

**PENGARUH KADAR NATRIUM SILIKAT, NATRIUM ALUMINAT DAN
ARANG DAUN KERAI PAYUNG TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS,
KOMPOSISI, STRUKTUR KRISTAL DAN STRUKTUR MIKRO PADA
PEMBUATAN ZEOLIT**

(Skripsi)

Oleh

Nindia Agustin



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

ABSTRAK

PENGARUH KADAR NATRIUM SILIKAT, NATRIUM ALUMINAT DAN ARANG DAUN KERAI PAYUNG TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS, KOMPOSISI, STRUKTUR KRISTAL DAN STRUKTUR MIKRO PADA PEMBUATAN ZEOLIT

Oleh

Nindia Agustin

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kadar natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung terhadap nilai konduktivitas, komposisi, struktur kristal dan struktur mikro pada pembuatan zeolit. Dan kemampuan zeolit buatan dalam menurunkan kandungan kalsium dan magnesium pada air sadah. Pembuatan zeolit dilakukan menggunakan metode hidrotermal dengan mencampurkan natrium silikat dari silika batu apung Lampung, natrium aluminat dari limbah kaleng aluminium dan arang daun kerai payung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari karakterisasi LCR meter, zeolit buatan yang dihasilkan memperoleh nilai konduktivitas dari selang $5,16 \times 10^{-5}$ (S/cm) sampai $3,44 \times 10^{-3}$ (S/cm). Komposisi dari zeolit buatan hasil karakterisasi XRF adalah aluminium, silika, fosfor, kalium, kalsium, titanium, vanadium, kromium, manganum dan ferum. Hasil karakterisasi XRD pada sampel optimum dari karakterisasi LCR meter memperoleh struktur kristal yaitu Zeolit-A dan hasil karakterisasi SEM-EDX memperoleh struktur mikro berbentuk bulat dan silinder. Hasil karakterisasi XRD sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometri UV-Vis memperoleh struktur kristal yaitu zeolit jenis *Chabazite* dan hasil karakterisasi SEM-EDX memperoleh struktur mikro berbentuk kasar yang menempel pada kristal lainnya. Dan karakterisasi ICP-EOS menunjukkan bahwa zeolit buatan dapat menurunkan kandungan kalsium sebanyak 36,57%.

Kata kunci: Zeolit, Batu Apung Lampung, Limbah Kaleng Aluminium

ABSTRACT

EFFECT OF CONCENTRATION OF SODIUM SILICATE, SODIUM ALUMINATE AND *FILICIUM DECIPIENS* CHARCOAL ON THE VALUE OF CONDUCTIVITY, COMPOSITION, CRYSTAL STRUCTURE AND MICROSTRUCTURE OF ARTIFICIAL ZEOLITE

By

Nindia Agustin

Research has been carried out to study the effect of sodium silicate, sodium aluminate and *Filicium decipiens* charcoal on the value of conductivity, composition, crystal structure, and microstructure in the artificial zeolite. And the ability of the artificial zeolite to reduce calcium and magnesium content in hard water. The manufacture of zeolite is carried out by the hydrothermal method by mixing sodium silicate from Lampung pumice silica, sodium aluminate from aluminum scrap and *Filicium decipiens* charcoal. The results showed that from the characterization of the LCR meter, the resulting artificial zeolite obtains the conductivity value of the hose $5,16 \times 10^{-5}$ (S/cm) until $3,44 \times 10^{-3}$ (S/cm). The composition of the artificial zeolite resulting from XRF characterization was aluminum, silica, phosphorus, potassium, calcium, titanium, vanadium, chromium, mangan and ferrite. The results of the XRD characterization of the optimum sample results of the LCR meter characterization obtained a crystal structure namely Zeolite-A and results of the SEM-EDX characterization obtained a spherical and cylindrical microstructure. The results of the optimum sample XRD characterization result the UV-Vis spectrophotometric characterization obtained a crystal structure namely zeolite type Chabazite and the SEM-EDX characterization results obtained a rough microstructure attached to other crystals. And the ICP-EOS characterization shows that the artificial zeolite can reduce the content of calcium by 36.57%.

Keywords: Zeolite, Lampung Pumice, Aluminum Can Waste

**PENGARUH KADAR NATRIUM SILIKAT, NATRIUM ALUMINAT DAN
ARANG DAUN KERAI PAYUNG TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS,
KOMPOSISI, STRUKTUR KRISTAL DAN STRUKTUR MIKRO PADA
PEMBUATAN ZEOLIT**

Oleh

Nindia Agustin

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Penelitian : **PENGARUH KADAR NATRIUM SILIKAT,
NATRIUM ALUMINAT DAN ARANG DAUN
KERAI PAYUNG TERHADAP NILAI
KONDUKTIVITAS, KOMPOSISI, STRUKTUR
KRISTAL DAN STRUKTUR MIKRO PADA
PEMBUATAN ZEOLIT**

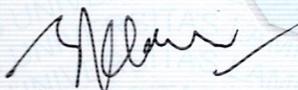
Nama Mahasiswa : **Nindia Agustin**

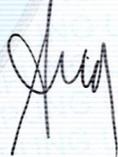
Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041041**

Jurusan : **Fisika**

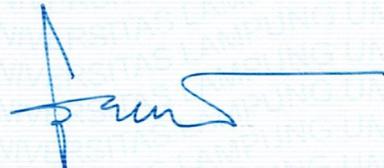
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
NIP. 19610723 198603 1 003


Dr. Sudiby, S.T., M.Sc.
NIP. 19820327 201502 1 002

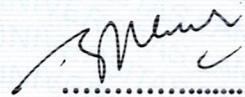
2. Ketua Jurusan Fisika


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010 200501 1 002

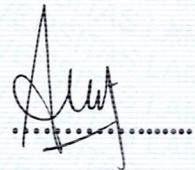
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

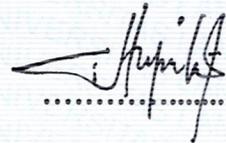
Ketua : **Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**



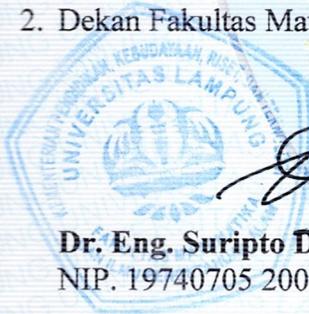
Sekretaris : **Dr. Sudiby, S.T., M.Sc.**



Anggota : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.
NIP. 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **13 Desember 2022**

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 13 Desember 2022



Nindia Agustin
NPM. 1817041041

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nindia Agustin yang lahir di Desa Padang Bindu Kecamatan Buay Runjung Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan Provinsi Sumatera Selatan pada tanggal 24 Agustus 2000. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan bapak Burhani dan Ibu Evi Lilis Suryani. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Negeri Padang Bindu pada tahun 2012, SMP Muhammadiyah 01 Muaradua pada tahun 2015 dan SMA Negeri 01 Muaradua pada tahun 2018. Penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung tahun 2018 melalui jalur SBMPTN. Pada Tahun 2021, Penulis telah melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2021 di Kelurahan Rajabasa Raya Kecamatan Rajabasa Kota Bandar Lampung. Penulis menjalankan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Perancangan Alat Peraga Sederhana sebagai Alat Bantu Belajar Siswa Kelas VIII Sekolah Menengah Pertama (SMP)”. Penulis pernah menjadi anggota Bidang Sosial dan Masyarakat HIMAFI FMIPA Unila periode 2017- 2018 dan 2018-2019. Penulis pernah melaksanakan Karya Wisata Ilmiah (KWI) di Desa Tanjung Tirto Kecamatan Way Bungur Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2018. Penulis menyelesaikan penelitian skripsi di Laboratorium Hidro-Elektro Metalurgi dan Laboratorium Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN Kecamatan Tanjung Bintang Kabupaten Lampung Selatan Provinsi Lampung dengan judul **“Pengaruh Kadar Natrium Silikat, Natrium Aluminat dan Arang Daun Kerai Payung terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Kristal dan Struktur Mikro pada Pembuatan Zeolit”**

MOTTTO

**"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan
kesanggupannya"
(QS. Al-Baqarah 2: Ayat 286)**

**Jangan putus asa, tetaplah berjuang dengan semangat yang tersisa. Walau
terjatuh dan tertatih, Allah tidak akan pernah tinggal diam memandangi
hamba-Nya
(*Self Healing with Qur'an*)**

**Be you, be unique, be crazy and you're beautiful
(Chittaphon Leechaiyapornkul)**

PERSEMBAHAN

Terimakasih atas semua rahmat dan karunia ALLAH SWT, kupersembahkan karya kecil ini kepada:

Orang tuaku:

Bapak Burhani

Ibu Evi Lilis Suryani

dan

Adik tercinta

Ridho Muryadi

Yang senantiasa mendo'akan dan memberikan segala yang terbaik untukku

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Kadar Natrium Silikat, Natrium Aluminat dan Arang Daun Kerai Payung terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Kristal dan Struktur Mikro pada Pembuatan Zeolit”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Skripsi ini membahas tentang pembuatan zeolit dengan mencampurkan natrium silikat dari batu apung Lampung, natrium aluminat dari limbah kaleng aluminium dan arang daun kerai payung.

Di dunia ini tidak ada manusia yang sempurna, penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih banyak kekurangan. Semoga skripsi ini dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 13 Desember 2022

Nindia Agustin

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji syukur senantiasa dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Kadar Natrium Silikat, Natrium Aluminat dan Arang Daun Kerai Payung terhadap Nilai Konduktivitas, Komposisi, Struktur Kristal dan Struktur Mikro pada Pembuatan Zeolit”** yang dilaksanakan di Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN Kecamatan Tanjung Bintang Kabupaten Lampung Selatan Provinsi Lampung. Begitu banyak rintangan dan hambatan saat penyusunan skripsi ini namun penulis bisa melaluinya berkat adanya bimbingan dan semangat dari berbagai pihak. Atas segala bantuannya penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si., selaku Pembimbing I yang telah membimbing, memberi ilmu dan saran serta meluangkan waktu kepada penulis.
2. Bapak Dr. Sudiby, S.T., M.Sc., selaku Pembimbing II di Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN, Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Lampung.
3. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., selaku Penguji yang telah memberikan koreksi selama penulisan skripsi.
4. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing Akademik.
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah menyetujui skripsi ini.
6. Dosen-dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Staf Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Noni Susanti dan Monica Octavioletta sebagai tim penelitian atas dukungan

dan kerjasamanya.

9. Juana Santika, Intan Widyaningrum dan Silvi Indah Kusuma Wardani selaku teman-teman seperjuangan.

Semoga dapat menjadi amal sholeh dan dibalas oleh Allah SWT.

Bandar Lampung, 13 Desember 2022

Nindia Agustin

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
UCAPAN TERIMA KASIH	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
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

2.1	Zeolit	6
2.2	Sifat-Sifat Zeolit.....	8
2.3	Batu Apung	10
2.4	Aluminium.	11
2.5	Arang Daun Kerai Payung	12
2.6	Kesadahan Air	16
2.7	LCR Meter.....	17
2.8	<i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	19
2.9	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	21
2.10	<i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	23
2.11	Spektrofotometri <i>Ultra Violet-Visible (UV-Vis)</i>	25
2.12	<i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-EOS)</i>	27

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.	30
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.3	Prosedur Penelitian.....	30
3.4	Diagram Alir Penelitian	34

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Karakterisasi Natrium Silikat dan Natrium Aluminat	40
4.2	Hasil Pembuatan Zeolit	42
4.3	Uji Adsorbansi Zeolit Buatan Pada Air Sadah.....	48
4.4	Hasil Karakterisasi Zeolit.....	53

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Batu apung	10
Gambar 2.2 Pohon kerai payung	13
Gambar 2.3 Arang daun kerai payung.....	14
Gambar 2.4 Alat LCR meter	17
Gambar 2.5 Alat XRF.....	20
Gambar 2.6 Skematik proses identifikasi XRF	20
Gambar 2.7 Alat XRD	21
Gambar 2.8 Difraksi sinar-x pada bidang atom.....	22
Gambar 2.9 Alat SEM-EDX.....	24
Gambar 2.10 Prinsip kerja SEM-EDX	25
Gambar 2.11 Alat spektrofotometri UV-Vis	26
Gambar 2.12 Diagram skematik spektrofotometri UV-Vis	26
Gambar 2.13 Alat ICP-EOS	27
Gambar 2.14 Prinsip kerja ICP-OES	28
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	34
Gambar 3.2 Karbonisasi daun kerai payung.....	35
Gambar 3.3 Proses pembuatan natrium silikat	36
Gambar 3.4 Proses pembuatan natrium aluminat	37
Gambar 3.5 Proses pembuatan zeolit	38
Gambar 3.6 Proses uji adsorpsi air sadah	39
Gambar 4.1 Natrium silikat	40
Gambar 4.2 Natrium aluminat	41
Gambar 4.3 Produk zeolit buatan	42
Gambar 4.4 Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas.....	43
Gambar 4.5 Perbandingan natrium silikat dengan konduktivitas.....	45

Gambar 4.6 Perbandingan arang daun kerai payung dengan konduktivitas.....	46
Gambar 4.7 Perbandingan konduktivitas dengan massa natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung	47
Gambar 4.8 Hasil karakterisasi XRD sampel optimum hasil karakterisasi LCR Meter	56
Gambar 4.9 Hasil karakterisasi XRD sampel optimum hasil karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis.....	57
Gambar 4.10 Karakterisasi SEM zeolit sampel optimum karakterisasi LCR meter perbesaran 15000 kali	59
Gambar 4.11 Hasil karakterisasi SEM senyawa zeolit sampel optimum karakterisasi LCR meter dengan perbesaran 15.000 kali	60
Gambar 4.12 Spektrum EDS zeolit buatan hasil karakterisasi LCR Meter.....	61
Gambar 4.13 Karakterisasi SEM zeolit sampel optimum karakterisasi Spektrofotometri UV-VIS dengan perbesaran 15000 kali	61
Gambar 4.14 Hasil karakterisasi SEM senyawa zeolit sampel optimum karakterisasi Sektrofotometri UV-Vis dengan perbesaran 15.000 kali	62
Gambar 4.15 Spektrum EDS zeolit buatan hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Jenis – jenis zeolit sintetik.....	7
Tabel 2.2 Komposisi kimia dan sifat fisika zeolit alam (% Wt)	7
Tabel 3.1 Perbandingan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung untuk setiap sampel	32
Tabel 4.1 Komposisi natrium silikat	41
Tabel 4.2 Komposisi natrium aluminat	42
Tabel 4.3 Hasil pembuatan zeolit buatan dengan variasi natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung terhadap konduktivitas	43
Table 4.4 Data hasil karakterisasi spektrofometer UV-Vis.....	49
Tabel 4.5 Data hasil karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis air sadah pada panjang gelombang 500 <i>nm</i>	51
Tabel 4.6 Persentase penurunan adsorbansi air sadah pada panjang gelombang 500 <i>nm</i>	51
Tabel 4.7 Persentase penurunan kandungan Ca dan Mg.....	53
Tabel 4.8 Hasil karakterisasi XRF zeolit buatan	54
Table 4.9 Kelimpahan elemen zeolit menggunakan EDS	63

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sekitar 30% gunung api aktif terdapat di Indonesia (Pratomo, 2006). Salah satu provinsi di Indonesia yang mengalami letusan gunung berapi aktif pada tahun 1883 adalah Lampung (Simkin dan Fiske, 1983). Letusan gunung berapi menghasilkan endapan vulkanik yang tersebar di seluruh wilayah yang terkena dampak letusan. Salah satu daerah Lampung yang terkena dampak erupsi adalah Provinsi Lampung Selatan (Putra dan Yulianto, 2017) dan menyebar ke berbagai daerah termasuk Provinsi Tanggamus (Putra dan Yulianto, 2016). Lava yang dihasilkan saat gunung berapi meletus mendingin, membentuk banyak batu dalam prosesnya. Salah satu batu yang terbentuk adalah batu apung.

Batu apung terbentuk ketika lava panas meluap dari dalam bumi, bertemu atmosfer dan membeku dengan cepat (Noor, 2009). Batu apung merupakan batuan vulkanik berpori amorf yang komponen utamanya adalah SiO_2 (Gunduz *et al.*, 1998). Batu apung mengandung beberapa komponen, yaitu l_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO , LOI (*Loss On Ignition*) dan SiO_2 dengan proporsi SiO_2 tertinggi sebesar 59,00% (Ersoy *et al.*, 2010). Dan berdasarkan hasil analisis kimia, kandungan batu apung didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 masing-masing adalah 48% dan 14,9% (Mourhly *et al.*, 2015). Silika secara alami ada di pasir, kerikil, dan bebatuan. Senyawa tersebut ada yang berbentuk polimer amorf (tidak teratur) atau kristal (berbagai bentuk kristal) (Hindryawati dan Alimudin, 2010). Tergantung pada struktur atau morfologinya, silika memiliki sifat hidrofilik atau hidrofobik (menyerap air), silika juga bersifat inert dan transparan (Taslimah *et al.*, 2005). Selain itu, silika batu apung bersifat non-konduktif dan memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap oksidasi dan degradasi termal (Hildayati *et*

al., 2009). Namun, penggunaan batu apung di masyarakat masih sangat terbatas, meskipun potensi kecukupan batu apung menunjukkan bahwa itu tidak digunakan secara optimal (Hunggurami *et al.*, 2013).

Seiring dengan berkembangnya industri, muncul pula efek samping berupa pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah seperti kaleng aluminium. Kaleng-kaleng ini adalah salah satu polutan terbanyak (Oktavianty *et al.*, 2021). Kaleng minuman mengandung sekitar 92-99 % aluminium (Zamani *et al.*, 2014). Sehubungan dengan itu, penelitian ini memanfaatkan limbah kaleng aluminium untuk menghasilkan natrium aluminat. Metode peleburan dengan melelehkan kaleng aluminium dengan *NaOH* dan akuades. Menurut Siregar (2010), rendemen hidrogen yang lebih tinggi diperoleh dengan menggunakan katalis basa kuat seperti *NaOH* dan *KOH*, tetapi menggunakan katalis *NaOH* waktu reaksi antara aluminium dan air lebih cepat daripada katalis *KOH*.

Indonesia memiliki banyak potensi hutan yang perlu dikembangkan seperti kerai payung. Kerai payung berasal dari Asia tropis dan Afrika, hingga sekarang sudah umum di berbagai wilayah Indonesia. Bagian kerai payung yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagian daun yang diubah menjadi arang. Arang merupakan bahan padat berpori dan hasil pembakaran yang mengandung unsur C (karbon). Sebagian besar pori masih tertutup hidrokarbon dan senyawa anorganik lainnya (Nabawiyah dan Abtokhi, 2010). Arang dapat dibuat dengan menggunakan metode karbonisasi. Metode karbonisasi memerlukan suhu tinggi untuk mengubah tumbuhan seperti daun dan batang pohon menjadi arang hitam pekat yang mengandung karbon (Prasetyo, 2020). Bahan baku yang dapat diolah menjadi arang aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik dari tumbuhan, hewan maupun hasil tambang (Subadra *et al.*, 2005). Arang yang terbentuk akan menjadi arang aktif. Arang aktif adalah arang dengan ruang pori yang sangat besar dengan ukuran tertentu yang dapat menjebak partikel yang terserap (Irmanto dan Suyata, 2010).

Baru-baru ini, banyak peneliti telah menggunakan bahan alami murah sebagai bahan awal untuk produksi zeolit. Seperti sekam padi (Mohamed *et al.*, 2015),

kaolin (Ayele *et al.*, 2018), *fly ash* (Czuma *et al.*, 2018) dan abu vulkanik (Prajaputra *et al.*, 2019). Menurut Mahaddilla dan Putra (2013), kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit tetrahedral (AlO_4) dan (SiO_4). Zeolit buatan adalah senyawa kimia yang memiliki sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam. Zeolit ini dibuat dari bahan lain melalui proses sintetik. Zeolit berwarna putih keabu-abuan, putih kehijauan, atau putih kekuningan, memiliki densitas zeolit 2,0-2,3 g/cm^3 , serta memiliki morfologi yang halus dan lunak (Pasaribu, 2011). Zeolit dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik/buatan, namun kemurnian zeolit alam biasanya lebih rendah dibandingkan dengan zeolit sintetik/buatan (Murniati *et al.*, 2009).

Banyak peneliti yang sudah melakukan pembuatan zeolit dari natrium silikat dan natrium aluminat. Seperti pada penelitian Wasito *et al.*, (2008) tentang pembentukan zeolit buatan secara hidrotermal, yaitu pencampuran natrium silikat dari abu sekam padi dan natrium aluminat dari $Al(OH_3)$ sebagai zeolit buatan dengan ditambah variasi konsentrasi surfaktan *Cetyltrimethylammonium Bromide* (n-CTMABr) yang kemudian dilakukan karakterisasi XRD, spektrofotometer infra merah dan *surface area analyser*. Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa zeolit buatan dari abu sekam padi dengan n-CTMABr sebagai template belum dapat menghasilkan Zeolit-Y tetapi dihasilkan campuran zeolit jenis HS dan natrium aluminat silikat hidrat. Dan penambahan n-CTMABr akan meningkatkan kristalinitas dan ukuran pori zeolit, serta menghasilkan ukuran pori yang seragam yaitu pada daerah mesopori. Ukuran pori, luas permukaan dan volume pori total berturut-turut mengalami kenaikan dari 20,87 Å, 18,00 m^2/g , 0,018 cm^3/g untuk tanpa n-CTMABr menjadi 27,61 Å, 21,33 m^2/g , 0,029 cm^3/g untuk penambahan n-CTMABr.

Selain itu pembuatan zeolit secara hidrotermal pernah dilakukan oleh Mahadilla dan Putra (2013), zeolit dibuat dengan pencampuran natrium silikat dari batu apung dan natrium aluminat dari $Al(OH_3)$ dengan variasi rasio Si/Al sampel 1 yaitu 0,67, sampel 2 yaitu 1, sampel 3 yaitu 1,33, sampel 4 yaitu 1,67 dan sampel 5 yaitu 2,00. Setelah zeolit terbentuk, dilakukan karakterisasi menggunakan LCR meter dan XRD. Oleh karena itu, disimpulkan dari penelitian ini bahwa batu

apung dapat digunakan sebagai sumber silika dalam proses produksi hidrotermal zeolit buatan. Hasil difraksi sinar-X menunjukkan bahwa zeolit buatan dari batu apung dengan rasio Si/Al rendah merupakan zeolit tipe A, dengan rasio zeolit 15:15 menunjukkan nilai konduktivitas tertinggi.

Dari kedua penelitian tersebut, maka dilakukan pembaharuan dalam pembuatan zeolit dengan mencampurkan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung. Natrium silikat diperoleh dari silika batu apung Lampung, natrium aluminat dibuat dari limbah kaleng aluminium dan daun kerai payung yang diolah menjadi arang. Penelitian ini memvariasikan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung sebagai zeolit buatan. Selanjutnya akan dilakukan karakterisasi LCR meter untuk mengetahui nilai konduktivitas zeolit buatan. Dari karakterisasi LCR meter akan diperoleh sampel optimum, kemudian dikarakterisasi XRF, XRD dan SEM-EDX untuk mengetahui komposisi, struktur kristal dan struktur mikro dari zeolit buatan. Zeolit buatan yang dihasilkan kemudian diuji adsorpsi air sadah untuk mengetahui persentase penurunan kandungan senyawa pengotor dalam air sadah sebelum dan sesudah uji. Pada umumnya kesadahan disebabkan oleh adanya logam atau kation divalen seperti Fe, Sr, Mn, Ca dan Mg, tetapi penyumbang kesadahan yang utama adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) (Widayat, 2002). Selanjutnya dilakukan karakterisasi sampel zeolit buatan setelah uji air sadah menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kemudian akan diperoleh sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometer UV-Vis lalu dilakukan karakterisasi XRD, SEM-EDX, dan ICP-EOS pada zeolit buatan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai konduktivitas dari zeolit buatan?
2. Apa saja komposisi dari zeolit buatan yang dihasilkan?
3. Bagaimana struktur kristal dan struktur mikro yang terbentuk dari sampel optimum zeolit buatan?

4. Bagaimana kemampuan zeolit buatan dalam menurunkan kandungan kalsium dan magnesium pada air sadah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

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

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Natrium silikat diperoleh dari silika batu apung Lampung, natrium aluminat dibuat dari limbah kaleng aluminium dan arang dari daun kerai payung.
2. Menguji zeolit buatan yang dihasilkan pada air sadah.
3. Karakterisasi sampel menggunakan LCR meter, XRF, XRD, SEM-EDX, Spektrofotometri UV-Vis dan ICP-EOS.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memanfaatkan potensi batu apung Lampung, limbah kaleng aluminium dan arang daun kerai payung yang terdapat diberbagai wilayah di Indonesia sebagai zeolit buatan.
2. Dapat memanfaatkan zeolit buatan untuk mengurangi kandungan senyawa pengotor pada air sadah.
3. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit

Zeolit merupakan kelompok mineral yang dihasilkan oleh proses hidrotermal dalam batuan beku alkali. Mineral ini biasanya ditemukan mengisi retakan atau celah pada batuan. Selain itu, zeolit juga merupakan endapan dari aktivitas vulkanik dan kaya akan silika (Saputra, 2006). Zeolit adalah aluminosilikat terhidrasi alami dan sintetik dengan struktur tiga dimensi. Dengan substitusi isomorfik (sama) Si dan Al muatan negatif dihasilkan, memberikan zeolit kemampuan untuk menyerap kation logam termasuk logam berat. Adsorpsi kation atau ion logam berat ke dalam zeolit biasanya bergantung pada nilai kapasitas tukar kation (KTK) zeolit (Johan *et al.*, 2015).

Zeolit khususnya mineral aluminosilikat memiliki kemampuan untuk meningkatkan kualitas air terutama kemampuan menyisihkan logam berat. Ini dikarenakan luas permukaannya yang tinggi, pori-pori dangkal yang tinggi, dan kapasitas tukar ion (Azad *et al.*, 2020). Secara empiris, rumus molekul zeolit adalah $M_{x/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y]zH_2O$. Dengan M adalah kation alkali atau alkali tanah, n adalah valensi logam alkali, x adalah bilangan tertentu, y adalah bilangan tertentu dan z adalah jumlah H_2O .

Sedangkan rumus untuk masing-masing tipe zeolit sintesis disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis-jenis zeolit sintetis (Murniati *et al.*, 2009)

Nama	Rumus molekul
Zeolit-A	$Na_{12}[(AlO_2)_{12}(SiO_2)_{12}].27H_2O$
Zeolit-X	$Na_{86}[(AlO_2)_{86}(SiO_2)_{106}].264H_2O$
Zeolit-Y	$Na_{56}[(AlO_2)_{56}(SiO_2)_{136}].250H_2O$
Zeolit-L	$K_9[(AlO_2)_9(SiO_2)_{27}].22H_2O$

Zeolit termasuk dalam kelas yang dikenal sebagai mineral tektosilikat. Zeolit alam biasanya dibentuk oleh transformasi batuan yang banyak mengandung kaca di danau dan air laut (Erdem, 2004). Komposisi kimia zeolit yang umum ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi kimia dan sifat fisika zeolit alam (% Wt) (Erdem, 2004)

Komposisi kimia	(%)	Sifat fisika
SiO_2	69,31	Porositas 41,5 %
Al_2O_3	13,11	Densitas $2,27 g/cm^3$
K_2O	2,83	Keputihan 68 %
H_2O	6,88	Bleaching aktif 1,92 gram sampel/gram tonsil
Si/Al	4,66	pH 7,5

Ada dua jenis zeolit yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis/buatan. Zeolit alam merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi dengan kemampuan fisika dan kimia sebagai adsorben (penyerapan), penukar kation, dan katalis (Dur, 2017). Karena sifat zeolit yang unik yaitu kemampuannya untuk mengubah susunan atom dan komposisinya, maka para peneliti mencoba untuk membuat zeolit buatan dengan sifat yang spesifik sesuai dengan kebutuhannya (Said *et al.*, 2008). Kemampuan zeolit sebagai adsorben, katalis dan penukar ion sangat bergantung pada rasio Al terhadap Si dan dapat dibagi menjadi tiga kelompok (Sutarti dan Rachmawati, 1994 *dalam* Rini dan Fendy, 2010) :

1. Zeolit buatan Si Rendah

Zeolit jenis ini mengandung Al dalam jumlah besar, berpori, dan efektif untuk pemisahan kapasitas besar, sehingga memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Volume porinya dapat mencapai $0,5 cm^3$ tiap cm^3 .

2. Zeolit buatan dengan kandungan Si sedang

Zeolit jenis ini memiliki rasio Si/Al 2-5. Contoh jenis zeolit sintetis ini adalah Omega zeolit.

3. Zeolit buatan Si Tinggi

Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non-polar, sehingga berguna sebagai katalis asam hidrokarbon. Zeolit jenis ini misalnya zeolit ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21 dan ZSM-24.

2.2 Sifat-Sifat Zeolit

2.2.1 Sifat Dehidrasi

Saat dipanaskan, zeolit melepaskan molekul H_2O . Secara umum kerangka zeolit menyusut, tetapi struktur dasarnya tidak banyak berubah. Molekul H_2O tampaknya berada pada posisi tertentu dan dapat dihilangkan secara reversibel. Sifat zeolit sebagai adsorben dan filter molekuler dimungkinkan oleh struktur berongga zeolit, yang dapat menyerap sejumlah besar molekul tergantung pada ukuran pori yang lebih kecil. Selain itu, kristal zeolit terdehidrasi merupakan adsorben selektif dengan efisiensi adsorpsi yang tinggi (Mahaddilla dan Putra, 2013). Proses dehidrasi zeolit mempengaruhi sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari rongga permukaan dan menyebarkan medan listrik ke rongga utama dan berinteraksi secara efektif dengan molekul yang terserap (Said *et al.*, 2008).

2.2.2 Sifat Adsorben

Teknologi adsorpsi hanya menggunakan bahan adsorben tanpa membutuhkan pelarut atau banyak sumber energi, sehingga banyak digunakan oleh para profesional untuk mengolah limbah pewarna cair, serta lebih praktis dan ekonomis. Dalam keadaan normal, rongga kristal zeolit diisi dengan molekul air bebas yang mengelilingi kation. Ketika mineral zeolit dipanaskan hingga suhu antara $300^{\circ}C$ dan $400^{\circ}C$ menyebabkan munculnya air sehingga memungkinkan zeolit bertindak sebagai penyerap gas atau cairan (Said *et al.*, 2008). Zeolit memiliki morfologi kristal yang sangat teratur dan rongga-rongganya saling berhubungan ke segala arah sehingga memberikan luas permukaan yang sangat

besar (Sutarti dan Rachmawati, 1994 *dalam* Emelda, 2013). Penggunaan zeolit sebagai adsorben dapat ditingkatkan dengan aktivasi fisika dan kimia (Priatna *et al.*, 1985 *dalam* Emelda, 2013).

2.2.3 Sifat Penukar Ion

Sifat zeolit sebagai penukar ion didasarkan pada adanya kation logam alkali dan alkali tanah. Kation ini bebas bergerak di dalam rongga dan dapat ditukar dengan kation logam lain dalam jumlah yang sama. Karena struktur zeolit berongga, anion atau molekul yang lebih kecil atau sama dengan rongga dapat masuk dan terperangkap (Mahaddilla dan Putra, 2013).

2.2.4 Sifat Katalis

Ketika zeolit digunakan dalam proses penyerapan atau katalis, molekul berdifusi ke ruang bebas di antara kristal. Zeolit merupakan katalis yang sangat baik karena memiliki pori-pori besar dengan luas permukaan maksimum (Said *et al.*, 2008). Zeolit sebagai katalis dapat meningkatkan perbedaan lintasan molekul dari reaksi, sehingga hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi. Katalis berpori dengan pori yang sangat kecil dapat menampung molekul kecil tetapi menghambat molekul yang lebih besar (Ginting *et al.*, 2007).

2.2.5 Sifat Penyaring dan Pemisah

Filter molekul zeolit yang dapat memisahkan campuran berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk, dan polaritas molekul yang disaring. Misalnya, pori-pori silinder Zeolit-A dapat memisahkan parafin dari campuran hidrokarbon. Zeolit memiliki vakum yang cukup besar dengan diameter bervariasi dari 2 Å sampai 8 Å, tergantung dari jenis zeolit sehingga molekul gas atau zat lain dapat dipisahkan dari campuran tertentu (Said *et al.*, 2008).

2.3 Batu Apung

Batu apung adalah bahan alami yang berasal dari gunung berapi dan terbentuk saat lava melepaskan gas saat mengeras. Struktur seluler batu apung dibentuk oleh pembentukan gelembung gas atau lubang udara ketika gas yang terkandung dalam lava yang mengalir dari gunung berapi terperangkap saat mendingin. Sel-selnya memanjang, sejajar satu sama lain, dan terkadang saling berhubungan (Hossain, 2004). Batu apung juga dikenal sebagai *pumice* adalah batuan vulkanik berpori amorf yang komposisi utamanya terdiri dari SiO_2 (Ersoy *et al.*, 2010). Batu apung berwarna terang. Batuan ini terbentuk akibat erupsi gunung berapi magmatik yang melepaskan material ke atmosfer, terangkut secara horizontal dan diendapkan sebagai batuan piroklastik (Setiawan *et al.*, 2012). Gambar batu apung diperlihatkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Batu apung (Sumber: dokumen pribadi)

Batu apung adalah batuan vulkanik yang bersifat asam atau basa. Struktur batu apung non-aluminosilikat terdiri dari unit SiO_2 tetrahedral terikat. Karena struktur mikroporinya, batu apung memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi (Çiçek *et al.*, 2008). Komponen utama batu apung terdiri dari SiO_2 (Gunduz *et al.*, 1998). Batu apung mengandung beberapa komponen, yaitu l_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO , LOI (*Loss On Ignition*) dan SiO_2 dengan proporsi SiO_2 tertinggi sebesar 59,00% (Ersoy *et al.*, 2010). Dan berdasarkan hasil analisis kimia, kandungan batu apung didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 masing-masing adalah 48% dan 14,9% (Mourhly *et al.*, 2015). Selain unsur tersebut, batu apung mengandung SiO_2 sebesar 66.34% dan Al_2O_3 sebesar 23.32% setelah proses ekstraksi (Sepehr *et al.*, 2013).

Batu apung yang panas dapat tenggelam meskipun kepadatannya jauh lebih kecil daripada air. Hasil percobaan ini mengarah pada kesimpulan yang tidak terduga bahwa hampir semua batu apung yang menembus pori saling berhubungan. Batu apung adalah salah satu fenomena paling menonjol yang terkait dengan letusan eksplosif di lingkungan bawah air. Batu apung bisa tenggelam dalam air atau bisa terus meleleh karena gesekan dengan permukaan air. Sedikit yang diketahui tentang tingkat tipikal di mana batu apung menyerap air dan kemungkinan mekanisme yang terlibat (Whitham dan Sparks, 1986). Batu apung memiliki banyak sifat yang menjanjikan, seperti kepadatan rendah, insulasi termal yang baik, ketahanan api yang sangat baik dan tidak mudah terbakar, kekuatan tekan yang dapat diterima, elastisitas sedang, struktur berpori dengan permeabilitas rendah dan tulang ringan (Rashad, 2019).

2.4 Aluminium

Kaleng aluminium banyak dijumpai pada kaleng minuman ringan seperti kaleng susu, kaleng minuman dan kaleng makanan. Banyaknya kaleng bekas dapat menyebabkan penumpukan sampah dan menimbulkan masalah lingkungan (Hasmawati, 2017). Kaleng minuman mengandung sekitar 92-99% aluminium, dengan sisanya adalah tembaga, seng, magnesium, mangan, silika, dan sejumlah kecil logam lainnya (Zamani, 2014). Baik katalis asam maupun netral tidak dapat menghasilkan gas hidrogen. Sebaliknya, penggunaan katalis basa kuat menghasilkan rendemen hidrogen yang lebih tinggi baik dengan $NaOH$ maupun KOH , namun saat menggunakan katalis $NaOH$, waktu reaksi antara aluminium dan air lebih cepat daripada katalis KOH (Siregar, 2010). Menggunakan aluminium sebagai sumber energi utama memiliki beberapa keunggulan. Pertama, produk $Al(OH)_3$ dapat digunakan untuk menghasilkan garam aluminium lainnya untuk berbagai aplikasi, mulai dari pengolahan air seperti $Al_2(SO_4)_3$ hingga penggunaan hidroksida dalam pengobatan. Kedua, pemulihan aluminium. Ketiga, aluminium dapat diperoleh dari bahan daur ulang seperti minuman ringan dan kaleng bir (Martínez *et al.*, 2005).

Dalam penelitian ini, akuades dan natrium hidroksida ($NaOH$) digunakan untuk menghasilkan natrium aluminat dari kaleng aluminium. Reaksi kaleng aluminium dengan akuades dan natrium hidroksida ($NaOH$) membentuk natrium aluminat ditunjukkan pada reaksi berikut :



Pada reaksi ini, aluminium mengikat OH^- dari senyawa air menjadi $NaAl(OH)_4$ sehingga melepaskan hidrogen dalam prosesnya (Wahyuni *et al.*, 2016). Berdasarkan kombinasi kedua reaksi di atas menunjukkan bahwa kaleng aluminium dan akuades yang mengandung natrium hidroksida ($NaOH$) dapat menghasilkan natrium aluminat dengan rumus kimia $NaAl(OH)_4$.

2.5 Arang Daun Kerai Payung

Kerai payung (*Filicium decipiens*) merupakan tanaman asli Asia tropis dan Afrika yaitu Ethiopia, Kenya, Tanzania, Malawi, Mozambique, Zimbabwe, India dan Srilanka. Saat ini sudah menyebar ke berbagai daerah, terutama di daerah tropis, termasuk Indonesia. Kerai payung (*Filicium decipiens*) adalah tanaman yang biasanya tumbuh di hutan hujan yang cerah. Tanaman ini mudah tumbuh di berbagai daerah tropis karena kemampuannya beradaptasi dengan kondisi tanah yang berbeda dengan kelembapan sedang. Kerai payung dapat ditemukan di daerah dengan ketinggian hingga 1000 m. Dan kerai payung (*Filicium decipiens*) dapat tumbuh baik pada daerah dengan intensitas matahari yang cukup, kondisi tanah yang cukup subur dan pH sedang (Eka dan Adji, 2012). Berdasarkan hasil penelitian Dahlan dalam Eka dan Adji (2012), daya serap karbondioksida dari kerai payung (*Filicium decipiens*) adalah 404,837 kg/pohon/tahun sehingga bagus digunakan sebagai pohon penyerap polutan. Pohon kerai payung ditunjukkan oleh Gambar 2.2



Gambar 2.2 Pohon kerai payung (Sumber: dokumen pribadi)

Daun kerai payung mengandung beberapa senyawa. Pada bagian daun kerai payung memiliki struktur kimia flavonoid. Flavonoid terkandung dalam senyawa polifenol dan senyawa polifenol ini rentan terhadap reaksi oksidasi (Mojzer *et al.*, 2016). Flavonoid merupakan sekelompok zat alami yang struktur utamanya adalah fenolik. Flavonoid adalah senyawa metabolit sekunder yang biasa ditemukan pada buah-buahan, sayuran, biji-bijian, kulit kayu, akar, batang dan bunga. Bahan-bahan ini memiliki efek menguntungkan bagi kesehatan dan sangat penting dalam berbagai aplikasi nutraceutical, farmasi, medis dan kosmetik. Hal ini terkait dengan sifat antioksidan, antiinflamasi, antimutagenik dan antikarsinogenik (Panche *et al.*, 2016).

Dalam pemanfaatannya daun kerai payung dapat dijadikan sebagai arang. Arang adalah residu hitam tidak murni yang dibuat dengan menghilangkan air dan komponen hewan dan tumbuhan yang terikat secara kovalen. Umumnya arang membutuhkan suhu tertentu karena akan memadat ketika kayu dipanaskan dalam waktu yang lama. Arang adalah padatan yang mudah hancur dan massanya sangat ringan. Arang hitam sendiri mengandung 85-90% karbon, dengan sisa 10-15% berupa abu dan bahan kimia lainnya (Prasetyo, 2020).

Arang dapat dibuat dengan menggunakan metode karbonisasi. Metode karbonisasi memerlukan suhu tinggi untuk mengubah tumbuhan seperti daun dan batang pohon menjadi arang hitam pekat yang mengandung karbon (Prasetyo, 2020). Arang yang merupakan residu dari proses penguraian panas terhadap bahan berkarbon sebagian besar komponennya adalah karbon. Proses pirolisis atau penguraian panas ini dapat dilakukan dengan cara langsung atau tidak langsung

dengan memanaskan bahan dalam timbunan, kiln atau tanur. Sebagian besar pori arang masih tertutup hidrokarbon dan komponen lain seperti abu, air, nitrogen dan belerang (Puziy *et al.*, 2003). Hasil karbonisasi arang daun kerai payung ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Arang daun kerai payung (Sumber: dokumen pribadi)

Ada berbagai jenis arang dalam kehidupan sehari-hari. Penggolongan jenis arang ini dikaitkan dengan jenis bahan atau komposisi dari arang itu sendiri. Jenis-jenis dari arang yaitu arang kayu, arang serbuk gergaji, arang sekam padi, arang tempurung kelapa, briket arang dan arang kayu mahoni (Tryana dan Tuti, 2003). Arang dapat dimanfaatkan menjadi arang aktif. Arang aktif adalah padatan berpori yang terbuat dari bahan karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Semakin tinggi luas permukaan arang aktif maka semakin tinggi pula kapasitas adsorpsinya (Sembiring dan Sinaga, 2003). Arang aktif dapat digunakan dalam berbagai industri seperti farmasi, makanan, minuman dan pengolahan air (*water treatment*). Sekitar 70% produk arang aktif digunakan dalam pemurnian minyak kelapa, sektor farmasi dan kimia (Pari dan Saila, 2001). Semua bahan baku yang dapat diolah menjadi arang aktif adalah bahan karbon yang berasal dari tumbuhan, hewan dan hasil tambang (Subadra *et al.*, 2005). Arang aktif ialah arang dengan ruang pori yang sangat besar dengan ukuran tertentu yang dapat menjebak partikel yang terserap (Irmanto dan Suyata, 2010).

Secara kimia, arang aktif tidak hanya mengandung atom karbon, namun juga mengandung sejumlah kecil oksigen dan hidrogen yang terikat secara kimiawi dalam bentuk berbagai gugus fungsi seperti karbonil (CO), karboksil, fenol, lakton dan beberapa gugus eter. Oksigen pada permukaan arang aktif dapat berasal dari

bahan mentah atau dapat dihasilkan selama proses aktivasi uap (H_2O) atau udara. Dalam situasi ini, arang biasanya dapat menjadi asam atau basa. Bahan baku arang aktif biasanya mengandung komponen mineral. Bahan ini lebih terkonsentrasi selama proses aktivasi arang. Selain itu, bahan kimia yang digunakan dalam proses aktivasi seringkali menyebabkan perubahan sifat kimia arang yang dihasilkan. Arang aktif juga memiliki beberapa sifat fisik, antara lain padatan hitam, tidak berasa, tidak berbau, higroskopis, tidak larut dalam air, asam, basa dan pelarut organik (Hassler, 1974). Selain itu, arang aktif tidak rusak oleh pengaruh suhu dan pH selama proses aktivasi (Lempang, 2014).

Ada dua jenis arang aktif yang dibedakan berdasarkan fungsinya (Setyaningsih, 1995):

A. Arang aktif penyerap gas

Arang aktif jenis ini digunakan untuk menyerap zat dalam bentuk uap atau gas. Pori-pori arang jenis ini adalah pori-pori kecil yang memungkinkan molekul gas melewatinya, tetapi bukan molekul cair. Arang jenis ini terdapat pada arang tempurung kelapa.

B. Arang aktif fasa cair

Arang aktif jenis ini digunakan untuk menyerap kotoran atau zat yang tidak diinginkan dari cairan atau larutan. Jenis pori dari arang ini adalah makropori yang memungkinkan penetrasi molekul besar. Arang jenis ini biasanya terbuat dari batubara dan selulosa.

Arang aktif dapat digunakan dalam berbagai bidang, salah satunya adalah bidang lingkungan. Kadirvelu *et al.*, (2001) telah membuktikan kemampuan arang aktif sebagai adsorben Hg, Pb, Cd, Ni, dan Cu dalam limbah industri radiator, pelapisan nikel dan pelapisan tembaga. Kemampuan arang aktif sebagai penghilang logam dipengaruhi oleh pH dan konsentrasi karbon. Peningkatan kandungan arang dapat meningkatkan persentase adsorpsi arang aktif menjadi ion logam. Penggunaan arang aktif sangat penting dalam proses penjernihan air dan udara (Harris, 1999). Dalam proses pemurnian air, arang aktif dapat menyerap logam seperti besi, tembaga, dan nikel, serta menghilangkan bau, warna, dan rasa dalam larutan air dan limbah. Di beberapa negara dilaporkan bahwa arang aktif digunakan sebagai

penyerap residu pestisida dalam proses pemurnian air untuk mendapatkan air minum yang bebas pestisida (Gerard dan Barthelemy, 2003 *dalam* Gani, 2007).

2.6 Kesadahan Air

Kesadahan merupakan istilah yang digunakan untuk air yang mengandung kation yang menyebabkan kesadahan tinggi. Pada umumnya kesadahan disebabkan oleh adanya logam atau kation divalen seperti Fe, Sr, Mn, Ca dan Mg, tetapi penyumbang kesadahan yang utama adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) (Widayat, 2002). Kesadahan dihasilkan dari kontak terhadap tanah dan batuan. Air sadah umum terjadi di daerah dengan lapisan tanah atas yang tebal dan ada pembentukan batu kapur (Sutrisno dan Suciastuti, 2006).

Kesadahan air adalah sifat alami dari air itu sendiri. Kesadahan air ini bervariasi dari satu tempat ke tempat lain, tergantung pada komposisi tanah daerah tersebut. Kesadahan air menunjukkan bahwa ada kontak antara formasi dan badan air. Kesadahan air dapat diterima hingga maksimum yang direkomendasikan 350 ppm. Namun, begitu kesadahan air melebihi batas atas, maka harus diturunkan yang biasa disebut pelunakan air (Astuti, 2005). Kesadahan yang tinggi pada air sangat merugikan (Fardiaz, 1992).

Ada dua jenis air sadah berdasarkan jenis anion (Ca atau Mg) yang terikat kation, yaitu air sadah sementara dan air sadah permanen. Kesadahan sementara adalah kesadahan yang disebabkan oleh adanya bikarbonat seperti $(Ca(HCO_3)_2)$ dan $(Mg(HCO_3)_2)$. Kesadahan sementara ini dapat dengan mudah dihilangkan dengan cara direbus hingga membentuk endapan $CaCO_3$ atau $MgCO_3$ (Mulia, 2008). Kesadahan tetap adalah kesadahan yang disebabkan oleh ion Ca dan Mg yang berasosiasi dengan Cl^- , SO_4^{2-} , dan NO_3^- misalnya $CaCl_2$ dan $MgSO_4$. Kesadahan ini tidak dapat dihilangkan dengan cara direbus. Air dengan sifat kesadahan tetap masih ditemukan di pantai dan di daerah dengan salinitas tinggi (Waluyo, 2009).

Air sadah juga sangat merugikan manusia, termasuk di bidang ekonomi dan

kesehatan. Di bidang ekonomi, air sadah dapat merusak peralatan baja. Artinya akan terbentuk karat (korosi) dan peralatan proses seperti tangki/wadah air, boiler, dan pipa air akan lebih rentan terhadap kerak dan endapan. Sehingga dapat merugikan perindustrian dan meningkatkan ongkos pemanasan (Wardhana, 2001). Dalam kesehatan, kelebihan kalsium khususnya dapat menyebabkan batu ginjal dan kerusakan jaringan otot (kelemahan). Kelebihan logam magnesium dalam darah mempengaruhi saraf dan otot jantung, ditandai dengan lemahnya refleks dan berkurangnya nyeri pada otot yang cedera. Selain itu, kelebihan magnesium dalam darah juga ditandai dengan keluarnya cairan *asetil cholin* dan berkurangnya gerakan akibat adanya lapisan *asetil cholin* pada otot. Adanya depresi pada *vasodilatasi myocardial* berperan dalam terjadinya hipotensi (Suryandoko, 2003).

2.7 LCR Meter

LCR meter adalah perangkat elektronik untuk mengukur induktansi, kapasitansi dan resistansi. Prinsip kerja alat ini adalah mengukur impedansi. Impedansi diukur secara internal dan diubah menjadi layar tampilan pengukuran yang diubah menjadi nilai kapasitansi atau induktansi yang sesuai. Pembacaan cukup akurat jika perangkat yang diuji tidak memiliki impedansi komponen resistif yang besar pada kapasitor atau induktor (Asfe *et al.*, 2020). Gambar 2.4 merupakan alat karakterisasi LCR meter yang berada di Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN – Lampung dengan merk Sanwa LCR700.



Gambar 2.4 Alat LCR meter (Sumber: dokumen pribadi)

Kapasitor adalah perangkat yang terdiri dari dua pelat atau bidang paralel yang mengandung banyak muatan. Peran kapasitor adalah untuk menyimpan muatan listrik. Muatan yang disimpan dalam kapasitor memiliki kapasitansi yang berbeda untuk setiap jenis kapasitor. Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan kapasitor untuk menerima muatan elektronik (Hamidan *et al.*, 2021). Untuk pelat yang memiliki luas dan dipisahkan oleh jarak, kapasitansi dihitung menggunakan rumus:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (2.3)$$

C adalah kapasitansi (F), ε adalah relatif ruang hampa ($8 \times 10^{-12} C^2 / Nm^2$), A adalah luas area (m^2), dan d adalah jarak antara pelat (m^2).

Dalam pengukurannya, daya hantar suatu material dapat ditentukan dari konduktansi (G) material tersebut dengan satuan Siemens. Konduktivitas suatu bahan (G) berbanding terbalik dengan resistivitasnya (R), sehingga konduktivitasnya (σ) berbanding terbalik dengan resistivitasnya (ρ). Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan listrik. Ketika suatu beda potensial dibuat melintasi konduktor, muatan bergerak dan arus dihasilkan. Konduktivitas suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menghantarkan arus listrik (Pertiwi *et al.*, 2015). Nilai konduktansi dari suatu bahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

$$G = \sigma \frac{A}{l} \quad (2.4)$$

Maka untuk mencari konduktivitas menggunakan rumus:

$$\sigma = G \left(\frac{l}{A} \right) \quad (2.5)$$

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

2.8 *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Menurut Loubser dan Verryin (2008), spektroskopi fluoresensi sinar-X digunakan untuk menentukan komposisi kimia suatu sampel dan difraksi serbuk sinar-X digunakan untuk menentukan fase kristal yang ada dalam sampel. XRF menentukan total besi atau titanium, tetapi menambahkan jumlah stoikiometrik oksigen sesuai dengan bilangan oksidasi yang paling umum untuk tujuan koreksi matriks. Perangkat lunak XRF memasok oksigen atau memperlakukan sampel sebagai logam, tetapi campuran yang dihasilkan menyebabkan masalah. Selanjutnya, belerang dan silikon adalah beberapa elemen yang menunjukkan pergeseran puncak pada XRF. Hasil XRF penting untuk memvalidasi hasil kualitatif.

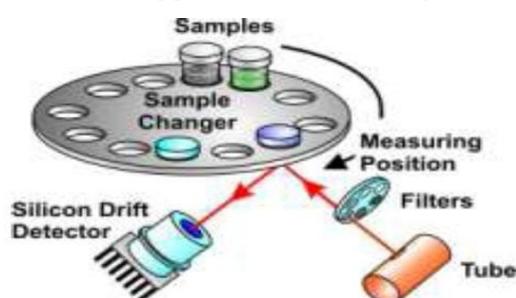
Analisis *X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)* adalah metode yang paling umum karena persiapan sampelnya yang sederhana, waktu analisis yang relatif singkat, stabilitas mekanik yang tinggi (Yamasaki, 2014), hasil yang sangat baik, akurat dan ekonomis (Omatola dan Onojah, 2009). XRF merupakan salah satu teknik analisis terbaik untuk menentukan komposisi kimia yang berbeda dari berbagai jenis bahan seperti logam, kaca, keramik dan bahan bangunan untuk penelitian geokimia, forensik, dan arkeologi (Munasir *et al.*, 2012). Sumber eksitasi, sampel, dan sistem deteksi diperlukan untuk mengoperasikan spektrometer XRF yang berupa panjang gelombang atau dispersi energi. Eksitasi ini disebabkan oleh sinar-X yang dihasilkan dan dipancarkan oleh tabung sinar-X. Intensitas radiasi yang dipancarkan bergantung pada jumlah target dan tegangan yang diberikan (West *et al.*, 2017).

Gambar 2.5 merupakan alat karakterisasi XRF yang berada di Laboratorium Analisis Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN – Lampung dengan merk PAnalytical tipe Eplison.



Gambar 2.5 Alat XRF (Sumber: dokumen pribadi)

Proses identifikasi skematik menggunakan XRF ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skematik proses identifikasi XRF (Fansuri, 2010)

Menurut Thermofisher (2018), proses yang terjadi pada XRF adalah:

- a. Iradiasikan sampel dengan sinar-X berenergi tinggi dari tabung sinar-X dan periksa.
- b. Ketika atom dalam sampel terkena sinar-X dengan energi yang cukup (lebih besar dari energi ikat atom K atau L), sebuah elektron dikeluarkan dari salah satu orbital dalam atom.
- c. Atom memperoleh stabilitas dan mengisi celah yang tersisa di kulit orbit dalam dengan elektron dari salah satu atom berenergi lebih tinggi di kulit orbit.
- d. Elektron tenggelam ke keadaan berenergi rendah, melepaskan sinar-X yang terang. Energi berkas sinar-X ini sama dengan perbedaan energi spesifik antara dua keadaan kuantum elektron. Pengukuran energi ini adalah dasar dari analisis XRF.

2.9 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat penting dalam pengembangan metode preparasi sampel (Loubser dan Verryn, 2008). Menurut Withelm Roentgen pada tahun 1895 menemukan radiasi (disebut sinar-X) berdaya tembus besar yang tidak diketahui dan dihasilkan ketika elektron cepat bertabrakan dengan target. Sinar-X kemudian berjalan lurus, menembus bahan tembus cahaya, menyinari bahan fosfor dan menghitamkan film. Semakin cepat elektron mencapai target semakin banyak sinar-X yang ditembus dan semakin banyak elektron yang mengenai semakin besar intensitas sinar-X. Teori elektromagnetik menyatakan bahwa percepatan muatan listrik memancarkan gelombang elektromagnetik. Elektron yang awalnya bergerak dengan kecepatan tinggi tiba-tiba berhenti, artinya mengalami perlambatan (percepatan negatif) (Kusminarto, 2011).

Gambar 2.7 merupakan alat karakterisasi XRD yang berada di Laboratorium Analisis Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN – Lampung dengan merk PAnalytical jenis X'Pert³ Powder.



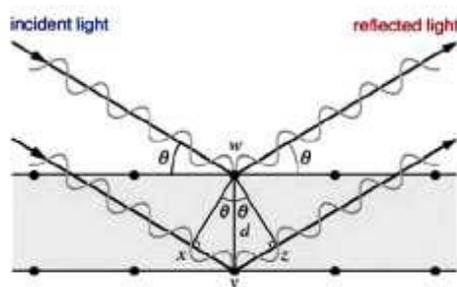
Gambar 2.7 Alat XRD (Sumber: dokumen pribadi)

Umumnya, prinsip kerja difraksi sinar-X dihasilkan oleh tabung sinar-X yang melewati serangkaian rongga dalam sampel logam bernomor atom tinggi seperti molibdenum dan tantalum. Sinar difraksi kemudian melewati celah lain ke detektor di mana ia menyatu. Setiap puncak yang dihasilkan memiliki intensitas atau ketinggian yang berbeda dimana intensitas ini sebanding dengan jumlah pengikut sinar-X yang dihitung oleh detektor pada setiap sudut 2θ (Busyairi *et al.*, 2018). XRD dapat mendeteksi adanya fase seperti karbonat dan campuran

komponen dengan tingkat oksidasi berbeda yang tidak terlihat di XRF (Loubser dan Verryn, 2008).

Analisis XRD digunakan untuk mengetahui fasa kristalin seperti transformasi struktur fasa, ukuran butir dalam bahan keramik, komposit, polimer dan lain-lain. Awalnya, difraksi sinar-X hanya digunakan untuk menentukan struktur kristal. Sejak saat itu, kegunaannya meningkat hingga saat ini metode tersebut dapat digunakan tidak hanya untuk menentukan struktur, tetapi juga untuk berbagai masalah lain, seperti analisis kimia, pengukuran tekanan, studi kesetimbangan fasa dan ukuran partikel, dan penentuan orientasi kristal tunggal dari orientasi dalam agregat polikristalin. Secara umum, pola difraksi memberikan informasi tentang simetri susunan atom, menentukan struktur bahan kristal amorf, dan orientasi kristal serat pengukuran berbagai bahan. Sifat-sifat bahan tersebut meliputi tegangan, getaran termal dan cacat kristal (Cullity, 1978).

Tiga cara untuk memverifikasi bahwa lokasi bidang tertentu dari kristal/materi yang diteliti memenuhi persyaratan Bragg untuk pengukuran radiasi dan difraksi. Ketiga metode tersebut adalah difraksi Laue, metode hablur bergerak dan metode difraktometri serbuk (Munasir *et al.*, 2012). Gambar 2.8 menunjukkan pola difraksi sinar-X pada bidang atom.



Gambar 2.8 Difraksi sinar-X pada bidang atom (Callister dan Rethwisch, 2007)

Menurut skema difraksi Bragg pada Gambar 2.8, interferensi konstruktif hanya terjadi bila kedua berkas berada pada jarak yang berbeda. Ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$n\lambda = AB + BC \quad (2.6)$$

$$AB = BC \quad (2.7)$$

$$n\lambda = 2AB \quad (2.8)$$

n adalah bilangan bulat (1, 2, 3, ...). Dengan menggunakan prinsip Pythagoras, panjang AB adalah:

$$\sin \theta = \frac{AB}{d} \quad (2.9)$$

$$AB = d \sin \theta \quad (2.10)$$

Berdasarkan persamaan (2.9) dan (2.10), maka diperoleh persamaan:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.11)$$

Persamaan (2.11) adalah persamaan difraksi Bragg. Hukum Bragg memberikan kondisi untuk ketajaman puncak difraksi yang timbul dari kristal yang dirakit sepenuhnya. Puncak difraksi sebenarnya memiliki lebar yang terbatas karena ketidak-sempurnaan sumber atau sampel. Ketika dimensi kristal memasuki skala nano, puncaknya melebar saat ukuran kristal berkurang. Diketahui bahwa ukuran kristal dapat ditentukan oleh lebar puncak difraksi. Secara praktis, ukuran kristal dapat ditentukan dengan menggunakan varian dari persamaan Scherrer.

$$D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \quad (2.12)$$

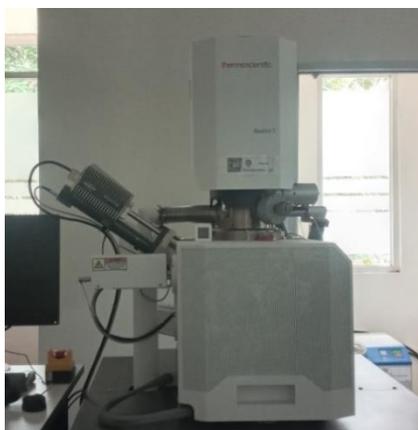
D adalah ukuran kristal, K adalah konstanta yang bergantung pada bentuk kristal, dan B adalah lebar puncak setengah intensitas dalam radian. Jika fungsi Gaussian digunakan untuk menggambarkan puncak pelebaran, konstanta K sama dengan 0,9 dan persamaan Scherrer diperoleh dari hukum Bragg dan dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal (Muis, 2013).

2.10 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Anderson dan Gerbing (1988) menyatakan bahwa SEM menyediakan peneliti dengan pendekatan yang komprehensif untuk mengevaluasi dan memodifikasi model teoritis. SEM menggabungkan dua pendekatan statistik yang kuat, analisis faktor eksplorasi dan analisis jalur struktural, yang memungkinkan evaluasi pengukuran dan model struktural secara simultan. Selain itu, variasi yang dijelaskan oleh variabel dependen lebih besar ketika menggunakan SEM daripada dengan regresi berganda, karena dapat menjelaskan efek langsung dan tidak

langsung (Lee *et al.*, 2011).

Secara keseluruhan, pendekatan SEM lebih disukai dalam banyak kasus karena makalah yang menggunakan metode ini lebih mungkin untuk direkomendasikan oleh reviewer dan karena itu lebih mungkin untuk dipublikasikan daripada makalah yang menggunakan metode statistik lainnya (Babin *et al.*, 2008), kinerjanya juga lebih baik dan lebih prediktif daripada regresi berganda (Lee *et al.*, 2011). Gambar 2.9 merupakan alat karakterisasi SEM-EDX yang berada di Laboratorium Analisis Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN – Lampung dengan merk Thermo Scientific tipe Quarto S.

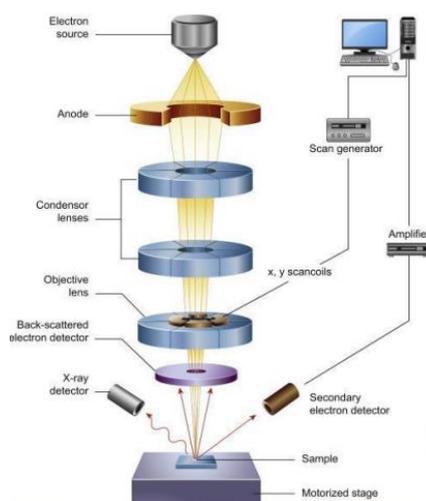


Gambar 2.9 Alat SEM-EDX (Sumber: dokumen pribadi)

Prinsip kerja alat ini hampir sama dengan mikroskop optik. Perbedaannya adalah SEM menggunakan elektron yang membombardir sampel untuk membuat gambar topologi. Karena perbesaran SEM yang tinggi, SEM dapat digunakan untuk mengamati permukaan sampel dengan lebih detail (Mutalib, 2017). Untuk menentukan komposisi kimia permukaan sampel, sebagian besar perangkat SEM dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX). EDX dihasilkan dari sinar-X, dengan kata lain sinar-X dipancarkan ke posisi yang ingin diketahui komposisinya. Setelah menembak ke lokasi yang diinginkan, lonjakan tertentu akan muncul yang mewakili elemen yang ditampung. EDX juga memungkinkan pemetaan elemen dengan memberikan warna berbeda pada setiap elemen pada permukaan sampel (Budiarto *et al.*, 2020).

EDX dapat digunakan untuk menganalisis secara kuantitatif proporsi setiap elemen. SEM-EDX dapat memberikan informasi tentang topografi, morfologi,

dan komposisi sampel yang dianalisis. Topografi adalah kemampuan untuk menganalisis permukaan dan tekstur. Morfologi adalah kemampuan untuk menganalisis bentuk dan ukuran spesimen. Komposisi adalah kemampuan untuk menganalisis penyusun dari permukaan suatu objek secara kuantitatif dan kualitatif (Budiarto *et al.*, 2020). Sinar-X berbahaya bagi kesehatan, sehingga ruang sampel dilapisi dengan timah tebal yang dapat menyerap sinar-X (Inkson, 2016). Prinsip kerja SEM-EDX seperti Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Prinsip kerja SEM-EDX (Inkson, 2016).

2.11 Spektrofotometri *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis)

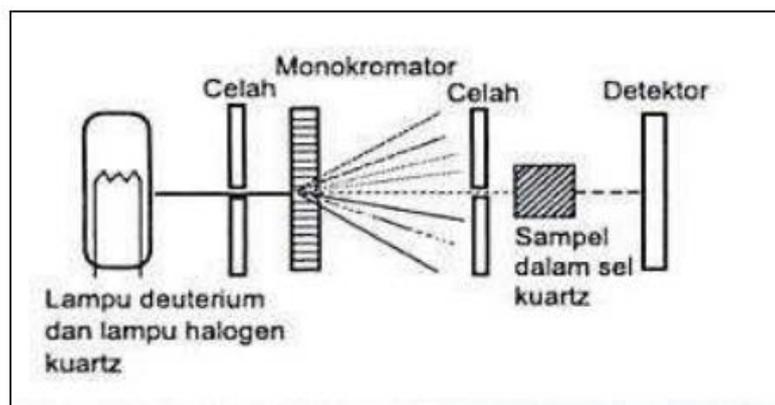
Spektrofotometri adalah alat yang mengukur transmisi atau absorbansi sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Setiap medium menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu tergantung pada senyawa atau warna yang terbentuk (Cairns, 2009). Aplikasi utama spektrofotometri UV-Vis adalah analisis kuantitatif. Spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk menentukan konsentrasi senyawa organik yang memiliki struktur kromofor atau mengandung gugus kromofor. Kadar ditentukan dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang maksimum (puncak kurva) dan memberikan absorbansi tertinggi untuk setiap konsentrasi (Cahyadi, 2006). Gambar 2.11 merupakan alat karakterisasi spektrofotometri UV-Vis yang berada di Laboratorium Analisis Pusat Riset Teknologi Pertambangan (P RTPB) BRIN – Lampung dengan merk PerkinElmer tipe Lambda 365.



Gambar 2.11 Alat spektrofotometri UV-Vis (Sumber: dokumen pribadi)

Berbagai jenis kuvet yang biasa digunakan di laboratorium antara lain kuvet kaca dan kuvet plastik. Kuvet kaca dapat digunakan berkali-kali, tetapi hanya kuvet kuarsa yang dapat digunakan untuk pengukuran dalam rentang UV karena kuvet kaca tidak menyerap sinar UV dan tidak dapat digunakan untuk pengukuran di area hangat. Bahan kuvet dipilih berdasarkan rentang panjang gelombang yang akan digunakan. Dan Kuvet plastic adalah kuvet sekali pakai. Wadah sampel yang baik terbuat dari kaca dan plastik, tetapi wadah kaca harus digunakan untuk sampel khusus yang mudah bereaksi dengan plastik (Sastrohamidjojo, 2007).

Sinar Ultraviolet (UV) memiliki panjang gelombang antara 200 sampai 400 *nm* dan sinar tampak (*visible*) memiliki panjang gelombang antara 400 hingga 750 *nm*. Spektrofotometri UV-Vis lebih umum digunakan untuk analisis kuantitatif daripada analisis kualitatif. Spektrum UV-Vis sangat berguna untuk pengukuran kuantitatif (Rohman, 2007). Diagram skematik spektrofotometri UV-Vis di perlihatkan oleh Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Diagram skematik spektrofotometri UV-Visibel (Watson, 2007).

2.12 *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)*

Inductively Coupled Plasma merupakan teknik analisis yang umum digunakan untuk mendeteksi *trace metals* dalam sampel lingkungan. Prinsip utama ICP dalam identifikasi unsur adalah pengaptonisasi unsur sehingga memancarkan panjang cahaya tertentu sehingga dapat diukur. Teknik ICP pertama kali digunakan pada awal 1960-an untuk memfasilitasi pengembangan teknik analisis (Thomas, 2008).

Dengan kata lain, ICP mengukur kandungan unsur logam dalam sampel menggunakan plasma sebagai energi. Setiap atom memiliki beberapa kemungkinan tingkat energi. Transisi elektronik dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah menghasilkan spektrum yang mengikuti aturan mekanika kuantum. Ketika sebuah atom disuplai dengan sejumlah energi tertentu, ia menjadi tereksitasi, memindahkan elektron dari kulit terluarnya ke tingkat energi yang lebih tinggi dan kembali satu tingkat atau lebih ke energi dasar instrumen (alat pengukuran) ICP. Dengan komponen seperti *introduction system nebulizer, spray chamber, torch, electric generator, optical System. Signal processing system dan spectraling*, dapat menganalisis konsentrasi pada rentang dinamis yang lebar dari ppb hingga % (persen). Hasil yang akurat membutuhkan kalibrasi ulang setelah n pengukuran (Syarbaini, 2015).

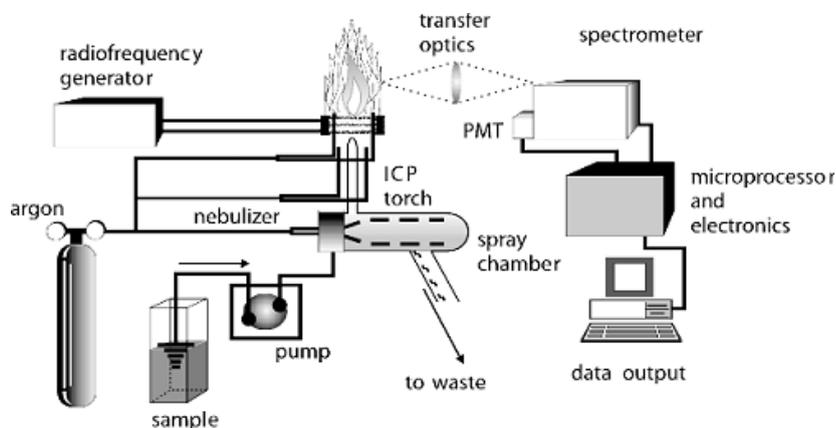
Gambar 2.13 merupakan alat karakterisasi ICP-EOS yang berada di Laboratorium Analisis Pusat Riset Teknologi Pertambangan (P RTPB) BRIN – Lampung dengan merk Plasma Quant tipe PQ 9000 Elite.



Gambar 2.13 Alat ICP-EOS (Sumber: dokumen pribadi)

Perangkat keras ICP digunakan untuk membuat plasma, yang merupakan gas di mana atom berada dalam keadaan terionisasi. Konfigurasi dasar ICP terdiri dari tiga tabung konsentris, seringkali terbuat dari silikon dioksida. Tabung-tabung tersebut adalah *outer loop*, *loop* menengah, dan *loop* dalam, yang membentuk obor suatu ICP. Induksi medan magnet menghasilkan arus frekuensi tinggi yang dililitkan di sekitar konduktor dan akhirnya dipanaskan oleh resistansi, mengurangi kemungkinan korsleting dan krisis, plasma harus terisolasi dari sisa instrumen (Charles dan Kenneth, 1997).

Isolasi termal dicapai dengan aliran gas secara bersamaan melalui sistem. Tiga gas mengalir melalui sistem yaitu gas luar, gas menengah dan gas dalam atau gas pembawa. Gas luar biasanya argon atau nitrogen dan digunakan untuk mempertahankan plasma, menstabilkan posisi plasma, dan memisahkan plasma dari tabung luar pada suhu tinggi. Argon umumnya digunakan sebagai gas *intermediate* dan gas pembawa. Tujuan dari gas pembawa adalah untuk membawa sampel ke dalam plasma (Syarbaini, 2015). Prinsip kerja ICP-OES ditunjukkan oleh Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Prinsip kerja ICP-OES (Pratiwi, 2018)

Menurut Murr (2008), *Inductively Coupled Plasma* (ICP) dapat menganalisis sampel mineral untuk menentukan kandungan logam hingga bagian *part per billion* (ppb) dan *part per trilyun* (ppt). Ada tiga ICP yang umum digunakan: *Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy* (ICP AES), *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP MS) dan *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy* (ICP OES). Keuntungan menggunakan ICP termasuk kemampuan untuk mengidentifikasi dan mengukur

semua elemen kecuali argon, karena setiap elemen memiliki sensitivitas panjang gelombang yang berbeda. ICP cocok untuk semua konsentrasi, tidak memerlukan volume sampel yang besar, dan batas deteksi umumnya rendah untuk unsur dalam kisaran 1–100 *g/l* (Vela *et al.*, 1993).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Juli sampai November 2022 yang berlokasi di Laboratorium Hidro-Elektro Metalurgi dan Laboratorium Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN, Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ballmill*, *magnetic stirrer* dengan *heating plate*, gelas beaker, gelas ukur, gelas erlenmeyer, kertas saring, ayakan mesh, mortar pestle, neraca analitik, oven, *crushable ceramics*, LCR Meter, XRF, XRD, SEM-EDX, spektrofotometri UV-Vis dan ICP-EOS.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu apung Lampung, limbah kaleng aluminium, arang daun kerai payung, *NaOH*, dan akuades.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur pembuatan zeolit dalam penelitian ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Warsito *et al.*, (2008).

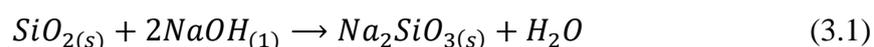
3.3.1 Karbonisasi Daun Kerai Payung

Sebelum memproduksi zeolit, terlebih dahulu daun kerai payung yang

dikumpulkan dari area FMIPA Universitas Lampung dijemur di bawah sinar matahari hingga kering. Kemudian masukkan daun kerai payung kering ke dalam kaleng. Menurut Widarti (2010), proses pembakaran berhenti pada saat bahan masih membara sehingga bahan menjadi arang hitam. Berdasarkan hal tersebut, bahan baku daun kerai payung yang ditempatkan dalam kaleng dikarbonisasi diatas tungku pembakaran. Menurut Mulyati (2016), karbonisasi daun terjadi hingga berubah menjadi arang yang ditandai dengan asap putih yang terlihat dari atas kaleng. Saat pengarangan berlangsung, daun kerai payung akan menyusut di dalam tungku pembakaran. Dinginkan arang, lalu haluskan dan saring menggunakan mesh ± 100 .

3.3.2 Pembuatan Natrium Silikat

Pembuatan natrium silikat dimulai dengan pencucian batu apung. Setelah itu, batu apung dijemur di bawah sinar matahari dan dihancurkan menggunakan *ballmill*. Kemudian tambahkan 10 g batu apung yang dihancurkan ditambahkan ke dalam 40 *NaOH*. Campuran kemudian dipanaskan dengan suhu 350°C selama 4 jam. Padatan yang terbentuk dilarutkan dalam akuades dan didiamkan selama 12 jam. Reaksi yang terjadi pada peleburan batu apung adalah sebagai berikut :



Ketika dilelehkan pada suhu tinggi, *NaOH* meleleh dan sepenuhnya terdisosiasi menjadi ion Na^+ dan ion OH^- . Ion OH^- yang kedua akan bergabung dengan hidrogen untuk membentuk molekul air dan dua ion Na^+ menyeimbangkan muatan negatif dari ion SiO_3^{2-} untuk membentuk natrium silikat (Muljiyanti *et al.*, 2010). Selanjutnya, natrium silikat dikarakterisasi dengan XRF untuk mengetahui komposisinya.

3.3.3 Pembuatan Natrium Aluminat

Natrium aluminat dibuat dengan menghilangkan kotoran dari kaleng aluminium. Kaleng aluminium kemudian dicuci dan dikeringkan. Selanjutnya, campurkan 55

g $NaOH$ dan 600 ml akuades dalam gelas beaker. Kemudian perlahan-lahan tambahkan kaleng aluminium 70 g ke dalam gelas beaker sambil diaduk. Reaksi yg terjadi yaitu:



Potong kaleng aluminium menjadi potongan-potongan kecil dan panaskan hingga aluminium meleleh dan menjadi coklat kekuningan. Setelah itu disaring dengan kertas saring untuk menyaring kaleng aluminium yang tidak larut. Larutan yang dihasilkan dipanaskan lagi sampai kering. Setelah dingin, natrium aluminat dihaluskan dengan *mortar pestle* lalu diayak menggunakan mesh 60 dan karakterisasi XRF.

3.3.4 Pembuatan Zeolit

Zeolit dibuat dengan mencampurkan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung dengan variasi sampel seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1. Campuran tersebut kemudian disimpan pada suhu ruang selama 24 jam sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* yang dilengkapi dengan *hot plate*.

Tabel 3.1 Perbandingan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung untuk setiap sampel

Sampel	Natrium silikat (g)	Natrium aluminat (g)	Arang daun kerai payung (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

Setelah diaduk, saring sampel dengan kertas saring. Kemudian diamkan *magnetic stirrer* dengan *hot plate* selama 5 jam atau hingga dingin. Kemudian ulangi proses

yang sama untuk setiap sampel.

3.3.4.1 Pemanasan, Pencucian Dan Pengeringan Sampel

Sampel yang terbentuk dipanaskan pada 100°C selama 5 jam. Sampel kemudian disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Lalu sampel disaring dan dikeringkan pada 100°C selama 2 jam. Lakukan hal yang sama untuk setiap sampel.

3.3.4.2 Karakterisasi

Karakterisasi sampel dilakukan dengan menggunakan LCR meter, XRF, XRD dan SEM-EDX. Karakterisasi LCR meter dilakukan untuk mengetahui nilai konduktivitas masing-masing sampel. Pengukuran konduktivitas menggunakan kotak isolator yang terhubung dengan LCR meter. Pada penelitian ini nilai konduktivitas didapatkan setelah dilakukan perhitungan konduktansi. Nilai konduktivitas dihitung menggunakan persamaan 2.5. Selanjutnya, semua sampel dikarakterisasi dengan XRF untuk menentukan komposisi zeolit buatan. Kemudian mengkarakterisasi sampel optimum dari hasil karakterisasi LCR meter menggunakan XRD dan SEM-EDX untuk menentukan struktur kristal dan struktur mikro sampel.

3.3.5 Uji Adsorpsi Zeolit Pada Air Sadah

Untuk uji adsorpsi air sadah zeolit, siapkan 1000 *ml* larutan air sadah (air yang tercemar ion Mg dan Ca) lalu masukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian menimbang masing-masing sampel zeolit sebanyak 3 *g*. Tambahkan sampel zeolit yang telah ditimbang ke dalam larutan air sadah dan aduk selama 1 menit. Saring sampel zeolit yang dicampur dengan air sadah menggunakan kertas saring. Kemudian pindahkan 50 *ml* sampel yang teradsorpsi ke dalam botol plastik. Ulangi perlakuan yang sama untuk setiap sampel. Kemampuan zeolit dalam

mengadsorpsi logam Ca dan Mg dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar magnesium (mg/l)} = C \times fp \quad (3.3)$$

keterangan:

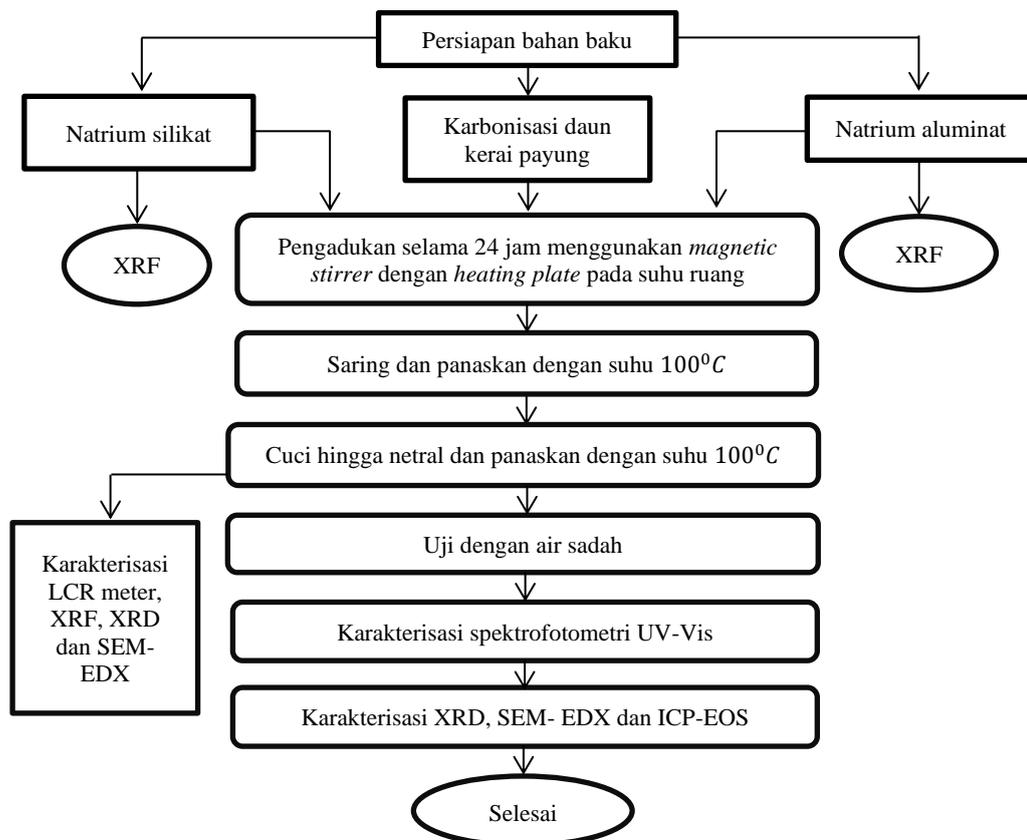
C = kadar yang didapatkan dari hasil pengukuran (mg/l)

fp = faktor pengenceran (Khodariya *et al.*, 2021).

Setiap sampel kemudian dikarakterisasi dengan spektrofotometri UV-Vis. Lalu mengambil sampel optimum dari hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis dan melakukan karakterisasi XRD, SEM-EDX, dan ICP-EOS.

3.4 Diagram Alir penelitian

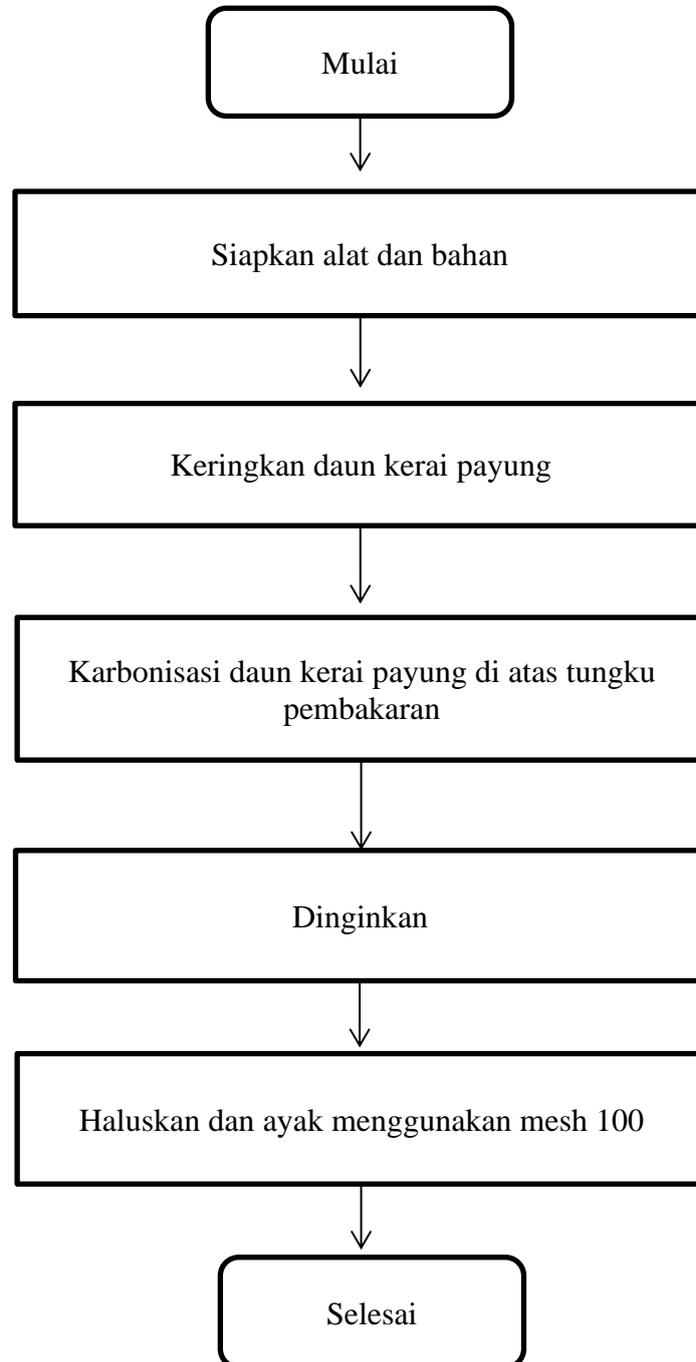
Diagram alir dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4.1 Karbonisasi Daun Kerai Payung

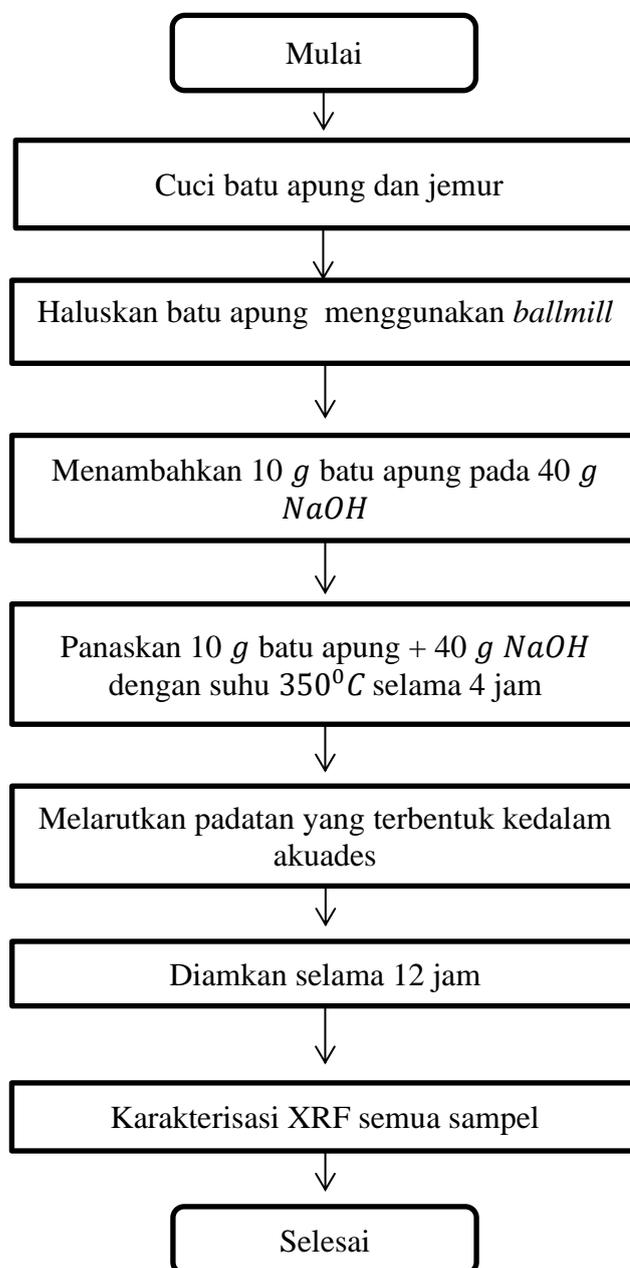
Diagram alir karbonisasi daun kerai payung ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Karbonisasi daun kerai payung

3.4.2 Pembuatan Natrium Silikat

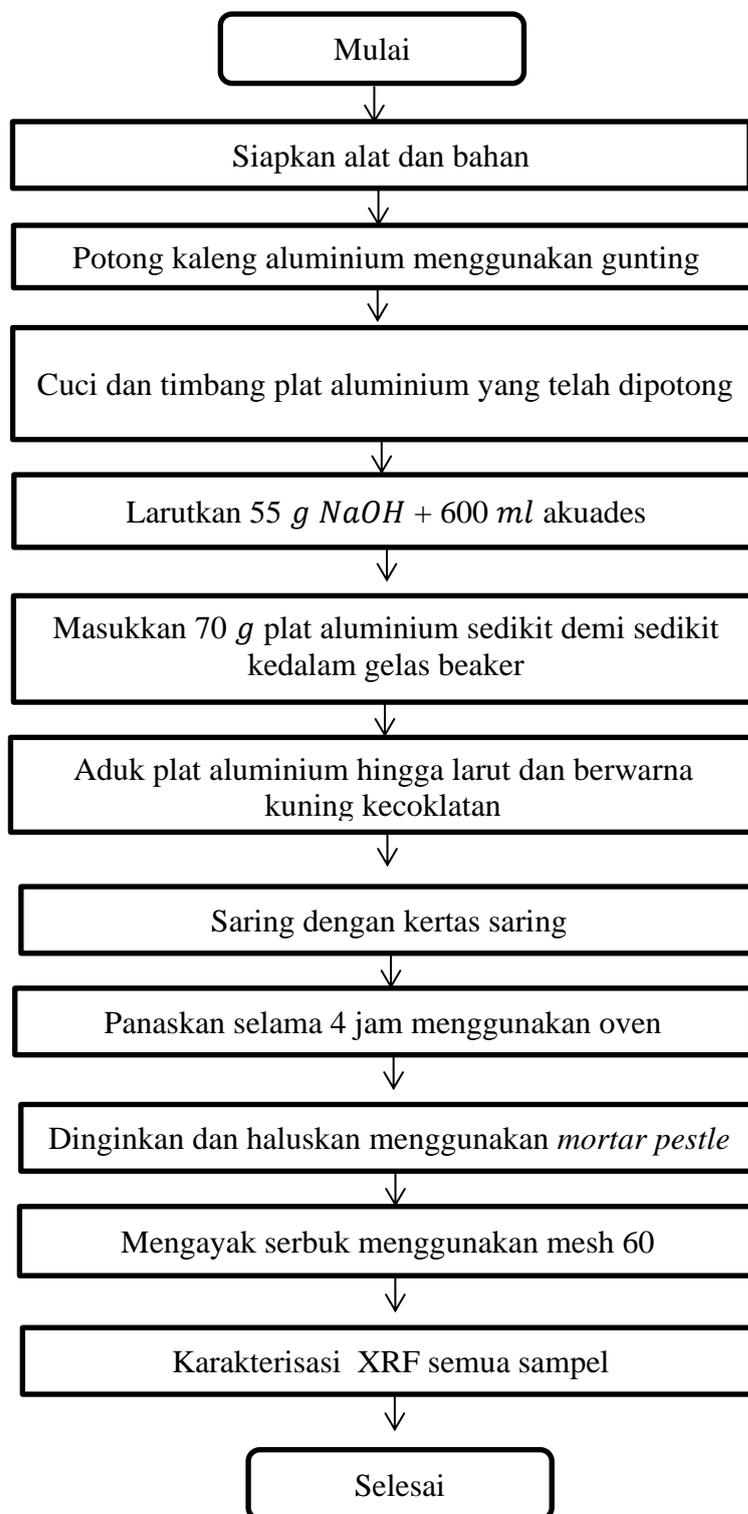
Diagram alir pembuatan natrium silikat ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Proses pembuatan natrium silikat

3.4.3 Pembuatan Natrium Aluminat

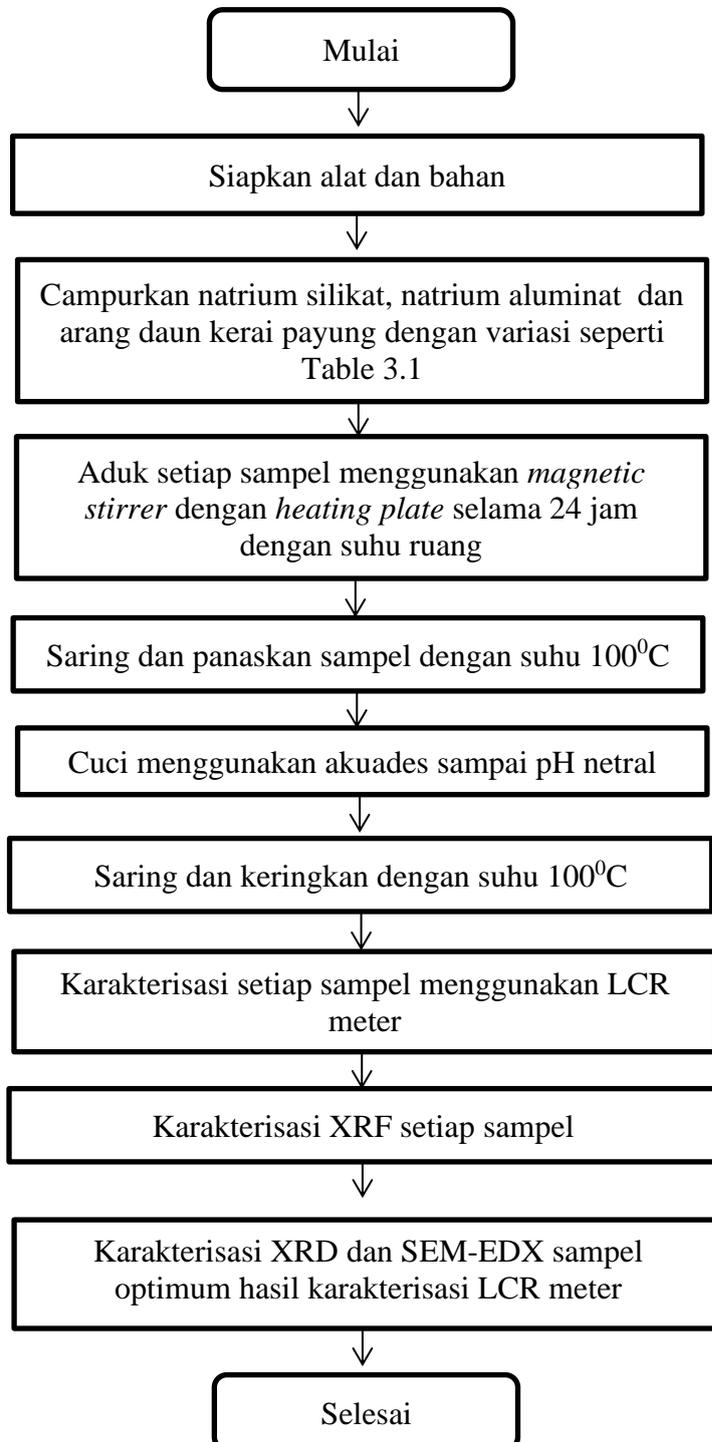
Diagram alir pembuatan natrium aluminat ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Proses pembuatan natrium aluminat

3.4.4 Proses Pembuatan Zeolit

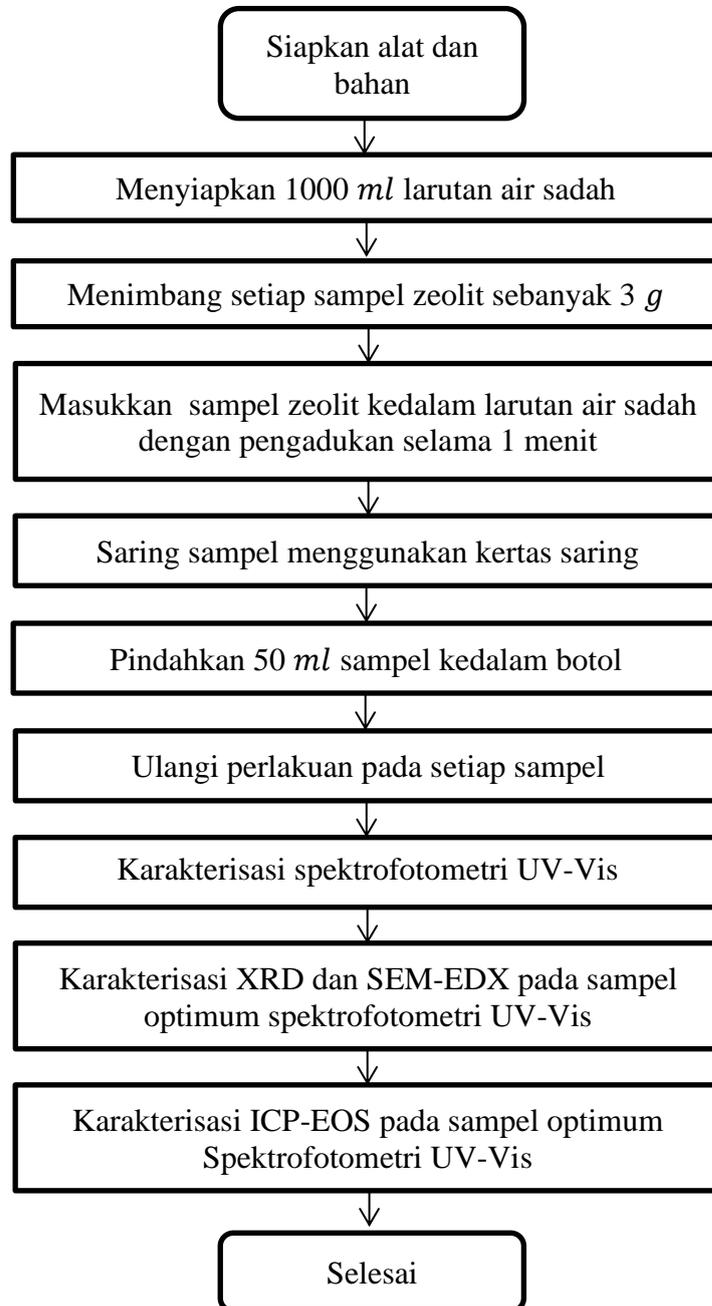
Diagram alir proses pembuatan zeolit ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Proses pembuatan zeolit

3.4.5 Uji Adsorpsi Zeolit pada Air Sadah

Diagram alir uji adsorpsi pada air sadah ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Proses uji adsorpsi air sadah

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Zeolit buatan memperoleh nilai konduktivitas yang cukup besar yaitu dari selang antara $5,16 \times 10^{-5}$ (*S/cm*) sampai $3,44 \times 10^{-3}$ (*S/cm*). Dari karakterisasi LCR meter diperoleh sampel optimum yaitu sampel 8 dengan nilai konduktivitas $3,44 \times 10^{-3}$ (*S/cm*).
2. Komposisi dari zeolit buatan yang dihasilkan adalah aluminium, silika, fosfor, kalium, kalsium, titanium, vanadium, kromium, manganum dan ferum.
3. Zeolit buatan dari sampel optimum hasil karakterisasi LCR meter memiliki struktur kristal dengan jenis Zeolit-A yang berada pada sudut 2θ di $30,888^\circ$ dan struktur mikro berbentuk bulat dan silinder. Zeolit hasil karakterisasi LCR meter merupakan zeolit dengan sifat katalis. Dan zeolit buatan dari sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometri UV-Vis mempunyai struktur kristal yang menyerupai zeolit alam yaitu zeolit jenis Chabazite yang berada pada sudut 2θ di $28,995^\circ$ dan memiliki struktur mikro berbentuk kasar yang menempel pada kristal lainnya. Dari hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis zeolit yang dihasilkan mempunyai sifat sebagai adsorben.
4. Zeolit buatan yang dihasilkan dapat menurunkan kandungan kalsium sebanyak 36,57% namun tidak dapat menurunkan kandungan magnesium.

5.2 Saran

Saran penulis untuk penelitian selanjutnya ialah perbandingan batu apung Lampung, limbah kaleng aluminium dan arang daun kerai payung lebih divariasikan lagi, dimana diharapkan dari hal tersebut bisa mendapatkan nilai

konduktivitas yang lebih baik. Serta zeolit buatan diharapkan dapat dilakukan uji yang lain agar bisa mengetahui bagaimana daya serap, perubahan atau pengaruh zeolit pada uji yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J.C., dan Gerbing, D.W. 1988. Structural Equation Modeling in Practice: A Review and Recommended Two-Step Approach. *Psychological Bulletin*. Vol. 103. No. 3. Hal. 411–423.
- Asfe, Dzaky Hilmy., Marzuarman., dan Amri, Syaiful. 2020. Rancang Bangun Alat Ukur LCR Meter Berbasis Arduino Uno. *Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT)*. Politeknik Negeri Bengkalis. Hal. 45-7 – 53-7.
- Astuti, Widi. 2005. Proses Pelunakan Air Sadah Menggunakan Zeolit Alam Lampung. *Jurnal Widya Riset*. Vol. 8. No. 1. Hal. 1-7.
- Atikah, Wulan Safrihatini. 2017. Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil. *Jurnal Arena Tekstil*. Vol. 32. No. 1. Hal. 17-24.
- Ayele, L., Pérez, E., Mayoral, Á., Chebude, Y., dan Díaz I. 2018. Synthesis of Zeolite A Using Raw Kaolin from Ethiopia and Its Application in Removal of Cr (III) From Tannery Wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. Vol. 93. No. 1. Hal. 146-154.
- Azad, A., Saeedian, A., Mousavi. S.F., Karami, H., Farzin, S., dan Singh, V.P. 2020. Effect of Zeolite and Pumice Powders on The Environmental and Physical characteristics of Green Concrete Filters. *Journal Construction and Building Materials*. Vol. 240. No. 117931. Hal. 1-13.
- Babin , S., Borisov, S., Ivanchikov, A., dan Ruzavin, I. 2008. CHARIOT: Software Tool for Modeling SEM Signal and E-Beam Lithography. *Journal Physics Procedia*. Vol. 1. No. 1. Hal. 305–313.

- Budiarto., Antonius, Dikky., dan Putra, Brillian Ardiana. 2020. Analisis Pengaruh Waktu Artificial Age terhadap Kekerasan, Densitas dan Struktur Kristal Paduan Aluminium (7075) untuk Bahan Sirip Roket. *Jurnal Kajian Ilmiah*. Vol. 20. No. 1. Hal. 13-28.
- Busyairi, Muhammad., Sarwono, Edhi., dan Priharyati, Arum. 2018. Pemanfaatan Aluminium dari Limbah Kaleng Bekas sebagai Bahan Baku Koagulan untuk Pengolahan Air Asam Tambang. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. Vol. 10. No. 1. Hal. 15–25.
- Callister Jr, W. D., dan Rethwisch, D. G. 2007. *Materials Science and Engineering: An Introduction (7 th Edition)*. John Wiley and Sons, Inc. United States of America.
- Cairns, Donald. 2009. *Essentials of Pharmaceutical Chemistry*. Second Edition. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Cahyadi, Wisnu. 2006. *Analisis dan Aspek Bahan Tambahan Pangan Edisi Pertama*. Bumi aksara. Jakarta.
- Charles, B., dan Kenneth, J. 1997. *Concept, Instrumentation and Technique in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. Second Edition. PerkinElmer. USA.
- Çiçek, Ekrem., Cojocar, Corneliu., Trznadel, Grażyna Zakrzewska., Jaworska, Agnieszka., dan Harasimowicz, Marian. 2008. Response Surface Methodology for Cobalt Removal from Aqueous Solutions Using Isparta Pumice and Zeolite 4A Adsorbents. *Journal Nukleonika*. Vol. 53. No. 2. Hal.121-128.
- Cullity, Bernard Dennis. 1978. *Element of X-ray diffraction*. Second Edition. Departement of Metallurgical Engineering and Materials Science. USA. Eddison-wesley Publishing Company-Inc.

- Czuma, N., Baran, P., Franus, W., Zabierowski, P., dan Zarębska, K. 2018. Synthesis of Zeolites from Fly Ash with The Use of Modified Two-Step Hydrothermal Method and Preliminary SO₂ Sorption Tests. *Journal Adsorption Science and Technology*. Vol. 37. No. 1-2. Hal. 61-76.
- Dur, Sajaratud. 2017. Zeolite Precessing as Heavy Material. *Jurnal Sains Matematika dan Terapan*. Vol. 1. No. 2. Hal. 33-45.
- Eka, W., dan Adji, H. 2012. *Informasi Singkat Benih*. Balai Perbenihan Tanaman Hutan Sulawesi. Makassar.
- Emelda, Lisanti., Putri, Suhardini Martiana., dan Br. Ginting, Simparmin. 2013. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Cr³⁺. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Vol. 9. No. 4. Hal. 166 – 172.
- Erdem, E, Karapinar, N., dan Donat, R. 2004. The Removal of Heavy Metal Cations by Natural Zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 280. No. 2. Hal. 309–314.
- Ersoy, Bahri., Sariisik, Ali., Dikmen, Sedef., dan Gencay, Sariisik. 2010. Characterization of Acidic Pumice and Determination of Its Elektokinetic Properties in Water. *Journal Power Technology*. Vol. 197. No. 1-2. Hal. 129-135.
- Fansuri, H. 2010. *Modul Pelatihan Operasional XRF*. Laboratorium Energi dan Rekayasa, LPPMS ITS. Surabaya.
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius. Yogyakarta.
- Gani, A. 2007. Konversi Sampah Organik Pasar Menjadi Komarasca (Kompos-Arang-Arang Aktif-Asap Cair) dan Aplikasinya pada Tanaman Daun Dewa. *Disertasi*. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Ginting, Aslina Beru., Anggraini, Dian., Indaryati, Sutri., dan Kriswarini, Rosika, 2007. Karakterisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori dan Sifat Termal

- dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung. *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*. Vol. 3. No. 1. Hal. 1-48.
- Gunduz, L., Sariisik, A., Tozacan, B., Davraz, M., Ugur, I., dan Cankiran, O. 1998. Pumice Technology. *Journal Süleyman Demiral University*. Vol. 1. Hal. 275-285.
- Hamidah, Alfi., Karo Karo, Pulung., dan Suroto, Bambang Joko. 2016. Kajian Konduktivitas Listrik Zeolit pada Perlakuan Termal 150°C , 250°C , 350°C dan Potensinya sebagai Elektrode Superkapasitor. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 5. No. 1. Hal. 65–69.
- Hamidan, Faris., Darmawan, Dudi., dan Qurthobi, Ahmad. 2021. Studi Karakterisasi Kayu Berlubang Melalui Pengukuran Kapasitansi Menggunakan Sensor Kapasitif Multi Array. *E-Proceedings of Engineering*. Vol 8. No.1. Hal. 468-475.
- Haryadi, Is. 2006. *Menentukan Koefisien Perpindahan Massa Penerapan Ion Logam Berat $\text{Pb}(\text{OH})_2$ Menggunakan Chitosan*. Surakarta.
- Hasmawati. 2017. Pemanfaatan Tawas Sintetik dari Kaleng Bekas sebagai Koagulan pada Air. *Skripsi*. UIN Alauddin Makasar. Makassar.
- Harris, P. 1999. On charcoal. *Interdisciplinary Science Review*. Vol. 24. No. 4. Hal. 301- 306.
- Hassler, J.W. 1974. Purification with Activated Carbon: Industrial, Commercial, Environmental. *Chemical Publishing Co. Inc*. New York.
- Hildayati., Triwikantoro., Faisal, Heny., dan Sudirman, 2009. Sintesis dan Karakterisasi Bahan Komposit Karet Alami Silika. *In Seminar Nasional Pascasarjana IX ITS*. Surabaya.

- Hindryawati, N., dan Alimudin, 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (*NaOH*). *Jurnal Kimia Mulawarman*. Vol. 7. No. 2. Hal. 75–77.
- Hunggurami, Elia., Touselak, Yosafat Sepriyanto., dan Kumalawati, A. 2013. Penggunaan Batu Apung dari Kabupaten Lembata sebagai Agregat Ringan Pengganti Sebagian Agrerat Kasar pada Campuran Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 2. No. 2. Hal. 105-120.
- Husaini dan Soenara, Trisna. 2003. Modifikasi Zeolit Alam Cikalong Jawa Barat dengan Hexadecil Trimetil Amonia dan Uji Daya Serapnya Terhadap Ion Sulfat dan Kromat. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Vol. 2. No.1. Hal. 37-43.
- Hossain, Khandaker M. 2004. Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Research*. Vol. 34. No. 2. Hal. 283-291.
- Hosseini, Ghasemi Mobtaker., Hosseini, Kazemian., Ali, Namdar Muhammad., Ali Malekinejad., dan Reza, Pakzad Mohammad. 2008. Ion Exchange Behavior of Zeolites A and P Synthesized Using Natural Clinoptilolite, Iran. *Journal Chemichal*. Vol. 27. No.2. Hal. 111-117.
- Imai, Hiroyuki., Hayashida, Nozomu., Yokoi, Toshiyuki., dan Tatsumi, Takashi. 2014. Direct Crystallization of Cha-Type Zeolite from Amorphous Aluminosilicate Gel by Seed-Assisted Method in The Absence of Organic-Structure-Directing Agents. *Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 196. Hal. 341-348.
- Inkson, B. J. 2016. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Hal. 17-43.
- Irmanto dan Suyata. 2010. Optimasi Penurunan Nilai BOD, COD dan TSS

Limbah Cair Industri Tapioka Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi. *Jurnal Molekul*. Vol. 5. No.1. Hal. 22-32.

Irzaman., Maddu, A., Syafutra, H., dan Ismangil, A. 2010. Uji Konduktivitas Listrik dan Dielektrik Film Tipis Lithium Tantalate (LiTaO_3) yang Didadah Niobium Pentaoksida (Nb_2O_5) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. Hal. 175-183.

Johan, Erni., Yamada, Toshio., Munthalic, Moses Wazingwa., Cornerc, Ponyadira Kabwadza., Aonoa, Hiromichi., dan Matsue, Naoto. 2015. Natural Zeolites as Potential Materials for Decontamination of Radioactive Cesium. *Journal Procedia Environmental Sciences*. Vol. 28. Hal. 52 –56.

Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K., dan Namasivayam, C. 2001. Removal of Heavy Metals from Industrial Waste Waters by Adsorption on to Activated Carbon Preparad from An Agriculture Solid Waste. *Bioresource Technology*. Vol. 76. No. 1. Hal. 63-65.

Khodariya, Nurul., Efendy, Makhfud., Amir, Nizar., dan Nuzula, Nike Ika. 2021. Analisa Kadar Magnesium (Mg) pada Air Bahan Baku Garam Di PT. Garam Persero Pamekasan. *Jurnal Juvenil*. Vol 2. No. 4. Hal. 277-281.

Kusminarto. 2011. *Esensi Fisika Modern*. C.V Andi Offset. Yogyakarta.

Laksono, Pandu Jati. 2017. Pemanfaatan Zeolit Alam Termodifikasi Surfaktan HDTMA-Br (Hexadecyltrimethylammonium Bromide) sebagai Adsorben Anion Nitrat (NO_3^-). *Jurnal Pendidikan Kimia*. Vol. 1. No. 2. Hal. 40-50.

Lee, Lorraine., Petter, Stacie., Fayard, Dutch., dan Robinson, Shani. 2011. On The Use of Partial Least Squares Path Modeling in Accounting Research. *International Journal of Accounting Information Systems*. Vol. 12. No. 4. Hal. 305-328.

- Lempang, Mody. 2014. Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif. *Info Teknis EBONI*. Vol. 11. No. 2. Hal. 65-80.
- Loubser, Maggi., dan Verryn, Sabine. 2008. Combining XRF and XRD Analyses and Sample Preparation to Solve Mineralogical Problems Maggi. *South African Journal of Geology*. Vol. 11. No. 1. Hal. 229-238.
- Mahaddilla, Febri Melta dan Putra, Ardian. 2013. Pemanfaatan Batu Apung sebagai Sumber Silika dalam Pembuatan Zeolit Sintetis. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 2. No. 4. Hal. 262-268.
- Mamik, Dwi Rendy. 2012. Preparasi dan Karakterisasi ZnO/Zeolit serta Penggunaannya sebagai Katalis pada Reaksi dehidrasi 1-Pentanol. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Martinez, Susana Silva., Benitesa, Wendy Lopez., Gallegosa, Alberto A. Alvarez., dan Sebastian, P. J. 2005. Recycling of Aluminium to Produce Green Energy. *Journal Solar Energy Mater Solar Cell*. Vol. 88. No.2. Hal. 237-243.
- Millar, G. J., Winnet, A., Thompson, T., dan Couperthwaite, S. J. 2016. Equilibrium Studies of Ammonium Exchange with Australian Natural Zeolites. *Journal of Water Process Engineering*. Vol. 9. Hal. 47-57.
- Mohamed, R.M., Mkhaliid, I.A., dan Barakat, M.A. 2015. Rice Husk Ash as A Renewable Source for The Production of Zeolite NaY and It Is Characterization. *Arabian Journal of chemistry*. Vol. 8. No.1. Hal. 48-53.
- Mojzer, Eva Brglez., Hrnčič, Maša Knez., Škerget, Mojca., Knez, Željko., dan Bren, Urban. 2016. Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Journal Molecules*. Vol. 21. No. 901. Hal. 1-38.
- Mourhly, M., Khachani, M., Hamidi, A.E., Kacimi, M., Halim, M., dan Arsalane, S. 2015. The Synthesis and Characterization of Low-Cost Mesoporous Silica

SiO_2 from Local Pumice Rock. *Journal Nanomaterials and Nanotechnology*. Vol. 5. No. 35. Hal. 1–7.

Mulyati, Meylinda. 2016. Analisis Tekno Ekonomi Briket Arang dari Sampah Daun kering. *Jurnal Teknoin*. Vol. 22. No. 7. Hal. 505-513.

Munasir.,Triwikantoro., Zainuri, M., dan Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF Pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas ($CaCO_3$ dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 2. No. 1. Hal. 20-9.

Muchtar, Rusvirman . 2005. Penurunan Kandungan Fosfat dalam Air dengan Zeolit. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Vol. 4. No.1. Hal. 36-42.

Muis, Saludin. 2013. *Tekhnologi Nano dalam Pembuatan Sensor Layar Sentuh Jilid 1*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Muljiyanti, Dwi Rasy., Nuryono., dan Kunarti, Eko Sri. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi yang Dimobilisasi dengan 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. Vol. 4. No. 2. Hal. 150-167.

Mulia, Maulana. 2008. Pengaruh Suhu dan Waktu Penyimpanan Sabun Mandi Batang Kecantikan dan Sabun Batang Kesehatan terhadap Kadar Air, Kadar Alkali Bebas $NaOH$, Asam Lemak Bebas dan Kadar Garam $NaCl$. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Mutalib, M.A., Rahman, M.A., Othman, M.H., Ismail, A.F., dan Jaafar, J. 2017. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. *Membrane Characterization. Journal of Elsevier*. Hal. 161-179.

Murr. 2008. *ICP-MC. The Quadrupole Mass Analyzer*. Research Reactor Center. University of Missouri.

- Murniati., Hidayat, Nurul., dan Mudasir. 2009. Pemanfaatan Limbah Abu Dasar Batubara sebagai Bahan Dasar Sintesis Zeolit dan Aplikasinya sebagai Adsorben Logam Berat Cu (II). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Hal. 228-238.
- Nabawiyah, Khilfatin., dan Abtokhi, Ahmad. 2010. Penentuan Nilai Kalor dengan Bahan Bakar Kayu Sesudah Pengarangan serta Hubungan dengan Nilai Proposital Zat Padat. *Jurnal Neutrino*. Vol. 3. No.1. Hal. 44-55.
- Nugroho, Wahyu., dan Purwoto, Setyo. 2013. Removal Klorida, TDS dan Besi Pada Air Payau Melalui Penukar Ion dan Filtrasi Campuran Zeolit Aktif dengan Karbon Aktif. *Jurnal Teknik WAKTU*. Vol. 11. No. 01. Hal. 47-59.
- Noor, D. 2009. *Pengantar Geologi*. CV Graha Ilmu. Bogor.
- Oktaviany , H., Sunardi., dan Wardani, Rejang M. 2021. Sintesis Zeolit dari Ekstrak Sekam Padi dan Kaleng Bekas sebagai Adsorben Penurunan Kesadahan Air. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. Vol. 9. No. 2. Hal. 185-192.
- Omatola, K. M., dan Onojah, A. D. 2009. Elemental Analysis of Rice Husk Ash Using X-Ray Fluorescence Technique. *International Journal of Physical Sciences*. Vol. 4. No. 4. Hal. 189-193.
- Pambayun, Gilar S., Yulianto, Remigius Y. E ., Rachimoellah, M., dan Putri, Endah M. 2013. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 2. No. 1. Hal. 116–120.
- Panche, A. N., Diwan, A. D., dan Chandra, S. R. 2016. Flavonoids: An Overview. *Journal of Nutritional Science*. Vol. 5. No. e47. Hal. 1-15.

- Pari, G. dan Sailah, I. 2001. Pembuatan Arang Aktif dari Sabut Kelapa Sawit dengan Bahan Pengaktif NH_4HCO_3 dan $(NH_4)_2CO_3$ Dosis Rendah 1. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. Vol.19. No.4. Hal. 231-244.
- Prasetyo, Beni Aris . 2020. Analisis Kualitas Jenis Arang terhadap Kemampuan Energi Panas (Q) pada Proses Pendidihan Air. *Skripsi*. Universitas Jember. Jember.
- Pasaribu, K.A. 2011. *Efek Komposisi Zeolit-Serbuk Kayu dan Suhu Sintering terhadap Karakteristik dalam Pembuatan Keramik Berpori dengan Menggunakan PVA sebagai Perekat*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Pertiwi, Puji Kumala., Oktafiana, Tri., Ningsih, Luthfiyati., dan Prajitno, Gontjang. 2015. Uji Konduktivitas Listrik pada $CaCO_3$ dan Arang Kayu dengan Metode Four Point Probe. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Pratiwi, Ajeng Kusuma Wildan. 2018. Verifikasi Metode dan Penentuan Kadar Logam Kadmium (Cd) Total dalam Air Limbah Menggunakan ICP-OES. *Tugas Akhir*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Prajaputra, Vicky., Abidin, Zaenal., dan Widiatmaka. 2019. Methylene Blue Removal Using Developed Material from Volcanic Ash Soils. *International Journal of Scientific and Technology Research*. Vol. 8. No. 7. Hal. 706-709.
- Priatna, K., Suharto, S., dan Syariffudin, A. 1985. Prospek Pemakaian Zeolit Bayah sebagai Penyerap Nh^{4+} dalam Air Limbah. *Laporan Teknik Pengembangan*. PPTM. Bandung.
- Pratomo, Indyo. 2006. Klasifikasi Gunung Api Aktif Indonesia, Studi Kasus dari Beberapa Letusan Gunung Api dalam Sejarah. *Jurnal Geologi Indonesia*. Vol. 1. No. 4. Hal. 209-227.

- Putra, Purna Sulastya., dan Yulianto Eko. 2017. Karakteristik Endapan Tsunami Krakatau 1883 Di daerah Tarahan Lampung. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. Vol. 27. No.1. Hal. 83-95.
- Putra, Purna Sulstya., dan Yulianto Eko. 2016. Stratigrafi Endapan Tsunami Krakatau 1883 Di daerah Limus Pantai Barat Teluk Semangko, Lampung. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. Vol. 7. No.1. Hal. 35-44.
- Puziy, A.M., Poddubnaya, O.I., Alonso, A.M., Garcia, F.S., dan Tascon, J.M.D. 2003. Syntetic Carbons Activated with Phosphoric Acid III. Carbons Prepared in Air. *Journal of Carbon*. Vol. 41. No. 6. Hal. 1181-1191.
- Rashad, Alaa M. 2019. A Short Manual on Natural Pumice as A Lightweight Aggregate. *Journal of Building Engineering*. Vol. 25. Hal. 1-10.
- Rini, D. K., dan Fendy A.L. 2010. Optimasi Aktiviasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi. *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Rizkyta, Gradiniar., dan Ardhyananta, Hosta. 2013. Pengaruh Penambahan Karbon terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon/Epoksi sebagai Pelat Bipolar Polimer Elektrolit Membran Sel Bahan Bakar *Polymer Exchange Membran (PEMFC)*. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 2. No. 1. Hal. F-26 – F-40.
- Rohman, Abdul. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Said, Muhammad., Prawati, Arie Wagi., dan Murenda, Eldis. 2008. Aktifasi Zeolit Alam sebagai adsorbent pada Adsorpsi Larutan Iodium. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 15. No. 4. Hal. 50-56.
- Saputra, Rodhie. 2006. Pemanfaatan Zeolit Sintesis sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri. *Jurnal Bulletin IPT*. Vol.1. Hal. 1-8.
- Sastrohamidjojo, H. 2007. *Spektroskopi*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

- Sembiring, M. T. dan Sinaga, T. S. 2003. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Setyaningsih, H. 1995. Pengolahan Limbah Batik dalam Proses Kimia dan Adsorpsi Karbon Aktif. *Tesis*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Setiawan, Dedi Budi., dan Sukoyo. 2012. Pemanfaatan Beton Ringan dari Agregat Pumice dengan Penambahan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Beton Biasa untuk Struktur Bangunan. *Jurnal Wahana Teknik Sipil*. Vol.17. No.2. Hal. 69-76.
- Sepehr, Mohammad Noori., Zarrabi, Mansur., Kazemian, Hossein. Amrane, Abdeltif., Yaghmaian, Kamiar., dan Ghaffari, Hamid Reza. 2013. Removal of Hardness Agents, Calcium and Magnesium, by Natural and Alkaline Modified Pumice Stones in Single and Binary Systems. *Applied Surface Science*. Vol. 274. Hal. 295–305.
- Simpkin, T., dan Fiske, R.S. 1983. *Krakatau 1883: The Volcanic Eruption and Its Effect*. Smithsonian Institution Press. Washidngton DC.
- Sintya, Mega. 2021. Perbaikan Kualitas Air Payau Menggunakan Media Kabon Aktif dan Zeolit. *Jurnal Ruwa Jurai*. Vol 15. No. 3. Hal. 124-129.
- Siregar, Yusraini Dian Inayati. 2010. Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium. *Jurnal Valensi*. Vol 2. No.1. Hal. 362-36.
- Sholichah, F., Arnelli, Ahmad S., 2013, Pengaruh Waktu Hidrotermal pada Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi Serta Aplikasinya sebagai Builder Deterjen. *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Subadra, I., Setiaji, B., dan Tahir, I. 2005. Activated Carbon Production from Coconut Shell with $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ Activator as an Adsorbent in Virgin Coconut Oil Purification. *In Prosiding Seminar Nasional DIES*. Vol. 50. Hal. 1-8.
- Susmitra, R. 2012. Analisis Sifat Listrik Polimer Polianilin (PANi) Terhadap

Penambahan Abu Dasar sebagai Elektroda Kapasitor. *Skripsi*. Universitas Andalas. Padang.

Sutarti, M., dan Rachmawati, M.1994. *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Jakarta.

Suryandoko, H. 2003. Perbedaan Penambahan Beberapa Dosis Larutan Kapur ($CaOH$)₂ dalam Menurunkan Kesadahan Air Sumur Gali di Desa Wulung Kecamatan Randu Blatung Kabupaten Blora Tahun 2003. *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Sutrisno T., dan Suciastuti, Eni. 2006. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Rineka Cipta. Jakarta.

Syarbaini. 2015. *Teknologi ICP MS dan Aplikasinya Untuk Studi Radioaktivitas Lingkungan*. Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif. BATAN.

Taslimah, Sriyanti., Nuryo., dan Narsito. 2005. Sintesis Bahan Hibrida Amino-Silika dari Abu Sekam Padi Melalui Proses Sol Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 8. No. 1. Hal. 1-8.

ThermoFisher. 2018. *XRF Technology*. <https://www.thermofisher.com/id/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/elemental-analysis-information/xrf-technology.html>. Diakses pada 15 Maret 2018 Pukul 02.00 WIB.

Thomas, R. 2008. *Practical Guide to ICP-MS A Tutorial for Beginner*. Second Edition. CRC press. USA.

Tryana, M., dan Tuti, S. 2003. Arang Aktif. *Skripsi*. Universitas Sumatra Utara. Sumatera Utara.

Vela, Nohora P., Olson, Lisa K., dan Caruso, Joseph A.1993. Elemental Speciation with Plasma Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*. Vol. 65.

No.13. Hal. 585A-597A.

Waluyo, L. 2009. *Mikrobiologi Lingkungan*. UMM Press. Malang.

Wahyuni, Sri., Hakim, Lukman., dan Hasfita, Fikri. 2016. Pemanfaatan Limbah Kaleng Minuman Aluminium sebagai Penghasil Gas Hidrogen Menggunakan Katalis Natrium Hidroksida ($NaOH$). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. Vol. 5. No.1. Hal. 92-104.

Wardhana, W. A. 2001. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi Offset. Yogyakarta.

Warsito, S., Sriatun dan Taslimah. 2008. Pengaruh Penambahan Surfaktan Cetyltrimethylammonium Bromide (n-CTMABr) pada Sintesis Zeolit-Y. *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Watson, D. G. 2007. *Analisis Farmasi*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.

West, Margaret., Ellis, Andrew T., Strelci, Christina., Vanhoof, Christine., dan Wobrauschek, Peter. 2017. Atomic Spectrometry Update A Review of Advances in X-Ray Fluorescence Spectrometry and Its Special Applications. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. Vol. 32. No. 9. Hal. 1629-1649.

Whitham, A.G., dan Sparks, R.S.J. 1986. Pumice. *Bulletin of Volcanology*. Vol. 48. No. 4. Hal. 209-223.

Widayat, Wahyu. 2002. Teknologi Pengolahan Air Sadah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Vol. 3. No. 3. Hal. 256-266.

Widayatno, Tri ., Yuliawati, Teti ., dan Susilo, Agung Adi. 2017. Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*. Vol. 1. No. 1. Hal. 17-23.

Widarti, E. S. 2010. Studi Eksperimental Briket Organik dengan Bahan Baku dari PPLH Organik. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Yamasaki, T. 2014. XRF Major Element Analyses of Silicate Rocks Using 1:10 Dilution Ratio Glass Bead and A Synthetically Extended Calibration Curve Method. *Bulletin of The Geological Survey of Japan*. Vol. 65. No.7/8. Hal. 97-103.

Zamani, H. A., Mina, R., Mohammad, R. A., dan Soraia, M. 2014. Al³⁺ Selective PVC Membrane Sensor Based on Newly Synthesized 1,4-bis[o-(pyridine-2-carboxamidophenyl)]-1,4-dithiobutane as Neutral Carrier. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol. 9. No. 11. Hal. 6495 -6504.