



**KERAMIK BERPORI BERBAHAN ZEOLIT/PEG
SEBAGAI ADSORBEN ION Pb^{2+}**

Skripsi

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

Oleh

Siti Nur Amanah

4211414034

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

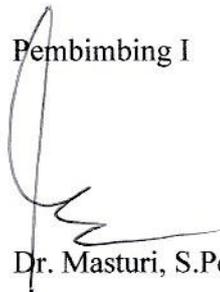
2018

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul "*Keramik Berpori Berbahan Zeolit/PEG sebagai Adsorben Ion Pb²⁺*" ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 2 Oktober 2018

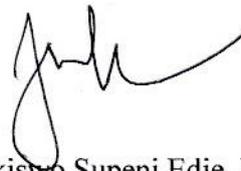
Pembimbing I



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

NIP. 19810307 200604 1 002

Pembimbing II



Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.

NIP. 19561029 198601 1 001

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya, bukan jiplakan dan karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 28 September 2018



Siti Nur Amanah

NIM 4211414034

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "***Keramik Berpori Berbahan Zeolit/PEG sebagai Adsorben Ion Pb²⁺***" disusun oleh:

Siti Nur Amanah

4211414034

telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Unnes pada tanggal 2 Oktober 2018.



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.

NIP. 19641223 198803 1 001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si

NIP. 19680714 19603 1 005

Ketua Penguji

Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.

NIP. 19810815 200312 2 003

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

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

NIP. 19810307 200604 1 002

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.

NIP. 19561029 198601 1 001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Sesungguhnya Allah tidak akan merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.

(QS. Ar-Ra'd :11)

Bukan suatu kemustahilan untuk menggapai dunia dengan tangan yang kecil, jika sebilah bolpoin sudah berjalan.

Man Jadda Wajada

(Barang siapa bersungguh-sungguh pasti akan mendapatkan hasil)

Where is a will, There is a way

(Dimana ada kemauan, Disitulah ada jalan)

PERSEMBAHAN

Ibu, Bapak, Adik & Mas

Fisika 2014

Sahabatku

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarganya, sahabat, dan orang-orang yang mengikuti risalah beliau hingga akhir zaman.

Alhamdulillah, setelah melalui perjuangan dengan berbagai kendala, akhirnya penulis diijinkan-Nya untuk menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “*Keramik Berpori Berbahan Zeolit/PEG sebagai Adsorben Ion Pb²⁺*” dengan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk melengkapi kurikulum dan menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu pada Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.

Terselesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu dan Bapak tercinta atas doa yang selalu dipanjatkan, semangat yang selalu diberikan, kesabaran yang selalu dicurahkan, dan dukungan moril maupun materil yang tak henti-hentinya diberikan.
2. Adiku tersayang yang selalu menjadi penyemangat dan penghibur dikala suka duka.
3. Dr. Masturi, S.Pd, M.Si. sebagai dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta telah menanamkan pola berpikir

logis dalam penelitian ini, memberikan arahan kepada penulis serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi.

4. Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si. sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan penuh perhatian serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, motivasi, dan saran selama penyusunan skripsi.
5. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si. sebagai dosen wali yang telah memberikan motivasi selama masa perkuliahan.
6. Mas Luki Andriyan atas motivasi, dukungan, dan doa yang selama ini telah diberikan.
7. Sahabat-sahabatku Nura, Pungki, Helvi, Anik, Ida, Yuniar, Ila, Ela, Klausa, Apri atas canda tawa dalam menemani dan mendengarkan keluh kesah.
8. Keluarga di Laboratorium Komposit; Niken, Mas Ulul, Alif, Ina, Riska, Saras, Faisal, Marathur terimakasih untuk kebersamaannya menjadi teman diskusi dan berkeluh kesah selama ini.
9. Teman-teman Fisika 2014 atas motivasi dan dukungan selama menjalani perkuliahan dan penelitian.
10. Teman-teman Ck Kost B terimakasih atas motivasinya.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini. Semoga amal dan budi baiknya mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis juga memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini ada beberapa kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan yang dimiliki penulis. Sebagai akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca sekalian, dan juga penulis mengharapkan saran dan kritik demi menyempurnakan kajian ini. Semoga penelitian yang telah dilakukan dapat menjadikan sumbangsih bagi kemajuan dunia riset Indonesia. Aamiin.

Semarang, September 2018

Penulis

ABSTRAK

Amanah, Siti Nur. 2018. *Keramik Berpori Berbahan Zeolit/PEG sebagai Adsorben Ion Pb²⁺*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Masturi, S.Pd., M.Si. dan Pembimbing Pendamping Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.

Kata Kunci: Keramik Berpori, Zeolit, Logam Pb.

Peningkatan tingkat pencemaran logam berat merupakan ancaman yang serius pada kesehatan penduduk, sumber kehidupan dan sistem ekologi. Walaupun banyak sumber logam berat, tetapi sektor industri dan limbah domestik merupakan sumber pencemaran yang paling berkontribusi menghasilkan limbah logam. Dari berbagai kontaminan logam berat, diantaranya adalah logam Pb. Upaya yang dilakukan untuk mengurangi kadar logam Pb pada pencemaran logam salah satunya dengan pembuatan keramik zeolit/PEG yang digunakan sebagai adsorben. Zeolit merupakan bahan yang dapat digunakan dalam pertukaran kationik untuk remediasi logam berat dan kontaminan lainnya. Struktur pori yang dimiliki zeolit bersifat uniform, stabil terhadap panas dan kekuatan mekanisnya yang baik serta tahan terhadap lingkungan kimia yang ekstrim. Keramik zeolit/PEG menggunakan jenis PEG 4000 sebagai matriks. Pencampuran zeolit/PEG dilakukan dengan metode Sol- Gel atau pencampuran basah, dimana PEG terlebih dahulu dilarutkan dalam Aquades dengan perbandingan massa 1:1. Pembuatan keramik zeolit/ PEG ini dilakukan dengan massa zeolit tetap yaitu 25 gram dan variasi massa PEG 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 gram. Berdasarkan variasi massa PEG dihasilkan ukuran pori yang berbeda-beda. Semakin banyak PEG yang ditambahkan pori yang dihasilkan semakin besar sehingga mengakibatkan permeabilitas keramik yang tinggi. Keramik dengan permeabilitas yang tinggi kurang selektif dalam adsorpsi ion Pb²⁺. Pengujian larutan hasil adsorpsi keramik zeolit/PEG menggunakan alat *Spektrofotometer UV- Vis* dengan menambahkan larutan EDTA 0,01 M sebagai pengompleks. Optimasi keramik dalam mengadsorpsi ion Pb²⁺ terjadi pada keramik dengan fraksi PEG (*w/w*) 0,0385 dengan kemampuan adsorpsi 86,67%. Hasil karakterisasi keramik optimum dengan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* mendapatkan ukuran pori rata-rata sebesar 0,627µm, *Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)* mendapatkan kandungan Pb sebesar 6,4% pada keramik hasil adsorpsi dan *Fuorier Transform Infrared (FTIR)* terjadi pergeseran bilangan gelombang 1075,89 menjadi 1075,12 cm⁻¹ akibat adanya vibrasi asimetri Pb-O-Pb.

ABSTRACT

Amanah, Siti Nur. 2018. *Porous Ceramics Made from Zeolite/PEG as Ion Adsorbents Pb²⁺*. Thesis, Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Semarang State University. Chief Advisor Dr. Masturi, S.Pd., M.Sc. and Assistant Advisor Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Sc.

Keywords: Porous Ceramics, Zeolites, Pb Metals

Increased levels of heavy metal pollution are a serious threat to the health of the population, sources of life and ecological systems. Although there are many heavy metal sources, the industrial sector and domestic waste are sources of pollution that contribute most to producing metal waste. Of various heavy metal contaminants, including Pb metal. Efforts are being made to reduce Pb metal content in metal pollution, one of which is by making zeolite / PEG ceramics which are used as adsorbents. Zeolites are materials that can be used in cationic exchanges for the remediation of heavy metals and other contaminants. The pore structure of zeolite is uniform, stable to heat and good mechanical strength and resistant to extreme chemical environments. Zeolite / PEG ceramics use the PEG 4000 type as a matrix. Zeolite / PEG mixing is done by Sol-Gel method or wet mixing, where PEG is first dissolved in Aquades with a mass ratio of 1: 1. The manufacture of zeolite / PEG ceramics was carried out with a fixed zeolite mass of 25 grams and a mass variation of PEG 1, 2, 3, 4, 5 and 6 grams. Based on PEG mass variations, different pore sizes are produced. The more PEG added, the greater the pore produced resulting in high ceramic permeability. Ceramics with high permeability are less selective in the adsorption of Pb²⁺ ions. Testing the solution of zeolite / PEG ceramic adsorption using UV-Vis Spectrophotometer by adding 0.01 M EDTA solution as a complexer. Ceramic optimization in adsorbing Pb²⁺ ions occurs in ceramics with a PEG fraction (w/w) 0.0385 with an adsorption ability of 86.67%. The results of optimum ceramic characterization with Scanning Electron Microscopy (SEM) obtained an average pore size of 0.627µm, Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) obtained Pb content of 6.4% on adsorption ceramics and Fourier Transform Infrared (FTIR) occurred shifting the wave number 1075.89 to 1075.12 cm⁻¹ due to Pb-O-Pb asymmetry vibration.

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRAC	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah.....	6
1.3. Rumusan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian.....	7
1.5. Manfaat Penelitian.....	7
1.6. Sistematika Penulisan.....	8
BAB II.....	9
LANDASAN TEORI.....	9

2.1.	Komposit	9
2.2.	Keramik Berpori.....	11
2.3.	Zeolit	14
2.3.1.	Jenis – Jenis Zeolit	15
2.3.2.	Struktur Zeolit	16
2.3.3.	Sifat-Sifat Zeolit.....	17
2.3.4.	Zeolit sebagai Adsorben.....	19
2.4.	Polimer	21
2.3.1.	Polietilen glikol (PEG).....	22
2.5.	Pencemaran Air	23
2.5.1.	Logam Berat.....	25
2.5.2.	Logam Timbal (Pb).....	27
2.5.3.	Logam Besi (Fe).....	28
2.5.4.	Logam Mangan (Mn)	29
BAB III	.....	30
METODE PENELITIAN	.....	30
3.1.	Pelaksanaan Penelitian	30
3.2.	Alat dan bahan.....	30
3.3.	Metode Pembuatan Keramik	31
3.4.	Metode Pengujian.....	33
3.4.1.	Uji Permeabilitas.....	35
3.4.2.	Uji Adsorpsi Larutan Ion Pb ²⁺ +	36
3.4.3.	Karakterisasi <i>Fuorier Transform Infrared (FTIR)</i>	38

3.4.4.	Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	39
3.4.5.	Karakterisasi <i>Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)</i>	39
3.5.	Alur Penelitian.....	40
BAB IV	.....	41
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	41
4.1.	Identifikasi Tipe Zeolit.....	41
4.2.	Pembuatan Keramik Berpori.....	42
4.2.1.	Hasil Optimasi Komposisi Keramik Berpori.....	45
4.3.	Uji Permeabilitas Keramik.....	47
4.3.1.	Scanning Electron Microscopy (SEM).....	50
4.4.	Uji Kemampuan Adsorpsi Logam pada Keramik.....	53
4.4.1.	Uji Spektrofotometer UV- Vis.....	53
4.4.2.	Hubungan Permeabilitas terhadap Kemampuan Adsorpsi Logam .	57
4.4.3.	Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX).....	60
4.4.4.	Fuorier Transform Infrared (FTIR).....	62
BAB V	.....	64
PENUTUP	.....	64
5.1.	Simpulan.....	64
5.2.	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	.....	66
LAMPIRAN	.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pori dalam keramik.	13
Gambar 2. 2 Ilustrasi (a). Keramik sebelum proses sintering dan (b). pori terbentuk setelah proses sintering.	23
Gambar 2. 3 Zeolit alam.....	14
Gambar 2. 4 Struktur tetrahedral zeolit alam.	16
Gambar 2. 5 Penggolongan logam beracun.	26
Gambar 3. 1 Skema pengujian larutan logam.....	34
Gambar 3. 2 Alur penelitian.....	40
Gambar 4. 1 Karakterisasi XRD pada serbuk zeolit.....	41
Gambar 4. 2 Hasil keramik dengan massa zeolit 25 gram dan variasi massa PEG (a) Green Body atau sebelum dibakar (b) Sesudah dibakar.....	45
Gambar 4. 3 Pengujian permeabilitas dan adsorpsi logam pada keramik.....	48
Gambar 4. 4 Grafik hubungan Fraksi PEG (w/w) dalam keramik dan permeabilitas.	49
Gambar 4. 5 Struktur morfologi dan ukuran pori keramik fraksi PEG (w/w) 0,0385.....	51
Gambar 4. 6 (a) Spektrofotometer UV- Vis dan (b) Larutan hasil adsorpsi keramik zeolit/PEG pada larutan Pb(NO ₃) ₂	54
Gambar 4. 7 Grafik Kurva kalibrasi.....	54
Gambar 4. 8 Grafik hubungan Fraksi PEG (w/w) dengan kemampuan adsorpsi keramik (%).	56
Gambar 4. 9 Simulasi Penyerapan dalam Keramik (Singh et al., 2018).	58

Gambar 4. 10 Mekanisme penyerapan logam Pb oleh zeolit.....	59
Gambar 4. 11 Grafik hubungan permeabilitas terhadap konsentrasi Pb.....	59
Gambar 4. 12 Hasil karakterisasi EDX.....	61
Gambar 4. 13 Hasil karakterisasi FTIR pada (a) keramik optimum sebelum, (b) sesudah dilakukan adsorpsi logam Pb.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Penelitian Adsorpsi Logam oleh Zeolit.	5
Tabel 2. 1 Akibat yang Ditimbulkan Adanya Logam Pb dalam Tubuh.....	28
Tabel 4. 1 Keramik Hasil Komposisi Massa Zeolit Tetap dan Variasi Massa PEG.....	46
Tabel 4. 2 Absorbansi pada Larutan Hasil Adsorpsi Keramik Zeolit/PEG	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Perhitungan Kurva Kalibrasi.....	75
Lampiran Perhitungan Permeabilitas.....	77
Lampiran Hasil Uji <i>Spektrofotometer UV- Vis</i>	78
Lampiran Perhitungan Konsentrasi Larutan.....	79
Lampiran Hasil Karakterisasi SEM.....	80
Lampiran Hasil Karakterisasi EDX.....	83
Lampiran Hasil Karakterisasi FTIR.....	85
Lampiran Karakterisasi XRD.....	90
Lampiran Gambar Kegiatan.....	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan tingkat pencemaran logam berat merupakan ancaman yang serius pada kesehatan penduduk, sumber kehidupan dan sistem ekologi. Heavy metal Evaluation Index (HEI) menyebutkan bahwa pencemaran tersebut bersumber dari aktivitas industri dan limbah domestik yang tidak terkontrol (Yazidi *et al.*, 2017). Tidak hanya di Indonesia, pencemaran air oleh logam berat terjadi berbagai daerah didunia, misalnya Sungai Mahrut di Iraq (Obaidy *et al.*, 2014) dan Pantai Tupilipalem di India (Ganugapenta *et al.*, 2018). Beberapa logam yang termasuk dalam golongan logam berat diantaranya, Ar, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Hg dan Zn (Kobielska *et al.*, 2018). Hal ini disebabkan karena ion-ion tersebut bersifat toksik meskipun pada konsentrasi yang rendah (ppm). Ion-ion logam berat seperti Timbal (Pb) dapat menyebabkan kanker paru-paru, kerusakan hati dan ginjal. Selain Pb, beberapa logam lain yang dapat membahayakan kesehatan diantaranya, Besi (Fe) yang menyebabkan air berwarna kuning kecokelatan dan menimbulkan bau yang kurang enak (Sandra *et al.*, 2014), Kadmium (Cd) yang dapat menimbulkan efek keracunan penyakit paruparu, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kalenjar pencernaan serta kerapuhan pada tulang (Siska *et al.*, 2012), dan Tembaga (Cu) yang berdampak buruk bagi terhambatnya pertumbuhan biota perairan dan mengakibatkan berbagai penyakit bagi manusia (Yulianis *et al.*, 2017).

Kemajuan dan perkembangan teknologi saat ini sangat pesat terlihat pada karya dan inovasi yang dihasilkan, misalnya pada bidang Nanoteknologi. Nanoteknologi merupakan salah satu bidang penting dalam dunia riset modern yang berkaitan dengan desain, sintesis, dan rekayasa struktur partikel berskala 1 sampai 100 nm. Nanoteknologi menghasilkan produk nano dan nanopartikel yang memiliki sifat fisika- kimia berhubungan dengan ukurannya. Berbeda dengan material yang berukuran besar, karakteristik sifat nanopartikel berdasarkan pada ukuran, bentuk, dan morfologi permukaan (Junaidi *et al.*, 2015). Pada umumnya, perkembangan riset yang semakin maju ini bertujuan untuk mendapatkan keunggulan sifat material dalam keperluan aplikasi fungsional. Salah satu penelitian yang bertemakan nanomaterial adalah penelitian dalam bidang nanokomposit (Masturi *et al.*, 2013). Salah satu bentuk yang inovatif dalam aplikasi nanokomposit adalah pembuatan keramik berpori.

Keramik umumnya dilakukan dengan memadukan dua material yang berbeda sehingga dapat meningkatkan sifat mekaniknya (Barleany *et al.*, 2011). Untuk memperoleh hasil keramik yang memiliki sifat dan kekuatan mekanik yang baik, cara yang biasa digunakan antara lain pemilihan jenis fasa penyusun, menggunakan *filler* yang berukuran lebih kecil (*nanosize*), dan pemilihan matriks. Selain itu, kekuatan tekan keramik yang dihasilkan juga bergantung pada komposisi antarfasa tersebut dan parameter- parameter yang terlibat dalam proses fabrikasinya, seperti temperatur dan tekanan fabrikasi (*tempering and pressing*) (Masturi *et al.*, 2012).

Secara umum, keramik terdiri atas dua material penyusun, yaitu matriks dan pengisi (*filler*). Matriks berfungsi untuk mengikat unsur-unsur pembentuk keramik,

sedangkan *filler* merupakan partikel yang diisikan dalam matriks yang berfungsi menguatkan atau meningkatkan sifat-sifat yang diinginkan (Santoso *et al.*, 2009). Bahan yang biasa digunakan dalam pembuatan keramik berpori merupakan bahan anorganik yang diantaranya, tanah liat (*clay*), zeolit, atau abu sekam (Eom *et al.*, 2013). Berbagai keunggulan dari keramik berpori diantaranya, memiliki stabilitas termal yang baik, struktur kimia, kekuatan mekanik yang baik, sifatnya tahan lama dan dapat digunakan sebagai filter (Said *et al.*, 2008).

Penelitian ini menggunakan zeolit alam sebagai bahan utama keramik. Berbagai keuntungan yang diperoleh jika memanfaatkan bahan alam dalam penelitian, diantaranya jumlahnya yang melimpah dan mudah dijumpai serta tentunya murah secara finansial. Zeolit banyak dipilih dalam pembuatan keramik karena sifat kristalografi yang baik, sifat fisiknya yang unik serta memiliki potensi untuk memisahkan suatu campuran yang sulit terurai (Bisset *et al.*, 2013). Selain itu, zeolit juga mampu digunakan dalam pertukaran kationik untuk remediasi logam berat dan kontaminan lainnya karena sifatnya yang baik sebagai adsorben (Pang *et al.*, 2015). Kemampuan zeolit sebagai adsorben ada karena sifatnya yang memiliki luas permukaan yang tinggi, stabilitas termal/hidrotermal yang sangat baik, selektivitas tinggi dan kemampuan pertukaran ion baik (Wang *et al.*, 2018). Struktur pori yang dimiliki zeolit bersifat uniform, stabil terhadap panas dan juga kekuatan mekanisnya yang baik serta tahan terhadap lingkungan kimia yang ekstrim (Nasir *et al.*, 2013). Kemampuan zeolit dalam mengadsorpsi suatu material karena zeolit memiliki rongga atau pori yang selektif dalam melakukan filtrasi (Utama *et al.*, 2017).

Material pengikat atau matriks pada pembuatan keramik ini adalah polimer PEG 4000. Pemilihan jenis PEG 4000 sebagai matriks merujuk pada penelitian (Polu *et al.*, 2011) dan (Aji *et al.*, 2015) yang menggunakan jenis PEG ini sebagai penghasil pori dalam pembuatan keramik. Efek polietilen glikol (PEG) merupakan zat porogen akan larut dan meninggalkan lubang pori sehingga menghasilkan kapasitas dan laju adsorpsi komposit (Santoso *et al.*, 2009).

Tujuan dari pembuatan keramik zeolit/PEG ini adalah dapat digunakan sebagai adsorben absorben ion Pb^{2+} . Proses adsorpsi pada keramik secara efektif mampu menghilangkan logam berat dalam pencemaran lingkungan (Sun *et al.*, 2018). Sebagai adsorben, keramik harus mampu mengoptimalkan proses pemisahan atau adsorpsi dan memiliki permeabilitas serta selektivitas bahan yang baik (Bisset *et al.*, 2013). Pendekatan yang telah banyak dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah melalui imobilisasi dengan teknik pengendapan, pertukaran ion maupun menggunakan adsorben (zat penyerap) (Anggara *et al.*, 2013). Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai material logam yang telah di adsorpsi oleh zeolit ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Penelitian Adsorpsi Logam oleh Zeolit.

Penelitian	Logam yang diadsorpsi
Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Nano Zeolit Alam yang Teraktivasi. (Yulianis <i>et al.</i> , 2017)	Tembaga (Cu)
Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Cr. (Emelda <i>et al.</i> , 2013)	Kromium (Cr)
Optimasi Adsorpsi dan Desorpsi Ion Logam Cd pada Zeolit Hasil Sintesis Abu Dasar Batubara Termodifikasi Ditizon (Faqih, 2015)	Kadmium (Cd)
Pengaruh Penggunaan Filtrasi Zeolit dan Arang Aktif terhadap Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) Air Tambak Kecamatan Jabon, Sidoarjo. (Utama <i>et al.</i> , 2017)	Timbal (Pb)
Pengaruh Suhu Sintering terhadap Densitas dan Porositas pada Membran Keramik Berpori Berbasis Zeolit, Tanah Lempung, Arang Batok Kelapa, dan Polyvinylalcohol (PVA). (Sandra <i>et al.</i> , 2014)	Besi (Fe)

Berdasarkan uraian diatas dilakukan penelitian ini yang bertemakan “**Keramik Berpori Berbahan Zeolit/PEG sebagai Adsorben Ion Pb²⁺**”.

1.2. Batasan Masalah

Untuk mempermudah dalam penelitian, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Material keramik yang digunakan adalah zeolit alam sebagai *filler* dan PEG 4000 sebagai matriks.
2. PEG yang digunakan adalah jenis PEG 4000, yaitu jenis PEG yang masih dalam keadaan padatan (bubuk), sehingga metode pencampuran dilakukan dengan metode Sol- Gel. Metode ini dilakukan dengan cara mencampurkan PEG dan aquades dengan perbandingan 1:1 yang diaduk menggunakan *magnet stirrer* selama 1 jam.
3. Variasi yang dilakukan adalah variasi massa PEG, dengan massa zeolit tetap yaitu 25 gram.
4. Pengujian adsorpsi ion Pb^{2+} oleh keramik dilakukan pada larutan logam $Pb(NO_3)_2$ dengan konsentrasi 200 ppm.
5. Identifikasi tipe zeolit menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*.
6. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, *Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)*.
7. Analisis uji adsorpsi menggunakan *Spektrofotometer UV- Vis*.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pembuatan keramik berpori berbahan zeolit/PEG?
2. Bagaimana karakteristik permeabilitas keramik berpori berbahan zeolit/PEG?
3. Bagaimana efektivitas keramik berpori berbahan zeolit/PEG sebagai adsorben ion Pb^{2+} ?

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diuraikan, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pembuatan keramik berpori berbahan zeolit/PEG.
2. Mengetahui karakteristik permeabilitas keramik berpori berbahan zeolit/PEG.
3. Mengetahui efektivitas keramik berpori berbahan zeolit/PEG sebagai adsorben ion Pb^{2+} .

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai keramik berpori berbahan zeolit/ PEG beserta variasi komposisi yang digunakan dari teknik pembuatan hingga menjadi keramik berpori.
2. Memberikan informasi tentang karakteristik permeabilitas keramik berpori berbahan zeolit/PEG.
3. Memberikan informasi tentang inovasi baru dalam proses adsorpsi logam berat dengan menggunakan keramik yang terbuat zeolit dan PEG.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi disusun dan dibagi menjadi tiga bagian untuk memudahkan pemahaman tentang struktur dan isi skripsi. Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi dan bagian akhir skripsi.

Bagian pendahuluan skripsi terdiri dari halaman judul, sari (abstrak), halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran. Bagian isi skripsi, terdiri dari lima bab yang tersusun dengan sistematika sebagai berikut; Bab 1 merupakan pendahuluan, berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi; Bab 2 merupakan landasan teori, berisi teori-teori pendukung penelitian; Bab 3 merupakan metode penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian, serta alur penelitian; Bab 4 merupakan hasil penelitian dan pembahasan, dalam bab ini dibahas tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan; dan bab 5 merupakan penutup yang berisi tentang kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian. Bagian akhir skripsi memuat tentang daftar pustaka yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Komposit

Komposit merupakan kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuk, komposisi kimia, dan tidak saling melarutkan antara materialnya, dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur unsurnya (Maryanti *et al.*, 2011). Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat atau *filler* sebagai bahan penguat dan bahan pengikat yang disebut matriks (Ridha *et al.*, 2016). Penggunaan *filler* dalam pembuatan komposit bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik melalui penyebaran tekanan yang efektif di antara *filler* dan matriks (Hasbi *et al.*, 2016). Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Muhajir *et al.*, 2016).

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibagi menjadi tiga yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite (PMC)*

Merupakan jenis komposit yang menggunakan polimer sebagai matriksnya.

2. *Metal Matrix Composite (MMC)*

Merupakan jenis komposit yang menggunakan logam sebagai matriksnya.

Biasanya maaterial ini dimanfaatkan pada temperatur yang lebih tinggi.

3. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*

Merupakan jenis komposit yang menggunakan keramik sebagai matriksnya. Secara inheren tahan terhadap oksidasi dan juga kerusakan pada temperatur tinggi.

Berdasarkan jenis pengisi atau *filler*-nya, komposit dibagi menjadi tiga yaitu:

1. *Particulate Composite*

Merupakan komposit yang menggunakan partikel sebagai *filler* atau penguatnya. Peran partikel dalam komposit partikel adalah membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastik matriks yang ada di sela-sela partikel.

2. *Fiber Composite*

Merupakan komposit yang menggunakan serat sebagai *filler* atau penguatnya. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matriks akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum.

3. *Structural Composite*

Pada komposit jenis ini biasanya terdiri dari material homogen, dimana sifatnya tak hanya bergantung pada materialnya saja, namun juga bergantung pada desain geometrinya dari struktur elemen (Basyarahil, 2017).

Terdapat tiga metode dalam pembuatan komposit yaitu:

1. *Injection Moulding*

Merupakan proses injeksi dilakukan dengan cara memberikan tekanan injeksi pada bahan plastik yang telah meleleh oleh sejumlah energi panas untuk dimasukkan kedalam cetakan sehingga dapat dibentuk yang diinginkan.

2. *Spray Up*

Metode Spray Up ini menggunakan alat penyemprot. Alat penyemprot tersebut berisi resin dan pengisi yang secara bersamaan disemprot kedalam cetakan.

3. *Hand Lay Up*

Merupakan pembuatan komposit dengan metode lapisan demi lapisan sampai diperoleh ketebalan yang diinginkan. Dimana setiap lapisan berisi matriks dan *filler*. Setelah memperoleh ketebalan yang diinginkan digunakan *roller* untuk meratakan dan menghilangkan udara yang terjebak di atasnya (Lumintang *et al.*, 2011).

2.2. Keramik Berpori

Keramik berasal dari bahasa Yunani “keramos” yang memiliki arti yang berbeda-beda. Keramik merupakan sebuah senyawa padatan yang terbentuk melalui panas, atau kombinasi panas dan tekanan, yang tersusun setidaknya dari dua unsur yang salah satu diantara unsur penyusunnya adalah unsur padatan non logam. Unsur lainnya dapat berupa logam atau unsur non logam (Sunaryo, 2010). Sedangkan (Sidabutar, 2017) mendefinisikan keramik menjadi tiga macam, yaitu:

1. Bahan atau mineral yang terbuat dari tanah liat yang dibakar.
2. Material anorganik yang tersusun atas unsur logam dan non logam yang berkaitan ionik atau kovalen.
3. Semua material yang bersifat keras, rapuh, tahan panas, dan tahan korosi serta mengandung satu atau lebih unsur logam termasuk oksigen. Keramik merupakan paduan logam yang terikat secara ionik dan kovalen.

Keramik merupakan sebuah media selektif permiable yang mempunyai pori dengan diameter tertentu dimana faktor permeabilitas dan separasi merupakan indikator- indikator yang paling penting dalam menentukan performanya (Nasir *et al.*, 2013). Beberapa indikator yang dimiliki oleh keramik berpori antara lain, ketebalan keramik, ukuran pori dan permukaan porositas dari membran (Masturi *et al.*, 2012). Berdasarkan ukuran porinya, keramik dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Reverse osmosis*

Merupakan keramik yang memiliki diameter pori antara $0,0001 \mu\text{m} - 0,001 \mu\text{m}$.

2. *Ultrafiltrasi*

Merupakan keramik yang memiliki diameter pori antara $0,001 \mu\text{m} - 0,1 \mu\text{m}$.

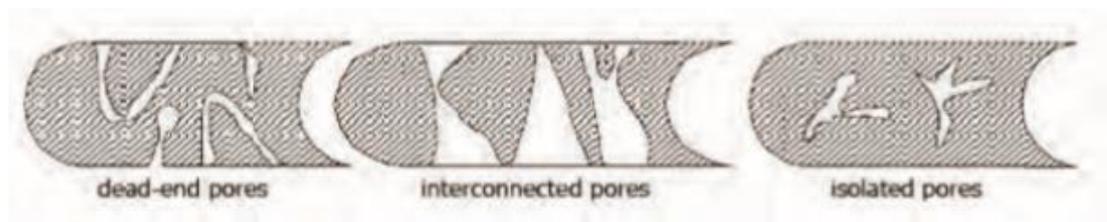
3. *Mikrofiltrasi*

Merupakan keramik yang mempunyai diameter pori antara $0,1 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$.

4. *Konvensional filtrasi*

Merupakan keramik yang tergolong penyaring pada umumnya yang memiliki diameter pori antara $10 \mu\text{m} - 100 \mu\text{m}$ (Maulina, 2016).

Pembuatan keramik berpori dilakukan dengan cara mencampurkan sebuah bahan baku anorganik dengan polimer sehingga terbentuk keramik yang selanjutnya dibakar sehingga mengakibatkan polimer pada keramik terurai dan terbentuk sebuah material berpori (Masturi *et al.*, 2012). Pori- pori dalam keramik mempunyai tiga jenis, yaitu:



Gambar 2. 1 Pori dalam keramik.

1. *Dead-end pores*

Merupakan jenis pori pada keramik yang terbentuk pada permukaan atas dan bawah keramik tetapi tidak saling terhubung, hal tersebut menyebabkan keramik tidak memiliki permeabilitas.

2. *Interconnected pores*

Merupakan jenis pori pada keramik yang terbentuk saling terhubung dari atas permukaan sampai bawah keramik, sehingga terbentuk alur pada keramik untuk mengalirkan atau menyalurkan suatu bahan atau dengan kata lain keramik memiliki permeabilitas yang baik.

3. *Isolated pores*

Merupakan jenis pori pada keramik yang terbentuk berupa rongga dalam keramik, tidak saling terhubung satu dengan lainnya sehingga dalam keramik pori- pori tersebut tidak memiliki kemampuan permeabilitas. Jenis pori ini yang paling efektif dalam pembuatan keramik berpori (Petrik *et al.*, 2012).

2.3. Zeolit

Zeolit pertama kali ditemukan oleh Axel Fredrick Cronstedt pada tahun 1756 di tambang tembaga Svappari, Swedia. Kata zeolit berasal dari Bahasa Yunani, “zeo” yang berarti mendidih dan “lithos” yang berarti batu, secara harfiah zeolit berarti batu mendidih. Nama tersebut diturunkan dari pengamatan bahwa setelah dipanaskan, zeolit nampak mendidih karena kehilangan air dengan cepat (Moshoeshoe *et al.*, 2017).



Gambar 2. 2 Zeolit alam.

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses 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. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan 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).

2.3.1. Jenis – Jenis Zeolit

Berdasarkan proses terbentuknya zeolit dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Zeolit Alam

Merupakan zeolit yang secara alami terbentuk dan ada karena proses alamiah. Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang-lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklastik halus. Telah diketahui lebih dari 40 jenis mineral zeolit di alam, dari jumlah tersebut hanya 20 jenis yang terdapat dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklastik.

Berdasarkan proses pembentukannya, zeolit alam dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu:

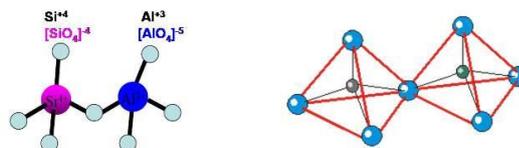
- a. Zeolit yang berasal dari batuan vulkanik, umumnya mempunyai sifat fisika dan kimia yang kompleks dan banyak mengandung zeolit jenis *phillipsit*, *faujasit*, *mordenit*, *stillbit* dan *gmelnit*.
- b. Zeolit yang berasal dari batuan sedimen. Jenis ini biasanya mempunyai ukuran butir yang sangat kecil dan halus.
- c. Zeolit yang berasal dari batuan metamorfosa dan batuan metasomatik (Siregar, 2016).

2. Zeolit Sintetis

Merupakan zeolit yang terbentuk karena proses modifikasi baik susunan atom maupun komposisinya. Para peneliti biasanya berupaya untuk membuat zeolit sintetis yang mempunyai sifat khusus sesuai dengan keperluannya (Said *et al.*, 2008).

2.3.2. Struktur Zeolit

Zeolit tersusun atas struktur dasar kerangka aluminosilikat yang terdiri dari susunan tetrahedral dari kation silikon Si^{4+} dan kation aluminium Al^{3+} yang dikelilingi oleh empat anion oksigen O^{2-} . Setiap ion oksigen dalam ikatan Si-O dan Al-O menghubungkan dua kation yang dibagi antara dua tetrahedron sehingga menghasilkan kerangka tiga dimensi makromolekul dari SiO_2 dan AlO_2 tetrahedral. Dalam susunan atom ini, setiap tetrahedron terdiri dari empat atom O yang mengelilingi Si atau Al kation, menghasilkan struktur tiga dimensi dari tetrahedra silikat dengan rasio Si dan O yaitu 1: 2. Beberapa ion Si^{4+} tergantikan oleh Al^{3+} sehingga menghasilkan muatan negatif dalam kerangka. Muatan ini timbul karena perbedaan dalam valensi formal antara tetrahedron AlO_4^{5-} - dan SiO_4^{4-} yang biasanya terletak pada salah satu anion oksigen yang terhubung ke kation aluminium (Moshoeshoe *et al.*, 2017). Struktur atom zeolit dapat diilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 3 Struktur tetrahedral zeolit alam.

Secara garis besar, struktur zeolit dibangun dari tiga bagian utama, yaitu (Hendrawan., 2010):

1. Unit bangun primer TO_4 , yaitu tetrahedron dari empat oksigen dengan atom pusat tetrahedron (T) adalah Si^{4+} dan Al^{3+} . Semua atom oksigen berada diantara dua tetrahedron.
2. Unit bagian sekunder, yaitu susunan tetrahedron yang membentuk cincin, seperti cincin tunggal berbentuk segi empat, segi enam, segi delapan, prisma heksagonal, atau gabungan dari dua cincin segi empat.
3. Polihedra besar yang simetri dan tersusun membentuk oktahedra atau lebih.

Pengganti anion pusat silikon bervalensi empat dengan kation aluminium yang bervalensi tiga, sehingga setiap penggantian ion silikon dan ion aluminium memerlukan satu ion logam alkali atau alkali tanah yang monovalen atau setengah ion logam divalen, seperti: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , dan lain-lain untuk menetralkan muatan listriknya (Lestari, 2010).

2.3.3. Sifat-Sifat Zeolit

Zeolit memiliki sifat sebagai berikut:

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi.

2. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila mineral zeolit dipanaskan pada suhu 300°C hingga 400°C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selain mampu menyerap gas atau cairan, zeolit juga mampu memisahkan molekul dan kepolarannya. Hal ini dikarenakan faktor selektivitas dari mineral zeolit tersebut yang tidak ditemukan pada adsorbent padat lainnya.

3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya.

4. Katalis

Saat zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas diantara kristal. Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimum.

5. Penyaring atau Pemisah

Meskipun banyak media berpori yang dapat digunakan sebagai penyaring atau pemisah campuran uap atau cairan, tetapi distribusi diameter dari pori-pori media tersebut tidak cukup efektif seperti halnya penyaring molekular zeolit yang mampu memisahkan campuran berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang disaring (Said *et al.*, 2008).

2.3.4. Zeolit sebagai Adsorben

Zeolit baik digunakan sebagai bahan pembuatan keramik karena memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Struktur kristal yang terdefinisi dengan baik

Dengan ukuran pori yang serupa dengan ukuran molekul. Hal ini berarti zeolit dapat digunakan sebagai saringan molekuler, karena memungkinkan berjalannya beberapa molekul sambil mempertahankan yang lain di luar struktur berpori.

2. Banyaknya struktur zeolit.

International Zeolite Association (IZA) telah menggambarkan 194 struktur yang berbeda. Sehingga memudahkan dalam menentukan ukuran pori, bentuk pori dan karakteristik jaringan pori, disesuaikan dengan kebutuhan dalam membran.

3. Komposisi kimia yang mudah dirubah.

Rumus kimia zeolit dapat ditulis, $Me_{n/m}^{m+} [Si_{1-n}Al_nO_2] \cdot x H_2O$, di mana kerangka antara kurung, Me mewakili kation kerja ekstra-frame dan air fase teradsorpsi. Dengan mengurangi rasio Si/Al, dengan meningkatkan konten Al zeolit menjadi lebih hidrofili.

4. Kemampuan pertukaran ion.

Ketika zeolit bersentuhan dengan larutan yang mengandung ion yang berbeda dari yang ada dalam padatan, kesetimbangan tercapai antara konsentrasi logam dalam cairan dan dalam padatan. Sifat ini adalah dasar untuk penggunaan zeolit yang terkenal sebagai pelunak air, dengan pertukaran Na dari NaA zeolit dan Ca dan Mg dari air. Beberapa sifat zeolit seperti adsorpsi dan ukuran pori dapat diselaraskan dengan pertukaran ion.

5. Aktivitas katalitik zeolit.

Beberapa zeolit banyak digunakan dalam industri kimia dan minyak bumi sebagai katalis. Dalam kondisi yang sesuai, membran zeolit dapat menggabungkan pemisahan dan aktivitas katalitik untuk reaksi yang diberikan.

6. Kemampuan untuk menahan kondisi operasi yang berat.

Dibandingkan dengan membran polimerik, saat ini jenis membran yang paling umum digunakan, membran zeolit dapat beroperasi pada suhu yang lebih tinggi dan dengan adanya beberapa pelarut. Dibandingkan dengan beberapa bahan mikropori misalnya silika yang amorf, karakter kristal zeolit memberikan stabilitas termal tambahan, meskipun beberapa kali zeolit menggunakan suhu yang sangat tinggi.

7. Dibandingkan dengan membran anorganik lainnya (logam atau keramik padat) zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap selektif molekul lain, tidak hanya H₂ atau O₂ (Bassile *et al.*, 2010).

Adanya ruang pori dalam zeolit mengakibatkan zeolit memiliki sifat kapasitas tukar kation yang tidak hanya dimanfaatkan sebagai penyerap unsur hara, akan tetapi dapat dipergunakan sebagai adsorben, pengikat logam-logam berat (Fitriyah, 2016). Zeolit memiliki sifat selektivitas yang tinggi terhadap material baik polar maupun non polar. Gradien ini akan dialami semua adsorbat yang masuk ke pori zeolit, karena kecilnya diameter pori. Molekul yang polar akan berinteraksi lebih kuat dengan gradien medan elektronik intrakristal, dibanding molekul-molekul non polar. Zeolit yang banyak mengalami substitusi kerangka isomorfis, sehingga cenderung memilih molekul-molekul yang polar untuk diadsorpsi. Sebaliknya

molekul-molekul non polar akan diserap oleh zeolit dengan rasio Si/Al tinggi (Lestari, 2010).

Struktur lain yang khas dari zeolit sebagian besar merupakan kanal dan pori, hal itu 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. Semakin banyak jumlah pori yang dimiliki, semakin besar luas permukaan total yang dimiliki zeolit. 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.

2.4. Polimer

Polimer merupakan komponen berat molekul tinggi yang dibangun dari sejumlah unit dasar monomer (Hasbi *et al.*, 2013). Polimer merupakan nama lain dari plastik, yaitu molekul besar atau makro molekul yang terdiri dari satuan yang berulang-ulang. Polimer memiliki sifat yang ringan dan mudah dibentuk. Berdasarkan sifatnya polimer dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Thermosetting

Merupakan polimer yang dapat menerima suhu tinggi dan tidak berubah karena panas, contohnya: poliamid, polidifenil, melamines, silicon, dan epoksi.

2. *Thermoplastic*

Merupakan polimer yang tidak dapat menerima suhu tinggi dan dapat dikatakan berubah karena panas, contohnya: polietilen, polyetherimide, polyphenylene, ethenic, polycarbonates, polystyere, dan polivinil klorida (Sihotang, 2016).

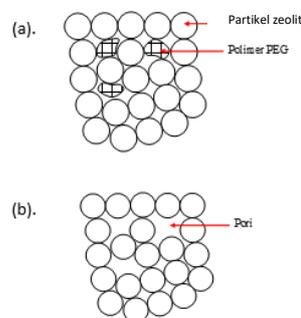
Dalam pembuatan keramik, polimer dapat digunakan sebagai matriks yang berfungsi pengikat *filler* (Siregar, 2016). Selain sebagai pengikat, polimer dalam keramik juga berfungsi sebagai pembentuk pori (Aji *et al.*, 2015). Pada prinsipnya bahan-bahan pembentuk pori adalah bahan-bahan yang mudah terbakar habis pada saat proses pembakaran (Rahayu, 2017). Beberapa polimer yang banyak digunakan sebagai matriks dalam pembuatan keramik adalah polietilen (PE), polivinil klorida (PVC), polipropilen (PP), polistiren (PS) dan sebagainya (Siregar, 2016).

2.3.1. Polietilen glikol (PEG)

Polietilen glikol (PEG) merupakan jenis polimer *thermoplastic*, yaitu polimer yang tidak dapat menerima suhu tinggi dan dapat dikatakan berubah karena panas. PEG memiliki karakteristik dapat larut dalam air, methanol, benzene dan dichlorometan, memiliki kandungan *toxic* yang rendah dan tergolong polimer yang fleksibel (Nuzully *et al.*, 2013). PEG merupakan jenis polimer dari etilen oksida dan air, dibuat menjadi bermacam-macam panjang rantainya. Bahan ini terdapat dalam berbagai macam berat molekul dan yang paling banyak digunakan adalah polietilen glikol 200, 400, 600, 1000, 1500, 1540, 3350, 4000, dan 6000. Pemberian nomor menunjukkan berat molekul rata-rata dari masing-masing polimernya. PEG yang memiliki berat molekul rata-rata 200, 400 dan 600 berupa cairan bening tidak

berwarna dan mempunyai berat molekul rata-rata lebih dari 1000 berupa lilin putih dan padat. Macam – macam kombinasi dari PEG bisa digabung dengan cara melebur. PEG merupakan polimer larut air, polimer ini tidak berwarna, tidak berbau dan kekentalannya berbeda-beda tergantung jumlah $n = 2, 3, 4$ dan maksimum n berjumlah 180. Polimer dengan berat molekul rendah ($n = 2$) disebut dietil glikol dan ($n = 4$) disebut tetra etil glikol. Polimer dengan berat molekul yang tinggi biasanya disebut poli (etilena glikol) (Mudmainah, 2017).

Jenis PEG yang digunakan dalam penelitian ini adalah PEG dengan berat molekul 4000 atau sering disebut dengan PEG 4000. Jenis PEG ini memiliki titik lebur $50-58^{\circ}\text{C}$. Penggunaan PEG 4000 dalam pembuatan keramik sebagai pembentuk pori dalam keramik. Berikut ini Gambar 2.4. ilustrasi pembentukan pori pada keramik sebelum dan sesudah proses sintering (Aji *et al.*, 2015).



Gambar 2. 4 Ilustrasi (a). Keramik sebelum proses *sintering* dan (b). pori terbentuk setelah proses *sintering*.

2.5. Pencemaran Air

Pencemaran air adalah masuknya zat, energi dan komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu (Labbaik *et al.*, 2018). Pencemaran air dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

1. Berkembangnya industri.

Pembuangan limbah industri tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu menyebabkan peningkatan pencemaran air, diantaranya Pb, Hg, Fe dan sebagainya.

2. Belum tertanganinya pengendalian limbah rumah tangga.

Limbah rumah tangga yang berasal dari zat organik dan anorganik yang dibuang begitu saja, dan minimnya kontrol masyarakat mengenai limbah rumah tangga tersebut.

3. Pembuangan limbah pertanian tanpa melalui proses pengolahan.

Limbah pertanian biasanya dibuang tanpa melalui proses pengolahan, sehingga dapat mencemari air sungai karena limbah pertanian mengandung berbagai macam zat pencemar seperti pupuk dan pestisida (Idrus, 2015).

Bahan pencemar air dikelompokkan sebagai berikut:

1. Bahan buangan organik

Bahan buangan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga hal ini dapat mengakibatkan semakin berkembangnya mikroorganisme dan mikroba patogen pun ikut juga berkembang biak di mana hal ini dapat mengakibatkan berbagai macam penyakit.

2. Bahan buangan anorganik

Bahan buangan anorganik pada umumnya berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Apabila bahan buangan anorganik ini masuk ke air lingkungan maka akan terjadi peningkatan jumlah

ion logam di dalam air, sehingga hal ini dapat mengakibatkan air menjadi bersifat sadah karena mengandung ion logam seperti, ion kalsium (Ca), ion magnesium (Mg), timbal (Pb), arsen (As) dan air raksa (Hg) yang sangat berbahaya bagi tubuh manusia.

3. Bahan buangan zat kimia

Bahan buangan zat kimia banyak ragamnya seperti bahan pencemar air yang berupa sabun, bahan pemberantas hama, zat warna kimia, larutan penyamak kulit dan zat radioaktif. Zat kimia ini di air lingkungan merupakan racun yang mengganggu dan dapat mematikan hewan air, tanaman air dan mungkin juga manusia (Harmayani *et al.*, 2007).

2.5.1. Logam Berat

Logam berat adalah unsur dengan densitas atom yang lebih besar dari 5 g/cm^3 , dan merupakan salah satu polutan pada air limbah. Berbagai jenis logam berat beracun yang paling umum ditemui dalam air limbah diantaranya, arsenik, timbal, merkuri, cadmium, kromium, tembaga, nikel, perak, dan seng. Logam berat terakumulasi dalam air limbah merupakan hasil aktivitas manusia, seperti industrialisasi, urbanisasi dan sumber antropogenik (Akpor *et al.*, 2014). Logam mulai dari nomor atom antara 21 (*scandium*) dan 92 (*uranium*) dari Sistem Periodik Bahan Kimia (BPOM RI, 2010). Di bumi terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia yang telah teridentifikasi sebagai logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibedakan menjadi logam berat esensial dan logam berat non esensial.

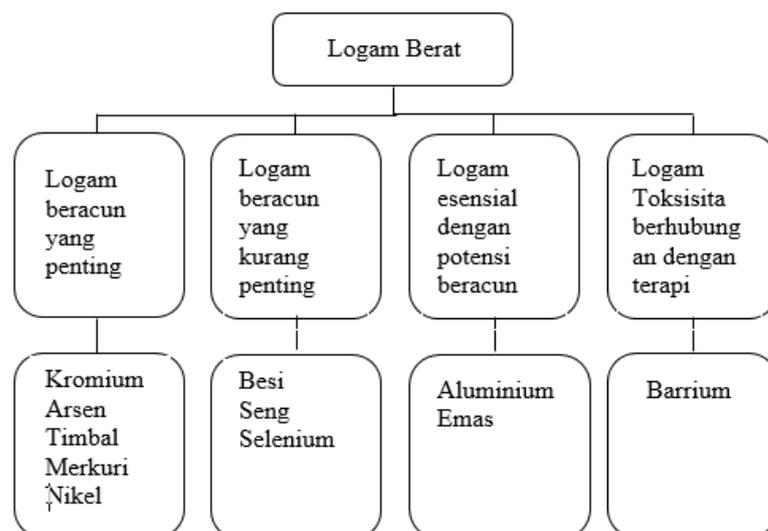
1. Logam berat esensial.

Merupakan logam dengan jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun, sebagai contoh antara lain Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan Se.

2. Logam berat non esensial

Merupakan logam yang beracun (*toxic metal*) yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, sebagai contoh antara lain Hg, Cd, Pb, Sn, Cr (VI) dan As. Logam berat ini dapat menimbulkan efek yang merugikan kesehatan manusia, sehingga sering disebut sebagai logam beracun. Senyawa ini tidak dapat rusak di alam dan tidak berubah menjadi bentuk lain.

Penggolongan logam beracun sebagai berikut ditunjukkan pada Gambar 2.5:



Gambar 2. 5 Penggolongan logam beracun.

Beberapa logam berat dibutuhkan tubuh manusia untuk membantu kinerja metabolisme tubuh. Akan tetapi, dapat berpotensi menjadi racun jika konsentrasi

dalam tubuh berlebih. Logam berat menjadi berbahaya disebabkan sistem bioakumulasi, yaitu peningkatan konsentrasi unsur kimia di dalam tubuh makhluk hidup.

2.5.2. Logam Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan logam bersifat neurotoksin yang dapat masuk dan terakumulasi dalam tubuh manusia sehingga dapat menimbulkan masalah kesehatan. Timbal (Pb) mempunyai sifat khusus diantaranya (Rahmi *et al.*, 2017):

- a. Jenis logam yang lunak.
- b. Logam yang tahan terhadap peristiwa korosi atau karat sehingga logam Pb dapat digunakan sebagai bahan coating.
- c. Mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam-logam biasa kecuali emas dan merkuri.
- d. Mempunyai titik lebur yang rendah, 327,5°C.
- e. Penghantar listrik yang tidak baik.

Beberapa yang ditimbulkan akibat mengedapnya timbal (Pb) dalam tubuh manusia ditunjukkan pada Tabel 2.1. (Fibriyanti, 2015).

Tabel 2. 1 Akibat yang Ditimbulkan Adanya Logam Pb dalam Tubuh.

Bagian tubuh manusia	Akibat yang ditimbulkan
Sistem pencernaan	kolik, konstipasi, mual, muntah, nafsu makan berkurang
Sistem saraf pusat dan saraf tepi	tremor, sakit kepala, leher terasa kaku, demam, menurunnya kecerdasan, kejang, akumulasi cairan cerebrospinal dalam otak, dan kebutaan karena atrofi syaraf penglihatan
Sistem ginjal	aminoasiduria, fosfaturia, glukosuria, nefropati, fibrosis, dan atrofi glomerular
Sistem reproduksi	Menyebabkan kematian janin dan teratospermia pada laki-laki
Darah	Hipertensi

Pemerintah telah menetapkan baku mutu kandungan timbal (Pb) pada air bersih dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tidak lebih dari 0,03 mg/l.

2.5.3. Logam Besi (Fe)

Konsentrasi besi (Fe) terlarut yang masih diperbolehkan dalam air minum adalah 0,3 mg/L. Pendarahan diakibatkan hilangnya zat besi (Fe) dari tubuh menyebabkan kekurangan zat besi (Fe) yang harus diobati dengan pemberian zat besi (Fe) tambahan. Kekurangan zat besi (Fe) juga bisa merupakan akibat dari asupan makanan yang tidak mencukupi. Kelebihan zat besi bisa menyebabkan keracunan, terjadi muntah, diare dan kerusakan usus. Zat besi (Fe) dapat terkumpul di dalam tubuh jika seseorang mendapatkan terapi zat besi (Fe) dalam jumlah yang

berlebih atau dalam waktu yang terlalu lama, menerima beberapa tranfusi darah dan menderita alkoholisme menahun.

2.5.4. Logam Mangan (Mn)

Konsentrasi maksimum Mangan (Mn) dalam air minum adalah 0.05 mg/L. Fungsi utama dalam tubuh komponen enzim. Akibat kelebihan Mangan (Mn) menimbulkan keracunan kronis pada manusia hingga berdampak menimbulkan lemah pada kaki, otot muka kusam, dan dampak lanjutan bagi manusia yang keracunan mangan (Mn), bicaranya lambat dan hyperrefleks. Efek Mangan (Mn) terjadi terutama di saluran pernapasan dan di otak. Gejala keracunan Mangan (Mn) adalah halusinasi, pelupa dan kerusakan saraf (Nuraini *et al.*, 2015).

BAB V

PENUTUP

4.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil analisis yang didapatkan, maka disimpulkan bahwa:

1. Keramik zeolit/PEG dengan komposisi massa zeolit tetap yaitu 25 gram dan variasi massa PEG 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 gram menghasilkan ketebalan, ukuran dan bentuk pori yang berbeda.
2. Keramik zeolit/PEG pada masing-masing variasi menghasilkan permeabilitas yang berbeda-beda. Semakin kecil fraksi PEG (w/w) dalam keramik maka pori yang terbentuk semakin kecil, sehingga permeabilitas keramik juga kecil. Hal tersebut didukung dengan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy (SEM)* pada keramik zeolit/PEG dengan permeabilitas terendah yang menunjukkan ukuran pori rata-rata sebesar $0,627 \mu\text{m}$.
3. Efektifitas adsorpsi ion Pb^{2+} terjadi pada keramik dengan permeabilitas kecil, yaitu pada fraksi PEG (w/w) 0,0385; 0,0741; dan 0,1071. Optimasi adsorpsi ion Pb^{2+} pada keramik dengan fraksi PEG (w/w) yaitu 0,0385 dengan kemampuan adsorpsi 86,67%. Hal tersebut didukung dengan karakterisasi *Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)* menunjukkan adanya 6,4% massa Pb dalam keramik zeolit/PEG optimum setelah adsorpsi, dan karakterisasi *Fourier Transform Infrared (FTIR)* yang menunjukkan perbedaan gugus fungsi dengan melihat pergeseran panjang gelombang keramik optimum sebelum dan sesudah adsorpsi,

dengan puncak $1075,89 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1075,12 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi asimetri Pb-O-Pb pada keramik sesudah adsorpsi ion Pb^{2+} .

4.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Dapat menggunakan jenis logam berat lainya sebagai zat absorbat.
2. Analisis adsorbansi logam dapat menggunakan alat dan pengompleks lainya.
3. Penambahan karakterisasi seperti uji porositas dan analisis XRD pada keramik optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Achiou, B., H. Elomari., M. Ouammou., A. Albizane., J. Bennazha., A. Aaddane., S. A. Younssi., I. E. A. E. Hassani. 2018. Study of Added Starch on Characteristic of Flat Ceramic Microfiltration Membrane Made from Natural Moroccan Pozzolan. *Journal of materials and Environmental Sciences*, 9(3).
- Agustina, T. E., M. Faizal., T. Aprianti., D. Teguh., A. M. Rif'at. I. G. Putra., M. R. Prayesi. I. Fitrializa. 2018. Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium Hexavalen menggunakan Reagen Fenton dan Adsorben Keramik Zeolit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 13(1).
- Aji, M. P., P. A. Wiguna., N. Rosita., Susanto., M. I. Savitri., M. A. N. Said., Sulhadi. 2015. Multilayer Porous Composites from Waste Glass for Water Filtration. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 11(1).
- Al-Rufaie, M. E., F. D. Fahad. 2016. Spectrophotometric Studies for the Effect of Pb⁺² Ion on some Chelators. *Journal of Kufa for Chemical Science*, 2(1).
- Ali, S., S. Amalia., A. G. Fasya., S. N. Khalifah. 2015. Synthesis and Characterization of Zeolit Y From Bagasse Ash with Hydrothermal Temperatures Variations Using The Sol-Gel Method. *Jurnal Alchemy*, 4(1): 88 – 91.
- Akpor, B. O., G. O. Ohiobor, T. D. Olaolu. 2014. Heavy Metal Pollutants in Wastewater Effluents: Sources, Effects and Remediation. *Advances in Bioscience and Bioengineering*, 2(4): 37-43.
- Arahman, N., B. Arifin., F. Razi. 2016. Profil Permeabilitas Berdasarkan Struktur Morfologi Membran Polietersulfon pada Pemekatan Larutan Tokoferol. *AGRITECH*, 36(4).
- Ariffin. N., M. M. A. B. Abdullah., M. R. R. M. A. Zainol., M. F. Murshed., M. A. Faris., R. Bayuaji. 2017. Review on Adsorption of Heavy Metal in Wastewater by Using Geopolymer. *Matec Web of Conferences*, 97.

- Barleany, D.R, Rudi, H, Santoso. 2011. Pengaruh Komposisi Montmorillonite pada Pembuatan Polipropilen- Nanokomposit. *Proseding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, 1-6.
- Basyarahil, Z. I. 2017. Karakterisasi dan Proses Manufaktur Komposit *Polypropylene* Berpenguat Serat *Dendrocalamus Asper* untuk Aplikasi Ruang Mesin Otomotif. SKRIPSI Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bisset, H., H.M. Krieg. 2013. Synthesis of a Composite Inorganic Membrane for the Separation of Nitrogen, Tetrafluoromethane and Hexafluoropropylene. *South African Journal of Science*, 109: 9-10.
- Cheng, Q., H. Li., Y. Xu., S. Chen., Y. Liao., F. Deng., J. Li. 2017. Study on the Adsorption of Nitrogen and Phosphorus from Biogas Slurry by NaCl Modified Zeolite. *Plos One*.
- Choiriyah, D., E. Riandini, A. Wulandari., O. D. Indah., A. H. Rachma., E. Pramono. 2015. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Keramik Micro-Filtrasi dari Zeolit Alam untuk Filtrasi Zat Warna Procion Red MX8B dan Metilen Biru. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 11(1): 8-14.
- Direktorat Pengawasan Produk dan Bahan Berbahaya Deputi Bidang Pengawasan Keamanan Pangan dan Bahan Berbahaya. 2010. **Mengenal Logam Beracun**. Jakarta. BADAN POM RI.
- Eom, J. H., Y. W. Kim., I. H. Song. 2013. Processing of Kaolin-Based Microfiltration Membranes. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 50(5): 341-347.
- Emelda, L., S. M. Putri, S. Br. Ginting. 2013. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Cr^{3+} . *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 9(4): 166-172.
- Faqih, Abdullah. 2015. *Optimasi Adsorpsi dan Desorpsi Ion Logam Cd (II) pada Zeolit Hasil Sintesis Abu Dasar Batubara Termodifikasi Ditizon*. SKRIPSI UIN Sunan Kalijaga
- Fibrianti, L.D., R. Azizah. 2015. Karakteristik, Kadar Timbal (Pb) dalam Darah, dan Hipertensi Pekerja Home Industry Aki Bekas di Desa Talun Kecamatan

- Sukodadi Kabupaten Lamongan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(1): 92-102.
- Fitriyah. 2016. Interkalasi Xilenol Orange pada Zeolit Alam Lampung sebagai Elektroda Zeolit Termodifikasi. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 1(2).
- Ganugapenta, S., J. Nadimikeri., S. R. R. B. Chinnapolla., L. Ballari., R. Madiga., N. K. L. P. Tella. 2018. Assessment of heavy metal pollution from the sediment of Tupilipalem Coast, southeast coast of India. *International Journal of Sediment Research*, 3: 294-302.
- Harmayani, K. D., I. G. M. Konsukartha. 2007. Pencemaran Air Tanah akibat Pembuangan Limbah Domestik di Lingkungan Kumuh. *Jurnal Permukaan Tanah*, 5(2).
- Hasbi, M., Aminur, Sahril. 2016. Studi Sifat Mekanik Komposit Polimer yang Diperkuat Partikel Clay. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 1(1).
- Hristov, P. A. Yoleva., S. Djambamzov., I. Chukovska., D. Dimitrov. 2012. Preparation and Characteristic of Porous Ceramic Membrane for Micro-Filtration from Natural Zeolite. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 47(4).
- Idrus, S. W. A. 2015. Analisis Pencemaran Air menggunakan Metode Sederhana pada Sungai Jangkuk Kekalik dan Sekarbela Kota Mataram. *J. Pijar MIPA*, 10(1).
- Inglezakisa, V. J., M. M. Fyryllasb., M.A. Stylianouc. 2018. Two-phase homogeneous diffusion model for the fixed bed sorption of heavy metals on natural zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 266: 164–176.
- Junaidi, A. B., A. Wahyudi., D. Umaningrum. 2015. Kajian Sintesis Nanopartikel Perak pada Komposit Kitosan dan Polietilena Glikol: Efek Jenis Agen Pereduksi Organik. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, ISBN: 978-602-0951-05-8.
- Kobielska, P. A., A. J. Howarth., O. K. Farha., S. Nayak. 2018. Metal- Organic Frameworks for Heavy Metal Removal from Water. *Coordination Chemistry Review*, 358: 92-107.

- Krol, M., W. Mozgawa., K. Barczyk., T. bajda., M. Kozanecki. 2013. Changes in the Vibrational Spectra of Zeolites Due to Sorption of Heavy Metal Cations. *Journal of Applied Spectroscopy*, 80(5).
- Kussainova, M. Z., R. M. Chernyakova., U. Z. Jussipbekov. 2014. Removal of Toxic Ions Pb (II) and Cd (II) using Shankanay Natural Zeolite in Phosphoric Acid. *Int. J. Chem. Sci*, 12(3).
- Labbaik, Mawardi., I. W. Restu., M. A. Pratiwi. 2018. Status Pencemaran Lingkungan Sungai Badung dan Sungai Mati di Provinsi Bali berdasarkan Bioindikator Phylum Annelida. *Journal of Marine Sciences and Aquatic*, 4(2).
- Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010*, ISBN: 978-xxx-xxxxx-x-x.
- Liu, J., B. Rena., T. Zhu., S. Yana., X. Zhanga., W. Huoa., Y. Chena., J. Yanga. 2018. Enhanced mechanical properties and decreased thermal conductivity of porous alumina ceramics by optimizing pore structure. *Ceramics International*, 44: 13240-13246.
- Lumintang, R. C. A., R. Soenoko., S. Wahyudi. 2011. Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serbuk Batang dan Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2(2).
- Malamis, S., E. Katsou. 2013. A Review in Zinc and Nickel Adsorption on Natural and Modified Zeolite, Bentonite and Vermiculite: Examination of Process parameters, Kinetics and Isotherms. *Journal of Hazardous Materials*: 252-253.
- Maghfiroh, L. F. W. mahatmanti., E. Kusumastuti. 2015. Adsorpsi Remazol Brilliant Blue Menggunakan Zeolit yang Disintesis dari Abu Layang Batu Bara. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(1).
- Maryanti, Budha. A. A. Sonier., S. Wahyudi. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa- Poliester terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(2).

- Masturi., Silvia., M. P. Aji., H. Aliah., O. Aruntanti., E. Sustini., Khairurrijal., M. Abdullah. 2012. Permeability, Strength and Filtration Performance for Uncoated and Titania-Coated Clay Wastewater Filters. *American Journal of Environmental Sciences*, 8(2).
- Masturi., Silvia., M. P. Aji., H. Aliah., O. Aruntanti., E. Sustini., Khairurrijal., M. Abdullah. 2012. Keramik Berpori dari Clay dan Poly(ethylene- glycol) yang Dilapisi Fotokatalis Titania untuk Aplikasi Filter Air. *Prosiding Seminar Nasional Material*.
- Maulina, Wenny. 2016. Kajian Membran Komposit Nilon-Arang Melalui Karakterisasi FTIR dan SEM. *JPFK*, 2(1).
- Moshoeshoe, Mohau., M. S. N. Tabbiruka., V. Obuseng. 2017. A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites. *American Journal of Materials Science*, 7(5).
- Mozgawa, Wlodzimierz., M. Krol. K. Barczyk. 2011. FTIR- Studies of Zeolites from Different Structural Groups. *Chemik*, 7.
- Muhajir, Muhamad., M. A. Mizar. D. A. Sudjimat. 2016. Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Berbagai Varian Tata Letak. *Jurnal Teknik Mesin*, 24(2).
- Nasir, S et al. 2013. Aplikasi Filter Keramik Berbasis Tanah Liat Alam dan Zeolit pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(1): 45-51.
- Nugroho, A. S., A. Damayanti. 2014. Uji Kinerja Membran Nanofiltrasi Zeolit untuk Menapis Nitrat dan Amonium Air limbah Produksi Tahu. *Jurnal Purifikasi*, 14(2): 106-117.
- Nuria, Sherly., D. Asmi. 2012. Fabrikasi dan Karakterisasi Keramik Kalsium Silikat menggunakan Bahan Komersial Kalsium Oksida dan Silika dengan Reaksi Padatan pada Suhu 1000 C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 1(1).
- Nuzully, Seveny., T. Kato., S. Iwata., E. Suharyadi. 2013. Pengaruh Konsentrasi Polyethylene Glycol (PEG) pada Sifat Kemagnetan Nanopartikel Magnetik PEG- Coated Fe_3O_4 . *Jurnal Fisika Indonesia*, 17(51).

- Obaidy, A. H. M. J. A., A. A. M. A. Mashhady., E. S. Awad., A. J. Kadhem. 2014. Heavy Metals Pollution in Surface Water of Mahrut River, Diyala, Iraq. *International Journal of Advanced Research*, 2(10).
- Pang, M., N. Kano, H. Imaizumi. 2015. Adsorption of Chromium (VI) from Aqueous Solution Using Zeolite/Chitosan Hybrid Composite. *J. Chem. Chem. Eng*, 9: 433-441.
- Petrik, Leslie., R. Missngue., O. Fatoba., M. Tuffin., J. Sachs. 2012. Silver/ Zeolite Nano Composites- Based Clay Filters for Water Disinfection. *Water Research Commission*.
- Polu, A. R., R. Kumar. 2011. Impedance Spectroscopy and FTIR Studies of PEG-Based Polimer Electrolytes. *E- Journal of Chemistry*, 8(1).
- Prabhu, V., A. V. Patwardhan., A. W. Patwardhan. 2017. Fabrication an Characterization of Micro-Porous Ceramic Membrane based on Kaolin and Alumina. *Indian Journal of Chemical Technology*, 24: 367-373.
- Pratama, Teddy., A. Fadli., Z. Helwani. 2016. Pembuatan Keramik Berpori Berbahan Baku Tricalcium Phosphate dengan Metode protein Foaming-Starch Consolidation. *Jom FTEKNIK*, 3(2).
- Pratomo, S. W., F. W. Mahatmanti., T. Sulistyaningsih. 2017. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi H_3PO_4 sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II) dalam Larutan. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2).
- Priadi, C. R., A. P. N. Sari., S. S. Moersidik. 2014. Adsorpsi Logam Seng dan Timbal pada Limbah Cair Industri Keramik oleh Limbah Tanah Liat. *Jurnal Reaktor*, 15(1): 10-19.
- Putri, S. E. 2013. The Influent of Ratio AM Monomer and MBAM Crosslinker on Synthesis of Porous Ceramic by Gelcasting Method using Lapindo Mud as Raw Material. *Jurnal Chemica*, 14(1).
- Rahmi, Rizna., Sajidah. 2017. Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) untuk Mengurangi Kadar Timbal (Pb) dalam Limbah Cair. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*. ISBN: 978-602-60401-3-8.

- Respati, S. M. B., R. Soenoko., Y. S. Irawan., W. Suprpto., W. B. Saputra., H. Purwanto. 2017. Capillary Velocity of Natural Zeolite Porous Ceramic in Different Sintering Temperatures. *MM Science Journal*. 18(3).
- Riani, E., M. R. Cordova., Z. Arifin. 2018. Heavy metal pollution and its relation to the malformation of green mussels cultured in Muara Kamal waters, Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 133: 664-670.
- Ridayania D., M. B. Malinoa., A. Asria. 2017. Analisis Porositas dan Susut Bakar Keramik Berpori Berbasis Clay dan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit. *PRISMA FISIKA*, 5(2).
- Said, M., A. W. Prawati, E. Murenda. 2008. Aktivasi Zeolit Alam sebagai Adsorbent pada Adsorpsi Larutan Iodium. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(4).
- Sandra, K. O., A. S. Budi, A. B. Susilo. 2014. Pengaruh Suhu Sintering terhadap Densitas dan Porositas pada Membran Keramik Berpori Berbasis Zeolit, Tanah Lempung, Arang Batok Kelapa, dan Polyvinylalcohol (PVA). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*, ISSN : 0853-0823.
- Santoso, E., H. Juwono. 2009. Efek Polietilen Glikol (PEG) Terhadap Kapasitas Adsorpsi dan Tetapan Laju Thomas dalam Proses Adsorpsi Ion Cu (II) dari Larutan pada Komposit Selulosa-Khitosin Terikat Silang dengan Menggunakan Kolom secara Kontinu. *Seminar Nasional Kimia (SENAKI)*, ISBN 978-979-95845-9-5.
- Shaheen, S. M., A. S. Derbalah., F. S. Moghnam. 2012. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Zeolite in Competitive Sorption System. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(4).
- Singh, N. B., G. Nagpal, S. Agrawal., Rachna. 2018. Water purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology & Innovation*.
- Siska, Merry., R. Salam. 2012. Desain Eksperimen Pengaruh Zeolit terhadap Penurunan Limbah Kadmium (Cd). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 11(2).
- Sriatun., O. A. Manasikana., A. Darmawan. 2008. Modifikasi Zeolit Alam dengan Ligan EDTA untuk Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+} dan Cd^{2+} . *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11(2): 43-47.

- Sun, H., S. Zhao., Y. Ma., J. Wu., P. Liang., D. Yang., H. Zhang. 2018. Effective and regenerable Ag/4A zeolite nanocomposite for Hg⁰ removal from natural gas. *Journal of Alloys and Compounds*, 762: 520-527.
- Susanto, T., 2011. Kajian Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Aktif Termobilisasi Ditizhon terhadap Limbah Ion Logam Cd (II) Terkompetisi Mg (II) dan Cu (II) secara Simultan. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 22(1).
- Utama, M.P, R. Kusdarwati, A. M. Sahidu. 2017. Pengaruh Penggunaan Filtrasi Zeolit dan Arang Aktif terhadap Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) Air Tambak Kecamatan Jabon, Sidoarjo. *Journal of Marine and Coastal Science*, 6(1).
- Wang, J., F. Li., Z. H. Zhou., P. Du., D. Xu., N. Xie., X. Cheng., Y. Lie. 2018. Effect Zeolites on Waste based Alkali- Activated Inorganic Binder. *Contructions and Building Materials*, 153: 683-690.
- Wu, P., Y. Xu., Z. Huang., J. Zhang. 2015. A Review of Preparation Techniques of Porous Ceramic Membran. *Journal of Ceramic Processing Research*, 16(1).
- Yazidi, A., S. Saidi., N. B. Mbarek., F. Darragi. 2017. Contribution of GIS to evaluate surface water pollution by heavy metals: Case of Ichkeul Lake (Northern Tunisia). *Journal of Africa Earth Sciences*, 134: 166-173.
- Yulianis. Mahidin. S. Muhammad. 2017. Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Nano Zeolit Alam yang Teraktivasi. *Jurnal Litbang Industri*, 7(1): 61-69.
- Zendelska, Afrodita., M. Golomeova. 2014. Effect of Competing Cations (Cu, Zn, Mn, Pb) Adsorbed by Natural Zeolite. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 2(5).