4(2), 180–186.
- Markovska, I. (2018). Synthetic Zeolites - Structure, Clasification, Current Trends In Zeolite Synthesis - D_Georgiev. *International Science Conference: Economics and Society Develop, September 2009*, 1–6.
- Monshi, A., Foroughi, M. R., dan Monshi, M. R. 2012. Modified Scherrer Equation to Estimate More Accurately Nano-Crystallite Size Using XRD. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 02(03), 154–160.
- Muttaqii, M. Al, Indonesia, I. A., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Agency, I., dan Amin, M. 2019. *The Effect Of Chemical Activation by Using Acid And Base Solution On Natural Zeolite Characteristics dan Basa Terhadap Karakteristik Zeolit Alam The Effect Of Chemical Activation by Using Acid And Base. January 2020.*
- Nana Ristiana, Dwi Astuti, T. P. K. 2009. Keefektifan Ketebalan Kombinasi Zeolit dengan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Kesadahan Air Sumur di Karang Tengah Weru Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Kesehatan*, 2(1), 91–102.
- Nikmah, R. A. S., Widiastuti, N., dan Fansuri, H. 2008. Pembentukan Zeolit A dari Abu Dasar Bebas Karbon dari Pltu PT. Ipmomi Dengan Metode Hidrotermal. *Journal Zeolit Indonesia*, 7(1), 42–52.
- Nurdin, N., Noor, A., dan Zakir, M. 2016. *Penentuan Kualitas Biosolar Melalui Analisis Konsentrasi Unsur Runut (Trace Elements) Menggunakan Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP OES).*
- Oktaviani, Y., dan Muttaqin, A. 2015. Pengaruh Temperatur Hidrotermal terhadap Konduktivitas Listrik Zeolit Sintetis dari Abu Dasar Batubara dengan Metode Alkali Hidrotermal. *Jurnal Fisika Unand*, 4(4), 358–364.
- Oyedotun, T. D. T. 2018. X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: a review and an overview. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(2), 148–154.
- Özkan, İ., dan Dokumacı, E. 2019. Production of borosilicate cullet by using rice husk ash. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(2), 1–5.

- Panchuk, V., Yaroshenko, I., Legin, A., Semenov, V., dan Kirsanov, D. 2018. Application of chemometric methods to XRF-data – A tutorial review. *Analytica Chimica Acta*, 1040, 19–32.
- Pratomo, I. 2006. Klasifikasi gunung api aktif Indonesia, studi kasus dari beberapa letusan gunung api dalam sejarah. *Indonesian Journal on Geoscience*, 1(4), 209–227.
- Pusvitasari, J., Manurung, P., dan Karo-Karo, P. 2018. *Pengaruh Variasi HCl Pada Pemurnian Silika Berbasis Batu Apung* (Vol. 06, Issue 01).
- Putra, P. S., dan Yulianto, E. 2017. Karakteristik Endapan Tsunami Krakatau 1883 Di Daerah Tarahan, Lampung. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 27(1), 83.
- Putranto, V., dan Kusumastuti, E. 2015. Pemanfaatan Zeolit Dari Abu Sekam Padidengan Aktivasi Asam untuk Penurunan Kesadahan Air. *Jurnal MIPA*, 38(2), 150–159.
- Rabenau, A. 1985. The Role of Hydrothermal Synthesis in Preparative Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 24(12), 1026–1040.
- Rahmani, A. R., Jorfi, S., Asgari, G., Zamani, F., Almasi, H., dan Masoumi, Z. 2018. A comparative study on the removal of pentachlorophenol using copper-impregnated pumice and zeolite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 3342–3348.
- Rahmani, M., Kaykhaili, M., dan Sasani, M. 2018. Application of Taguchi L16 design method for comparative study of ability of 3A zeolite in removal of Rhodamine B and Malachite green from environmental water samples. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 188, 164–169.
- Rashad, A. M. 2020. *An Overview of Pumice Stone as a Cementitious Material – the Best Manual for Civil Engineer*.
- Rini, F. A. L. 2010. Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi. In *Jurnal Teknik Kimia Undip* (Vol. 4, Issue 1).
- Rizaldi, N. A. 2017. *Pengaruh Variasi Rasio Mol $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ Pada Pembentukan Zeolit Y dari Kaolin Melalui Tahap Metakaolinisasi*. 7–13.
- Said, M., Prawati, A. W., dan Murenda, E. 2008. Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorbent Pada Adsorpsi Larutan Iodium. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(4), 50–56.
- Satriyani Siahaan, Melvha Hutapea, dan Rosdanelli Hasibuan. 2013. Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 26–30.

- Septiani, U., Fatiha, W. Y., dan Arief, S. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Faujasit dari Limbah Batubara Ombilin dengan Metoda Alkali Hidrotermal Air Laut. *Jurnal Riset Kimia*, 8(2), 165.
- Shindo, D., dan Oikawa, T. 2002. Constitution and Basic Operation of Analytical Electron Microscopes. *Analytical Electron Microscopy for Materials Science*, 13–41.
- Simkin, T., dan Fiske, R. S. 1983. Krakatau 1883: A classic geophysical event. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 64(34), 513–514.
- Smart, L. and Moore, E. 1993. *Solid State Chemistry : An Introduction*.
- Soeswanto, B., dan Lintang, N. 2016. Pemanfaatan limbah abu sekam padi menjadi natrium silikat. In *Fluida: Vol. VII* (Issue 1, pp. 18–22).
- Subagja. 1993. Pemanfaatan Zeolit Alam untuk Adsorpsi Benzopiren sebagai Senyawa Racun dalam Asap Cair. *Majalah Iptek*, 11, 1-5.
- Suhartati. 2017. Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrofotometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik. In *Pepustakaan Nasional RI* (Vol. 4, Issue 1, pp. 3614–3614).
- Suherman, Hasanah, M., Ariandi, R., dan Ilmi. 2021. Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Karakteristik dan Mikrostruktur Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guinensis*) The Effect of Activation Temperature on The Characteristics and Microstructure of Active Carbon From Palm Oil Fronds (*Elaeis guinensis*). *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 16(1), 1–9.
- Suka, I. G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., dan Trisnawati, E. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang Diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *Mipa*, 1, 47–52.
- Sumanik, N. B., Parlindungan, J. Y., dan Maarebia, R. Z. 2019. Analisis Kandungan Aluminium Dalam Kaleng Bekas Untuk Pembuatan Tawas. *Musamus Journal Science Education*, 2(1), 39–46.
- Suminta. 2005. *Penghalusan Struktur Sangkar Kristal Mordenit dan Klinoptilolit Alam dengan Metode Rietveld*. 8, 78–85.
- Tamboesai, E. M. 2016. Pemisahan Minyak Pelumas (Base Oil) dari Minyak Bumi Asal Bangko, Rohil-Riau Dengan Zeolit a Dari Abu Layang. *Chimica et Natura Acta*, 4(2), 72.
- Thoha, M. Y., dan Fajrin, D. E. 2010. Pembuatan Briket Arang dari Daun Jati dengan Sagu Aren Sebagai Pengikat. *Journal Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*, 17(1), 34–43.
- Toruan-mathius, N., Lizawati, Aswidinnoor, H., dan Boerhendy, I. 2016. Pengaruh Batang Bawah terhadap Pola Pita Isoenzim dan Protein Batang

- Atas pada Okulasi Tanaman Karet (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg.). *Menara Perkebunan*, 70(1), 20–34.
- Trianasari. 2017. Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO_2) Sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (Pumice). *Palliative Care Research*, 25(1), 9–14.
- Tua, F. H. D. 2015. Teknologi Pengolahan Air Sadah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(3), 256–266.
- Utami. 2017. Aktivasi Zeolit Sebagai Adsorben Gas CO_2 Isni Utami. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 11, Issue 2).
- Walujodjati, A. 2008. Sintesis Hidrotermal dari Serbuk Oksida Keramik. *Jurnal Momentum UNWAHAS*, 4(2), 115092.
- Weitkamp, J. 2000. Zeolites and catalysis. *Solid State Ionics*, 3(3), 175–186.
- Wibawa, A. 2008. Inductively Coupled Plasma. *Makalah Ilmiah, Departemen Universitas Indonesia*, 4(1), 88–100.
- Widarti, B. N., Sihotang, P., dan Sarwono, E. 2016. Penggunaan tongkol jagung akan meningkatkan nilai kalor pada briket. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(1), 16–21.
- Widayat, W. 2002. Teknologi Pengolahan Air Sadah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(3), 256–266.
- Widayatno, T., Yuliawati, T., Susilo, A. A., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., dan Muhammadiyah, U. 2017. Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 17–23.
- Woelan, S., Siagian, N., Sayurandi, S., dan Pasaribu, S. A. (2012). Potensi Kayu Karet Hasil Peremajaan Di Tingkat Perusahaan Perkebunan. *Warta Perkaratan*, 31(2), 75.
- Wuryanti, S., dan Iriani, P. 2018. Investigasi Experimental Konduktivitas Panas pada Berbagai Logam. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 2(1), 1–7.
- Wustoni, S., Mukti, R. R., Wahyudi, A., dan Ismunandar. 2011. Sintesis Zeolit Mordenit dengan Bantuan Benih Mineral Alam Indonesia Mordenit Zeolit Synthesis Asists by Indonesia Netral Mineralized. *Jurnal Matematika dan Sains*, 16(3), 158–160.
- Yanlinastuti, dan Fatimah, S. 2016. Pengaruh Konsentrasi Pelarut untuk Menentukan Paduan U-Zr dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Uv-Vis. *Pusat Teknologi Bahan Nuklir*, 9(17), 22–33.
- Yao, S. S., Jin, F. L., Rhee, K. Y., Hui, D., dan Park, S. J. 2018. Recent advances

in carbon-fiber-reinforced thermoplastic composites: A review. *Composites Part B: Engineering*, 142, 241–250.

Zhu, D., Yu, W., Du, H., Chen, L., Li, Y., dan Xie, H. 2016. Thermal Conductivity of Composite Materials Containing Copper Nanowires. *Journal of Nanomaterials*, 2016, 1–7.

Zulkifli , Erman Taer, S. 2015. Pengaruh aktivator KOH dan HNO₃ pada karbon aktif monolit. *Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau Kampus Bina Widya Pekanbaru* , 28293 , 2(1), 1–7.