



**ADSORPSI ION LOGAM BERAT TIMBAL ( $Pb^{2+}$ ) DALAM  
LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN GEOPOLIMER BERBASIS  
*BOTTOM ASH*, *METAKAOLIN*, DAN *BIOCHAR***

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

Memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Kimia

Oleh

Lusi Maulinda

4311418025

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2023**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi Berjudul “**ADSORPSI ION LOGAM BERAT TIMBAL ( $Pb^{2+}$ ) DALAM LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN GEOPOLIMER BERBASIS *BOTTOM ASH*, *METAKAOLIN*, DAN *BIOCHAR*” yang disusun oleh**

Nama : Lusi Maulinda

NIM : 4311418025

Prodi : Kimia

Telah disetujui untuk diajukan ke sidang ujian skripsi.

Semarang, 23 Agustus 2023

Pembimbing



Ella Kusumastuti, S. Si., M. Si.

NIP.198212142009122004

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Adsorpsi Ion Logam Berat Timbal ( $Pb^{2+}$ ) dalam Limbah Cair Menggunakan Geopolimer Berbasis *Bottom Ash*, Metakaolin, dan *Biochar*” yang disusun oleh

Nama : Lusi Maulinda


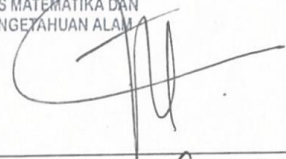

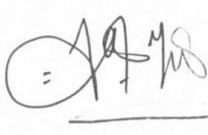

NIM : 4311418025

Prodi : Kimia

telah dipertahankan dalam ujian skripsi pada hari Selasa, 5 September 2023.

Semarang, 20 September 2023

Tim Penguji

<b>Ketua Penguji</b> Prof. Dr. Edy Cahyono, M. Si. NIP. 196412051990021001	 UNNES FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
<b>Sekretaris</b> Prof. Dr. Nanik Wijayati, M.Si. NIP.196910231996032002	
<b>Penguji 1</b> Dr. Sri Kadarwati, M. Si. NIP. 198111142003122003	
<b>Penguji 2</b> Dr. Nuni Widiarti, S. Pd., M.Si. NIP. 197810282006042001	
<b>Penguji 3/Pembimbing</b> Ella Kususmastuti, S. Si., M. Si. NIP.198212142009122004	

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 23 Agustus 2023



Lusi Maulinda

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **Motto**

“Kesabaran Itu Akan Menolong Segala Pekerjaan”

### **Persembahan**

1. Bapak dan Ibu, yang doa-doanya tak pernah terputus.
2. Kakak Dian Rahma Wati dan Adek Asri Nur Aini, serta Mas Indra Pratama.
3. Sahabat-sahabat yang telah memberikan dukungan.

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang dirindukan syafaatnya di yaumul qiyamah. Alhamdulillah atas berkat rahmat Allah SWT penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Skripsi berjudul “**Adsorpsi Ion Logam Berat Timbal (Pb<sup>2+</sup>) dalam Limbah Cair Menggunakan Geopolimer Berbasis *Bottom Ash*, Metakaolin, dan *Biochar***” dapat diselesaikan dengan baik sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana sains. Pada kesempatan ini perkenankanlah penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
2. Koordinator Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Ibu Ella Kusumastusi, S. Si., M. Si. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Dr. Sri Kadarwati, M. Si. selaku dosen penguji pertama yang telah memberikan bimbingan, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Dr. Nuni Widiarti, M.Si selaku dosen penguji kedua yang telah memberikan bimbingan, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Teman-teman mahasiswa Kimia angkatan 2018 yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semarang, Agustus 2023

Penulis,

Lusi Maulinda

## ABSTRAK

Maulinda, Lusi. (2023). Adsorpsi Ion Logam Berat Timbal ( $Pb^{2+}$ ) dalam Limbah Cair Menggunakan Geopolimer Berbasis *Bottom Ash*, Metakaolin, dan *Biochar*. Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Ella Kusumastuti, S. Si., M. Si.

**Kata Kunci:** Adsorpsi, *bottom ash*, *biochar*, metakaolin, geopolimer, ion  $Pb^{2+}$ .

Geopolimer merupakan polimer anorganik yang disintesis melalui aktivasi alkali pada material pozzolan. Pada studi ini geopolimer disintesis dari *bottom ash*, metakaolin, dan *biochar* yang kemudian dimanfaatkan sebagai adsorben untuk menyerap ion logam  $Pb^{2+}$ . Karakterisasi geopolimer hasil sintesis dilakukan dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan SAA. Pengaruh pH, waktu kontak, dan konsentrasi pada proses adsorpsi dipelajari. Spektra FTIR geopolimer menunjukkan adanya ikatan C-H pada bilangan gelombang  $2975\text{ cm}^{-1}$  menandakan adanya senyawa organik *biochar*. Terbentuknya rantai geopolimer ditandai dengan vibrasi asimetris dan vibrasi ulur Si-O-Si atau Si-O-Al pada bilangan gelombang  $554\text{ cm}^{-1}$  dan  $988\text{ cm}^{-1}$ . Analisis fasa mineral menggunakan XRD menunjukkan bahwa geopolimer mempunyai fasa *amorf* dengan mineral utama *mullite* ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ), *kaolinite* ( $Al_2SiO_5(OH)_4$ ), dan *gibbsite* ( $Al(OH)_3$ ) ditandai adanya gundukan (*hump*) pada  $2\theta$  antara  $20^\circ$ - $40^\circ$ . Hasil analisis dengan SAA menunjukkan luas permukaan pori geopolimer  $1,382\text{ m}^2/\text{g}$ , volume pori kumulatif  $4,788 \times 10^{-3}\text{ cc/g}$ , rata-rata jejari pori adsorpsi  $17,039\text{ \AA}$ , dan rerata jejari pori desorpsi  $19,113\text{ \AA}$ . Adsorpsi ion logam  $Pb^{2+}$  menggunakan geopolimer terjadi pada pH 6 dengan efisiensi adsorpsi maksimum 64,82%, waktu kontak 120 menit dengan efisiensi maksimum 69,73%, dan konsentrasi 92,2 ppm dengan efisiensi maksimum 64,83%. Isoterm adsorpsi  $Pb^{2+}$  dengan geopolimer pada penelitian ini mengikuti persamaan Freundlich dengan kapasitas adsorpsi maksimum (Kf)  $9,58076\text{ mg/g}$ .

## ABSTRACT

Maulinda, Lusi. (2023). Adsorption of Lead Heavy Metal Ions ( $Pb^{2+}$ ) in Liquid Waste Using Geopolymers Based on Bottom Ash, Metakaolin, and Biochar. Thesis, Departement of Chemistry, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Semarang State University. Supervisor Ella Kusumastuti, S.Si., M.Si.

**Keywords:** Adsorption, bottom ash, biochar, metakaolin, geopolymer,  $Pb^{2+}$  ion.

Geopolymers is an inorganic polymer synthesized through alkali activation in pozzolan material. In this study, geopolymer was synthesized from *bottom ash*, metakaolin, and *biochar* materials which was then used as adsorbent to  $Pb^{2+}$  metal ions. The characterization of the synthesized geopolymer was carried out using FTIR (*Fourier Transform Infrared*), XRD (*X-ray Diffraction*), and SAA. The influence of pH, contact time, and concentration on the adsorption process was studied. The FTIR spectrum of the geopolymer show the presence of C-H bonds at wavenumber  $2975\text{ cm}^{-1}$ , indicating the presence of *biochar* organic compounds. The formation of geopolymer chains is characterized by asymmetric vibrations and stretching vibrations of Si-O-Si and Si-O-Al at wave numbers  $554\text{ cm}^{-1}$  and  $988\text{ cm}^{-1}$ . Mineral phase analysis using XRD shows that the geopolymer has an *amorphous* phase with the main mineral *mullite* ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ), *kaolinite* ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), and *gibbsite* ( $Al(OH)_3$ ), which are characterized by *humps* at  $2\theta$  between  $20^\circ$ - $40^\circ$ . The results of the analysis with SAA show that the geopolymer pore surface area is  $1.382\text{ m}^2/\text{g}$ , the cumulative pore volume is  $4.788 \times 10^{-3}\text{ cc/g}$ , the adsorption average pore radius is  $17,037\text{ \AA}$ , and the desorption average pore radius is  $19,113\text{ \AA}$ . Adsorption of  $Pb^{2+}$  metal ion using geopolymer occurred a pH 6 with a maximum adsorption efficiency of 64,82%, an contact time 120 minutes with a maximum efficiency of 69.73%, and a concentration of 92,2 ppm with a maximum efficiency of 64,83%. The  $Pb^{2+}$  isotherm adsorption with geopolymer in this study follows the Freundlich isotherm with a maximum adsorption capacity (Kf) of  $9.58076\text{ mg/g}$ .



## DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 <i>Bottom Ash</i> .....	7
2.2 Metakaolin.....	8
2.3 <i>Biochar</i> .....	9
2.4 Geopolimer.....	11
2.5 Sintesis Geopolimer .....	13
2.6 Adsorpsi.....	16
2.6.1 Isoterm Adsorpsi.....	20
2.7 Karakterisasi Geopolimer.....	22
2.7.1 Analisis Fase Mineral Menggunakan XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> )...	22
2.7.2 Analisis Ikatan Kimia dengan <i>FTIR (Fourier Transform Infra Red)</i>	23
2.7.3 <i>Atomic Absorption Spectrometry (AAS)</i> .....	24
2.7.4 Surface Area Analyzer (SAA) Metode BET.....	26
BAB III .....	28
METODE PENELITIAN.....	28

3.1	Lokasi Penelitian .....	28
3.2	Variabel Penelitian .....	28
3.2.1	Variabel Bebas .....	28
3.2.2	Variabel Terikat .....	28
3.2.3	Variabel Terkendali.....	29
3.3	Alat dan Bahan .....	29
3.4	Prosedur Penelitian.....	29
3.4.1	Preparasi <i>Biochar</i> .....	29
3.4.2	Preparasi Metakaolin.....	30
3.4.3	Preparasi <i>Bottom Ash</i> .....	30
3.4.4	Preparasi Larutan Alkali .....	30
3.4.5	Sintesis Geopolimer .....	30
3.5	Karakterisasi Geopolimer.....	31
3.5.1	Analisis Fase Mineral Mineral dengan XRD.....	31
3.5.2	Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR .....	31
3.5.3	Analisis Pori dengan SAA Metode BET .....	31
3.6	Aplikasi .....	31
3.6.1	Pembuatan Larutan $Pb^{2+}$ 1000 ppm .....	31
3.6.2	Pembuatan Larutan $Pb^{2+}$ 100 ppm .....	32
3.6.3	Pembuatan Larutan Deret Kalibrasi $Pb^{2+}$ .....	32
3.6.4	Uji Adsorpsi Ion Logam $Pb^{2+}$ dengan Geopolimer.....	32
3.6.4.1	Pengaruh pH .....	32
3.6.4.2	Pengaruh Waktu Kontak.....	32
3.6.4.3	Pengaruh Konsentrasi .....	32
3.7	Analisis Kandungan Ion Logam $Pb^{2+}$ dalam larutan dengan AAS.....	33
3.7.1	Perhitungan Persentase Efisiensi Adsorpsi.....	33
3.7.2	Perhitungan Efektivitas Adsorpsi .....	34
3.7.3	Penentuan Persamaan Langmuir dan Persamaan Freundlich .....	34
BAB IV	.....	35
4.1	Preparasi <i>Bottom Ash</i> , Metakaolin, dan <i>Biochar</i> .....	35
4.2	Sintesis Geopolimer .....	39
4.3	Karakterisasi Hasil Sintesis Geopolimer .....	43
4.3.1	Analisis Luas Permukaan dan Volume Pori Geopolimer .....	43
4.3.2	Analisis Fasa Mineral Mineral Menggunakan XRD .....	45

4.3.3 Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR.....	47
4.4 Uji Adsorpsi Ion Logam Pb <sup>2+</sup> dengan Geopolimer .....	49
4.4.1 Pengaruh pH .....	49
4.4.2 Penentuan Waktu Kontak .....	50
4.4.3 Penentuan Konsentrasi.....	51
4.4.4 Penentuan Persamaan Isoterm Adsorpsi.....	52
BAB V.....	55
5.1 Simpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA .....	57
LAMPIRAN.....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Abu Dasar.....	7
Tabel 2.2. Komposisi Kimia Metakaolin.....	9
Tabel 2.3. Karakteristik <i>Biochar</i> Berdasarkan Bahan Dasar.....	11
Tabel 2.4. Pita-Pita Vibrasi Karakteristik Sintesis Geopolimer.....	24
Tabel 3.1 Ringkasan Percobaan Adsorpsi.....	33
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Bottom Ash dengan XRF.....	36
Tabel 4.2 Komposisi Biochar dengan XRF.....	37
Tabel 4.3 Komposisi Maetakaolin dengan XRF.....	38
Tabel 4.4 Interpretasi Sprektra FTIR Geopolimer.....	49
Tabel 4.5 Parameter Isoterm Langmuir dan Freundlich.....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kimia Polisialat.....	13
Gambar 2.2. Difaktogram XRD.....	13
Gambar 2.3. Diagram Blok <i>Atomic Absorption Spectrometry</i> .....	23
Gambar 4.1 Bottom Ash.....	35
Gambar 4.2 Biochar.....	36
Gambar 4.3 Metakaolin.....	37
Gambar 4.4 Difaktogram XRD Metakaolin, <i>Bottom ash</i> , <i>Biochar</i> .....	39
Gambar 4.5 Hasil Sintesis Geopolimer.....	42
Gambar 4.6 Grafik Adsorpsi Metode BJH.....	43
Gambar 4.7 Grafik Desorpsi Metode BJH.....	44
Gambar 4.8 Grafik Analisis Luas Permukaan Metode BET.....	44
Gambar 4.9 Difraktogram Geopolimer.....	46
Gambar 4.10 Difaktogram XRD Kontrol Geopolimer.....	47
Gambar 4.11 Spektra FTIR Sampel Geopolimer.....	48
Gambar 4.12 Kurva Efisiensi Adsorpsi (%) pada Variasi pH.....	50
Gambar 4.13 Kurva Efisiensi Adsorpsi (%) pada Variasi Waktu Kontak.....	51
Gambar 4.14 Kurva Efisiensi Adsorpsi (%) pada Variasi Konsentrasi.....	52
Gambar 4.15 Kurva Adsorpsi Ion Logam Berat $Pb^{2+}$ Berdasarkan Persamaan Langmuir.....	53
Gambar 4.16 Kurva Adsorpsi Ion Logam Berat $Pb^{2+}$ Berdasarkan Persamaan Freundlich.....	53