



**KARAKTERISTIK DAN PERFORMA KERAMIK  
BERPORI BERBAHAN ZEOLIT TERAKTIVASI SEBAGAI  
ADSORBEN ION TIMBAL ( $Pb^{2+}$ ) PADA AIR LIMBAH**

Skripsi

Disusun sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Fisika

Oleh

Alif Lombardoaji Sidiq  
4211415025

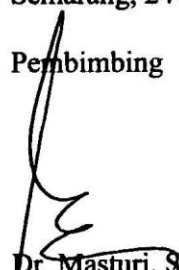
**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Skripsi yang berjudul “Karakteristik dan Performa Keramik Berpori Berbahan Zeolit Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Timbal ( $Pb^{2+}$ ) pada Air Limbah” ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 24 Januari 2019

Pembimbing



Dr. Masturi, S.Pd., M.Si.

NIP. 198103072006041002

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi berjudul “Karakteristik dan Performa Keramik Berpori Berbahan Zeolit Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Timbal ( $Pb^{2+}$ ) pada Air Limbah” benar-benar asli dan bebas dari plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, 24 Januari 2019



Alif Lombardoaji Sidiq

4211415025

# PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

“Karakteristik dan Performa Keramik Berpori Berbahan Zeolit Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Timbal ( $Pb^{2+}$ ) pada Air Limbah”

Disusun oleh

Nama : Alif Lombardoaji Sidiq

NIM : 4211415025

telah dipertahankan di hadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika

FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 24 Januari 2019

Panitia:



**Ketua**  
Prof. Dr. Sudarmin, M.Si.  
NIP. 196601231992031003

Ketua Penguji



Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.  
NIP. 195610291986011001

Anggota Penguji



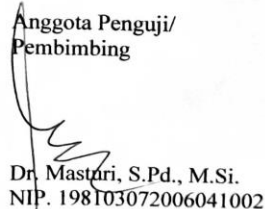
Dr. Putut Marwoto, M.S.  
NIP. 196308211988031004

Sekretaris



Dr. Suharto Linuwih, M.Si.  
NIP. 196807141996031005

Anggota Penguji/  
Pembimbing



Dr. Mastari, S.Pd., M.Si.  
NIP. 198103072006041002

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

Keep moving forward

Tetaplah di Jalan Allah SWT

Ikhtiar & Istiqomah

### **PERSEMBAHAN**

Pembimbing skripsi saya Dr. Masturi, S.Pd., M.Si.  
dan setiap orang yang pernah mendoakan skripsi ini selesai

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Agung Muhammad SAW, sehingga atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan karya tulis berupa skripsi yang berjudul “Karakteristik dan Performa Keramik Berpori Berbahan Zeolit Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Timbal ( $Pb^{2+}$ ) pada Air Limbah” semoga skripsi ini berkahi Allah SWT. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata Satu Program Studi Fisika di Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Sains.

Terselesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada,

1. Dr. Masturi, S.Pd., M.Si., dosen pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., ketua Jurusan Fisika yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penyusunan skripsi ini.
3. Drs. Imam Sumpono, M.si., dosen wali yang senantiasa membimbing dan memberikan motivasi selama masa perkuliahan.
4. Teknisi dan analis Laboratorium Fisika, Roudhotul Muttaqin, S.Si., Natalia Erna S., S.Pd., dan Wasi Sakti Wiwit P., S.Pd., yang telah membantu jalannya penelitian skripsi ini.

5. Teman-teman Grup Riset Fisika material komposit, mba Siti, mba Niken, mas Ulul, Riska, Ina, Saras, Marathur, dan Faisal. Terimakasih atas dukungan yang luar biasa dan memberikan pencerahan serta pengetahuan dalam penelitian ini.
6. Teman-teman Fisika Material, mba Ida, mba Pungki, mba Nura, mba Anik, mba Helfi, mba Indri, mba Lana, mas Hendra, mas Gudel, mas Ulil, mas Ipin, mas Aldi yang telah menemani penelitian dan memberikan keceriaan di Laboratorium Fisika UNNES.
7. Teman-teman Fisika 2015, terima kasih atas kebersamaannya selama 4 tahun ini, semoga kekeluargaan kita tetap terjaga selamanya.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah dengan tulus ikhlas memberikan doa dan dukungan, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat kesalahan dan kekurangan yang jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun dapat menyempurnakan skripsi ini, sehingga dapat bermanfaat baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca sekalian.

Semarang, 24 Januari 2019

Penulis

## ABSTRAK

**Sidiq, A.L.** 2019. *Karakteristik dan Performa Keramik Berpori Berbahan Zeolit Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Timbal ( $Pb^{2+}$ ) pada Air Limbah*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Pembimbing Dr. Masturi, S.Pd., M.Si.

**Kata kunci:** zeolit, aktivasi zeolit, Membran keramik, uji alir, air limbah.

Tujuan penelitian ini mengetahui karakteristik dan performa zeolit sebagai adsorben ion timbal ( $Pb^{2+}$ ) pada air limbah. Penelitian ini melakukan dua macam aktivasi pada zeolit, aktivasi termal dilakukan menggunakan mikrowave dengan memanaskan zeolit pada suhu  $105^{\circ}C$  selama 24 jam, serta aktivasi kimia dengan merendam zeolit pada berbagai larutan asam basa, sehingga diperoleh dua jenis zeolit, Na-zeolit dan H-zeolit. Membran keramik dibuat dengan metode pencampuran basah antara zeolit dan larutan PEG 4000 dengan fraksi PEG 8,33%, 10,93%, 13,23%, 15,27%; 17,10%, dan 18,75%. Filipsit sebagai tipe zeolit diketahui melalui identifikasi hasil XRD dan SEM-EDX. Lebih lanjut, pengukuran SEM diperoleh ukuran partikel sebesar  $1,9 \mu m$ . Metode uji alir dan bahan uji berupa larutan Pb 200 ppm digunakan pada penelitian ini, diketahui nilai permeabilitas membran keramik  $6.14 \times 10^{-12}$  hingga  $6.75 \times 10^{-11} m^2$  dan retensi larutan setelah pengujian diketahui menggunakan UV-Vis adalah 0,13; 0,29; 0,43; 0,67; 0,68; 0,62 ( $C/C_0$ ) untuk Na-zeolit dan 0,13; 0,22; 0,31; 0,45; 0,45; 0,45 ( $C/C_0$ ) untuk H-zeolit. Dapat disimpulkan bahwa membran keramik zeolit yang diaktivasi memiliki permeabilitas dan adsorpsi tinggi terhadap logam berat air limbah.



## ABSTRACT

**Sidiq, A.L.** 2019. *Characteristics and Performance of Porous Ceramics Made from Activated Zeolite as Lead ( $Pb^{2+}$ ) Ion Adsorbents in Wastewater*. Skripsi, Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Semarang, Supervisor Dr. Masturi, S.Pd., M.Si.

**Keywords:** zeolite, activated zeolite, membrane ceramic, flow test, wastewater.

The purpose of this work is to obtain zeolite characteristics and performs as lead ( $Pb^{2+}$ ) ion adsorbents in wastewater. This reasech have done two activation kinds, i.e. thermally activation using microwave at temperature  $105^{\circ}C$  for 24 hours and chemically activation by soaking zeolite on acid and base solutions, to obtain two kinds of activated zeolite Na-zeolite and H-zeolite, respectively. Fabrication of membrane ceramic was done using wet-mixing between activated zeolite and PEG-4000 solution with each PEG fraction (w/w) of 8.33%, 10.93%, 13.23%, 15.27%; 17.10%, and 18.75% respectively. Philipsite as type of zeolite was known from identification XRD and SEM-EDX measurement. Further, SEM measurement obtained the average of zeolite particle size is  $1.9 \mu m$ . This work was using flow test method and obtained the zeolite filter permeabilities are ranged between  $6.14 \times 10^{-12}$  thus  $6.75 \times 10^{-11} m^2$ . Further, UV-Vis spectroscopy was done to obtain the filter retention. Using Pb solution 200 ppm as wastewater test, the retention for the several PEG farction (w/w) was obtained, that is 0.13; 0.29; 0.43; 0.67; 0.68; 0.62 ( $C/C_0$ ) for Na-zeolit and 0.13; 0.22; 0.31; 0.45; 0.45; 0.45 ( $C/C_0$ ) for H-zeolite. In conclusion, the activated zeolite ceramics have high permeability and adsorption to heavy metal of wastewater.

## DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN .....	iv
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Komposit .....	7
2.2 Klasifikasi Membran .....	8
2.3 Keramik Berpori.....	10
2.4 Zeolit Alam .....	11
2.5 Aktivasi Zeolit.....	14
2.6 Zeolit sebagai Adsorben.....	15
2.7 Filtrasi.....	16
2.8 Polimer .....	17
2.9 Polyethylene Glicol (PEG).....	17
2.10 Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) .....	18
2.11 Air Limbah .....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1 Alat dan Bahan .....	20
3.2 Tahap Penelitian .....	21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	30
4.1 Identifikasi Zeolit .....	31
4.2 Zeolit Teraktivasi .....	33
4.3 Performa Keramik Berpori Zeolit Teraktivasi .....	35
BAB V PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA .....	46
LAMPIRAN.....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola XRD zeolit filipsit (Adabbo et al. 1999).....	12
Gambar 3.1 Uji permeabilitas filter .....	24
Gambar 3.2 Proses pengikatan elektron bebas EDTA dengan ion logam Pb (Izza 2014). .....	28
Gambar 3.3 Diagram alir proses penelitian.....	29
Gambar 4.1 (a) keramik berpori H-zeolit dan Na-zeolit (b) Membran keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi dengan variasi fraksi PEG.....	30
Gambar 4.2 Hasil pengukuran XRD dari zeolit yang digunakan sebagai bahan keramik berpori .....	31
Gambar 4.3 Hasil pengukuran EDX elemen kimia pada zeolit .....	32
Gambar 4.4 Hasil SEM (a) zeolit, (b) Na-zeolit, dan (c) H-zeolit.....	33
Gambar 4.5 Hasil SEM keramik berpori zeolit teraktivasi dengan fraksi PEG 8,33%.....	34
Gambar 4.6 Hubungan permeabilitas keramik berpori terhadap fraksi PEG, simbol kotak hitam untuk H-zeolit dan bulat merah untuk Na-zeolit. ....	36
Gambar 4.7 Hasil UV-Vis, Kurva kalibrasi konsentrasi larutan Pb. ....	37
Gambar 4.8 Hasil pengukuran UV-Vis, simbol kotak hitam adalah retensi H-zeolit dan bulat merah retensi Na-zeolit. ....	38
Gambar 4.9 Hasil pengukuran FTIR, Na-zeolit_0 menunjukkan bubuk sampel membran Na-zeolit sebelum uji alir, Na-zeolit_1 setelah uji alir. Demikian pula, untuk H-zeolit_0 dan H- zeolit_1.....	41
Gambar 4.10 Interaksi Pb ion dan zeolit.....	43

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi keramik berpori.....	23
Tabel 4.1 Elemen kimia dalam membran keramik zeolit berpori.....	35
Tabel 4.2 Nilai $\lambda$ and $k_0$ .....	39
Tabel 4.3 Interaksi Pb--O.....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Surat Tugas Pembimbing.....	52
Lampiran 1. 2 Surat Tugas Panitia Ujian.....	53
Lampiran 1. 3 Gambar Alat dan Proses Kegiatan.....	54
Lampiran 1. 4 Perhitungan Estimasi van deer Walls, Na-zeolit .....	56
Lampiran 1. 5 Perhitungan Estimasi Van Deer Walls, H-zeolit .....	57
Lampiran 1. 6 Perhitungan Interaksi Pb--O .....	58
Lampiran 1. 7 Perhitungan Ukuran Rata – Rata Partikel.....	59
Lampiran 1. 8 Perhitungan Kurva Kalibrasi .....	60
Lampiran 1. 9 Hasil XRD .....	61
Lampiran 1. 10 Perhitungan Adsorpsi Keramik Berpori .....	63
Lampiran 1. 11 Ukuran Rata – Rata Pori Keramik Berpori.....	64
Lampiran 1. 12 Perhitungan nilai $\lambda$ dan $k_0$ , Na-zeolit .....	65
Lampiran 1. 13 Perhitungan nilai $\lambda$ dan $k_0$ , H-zeolit .....	66
Lampiran 1. 14 Hasil FTIR .....	67

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Ketersediaan air bersih merupakan salah satu topik yang akan menjadi permasalahan serius seiring bertambahnya populasi penduduk. Meningkatnya aktivitas rumah tangga dan industri sebanding dengan pembuangan limbah, antara lain limbah air yang terkontaminasi logam berat seperti kromium (Cr), kadmium (Cd), besi (Fe), tembaga (Cu), dan timbal (Pb) (Sulistiyanto et al. 2016). Khusus pada logam Pb, kadar Pb pada salah satu sungai di Indonesia sudah mencapai 0,05 ppm dan kadar pada ikan 0,13 ppm. Kadar tersebut telah melampaui nilai ambang batas maksimal logam Pb (Priatna et al. 2016). Hal itu mengakibatkan semua organisme dalam rantai makanan, termasuk tanaman, hewan dan manusia juga terkontaminasi dan menderita berbagai masalah kesehatan (Ihsanullah et al. 2016).

Adsorpsi merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk memfilter ion Pb pada air limbah (Das et al. 2014). Salah satu material yang memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi ion Pb yaitu zeolit alam (Process et al. 2009). Zeolit alam adalah zeolit yang telah terbentuk secara alami melalui proses alamiah, yang tersedimentasi di alam dengan persenyawaan *aluminosilicates* yang terbentuk dari kerangka struktur tetrahedron  $\text{AlO}_4^{2-}$  dan  $\text{SiO}_4^-$  (Tan et al. 2010). Selain merupakan bahan alam, zeolit juga merupakan bahan anorganik. Beberapa keuntungan yang didapat ketika menggunakan bahan alam yaitu mudah dijumpai, serta jumlahnya melimpah, sehingga murah secara finansial. Lebih lanjut, produk

dari bahan alam berjenis anorganik memiliki karakteristik tahan lama dan dapat dipakai berulang-ulang (Masturi et al. 2012)

Zeolit dipilih dalam pembuatan nanokomposit karena memiliki sifat fisik yang unik, sifat kristalografi yang baik, serta memiliki potensi untuk memisahkan suatu campuran yang sulit terurai (Kurniasari et al. 2011). Struktur pori yang dimiliki zeolit bersifat uniform, tahan terhadap lingkungan kimia yang ekstrem, dan juga kekuatan mekanisnya yang baik serta stabil terhadap panas (Masturi et al. 2018). Pori yang ada pada zeolit relatif kecil dan juga tergolong berukuran nano, sehingga mampu mengadsorpsi air yang terkontaminasi ion Pb dengan baik (Sulistiyanto et al. 2016). Terlebih setelah dilakukan aktivasi pada zeolit, struktur zeolit berubah secara ikatan maupun sifat materialnya, sehingga didapat zeolit yang memiliki efektivitas adsorpsi yang tinggi (Aidha 2013).

Aktivasi zeolit bertujuan untuk mengeluarkan air dan menghilangkan pengotor yang terkandung pada zeolit (Kurniasari et al. 2011). Terdapat dua jenis aktivasi zeolit yaitu aktivasi secara fisika dan secara kimia (Windaryoto et al. 2017). Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir zeolit dan pemanasan pada suhu tinggi. Tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor anorganik (Kurniasari et al. 2011).

Pembuatan membran keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi merupakan salah satu inovasi dalam aplikasi nanokomposit. Sifat mekanik suatu material dapat ditingkatkan dengan memadukan material lain. Selain itu pemaduan



juga dapat meningkatkan stabilitas termal (Bauhofer et al. 2010; Kroon et al. 2008). Ada beberapa unsur dalam penyusunan material komposit seperti matriks dan filler, pengikat unsur pembentuk komposit adalah matriks, sedangkan partikel yang disisipkan dalam matriks adalah filler.

*Polietilen glikol* (PEG) merupakan polimer yang dapat digunakan sebagai matriks pada pembuatan keramik berpori. Sifat PEG mampu terlarut pada air, sehingga larutan PEG memiliki kekentalan yang digunakan sebagai perekat antar molekul-molekul filler. Selain itu PEG dikenal sebagai agen pembuat pori karena dapat diubah menjadi fase gas pada suhu tinggi yang akan menciptakan pori pada keramik (Savitri et al. 2015; Laila et al. 2014).

Keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi diaplikasikan sebagai adsorben air limbah yang terkontaminasi logam Pb. Komposisi keramik dibuat dengan massa tetap zeolit teraktivasi dan memvariasikan fraksi PEG. Pengujian performa keramik menggunakan metode uji alir dan bahan uji yang digunakan adalah larutan Pb 200 ppm.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, diperoleh rumusan masalah berikut:

1. Bagaimana karakteristik keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi?
2. Bagaimana performa keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi sebagai adsorben ion timbal (Pb) pada air limbah?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Keramik yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari zeolit alam yang diperoleh di Pangandaran (Jawa Barat, Indonesia) yang kemudian diaktivasi.
2. Karakteristik keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi diketahui melalui XRD, SEM-EDX, dan FTIR.
3. Performa keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi diketahui melalui UV-Vis dan FTIR.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui karakteristik keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi sebagai adsorben ion timbal (Pb) pada air limbah.
2. Mengetahui performa keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi sebagai adsorben ion timbal (Pb) pada air limbah.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini antara lain:

1. Menjadi kajian ilmiah bahwa zeolit alam yang teraktivasi dapat dijadikan keramik berpori yang dapat dijadikan adsorben ion Pb pada air limbah.
2. Memberi informasi mengenai metode pembuatan dan variasi komposisi keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi dan PEG.

3. Memberikan informasi tentang sistem proses adsorpsi logam Pb dengan menggunakan filter keramik berbahan zeolit teraktivasi dan PEG.
4. Memberikan salah satu solusi alternatif untuk membangun industri keramik berpori sebagai filter air limbah untuk pemanfaatan bahan alam.
5. Memberikan informasi karakteristik keramik berpori berbahan zeolit teraktivasi dan PEG berdasarkan karakterisasi yang dilakukan, antara lain *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui jenis zeolit, *Scanning Electron Microscopic-Energy dispersive X-Ray (SEM-EDX)* untuk mengetahui morfologi, distribusi ukuran pori, dan mengetahui komposisi kimia zeolit, *Spectroscopy Ultra Violet-Visible (UV-Vis)* untuk mengetahui absorbansi larutan Pb hasil pengujian, dan *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)* untuk mengetahui gugus fungsi dan interaksi antara Pb dengan zeolit.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir skripsi.

1. Bagian pendahuluan skripsi, terdiri dari halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.
2. Bagian isi skripsi, terdiri atas lima bab yang meliputi :

BAB 1. Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika skripsi.

BAB 2. Kajian pustaka, berisi teori-teori pendukung penelitian.

BAB 3. Metodologi penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, langkah kerja, pengujian, dan karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian.

BAB 4. Hasil penelitian dan pembahasan, dalam bab ini dibahas tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB 5. Penutup, yang berisi tentang simpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian.

3. Bagian akhir skripsi memuat referensi yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi dan lampiran-lampiran penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Komposit**

Komposit merupakan perpaduan dari dua material atau lebih yang memiliki fase yang berbeda menjadi suatu material yang baru dan memiliki sifat lebih baik dari bahannya (Fahmi et al. 2014; Yu et al. 2009). Komposit tidak hanya digunakan untuk sifat struktural tapi dapat juga dimanfaatkan untuk berbagai sifat yang lainnya seperti listrik, panas, atau material-material yang memperhatikan aspek lingkungan.

Komposit pada umumnya diklasifikasikan menjadi 2 bagian yang berbeda dengan fase kontinu disebut matriks dan fase diskontinu disebut sebagai penguat. Kriteria komposit didasarkan kepada jenis matriks yang digunakan seperti:

- 1) Komposit matriks material organik (*Organic Matrix Composites/OMCs*).
- 2) Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composites/MMCs*).
- 3) Komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composites/CMCs*).

Berdasarkan jenis bentuk penguatnya, komposit dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe komposit, partikular, *whisker*, serat dan anyaman. Sifat komposit tergantung pada beberapa proses yang mempengaruhinya, antara lain jenis material komposit yang digunakan, fraksi volume penguat, dimensi penguat, dan beberapa variabel-variabel proses yang lain (Zainuri et al. 2008).

Komposit dapat diterapkan pada beberapa bidang seperti industri otomotif, pesawat terbang, maupun untuk peralatan rumah tangga. Komposit memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan material lain, seperti memiliki sifat mekanik

yang baik, tidak mudah korosi, ringan, kaku, kuat, bahan baku yang mudah diperoleh dengan harga yang lebih murah, dan memiliki massa jenis rendah dibanding dengan serat mineral (Mahmuda et al. 2013).

## 2.2 Klasifikasi Membran

Pada umumnya membran dapat diklasifikasikan menjadi empat kategori yaitu berdasarkan bentuk, kategori berdasarkan fungsi, kategori berdasarkan eksistensi, dan berdasarkan bentuk aliran dengan penjelasan sebagai berikut:

Berdasarkan bentuknya membran dibagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Membran datar
- 2) Membran *tubular*

Berdasarkan fungsinya membran dapat diklasifikasikan menjadi enam jenis, yaitu:

- 1) Membran mikrofiltrasi
- 2) Membran ultrafiltrasi
- 3) Membran osmosa balik (OR)
- 4) Nanofiltrasi
- 5) Membran dialisa
- 6) Membran elektrodialisa

Berdasarkan eksistensinya, membran dibagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Membran alamiah
- 2) Membran sintetik

Berdasarkan bentuk aliran, membran dapat dibagi menjadi dua sebagai berikut:

- 1) *Dead-end filtration*
- 2) *Cross-flow filtration*

Prinsip pemisahan dengan membran yaitu proses pemisahan antara pelarut dengan zat terlarut. Pelarut dipisahkan dari zat terlarut yang akan tertahan pada membran yang disebut dengan rejeksi, sedangkan pelarut akan lolos melalui membran yang dinamakan retensi.

Kecepatan aliran komponen yang dipisahkan bergantung kepada jenis gaya pendorong dan karakteristik membran. Jenis gaya pendorong yang ada pada proses pemisahan dengan menggunakan membran yaitu perbedaan tekanan, perbedaan konsentrasi, dan perbedaan temperatur. Kinerja membran atau efisiensi pemisahan di dalam membran dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu parameter operasional dan karakteristik membran (Afrianty et al. 2012).

### **2.2.1 Parameter operasional**

Parameter operasional yang mempengaruhi kinerja membran adalah waktu, laju alir, tekanan, dan temperatur.

### **2.2.2 Karakteristik membran**

#### **A. Permeabilitas**

Permeabilitas sering disebut juga sebagai kecepatan permeat atau fluks adalah ukuran kecepatan suatu spesi melewati membran persatuan luas dan waktu dengan gradien tekanan sebagai gaya pendorong. Fluks membran keramik secara langsung berhubungan dengan porositas, membran keramik yang bagus adalah membran dengan porositas tinggi, namun tidak menurunkan kekuatan mekanik membran tersebut. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah jumlah dan ukuran pori, interaksi antara membran dan larutan umpan, viskositas larutan, serta tekanan dari luar (Yu et al. 2009).

## **B. Selektivitas**

Parameter selektivitas dinyatakan sebagai koefisien penolakan atau koefisien rejeksi adalah ukuran kemampuan membran menahan suatu spesi. Faktor yang mempengaruhi selektivitas adalah besarnya ukuran partikel yang akan melewatinya, interaksi antara membran, larutan umpan, dan ukuran pori (Afrianty et al. 2012).

Beberapa faktor yang berpengaruh dalam penggunaan membran.

1. Ukuran molekul membran

Ukuran molekul membran sangat mempengaruhi kinerja membran.

2. Bentuk membran

Membran dapat dibuat dalam berbagai macam bentuk, seperti bentuk datar, bentuk tabung, dan bentuk serat berongga.

3. Bahan membran

Perbedaan bahan membran akan berpengaruh pada hasil rejeksi dan distribusi ukuran pori.

4. Karakteristik larutan

Karakteristik larutan ini mempunyai efek pada permeabilitas membran.

### **2.3 Keramik Berpori**

Membran keramik adalah membran yang terbentuk dari kombinasi logam (aluminium, titanium, zirkonium) dengan non logam dalam bentuk oksida, nitrida atau karbida. Membran keramik yang bagus adalah membran yang memiliki porositas tinggi, namun tidak menurunkan kekuatan mekanik membran tersebut.



Fluks membran keramik secara langsung berhubungan dengan porositas, porositas membran keramik dapat ditingkatkan dengan aglomerasi partikel-partikel bahan keramik pada tahap awal pemrosesan yaitu pada saat pembentukan suspensi dan proses pencetakan (Afrianty et al. 2012).

Keramik berpori yang berbahan material anorganik memiliki keunggulan lebih baik daripada membran polimer karena sifat-sifatnya seperti tahan terhadap suhu tinggi, inert secara kimia dan memiliki durabilitas yang baik, sehingga memungkinkan dipakai untuk waktu yang lama (Masturi et al. 2012).

#### **2.4 Zeolit Alam**

Zeolit alam merupakan kristal alumina silika yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi dan berongga. Proses terbentuknya zeolit alam dikarenakan adanya unsur kimia dan fisika yang kompleks dari batu-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin, sehingga terbentuk mineral-mineral zeolit (Aidha 2013).

Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut, sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Lestari 2010).

### 2.4.1 Jenis zeolit

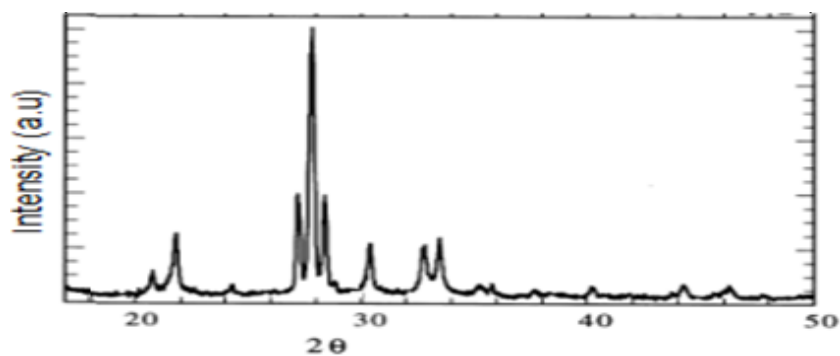
Jenis zeolit alam dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu:

1. Zeolit yang terdapat di antara celah-celah batuan

Zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit yang di sertai dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit dan mineral *sulfide*.

2. Zeolit yang berupa batuan

Hanya sedikit jenis zeolit yang berbentuk batuan, antara lain klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabsit dan heulandit. Pola XRD zeolit berbeda beda sesuai dengan jenisnya, berikut salah satu contoh pola XRD filipsit yang memiliki puncak-puncak spesifik pada 22 °, 27 °, dan 31° yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pola XRD zeolit filipsit (Adabbo et al. 1999)

Zeolit alam memiliki mineral yang jumlahnya banyak namun distribusinya tidak merata, seperti klinoptilolit, mordenit, fillipsit, kabsit dan laumontit. Kelemahan dari zeolit alam antara lain mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, O, dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik (Saputra 2006). Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi performa zeolit, untuk

menghilangkan pengotor pada zeolit alam biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi pada zeolit. Proses aktivasi zeolit bertujuan untuk memodifikasi sifat-sifat dari zeolit, seperti luas permukaan dan keasaman (Aidha 2013).

#### **2.4.2 Sifat kimia zeolit**

Zeolit banyak ditemukan dalam batuan. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedron  $\text{AlO}_4^{2-}$  dan  $\text{SiO}_4^-$  yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur,  $\text{Si}^{4+}$  dapat diganti dengan  $\text{Al}^{3+}$ . Ikatan Al-O-Si membentuk struktur kristal sedangkan logam alkali atau alkali tanah merupakan sumber kation yang dapat dipertukarkan (Tan et al. 2010).

#### **2.4.3 Rasio Si/Al dalam Zeolit**

Zeolit memiliki sifat yang unik karena susunan atom maupun komposisinya dapat dimodifikasi, sehingga banyak dilakukan pembuatan zeolit sintetis untuk mendapatkan rasio Si/Al sesuai yang dibutuhkan. Rasio Si/Al pada zeolit sangat mempengaruhi sifat dari material tersebut (Kobayashi et al. 2012).

Selain perbandingan Si/Al, sifat fisika seperti konduktivitas juga sangat mempengaruhi fungsi kerja dari zeolit. Nilai konduktivitas listrik zeolit yang besar memiliki kapasitas ion yang tinggi dan dapat menyerap kation-kation yang dapat dipertukarkan, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai penukar ion (Kurniasari et al. 2011).

#### **2.4.4 Luas Permukaan Zeolit**

Struktur yang khas dari zeolit yaitu hampir sebagian besar merupakan kanal dan pori, menyebabkan zeolit memiliki luas permukaan yang besar. Keadaan ini dapat dijelaskan bahwa masing-masing pori dan kanal dalam maupun antar kristal

dianggap berbentuk silinder, maka luas permukaan total zeolit adalah akumulasi dari luas permukaan (dinding) pori dan kanal-kanal penyusun zeolit (Xia et al. 2011).

## **2.5 Aktivasi Zeolit**

Zeolit merupakan suatu mineral berupa kristal silika alumina yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina, silikat dan air (Lestari 2010). Air yang terkandung dalam pori tersebut dapat dilepas dengan pemanasan pada temperatur 300°C hingga 400°C. Pemanasan pada temperatur tersebut, air dapat keluar dari pori-pori zeolit, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan.

Jumlah air yang terkandung dalam zeolit sesuai dengan banyaknya pori atau volume pori. Semakin banyak jumlah pori yang dimiliki, semakin besar luas permukaan total yang dimiliki zeolit (Lestari 2010). Luas permukaan internal zeolit dapat mencapai puluhan bahkan ratusan kali lebih besar dibanding bagian permukaan luarnya. Luas permukaan yang besar ini sangat menguntungkan dalam pemanfaatan zeolit baik sebagai adsorben ataupun sebagai katalis heterogen.

Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan baik secara fisika maupun secara kimia (Windaryoto et al. 2017). Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi, yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan.

Aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor anorganik. Pengasaman ini akan menyebabkan terjadinya

pertukaran kation dengan  $H^+$ . Modifikasi zeolit alam dilakukan untuk mendapatkan bentuk kation dan komposisi kerangka yang berbeda. Modifikasi ini biasanya dilakukan melalui pertukaran ion, dealuminasi, dan substitusi isomorfis (Kurniasari et al. 2011).

## 2.6 Zeolit sebagai Adsorben

Zeolit merupakan salah satu adsorben alternatif yang memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi karena memiliki pori yang banyak dan mempunyai kapasitas tukar kation yang tinggi dan dapat diaplikasikan pada rentang suhu yang luas, sehingga sangat cocok digunakan sebagai adsorben (Wang and Peng 2010).

Pada umumnya zeolit memiliki struktur molekul yang unik, dengan atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen, sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola teratur. Zeolit juga disebut *molecular sieve* atau *molecular mesh* (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler, sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu (Danarto et al. 2010).

Beberapa sifat yang dimiliki oleh zeolit adalah dehidrasi, adsorpsi, penukar ion, katalisator dan separator. Dehidrasi pada zeolit menyebabkan struktur zeolit mempunyai struktur pori yang sangat terbuka, mempunyai luas permukaan internal yang luas, sehingga mampu mengadsorpsi sejumlah besar substansi selain air, dan mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran molekul dengan kepolarannya.

Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dikarenakan struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul

yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi (Sidiq and Yulianto 2017).

Sumber keberadaan zeolit di Indonesia sangat melimpah. Sumber daya alam zeolit tersebar di berbagai provinsi seperti Jawa Tengah, Jawa Barat, Jawa Timur, DIY, Papua dan beberapa provinsi lainnya yang belum terinventarisasi. Dilihat dari kelimpahan di alam zeolit dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari namun penggunaannya masih belum maksimal karena hanya menggunakan zeolit alam asli untuk adsorben.

Zeolit alam yang belum dimodifikasi masih kurang selektif dan efisien karena masih mengandung banyak pengotor yang dapat mengganggu fungsi zeolit sebagai adsorben. Oleh sebab itu perlu dilakukan modifikasi pada zeolit alam untuk meningkatkan selektivitas zeolit dan memperbaiki sifat zeolit alam yaitu membuat ukuran pori lebih seragam (Aidha 2013; Lestari 2010).

## **2.7 Filtrasi**

Filtrasi adalah pembersihan partikel padat dari suatu fluida dengan melewatkannya pada medium penyaring atau septum. Filtrasi juga dapat diartikan suatu operasi atau proses pemisahan campuran heterogen antara fluida dan partikel-partikel padatan dengan media filter yang meloloskan fluida namun menahan partikel padatan. Pemisahan partikel padat atau koloid dari fluida dapat menggunakan media penyaringan atau saringan. Air yang mengandung suatu padatan atau koloid dilewatkan pada media saring dengan ukuran pori-pori yang lebih kecil dari ukuran suatu padatan tersebut (Maximous et al. 2009).

Pengolahan dengan menggunakan metode filtrasi atau penyaringan merupakan salah satu metode fisik yang dilakukan dalam adsorpsi. Prinsip kerja proses filtrasi bisa dipengaruhi oleh gravitasi ataupun tenaga putar. Ada beberapa jenis filtrasi yang digunakan dalam penyaringan air limbah seperti filter pasir lambat, filter karbon aktif, filter karbon membran, dan filter zeolit (Chrisafitri et al. 2012; Hristov et al. 2012; Nasir et al. 2013; Nugroho et al. 2013).

## **2.8 Polimer**

Polimer adalah salah satu bahan yang memiliki resistansi tinggi. Bahan polimer mempunyai ikatan kovalen yang kuat, sehingga elektron pada pita terluar sulit untuk lepas (Gunawan et al. 2010). Polimer terbentuk dari susunan monomer-monomer yang melalui proses polimerisasi. Polimerisasi merupakan proses pembentukan polimer dari monomernya. Reaksi tersebut akan menghasilkan polimer dengan susunan ulang tertentu (Muhammad et al. 2016).

Beberapa keuntungan penggunaan polimer yang sebagai matriks, dikarenakan memiliki beberapa sifat seperti ringan, kuat, ulet, tahan terhadap kelembaban, tidak reaktif secara kimia, menyekat secara baik terhadap panas dan listrik, murah dari sisi harganya, dan mudah untuk dibentuk (Kumar et al. 2007).

## **2.9 Polyethylene Glicol (PEG)**

*Polyethylene Glicol* (PEG) adalah senyawa yang dapat menurunkan potensial osmotik larutan melalui aktivitas matriks sub-unit etilena oksida yang mampu mengikat molekul air dengan ikatan hidrogen. Terdapat tiga jenis struktur rantai pada PEG yaitu linier (*linear*), bercabang (*branched*) dan menyambung (*linked*) (Nuzully et al. 2013).

Karakteristik PEG dapat dilarutkan dalam air, methanol, benzene dan dichlorometan. Selain itu sifat PEG mudah menguap pada suhu tinggi, sehingga dapat digunakan untuk membentuk dan mengontrol jumlah pori pada keramik (Savitri et al. 2015; Laila et al. 2014).

Berbagai jenis PEG yaitu PEG 200, 400, 600, 1000, 1500, 3350, 4000, dan 6000. Nomor pada PEG menunjukkan berat molekul rata-rata dari masing-masing polimernya. PEG dengan bobot molekul 200-600 (PEG 200-600) berbentuk cair, sedangkan PEG dengan berat molekul rata-rata lebih dari 1000 berupa padatan. PEG banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti bidang farmasi dan industri tekstil. Berbagai produk yang menggunakan PEG yaitu keramik, kosmetik, dan deodoran (Nuzully et al. 2013).

## **2.10 Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA)**

*Ethylene diamine tetraacetic acid* (EDTA) merupakan pengikat logam dan pertukaran logam yang baik untuk beberapa jenis ion logam. EDTA dapat membentuk senyawa kompleks yang stabil dan larut dalam logam berat. Hal tersebut dapat mencegah penghilangan logam berat secara ekstensif (Izza 2014).

EDTA dapat mempertahankan kualitas bahan yang akan diujikan, dengan tidak dapat meningkatkan kualitas bahan uji (Rizal et al. 2015). EDTA juga dikategorikan sebagai salah satu anti koagulan yang dipakai untuk menghambat pembekuan darah (Setyaningsih et al. 2017).

## **2.11 Air Limbah**

Air limbah adalah cairan atau buangan dari rumah tangga, industri maupun tempat-tempat umum lain yang mengandung bahan-bahan yang dapat



membahayakan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lain serta mengganggu kelestarian lingkungan (Hidayah et al. 2010). Air limbah domestik, menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik disebutkan pada Pasal 1 ayat 1, bahwa air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restoran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Kontaminasi ekosistem laut oleh logam Pb meningkat seiring dengan banyaknya penggunaan Pb seperti pada industri non-pangan, otomotif, dan tekstil (Mendoza-Castillo et al. 2015). Lebih lanjut, kadar Pb pada salah satu sungai di Indonesia sudah mencapai 0,05 ppm dan kadar ikan 0,13 ppm, sedangkan kadar Pb pada air minum kemasan di salah satu kota di Indonesia mencapai 7,27 ppb (Dewa et al. 2015). Kadar tersebut telah melampaui nilai ambang batas maksimal logam Pb (Priatna et al. 2016). Logam berat seperti Pb tidak diperlukan sama sekali oleh tubuh, terlebih lagi ada kecenderungan bahwa semakin tinggi kadar timbal dalam darah, maka kadar hemoglobin darah cenderung rendah (Kumar et al. 2017).

Upaya menanggulangi air limbah yang terkontaminasi logam Pb pernah dilakukan dengan menggunakan limbah tanah liat melalui metode adsorpsi, didapat efisiensi pengurangan limbah Pb sebesar 60% (Priadi et al. 2014). Selain itu selulosa dari limbah jerami padi yang diaktivasi dengan asam nitrat, juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam Pb. Efisiensi pengurangan limbah Pb dengan menggunakan adsorpsi selulosa sebesar 62% (Safrianti et al. 2012).

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Zeolit yang digunakan pada penelitian ini berjenis zeolit filipsit. Hal ini diketahui melalui hasil pengukuran XRD yang menunjukkan puncak signifikan  $2\theta = 22,5^\circ; 26,6^\circ, 31^\circ$  dan rumus kimia zeolit hasil analisis EDX adalah  $CaKAlSi_{3,37}O_{4,6} \cdot 3H_2O$  yang tergolong rumus kimia zeolit filipsit.
2. Aktivasi zeolit dilakukan secara fisika dengan pemanasan dan kimia dengan perendaman beberapa larutan. Hasil aktivasi berpengaruh terhadap karakteristik zeolit yang ditunjukkan pada hasil pengukuran EDX, dengan kadar O pada zeolit 65,0%, Na-zeolit 56,4%, dan H-zeolit 56,3%.
3. Karakteristik dari membran keramik berpori zeolit dan PEG mempunyai nilai permeabilitas antara  $6,14 \times 10^{-12} - 6,75 \times 10^{-11} m^2$  dan melalui pengukuran SEM didapat ukuran rata-rata partikel keramik adalah  $1,9 \mu m$  dan pori  $0,55 \mu m$ .
4. Keramik berpori efektif digunakan sebagai filter air limbah, didapat nilai retensi keramik berpori berbahan Na-zeolit 0,13; 0,29; 0,43; 0,67; 0,68; 0,62 ( $C/C_0$ ) sedangkan keramik berpori berbahan H-zeolit 0,07; 0,22; 0,31; 0,45; 0,45; 0,45 ( $C/C_0$ ), sehingga air hasil filtrasi layak digunakan kembali untuk kegiatan perairan umum.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan perlu adanya penyempurnaan antara lain:

1. Perlu adanya alat pengujian membran keramik berpori yang sesuai dengan ukuran membran tersebut.
2. Perlu adanya karakterisasi dan pengujian lain seperti karakterisasi tes mekanik, tes abrasi dan SAA untuk mengetahui sifat-sifat mekanik, pengikisan keramik berpori dan luas pori rata-rata pada keramik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adabbo, M., D. Caputo, B. De Gennaro, M. Pansini, and C. Colella. 1999. "Ion Exchange Selectivity of Phillipsite for Cs and Sr as a Function of Framework Composition." *Microporous and Mesoporous Materials* 28:315–24.
- Afrianty, Citria, Lustiana Gustin, Tri Dewi, and Kurnia. 2012. "Pengolahan Limbah Air Asam Tambang Menggunakan Teknologi Membran Keramik." *Jurnal Teknik Kimia* 18(3):16–25.
- Aidha, Novi N. 2013. "Aktivasi Zeolit Secara Fisika Dan Kimia Untuk Menurunkan Kadar Kesadahan ( Ca Dan Mg ) Dalam Air Tanah ( Activation Of Zeolite By Physical And Chemical Methods)." *J. Kimia Kemasan* 35(1):58–64.
- Arulmozhi, K. T., N. Mythili, M. Newt, and R. Timmo. 2013. "Studies on the Chemical Synthesis and Characterization of Lead Oxide Nanoparticles with Different Organic Capping Agents Studies on the Chemical Synthesis and Characterization of Lead Oxide Nanoparticles with Different Organic." *AIP Advances* 122122:0–9.
- Baerlocher, Ch., L. B. McCusker, D. H. Olson, and S. Martin. 2007. *Atlas Of Zeolite Framework Types*. Sixth. edited by W. M. Meier. Zurich: Elsevier Science.
- Bauhofer, Wolfgang, Karl Schulte, Hilmi Yurdakul, A.Tugrul Seyhan, Servet Turan, and Metin Tanog. 2010. "Electric Field Effects on CNTs / Vinyl Ester Suspensions and the Resulting Electrical and Thermal Composite Properties." *Composites Science and Technology Journal* 70:2102–10.
- Beyer, Hermann K. 2002. "Dealumination Techniques for Zeolites." *Molecular Sieves* 3:204–48.
- Chrisafitri, Adistya, Karnaningroem, Adistya, and Nieke. 2012. "Pengolahan Air Limbah Pencucian Mobil Dengan Reaktor Saringan Pasir Lambat Dan Karbon Aktif." *Manajemen Teknologi* 16:1–8.
- Danarto, Y. C., Prasetyo Utomo, Ferry Sasmita, and A. Budi. 2010. "Pirolisis Limbah Serbuk Kayu Dengan Katalisator Zeolit." *Teknik Kimia "Kejuangan"* 1:1–6.
- Das, Rasel, Equb Ali, Sharifah Bee, Abd Hamid, Seeram Ramakrishna, and Zaira Zaman. 2014. "Carbon Nanotube Membranes for Water Puri Fi Cation : A Bright Future in Water Desalination." *Desalination* 336:97–109.
- Dewa, Riardi, Pratista, Hadinoto, and Sugeng. 2015. "Analisa Kandungan Timbal

( Pb ) Dan Kadmium ( Cd ) Pada Air Minum Dalam Kemasan Di Kota Ambon Analyze of Timbale ( Pb ) And Cadmium ( Cd ) On Water Mineral In Ambon City.” *Majalah Biam* 11(2):76–82.

- Elaiopoulos, K., Th Perraki, E. Grigoropoulou, and A. Poulou. 2010. “Microporous and Mesoporous Materials Monitoring the Effect of Hydrothermal Treatments on the Structure of a Natural Zeolite through a Combined XRD , FTIR , XRF , SEM and N<sub>2</sub> -Porosimetry Analysis.” *Microporous and Mesoporous Materials* 134(1–3):29–43.
- Fahmi, Hendriwan, Nur Arifin, P. Andika, and R. Zaen. 2014. “Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Resin Epoxy / Serat.” *Jurnal Teknik Mesin* 4:84–89.
- Firdaus, Lukman, Adit Wicaksono, R. Hakim, and H. Rizky. 2013. “Pembuatan Katalis H-Zeolit Dengan Impregnasi Ki/kio 3 Dan Uji Kinerja Katalis Untuk Produksi Biodiesel.” *Jurnal Teknologi Kimia Industri* 2(2):148–54.
- Gunawan, Budi, Citra Azhari, S. Dewi, and K. Setiadi. 2010. “Karakterisasi Spektrofotometri I R Dan Scanning Electron Microscopy ( S E M ) Sensor Gas Dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol ( P E G ).” *Jurnal Teknologi Kimia Industri* 1:1–17.
- Hidayah, Euis, Wahyu Aditya, Nurul Faradilah, and P. Andi. 2010. “Potensi Dan Pengaruh Tanaman Pada Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Sistem Constructed Wetland.” *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 2(2):11–18.
- Hristov, P., A. Yoleva, St Djambazov, I. Chukovska, and D. Dimitrov. 2012. “Preparation And Characterization Of Porous Ceramic Membranes For Micro-Filtration From Natural Zeolite.” *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* 47(4):476–80.
- Ihsanullah, Aamir Abbas, Adnan M. Al-Amer, Tahar Laoui, Mohammed J. Al-Marri, Mustafa S. Nasser, Majeda Khraisheh, and Muataz Ali Atieh. 2016. “Heavy Metal Removal from Aqueous Solution by Advanced Carbon Nanotubes: Critical Review of Adsorption Applications.” *Separation and Purification Technology* 157:141–61.
- Izza, Athifah Tul. 2014. “Penurunan Kandungan Timbal ( Pb ) Pada Kupang Merah ( Musculitas Senhausia ) Dengan Perebusan Asam Pada Kajian Jenis Dan Konsentrasi Asam.” *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 1.
- Kobayashi, Hirokazu, Haruka Yokoyama, Bo Fenga, and Atsushi Fukuoka. 2012. “Dehydration of Sorbitol to Isosorbide over H-Beta Zeolites with High Si/Al Ratios.” *The Royal Society of Chemistry* 1:1–4.
- Kroon, Renee, Martijn Lenes, J. A. N. C. Hummelen, Paul W. M. Blom, and Bert D. E. Boer. 2008. *Small Bandgap Polymers for Organic Solar Cells* (

*Polymer Material Development in the Last 5 Years ).*

- Kumar, Dinesh, Abhishek Chandra, Man Singh, and Mann Abhishek. 2017. "Influence of Imidazolium Ionic Liquids on the Interactions of Human Hemoglobin with DyCl<sub>3</sub>, ErCl<sub>3</sub>, and YbCl<sub>3</sub> in Aqueous Citric Acid at T = (298.15, 303.15, and 308.15) K and 0.1 MPa." *Journal of Chemical and Engineering Data* 62(2):665–83.
- Kumar, Manish, Mariusz Grzelakowski, Julie Zilles, Mark Clark, and Wolfgang Meier. 2007. "Highly Permeable Polymeric Membranes Based on the Incorporation of the Functional Water Channel Protein Aquaporin Z." *PNAS* 104(52):20719–24.
- Kurniasari, Laeli, Mohammad Djaeni, A. Purbasari, and Aprilina. 2011. "Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Alat Pengering Bersuhu Rendah." *Reaktor* 13(3):178–84.
- Laila, Fitriya, Evika Savitri, L. Nur, and P. Sandi. 2014. "Produksi Metabolit Sekunder Steviosida Pada Kultur Kalus Stevia (Stevia Rebaudiana Bert. M.) Dengan Penambahan Zpt 2,4-D Dan PEG (Polyethylene Glykol) 6000 Pada Media MS (Murashige & Skoog)." *El-Hayah* 4(2):57–65.
- Lang, Peter F., Barry C. Smith, J. Steve, and A. Becker. 2010. "Ionic Radii for Group 1 and Group 2 Halide, Hydride, Fluoride, Oxide, Sulfide, Selenide and Telluride Crystals." *Separation and Purification Technology* 1:7786–91.
- Lestari, Dewi Yuanita. 2010. "Kajian Modifikasi Dan Karakterisasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara." *Kimia UNY* 1.
- Mahmuda, Efri, S. Savetlana, Sugiyanto, and J. Shirley. 2013. "Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ijuk Dengan Matrik Epoxy." *Jurnal FEMA* 1(3):79–84.
- Masturi, Hasniah Aliah, Mahardika Prasetya Aji, Adi Ardian Sagita, Minsyahril Bukit, Euis Sustini, and Mikrajuddin Abdullah. 2011. "Effect of Silica Nanoparticles on Compressive Strength of Leaves-Waste Composite." *AIP Conf. Proc.* 1415:90–93.
- Masturi, Silvia, Mahardika Prasetya Aji, Euis Sustini, Khairurrijal, and Mikrajuddin Abdullah. 2012. "Permeability, Strength and Filtration Performance for Uncoated and Titania-Coated Clay Wastewater Filters." *Journal, American Sciences, Environmental Publications, Science* 8(2):79–94.
- Masturi and Sunarno. 2015. "Estimation of Van Der Waals Interaction Using FTIR Spectroscopy." *Advanced Materials Research* 1123(1):61–64.

- Masturi, R. D. Widodo, S. S. Edie, U. Amri, A. L. Sidiq, D. Alighiri, N. A. Wulandari, Susilawati, and S. N. Amanah. 2018. "Performance of Zeolite Ceramic Membrane Synthesized by Wet Mixing Method as Methylene Blue Dye Wastewater Filter Performance of Zeolite Ceramic Membrane Synthesized by Wet Mixing Method as Methylene Blue Dye Wastewater Filter." *Journal of Physics: Conference Series* 983.
- Matyka, Maciej, Arzhang Khalili, Zbigniew Koza, and Yanqiu Zhu. 2008. "Tortuosity-porosity Relation in the Porous Media Flow." *Theoretical Physics* 1:1-8.
- Maximous, Nermen, G. Nakhla, W. Wan, and K. Wong. 2009. "Preparation , Characterization and Performance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / PES Membrane for Wastewater Filtration." *Journal of Membrane Science* 341:67-75.
- Mendoza-Castillo, D. I., C. K. Rojas-Mayorga, I. P. García-Martínez, M. A. Pérez-Cruz, V. Hernández-Montoya, A. Bonilla-Petriciolet, and M. A. Montes-Morán. 2015. "Removal of Heavy Metals and Arsenic from Aqueous Solution Using Textile Wastes from Denim Industry." *International Journal of Environmental Science and Technology* 12(5):1657-68.
- Moshoeshoe, Mohau, Nadiye-tabbiruka, Misael Silas, and Veronica Obuseng. 2017. "A Review of the Chemistry , Structure , Properties and Applications of Zeolites." *American Journal of Materials Science* 7(5):196-221.
- Muhammad, Hasbi, Aminur, Sahril, and Euis Sustini. 2016. "Studi Sifat Mekanik Komposit Polimer Yang Diperkuat Partikel Clay." *ENTHALPY* 1(1).
- Mythili, N., K. T. Arulmozhi, L. Andy, and P. Ribas. 2014. "Characterization Studies on the Chemically Synthesized and Phase PbO Nanoparticles." *International Journal of Scientific & Engineering Research* 5(1):1-6.
- Nasir, Subriyer, Teguh Budi, Idha Silviaty, and P. Andika. 2013. "Aplikasi Filter Keramik Berbasis Tanah Liat Alam Dan Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah." *Teknik Kimia* 1:45-51.
- Nugroho, G., H. Wahyu, K. Purwoto, and L. Setyo. 2013. "Removal Klorida, TDS Dan Besi Pada Air Payau Melalui Penukar Ion Dan Filtrasi Campuran Zeolit Aktif Dengan Karbon Aktif." *Jurnal Teknik WAKTU* 11(1):47-59.
- Nuzully, Seveny, Takeshi Kato, Satoshi Iwata, and N. Takeshi. 2013. "Pengaruh Konsentrasi Polyethylene Glycol ( PEG ) Pada Sifat Kemagnetan Nanopartikel Magnetik PEG -Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>." *Jurnal Fisika Indonesia No: XVII(51):35-40.*
- Parvinzadeh, Mazeyar, Siamak Moradian, Abosaeed Rashidi, and Mohamad-esmail Yazdanshenas. 2010. "Applied Surface Science Surface

Characterization of Polyethylene Terephthalate / Silica Nanocomposites.” *Applied Surface Science* 256:2792–2802.

- Priadi, Cindy, Rianti Sari, Putri Nilam, and Sarwanto Moersidik. 2014. “Adsorpsi Logam Seng Dan Timbal Pada Limbah Cair Industri Keramik Oleh Limbah Tanah Liat.” *Reaktor* 15(1):10–19.
- Priatna, Deby Enni, Tarzan Purnomo, Nur Kuswanti, and Purnomo Tarzan. 2016. “Kadar Logam Berat Timbal ( Pb ) Pada Air Dan Ikan Bader ( *Barbonymus Gonionotus* ) Di Sungai Brantas Wilayah Mojokerto The Content of Heavy Metal Lead ( Pb ) in the Water and Bader Fish ( *Barbonymus Gonionotus* ) of Brantas River , Mojokerto Region.” *Lentera Bio* 1.
- Process, Int J. Miner, T. Motsi, N. A. Rowson, and M. J. H. Simmons. 2009. “Adsorption of Heavy Metals from Acid Mine Drainage by Natural Zeolite.” *International Journal of Mineral Processing* 92(1–2):42–48.
- Rahayu, Arista and Ian Yulianti. 2012. “Pengaruh Peerubahan Massa Zeolit Terhadap Kadar Ph Limbah Pabrik Gula Melalui Media Filtrasi.” *JFI* 1.
- Rizal, Muhammad, Muhammad Riyadhi, Insun Sangadji, Herdis, Nasrullah, and Yulnawati. 2015. “Kriopreservasi Semen Domba Garut Dengan Pengencer Tris Yang Disuplementasi Ethylene Diamine Tetraacetic Acid.” *Jurnal Veterini* 16(15):249–55.
- Safrianti, In, Nelly Wahyuni, Titin Anita, and Zaharah. 2012. “Adsorpsi Timbal (Pb) Oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat: Pengaruh Ph Dan Waktu Kontak.” *JKK* 1(1):1–7.
- Saputra, Rodhie. 2006. “Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri.” *Buletin IPT* 1:1–8.
- Savitri, M. I., M. P. Aji, P. A. Wiguna, N. Rosita, and M. A. N. Said. 2015. “Multilayer Porous Composite From Waste Glass For Water Filtration Filter Air.” *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 11(2):170–76.
- Setyaningsih, Riyani, Dimas Bagus, Wicaksono Putro, and Hasanudin. 2017. “Pengaruh Ethylenediaminetetraacetic Acid ( EDTA ) Terhadap Produktivitas Dan Perkembangan Aedes Aegypti Dengan Membran Blood Feeding.” *Vektora* 1(1):27–36.
- Sidiq, Alif Lombardoaji and Agus Yulianto. 2017. “Adsorpsi Logam Berat Pada Air Sungai Kaligarang Menggunakan Campuran Zeolit Dan Pasir Silika.” *JFI* 16–20.
- Solikah, Siti, Budi Utami, N. Niken, and S. Amanah. 2014. “Teraktivasi Dan Zeolit Terimmobilisasi Dithizon Untuk Penyerapan Ion Logam Tembaga ( Cu 2+ ).” *Jurnal Teknik Kimia* (4):342–54.



- Sulistiyanto, B., Utama Sc, S. Sumarsih, and M. Zainuri. 2016. "Effect of Administering Zeolite on The Physical Performances of Pellet Product Contained Chickens Hatchery Wastes." *LPVT* 415–21.
- Tan, Jin Chong, Thomas D. Bennett, Anthony K. Cheetham, and K. Thomas. 2010. "Chemical Structure , Network Topology , and Porosity Effects on the Mechanical Properties of Zeolitic Imidazolate Frameworks." *PNAS* 1.
- Treacy, M. M. J. 2001. "Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites Editors :." *Microporous and Mesoporous Materials* 1.
- Wang, Shaobin and Yuelian Peng. 2010. "Natural Zeolites as Effective Adsorbents in Water and Wastewater Treatment." *Chemical Engineering Journal* 156:11–24.
- Windaryoto, H. Suyanto, A. P. Utomo, M. Manurung, and W. G. Suharta. 2017. "Application of Activated Zeolite to Quantitative Analysis of Pb Liquid Sample Using Commercial Laser-Induced Breakdown Spectroscopy ( LIBS ) Application of Activated Zeolite to Quantitative Analysis of Pb Liquid Sample Using Commercial Laser-Induced Break." *Journal of Physics: Conference Series* 817.
- Xia, Yongde, Robert Mokaya, Gavin S. Walker, and Yanqiu Zhu. 2011. "Superior CO<sub>2</sub> Adsorption Capacity on N-Doped , High-Surface-Area , Microporous Carbons Templated from Zeolite." *Advanced Energy Materials* 678–83.
- Yu, Yan, Lin Gu, Chunlei Wang, Abirami Dhanabalan, Peter A. Van Aken, and Joachim Maier. 2009. "Encapsulation of Sn @ Carbon Nanoparticles in Bamboo-like Hollow Carbon Nanofibers as an Anode Material in Lithium-Based Batteries \*\*." *Nanotechnology* 1:6485–89.
- Zainuri, M., Eddy S. Siradj, Dedi Priadi, and Anne Zulfia. 2008. "Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel Sic Dengan Oksida Metal Terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al / Sic." *MAKARA SAINS* 12(2):126–33.