

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa acuminata L.*)  
SEBAGAI BIOADSORBEN TIMBAL (Pb) DENGAN SISTEM  
KONTINYU**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk melengkapi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T)  
Program Studi Teknik Lingkungan



Disusun Oleh

**KHOIRIYATUN NISAK**

NIM. H75218031

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA**

**2022**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Khoiriyatun Nisak

NIM : H75218031

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2018

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul "Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata L.*) Sebagai Bioadsorben Timbal (Pb) Dengan Sistem Kontinyu".

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila suatu saat nanti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan

Surabaya, Juli 2022

Yang menyatakan,



(Khoiriyatun Nisak)

NIM. H75218031

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh,

NAMA : KHOIRIYATUN NISAK

NIM : H75218031

JUDUL : PEMANFAATAN LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa acuminata L*) SEBAGAI BIOADSORBEN TIMBAL (Pb) DENGAN SISTEM KONTINYU

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan,

Surabaya, 20 Juni 2022

Dosen Pembimbing I



Rr Diah Nugraheni Setyowati, MT  
NIP: 198205012014032001

Dosen Pembimbing II



Dedy Suprayogi, S.KM, M. KL  
NIP: 198512112014031001

## PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Oleh,

Nama : Khoiriyatun Nisak

NIM : H75218031

Judul : Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*. L)  
Sebagai Bioadsorben Timbal (Pb) Dengan Sistem Kontinyu.

Telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi  
Surabaya, 11 Juli 2022

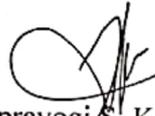
Mengetahui,  
Dosen Penguji,

Dosen Penguji I



Rr Diah Nugraheni Setyowati, M.T.  
NIP. 198205012014032001

Dosen Penguji II



Dedy Suprayogi S. KM, M. KL.  
NIP.198512112014031001

Dosen Penguji III



Sulistiya Nengse, M.T.  
NIP.199010092020122019

Dosen Penguji IV



Amrullah, M. Ag.  
NIP.197309032006041001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Surabaya  
Surabaya Ampel Surabaya



Dr. A. Saiful Hamdani, M.Pd.  
NIP.196507312000031002



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300  
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Khoiriyatun Nisak  
NIM : H75218031  
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Teknik Lingkungan.  
E-mail address : nisakk772@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Sekripsi  Tesis  Desertasi  Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (Musa acuminata L.)  
Sebagai Bioadsorben Logam Timbal (Pb) Dengan Sistem  
Kontinyu.

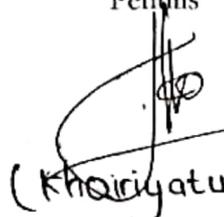
beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 13 Juli 2022

Penulis

  
(Khoiriyatun Nisak)

## ABSTRAK

Provinsi Jawa Timur merupakan provinsi penghasil pisang terbesar dengan jumlah produksi 2,06 juta ton atau 28,36% dari total produksi pisang nasional. Pisang kepok merupakan salah satu jenis pisang yang mana kulitnya memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bioadsorben dalam proses adsorpsi logam berat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas dan efisiensi bioadsorben kulit pisang kepok dalam mengadsorpsi logam timbal. Metode dalam penelitian ini dilakukan secara eksperimental yang dilakukan dengan sistem kontinyu menggunakan variasi laju alir (2, 4, 6 ml/menit) dan variasi volume bioadsorben (15, 20, dan 25 cm). Dari variasi laju alir dan volume bioadsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi, didapatkan variasi optimum terjadi pada laju alir 2 ml/menit dan volume bioadsorben 25 cm. Pada variasi optimum, nilai kapasitas adsorpsi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan pada variasi yang lainnya yakni sebesar 0,0371 mg/g yang mampu menyisihkan kadar timbal dari kadar awal sebesar 7,401 mg/l menjadi 0,282 mg/l dengan tingkat efisiensi sebesar 94,5%.

**Kata Kunci:** Kulit pisang kepok (*Musa acuminata. L*), timbal (Pb), adsorpsi sistem dinamis (kolom/kontinyu)

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## **ABSTRACT**

*East Java Province is the largest banana-producing province with a total production of 2.06 million tons or 28.36% of the total national banana production. Kepok banana is one type of banana whose skin has great potential to be used as a bioadsorbent in the heavy metal adsorption process. The purpose of this study was to determine the ability of kepok banana peel bioadsorbent in adsorption of lead metal. The method in this study was carried out experimentally with a continuous system using variations in flow rate (2, 4, 6 ml/min) and variations in the volume of bioadsorbent (15, 20, and 25 cm). From the variation of flow rate and volume of bioadsorbent used in the adsorption process, it was found that the optimum variation occurred at a flow rate of 2 ml/min and a volume of 25 cm of bioadsorbent. In the optimum variation, the adsorption capacity value has a greater value than the other variations, namely 0.0371 mg/g which is able to set aside lead levels from the initial level of 7.401 mg/l to 0.282 mg/l with an efficiency level of 94.5 %*

**Keywords:** *Kepok banana peel (Musa acuminata. L), lead, continuous system adsorption*

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING .....</b>	<b>i</b>
<b>PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Penegasan Judul.....	4
<b>BAB II .....</b>	<b>5</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Logam Berat Timbal (Pb) dalam Air.....	5
2.2 Adsorpsi.....	6
2.2.1 Jenis Adsorpsi.....	6

2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Adsorpsi.....	7
2.3 Sistem Dinamis (Kontinyu/Kolom).....	9
2.4 Bioadsorben .....	12
2.5 Kulit Pisang Kepok sebagai Bioadsorben .....	13
2.6 Integrasi Keislaman .....	14
2.7 Penelitian Terdahulu.....	17
<b>BAB III.....</b>	<b>21</b>
<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	21
3.2 Waktu Penelitian.....	21
3.3 Tahapan Penelitian.....	22
3.3.1 Kerangka Pikir Penelitian.....	22
3.3.2 Tahapan Penelitian .....	24
3.4 Alat dan Bahan .....	27
3.4.1 Alat .....	27
3.4.2 Bahan.....	27
3.5 Langkah Kerja Penelitian .....	27
3.5.1 Pembuatan Bioadsorben dari Limbah Kulit Pisang Kepok.....	27
3.5.2 Pembuatan Limbah Artifisial Timbal (Pb).....	28
3.5.3 Pengukuran Variasi Laju Alir.....	29
3.5.4 Pengukuran Variasi Volume Bioadsorben .....	30
3.5.5 Persiapan Reaktor .....	30
3.5.6 Desain Reaktor .....	30
3.6 Metode Analisis Data .....	31
<b>BAB IV.....</b>	<b>32</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
4.1 Pembuatan Bioadsorben Kulit Pisang Kepok.....	32
4.1.1 Preparasi Limbah Kulit Pisang Kepok .....	32
4.1.2 Aktivasi Kulit Pisang Kepok .....	33

4.2	Persiapan Reaktor .....	35
4.3	Persiapan Sampel Limbah Artifisial Timbal .....	37
4.4	Hasil Uji Adsorpsi dengan Sistem Kontinyu.....	39
4.4.1	Hasil Uji Adsorpsi dengan Variasi Volume Bioadsorben pada Laju Alir 2 ml/menit .....	39
4.4.2	Hasil Uji Adsorpsi dengan Variasi Volume Bioadsorben pada Laju Alir 4 ml/menit .....	48
4.4.3	Hasil Uji Adsorpsi dengan Variasi Volume Bioadsorben pada Laju Alir 6 ml/menit .....	57
<b>BAB V</b>	.....	<b>70</b>
<b>PENUTUP</b>	.....	<b>70</b>
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran .....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>72</b>

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kadar Timbal (Pb) pada Laju Alir 2 ml/menit .....	39
Tabel 4. 2 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm.....	40
Tabel 4. 3 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm.....	42
Tabel 4. 4 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm.....	44
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Pada Laju Alir 2 ml/menit.....	45
Tabel 4. 6 Efisiensi Penyisihan pada Laju Alir 2 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben. ....	46
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kadar Timbal (Pb) pada Laju Alir 4 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben .....	48
Tabel 4. 8 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm.....	49
Tabel 4. 9 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm.....	51
Tabel 4. 10 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 25 cm.....	53
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Pada Laju Alir 4 ml/menit....	54
Tabel 4. 12 Efisiensi Penyisihan Pada Laju Alir 4 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben .....	56
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Kadar Timbal (Pb) pada Laju Alir 6 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben .....	58
Tabel 4. 14 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm.....	59
Tabel 4. 15 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm.....	60
Tabel 4. 16 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 25 cm.....	62
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Pada Laju Alir 6 ml/menit....	64
Tabel 4. 18 Efisiensi Penyisihan Pada Laju Alir 6 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben .....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Adsorpsi dengan Sistem Kontinyu.....	10
Gambar 2. 2 Tahapan Bioadsoben dalam Adsorpsi Logam Timbal (Pb) .....	12
Gambar 3. 1 Kerangka Pikir Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Bagan Alir Kerangka Penelitian.....	25
Gambar 3. 3 Bagan Tahapan Pembuatan Bioadsoben .....	28
Gambar 3. 4 Tahap Pembuatan Limbah Artifisial Logam Timbal .....	29
Gambar 3. 5 Desain Reaktor .....	30
Gambar 4. 1 Pengumpulan Kulit Pisang Kepok .....	32
Gambar 4. 2 Proses Pencucian Kulit Pisang Kepok .....	32
Gambar 4. 3 Proses Dehidrasi Kulit Pisang Kepok .....	33
Gambar 4. 4 Proses Aktivasi Kulit Pisang Kepok dengan Larutan NaOH.....	34
Gambar 4. 5 Percobaan Reaktor dengan Sistem Kontinyu .....	36
Gambar 4. 6 Penimbangan Serbuk $Pb(NO_3)_2$ dan Proses Pelarutan .....	38
Gambar 4. 7 Grafik Linier Volume Bioadsorben 15 cm.....	40
Gambar 4. 8 Grafik Linier Volume Bioadsorben 20 cm.....	42
Gambar 4. 9 Grafik Linier Volume Bioadsorben 25 cm.....	44
Gambar 4. 10 Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm .....	49
Gambar 4. 11 Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm.....	51
Gambar 4. 12 Grafik Linear Volume Bioadsorben 25 cm .....	53
Gambar 4. 13 Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm.....	59
Gambar 4. 14 Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm .....	61
Gambar 4. 15 Grafik Linear Volume Bioadsorben 25 cm .....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Rekap Data Penelitian ..... I- 1 -

Lampiran Dokumentasi Penelitian ..... I- 2 -



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran pada air dapat diakibatkan oleh adanya pembuangan limbah padat ataupun cair tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Air limbah yang mengandung bahan pencemar dapat berasal dari kegiatan rumah tangga, pertanian, perikanan, pertambangan, dan pariwisata ataupun kegiatan industri. Dengan berkembangnya kegiatan industri dapat meningkatkan kadar logam berat pada air limbah. Jenis logam berat yang mengindikasikan terjadinya pencemaran pada air salah satunya yakni logam timbal (Pb) (Budiastuti dkk., 2016). Kadar maksimal logam timbal (Pb) pada air limbah untuk kegiatan industri yang belum ditetapkan baku mutunya yakni sebesar 0,1 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014). Kadar timbal yang melebihi baku mutu dapat menyebabkan kerusakan pada alam bahkan kematian pada organisme (Widayatno dkk., 2017). Sebagaimana telah tertuang pada Q.S Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di muka bumi setelah diciptakan dengan baik. Berdoalah kepadanya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat kebaikan”.

Berdasarkan Tafsir Kemenag, Q.S Al-A'raf ayat 56 menjelaskan bahwa Allah SWT melarang makhluknya untuk berbuat kerusakan di bumi. Karena kerusakan yang terjadi tidak sebanding dengan pengelolaan yang dilakukan. Kegiatan pengelolaan terhadap limbah merupakan suatu kegiatan pencegahan yang dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya kerusakan pada alam. Sama halnya dengan kegiatan pengolahan pada air limbah yang mengandung logam berat. Dalam hal ini, terdapat berbagai macam teknologi yang dapat digunakan untuk mengurangi logam berat diantaranya presipitasi, oksidasi/reduksi, ekstraksi, penguapan, osmosis, pertukaran ion, dan adsorpsi. Untuk Teknologi

dengan biaya murah dengan proses sederhana tetapi mampu bekerja dengan konsentrasi rendah yakni adsorpsi (Malik *et al.*, 2018). Adsorpsi merupakan proses pengikatan partikel kimia oleh suatu padatan atau zat penyerap (adsorben). Pembuatan bioadsorben dapat memanfaatkan limbah dari bahan organik (Aprilia & Ab, 2020).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistika (2018), produksi pisang di Indonesia dapat mencapai angka hingga 7,26 juta ton per tahun. Dalam hal ini produksi pisang mengalami kenaikan 1,42% (101.698 ton) dari tahun sebelumnya. Provinsi Jawa Timur merupakan provinsi penghasil pisang terbesar dengan jumlah produksi 2,06 juta ton atau 28,36% dari total produksi pisang nasional. Menurut Husnawati dkk., (2019), limbah kulit pisang dapat mencapai 40% dari total buah segar. Dalam hal ini, semakin banyak produksi pisang yang dihasilkan semakin banyak pula limbah kulit pisang yang ditimbulkan. Pemanfaatan limbah kulit pisang oleh masyarakat hanya digunakan sebagai makanan ternak atau dibuang sebagai limbah tanpa adanya pemanfaatan kembali. Menurut Purnama (2015) salah satu jenis limbah kulit pisang dapat digunakan sebagai teknologi dalam pembuatan bioadsorben penyerapan logam berat yakni kulit pisang kepok.

Kulit pisang kepok mengandung selulosa sebesar 17,04% dan zat pektin sebesar 52,1%. Kedua zat tersebut dapat digunakan sebagai bahan pembuatan bioadsorben dalam penyerapan logam berat (Anom dkk., 2019). Penelitian mengenai kulit pisang sebagai bioadsorben pernah dilakukan oleh Alifaturrahman dan Okik (2018), Wardani dkk (2017), Fatmi dan Putra (2018). Namun, penelitian tersebut dilakukan dengan sistem *batch*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi penyerapan bioadsorben kulit pisang kepok terhadap logam timbal dengan sistem kontinyu. Dimana sistem kontinyu ini memiliki pendekatan proses yang lebih baik karena adsorben selalu dikontakkan dengan larutan sehingga proses adsorpsi dapat dilakukan secara optimal, selain itu sistem kontinyu juga memiliki kapasitas yang besar dibandingkan sistem batch (Asnawati, 2017). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan kapasitas dan efisiensi bioadsorben dengan variasi laju alir dan volume bioadsorben.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diajukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kapasitas bioadsorben kulit pisang kepok terhadap penurunan logam timbal (Pb) menggunakan sistem kontinyu dengan variasi laju alir dan volume bioadsorben?
2. Bagaimana efisiensi bioadsorben kulit pisang kepok terhadap penyisihan logam timbal (Pb) dengan sistem kontinyu?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kapasitas bioadsorben kulit pisang kepok terhadap penurunan logam timbal (Pb) menggunakan sistem kontinyu dengan variasi laju alir dan volume adsoben.
2. Mengetahui efisiensi bioadsorben kulit pisang kepok terhadap penyisihan logam timbal (Pb) dengan sistem kontinyu.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini dapat membawa kebermanfaatannya bagi:

1. Instansi  
Sebagai acuan untuk memperdalam pengetahuan mahasiswa terhadap limbah biologi yang dapat digunakan sebagai bioadsorben untuk mengurangi kadar logam berat dalam air.
2. Akademisi  
Sebagai sumber referensi dan pembandingan bagi peneliti yang akan melakukan penelitian dengan menggunakan limbah biologi yang digunakan sebagai bioadsorben.
3. Masyarakat  
Dapat digunakan secara langsung oleh masyarakat guna mengurangi kadar logam berat timbal (Pb) pada sumber air.

### 1.5 Batasan Masalah

Berikut merupakan batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Pembuatan bioadsorben menggunakan limbah organik yang berasal dari kulit pisang kepok (*Musa acuminata L.*).
3. Penelitian ini menggunakan sistem dinamis (kolom kontinyu).
4. Penelitian ini menggunakan activator dengan jenis Natrium Hidroksida (NaOH) 3%.
5. Waktu kontak pada penelitian ini adalah 10 jam.
6. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi volume bioadsorben dan variasi laju alir.
7. Riset ini membahas tentang kemampuan adsorpsi terhadap logam berat timbal (Pb) dengan sistem kontinyu menggunakan bioadsorben dari limbah kulit pisang kepok (*Musa acuminata L.*).

### 1.6 Penegasan Judul

1. Adsorpsi

Proses pengikatan partikel kimia dalam larutan oleh suatu padatan atau zat penyerap akibat adanya gaya tarik menarik antar partikel.

2. Bioadsorben

Suatu padatan terbuat dari bahan biologi yang dapat menyerap zat kimia dari suatu larutan

3. Pisang kepok

Jenis pisang yang memiliki bentuk gepeng dan bersegi dengan tekstur kulit yang tebal berwarna kuning kehijauan.

4. Timbal

Jenis pencemar dengan tingkat toksisitas tinggi yang banyak ditemukan pada beberapa kegiatan industri seperti industri baterai, kendaraan bermotor, bensin, cat, pestisida,

5. Sistem kontinyu

Suatu sistem pada metode adsorpsi yang dilakukan dengan cara melewatkan larutan kimia (reaktan) kedalam reaktor yang berisi adsorben dengan laju alir tertentu hingga kondisi jenuh.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Logam Berat Timbal (Pb) dalam Air

Timbal (Pb) merupakan jenis pencemar yang berasal dari logam berat dengan tingkat toksisitas yang tinggi terhadap lingkungan. Logam berat timbal (Pb) pada perairan dapat berbentuk  $Pb(OH)_2$ . Timbal (Pb) dapat ditemukan pada beberapa kegiatan industri seperti industri baterai, kendaraan bermotor, bensin, cat, pestisida, dan sebagainya (Widayatno dkk., 2017). Terjadinya pencemaran logam berat pada air dapat disebabkan karena adanya pengendapan antara logam berat dengan padatan tersuspensi. Apabila air tersebut masuk kedalam tubuh manusia dapat menyebabkan timbulnya penyakit akut ataupun kronis. Penyakit akut yang ditimbulkan akibat cemaran timbal pada manusia yakni dapat menyebabkan hilangnya nafsu makan, migrain, tekanan darah rendah, dan sakit perut. Selain itu, untuk penyakit kronis yang ditimbulkan akibat cemaran timbal yakni keterbelakangan mental, cacat, autism, alergi, hipertonia, gagal ginjal, menurunnya fungsi otak dan dapat menimbulkan kematian (Pratiwi dkk., 2015).

Menurut Rahmi (2017) sifat khusus yang dimiliki oleh logam berat timbal (Pb), diantaranya:

- a. Logam berat timbal merupakan logam yang elastis sehingga dapat dengan mudah untuk dibentuk
- b. Logam berat timbal merupakan logam anti karat
- c. Logam berat timbal memiliki tingkat kerapatan yang tinggi dibandingkan dengan logam pada umumnya
- d. Memiliki titik lebur yang rendah
- e. Logam berat timbal merupakan bahan konduktor listrik tingkat rendah.

Menurut Maghfirana (2019), sifat kimia dan fisika yang dimiliki oleh logam berat timbal (Pb) antara lain:

- a. Sifat Fisika
  1. Bentuk : padat pada suhu kamar
  2. Massa jenis :  $11,34 \text{ g/cm}^3$

3. Titik didih : 1749°C
4. Titik lebur : 327,5°C
5. Kalor lebur : 4,77 kJ/mol
6. Kalor uap : 179,5 kJ/mol
7. Kalor jenis : 26,650 kJ/mol

b. Sifat Kimia

1. Angka oksidasi : +2, +4
2. Elektronegativ : skala pauli 1,87 (+2) dan 2,33 (+4)
3. Energi ionisasi : 715,6 kJ/mol
4. Logam timbal dapat larut pada larutan asam
5. Logam timbal cepat melebur dengan halogen

## 2.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses pengikatan partikel kimia dalam larutan oleh suatu padatan atau zat penyerap akibat adanya gaya tarik menarik antar partikel. Adsorpsi merupakan salah satu metode pengolahan limbah mengandung logam berat yang dapat dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan organik sebagai adsorben. Pada proses ini zat penyerap partikel kimia disebut adsorben sedangkan untuk zat yang diserap disebut adsorbat (Saputri, 2020). Keuntungan penggunaan adsorpsi diantaranya adalah biaya yang relatif murah, proses yang sederhana, memiliki tingkat efisiensi yang tinggi pada larutan encer, dan dapat meminimalisasi pembentukan lumpur (Atminingtyas dkk., 2016).

### 2.2.1 Jenis Adsorpsi

Berdasarkan gaya tarik menarik antar partikel, adsorpsi dibagi menjadi 2 tipe yakni adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika. Kedua jenis adsorpsi tersebut memiliki perbedaan yang terletak pada permukaan adsorben yang mengalami laju reaksi dan pada energi aktivatornya (Aprilia & Ab, 2020).

a. Adsorpsi Kimia

Suatu metode adsorpsi yang terjadi akibat adanya gaya kimia dengan reaksi kimia. Adsorpsi ini memiliki energi sebesar 100 kJ/mol. Pada adsorpsi kimia dapat menghasilkan suatu jenis senyawa baru. Ikatan kimia yang terjadi

pada adsorpsi ini tidak dapat dilepaskan kembali, karena terdapat ikatan kimia yang mengikat partikel dengan permukaan pada zat padat (Masruhin dkk., 2018).

b. Adsorpsi Fisika atau Van der Waals

Adsorpsi yang dapat terjadi karena adanya gaya fisika antara materi yang teradsorpsi (adsorbat) dengan materi yang mengadsorpsi (adsorben). Adsorpsi fisika bersifat reversible (dapat balik) untuk molekul yang teradsorpsi dan terikat secara lemah dipermukaan. Adsorpsi fisika memiliki energi sebesar 10 kJ/mol yang didasarkan pada gaya van der Waals sehingga dapat terjadi pada permukaan polar dan non polar. Adsorpsi juga dapat terjadi melalui pertukaran ion pada permukaan padatan (adsorben). Dalam hal ini, ion yang terdapat pada adsorben akan bertukar posisi dengan ion pada materi yang teradsorpsi (adsorbat). Pada adsorpsi jenis ini, ion-ion yang terjadi akan diikat secara kimia namun ikatannya mudah dilepaskan. Hal ini bertujuan untuk mempermudah terjadinya pertukaran ion yang akan kembali terjadi. Pertukaran ion ini merupakan gabungan dari mekanisme kemisorpsi dan mekanisme fisiosorpsi (Masruhin dkk., 2018).

Gaya pada adsorpsi fisika disebut dengan gaya van der Waals. Tingkat panas yang terjadi pada adsorpsi akan sama dengan tingkat reaksi kimia yang terjadi, karena pada proses ini akan terbentuk atau terputus suatu ikatan kimia. Untuk mengetahui perbedaan antara jenis adsorpsi yang lainnya, adsorpsi fisika ini ditandai dengan adanya peningkatan suhu dengan penurunan jumlah yang teradsorpsi (Anggriani dkk., 2021).

### 2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Adsorpsi

Berdasarkan Widayatno dkk., (2017) terdapat beberapa variabel yang dapat mempengaruhi terjadinya proses adsorpsi, diantaranya:

1. Jenis adsorben

a. Adsorben Polar (*Hydrophilic*)

Adsorben yang memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi terhadap senyawa yang bersifat asam karboksilat, alkohol, alumina, dan aldehida. Contoh adsorben polar yakni silika gel, alumina aktif dan zeolite.

b. Adsorben non Polar (*Hydrophobic*)

Adsorben yang memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi terhadap senyawa yang bersifat basa. Contoh adsorben non polar yakni karbon aktif dan polimer bioadsorben.

2. Konsentrasi Zat

Persamaan freundlich telah dijelaskan bahwa, apabila nilai konsentrasi (C) semakin besar, maka jumlah zat terlarut yang teradsorpsi akan semakin besar pula. Hal ini telah sesuai dengan persamaan freundlich sebagai berikut:

$$\frac{X}{M} = k \cdot x \cdot C^n$$

Dimana:

X = Berat teradsorpsi

M = Berat adsorben

K,n = Konstanta

3. Luas Permukaan

Adsorpsi yang besar akan terjadi pada adsorben yang memiliki permukaan luas (namun ukuran adsorben akan semakin kecil), hal ini dapat terjadi karena zat pada permukaan adsorben akan bertambah.

4. Tekanan

Jumlah partikel pada adsorbat akan lebih banyak dan lebih cepat terserap apabila tekanan diperbesar. Jumlah zat yang teradsorpsi dapat dipengaruhi oleh besarnya tekanan. Berikut merupakan persamaan harkins:

$$\text{Log } P = B - \frac{S}{V} \text{ atau } \ln P = -d \frac{(A^2 + 1)}{2KT}$$

Dimana:

V = Jumlah mol yang diadsorpsi

P = Tekanan gas (atm)

B = Konsentrasi (mol/detik)

A = Konstanta boltzman

T = Suhu mutlak (°K)

#### 5. Daya Larut terhadap Adsorben

Kemampuan daya larut yang tinggi dapat menghambat berlangsungnya proses adsorpsi, hal ini dapat disebabkan karena terdapat gaya yang berlawanan antara gaya untuk melarutkan zat terlarut dengan gaya tarik menarik adsorben terhadap adsorbat.

#### 6. Koadsorpsi

Daya adsorpsi yang besar akan dimiliki oleh suatu adsorben dalam mengadsorpsi suatu zat.

#### 7. Pengadukan

Proses adsorpsi dapat dipercepat melalui proses pengadukan. Dalam hal ini, molekul yang terdapat pada adsorben dan adsorbat akan saling bertumbuk sehingga proses penyerapan dapat berlangsung secara cepat.

### 2.3 Sistem Dinamis (Kontinyu/Kolom)

Sistem adsorpsi dinamis (kolom/kontinyu) merupakan suatu sistem metode adsorpsi yang dilakukan dengan cara mengontakkan larutan kimia (reaktan) kedalam reaktor yang berisi adsorben dengan laju alir tertentu hingga kondisi jenuh. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan proses adsorpsi yang optimal. Untuk hasil adsorpsi pada sistem kolom akan dikeluarkan pada saat proses masih berlangsung. Sistem kontinyu merupakan pengembangan dari sistem batch. Sehingga dalam hal ini, sistem kontinyu dapat memberikan keluasan dalam proses pengolahan limbah cair dan cocok digunakan dalam skala industri (Putri dkk., 2019). Selain itu, keunggulan sistem kontinyu juga memiliki biaya operasional yang murah dengan proses pengendalian yang mudah, dan dapat bereaksi pada fase cair, cair-padat dan cair-cair. Namun, sistem ini tidak efisien digunakan untuk reaksi dengan fase gas (Anwar, 2020). Proses adsorpsi dengan sistem dinamis (kolom/kontinyu) dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya laju alir, massa adsorben, pH, waktu kontak, dan konsentrasi influent (Putri dkk., 2019). Menurut Eckenfelder (2000) dalam Utama (2015), terdapat beberapa bentuk kolom yang dapat digunakan pada metode adsorpsi, diantaranya:

a. *Downflow column*

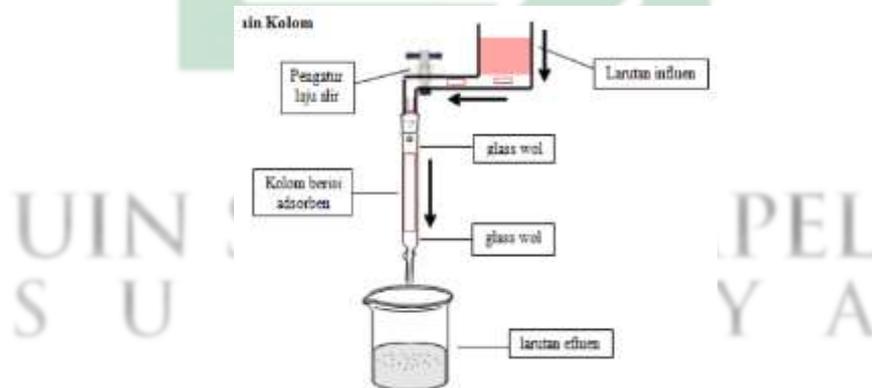
Merupakan kolom yang disusun secara seri dalam bentuk *fixed bed* dengan aliran dari atas kebawah. Untuk mencapai kapasitas maksimum dalam penyerapan adsorben, kolom pertama harus setimbang dengan konsentrasi influen. Sedangkan pada kolom terakhir akan tercapai kurva *breakthrough*.

b. *Multiple units column*

Merupakan kolom yang disusun secara parallel. Untuk mencapai hasil keluaran yang sesuai dengan harapan, maka air limbah harus dialirkan menuju kolom tersebut. Untuk mencapai hasil keluaran yang berkualitas, maka hasil keluaran tersebut harus dicampur dengan hasil keluaran dari kolom yang lain. Sehingga beban debit dan penyerapan adsorben akan terbagi dalam setiap kolom.

c. *Upflow column*

Merupakan kolom dengan arah aliran dari bawah keatas yang digunakan pada air limbah yang mengandung endapan atau bahan biologis sehingga dapat menguraikan bahan adsorbennya. Berikut Gambar 2.1 merupakan proses adsorpsi menggunakan sistem dinamis (kontinyu).



Gambar 2. 1 Adsorpsi dengan Sistem Kontinyu  
Sumber: Putri dkk (2019)

Menurut Palupi (2021) terdapat beberapa persamaan model yang dapat digunakan dalam sistem dinamis, diantaranya:

a) Model Yoon Nelson

Merupakan suatu persamaan dalam sistem dinamis yang tidak dapat menjelaskan sistem adsorpsi dengan menggunakan variasi. Model

Yoon Nelson merupakan persamaan dalam sistem dinamis yang paling sederhana dibandingkan dengan model yang lain.

b) Model Wang

Merupakan suatu persamaan dalam proses adsorpsi yang tidak dapat menjelaskan sistem adsorpsi. Model Wang hanya dapat digunakan untuk menjelaskan suatu kurva, dimana kurva tersebut hanya mengandung ion. Model Wang biasa disebut dengan model transfer massa.

c) Model Clark

Merupakan suatu persamaan dalam proses adsorpsi yang dapat menaksir suatu cara kerja pada sistem adsorpsi dalam senyawa organik. Bentuk zona transfer pada model Clark ini adalah hasil effluent yang memiliki massa tetap.

d) Model Thomas

Merupakan suatu persamaan dalam proses adsorpsi yang memiliki hubungan antara adsorben dengan adsorbat, dimana adsorben akan mengadsorpsi adsorbat secara langsung. Permodelan Thomas dapat memperkirakan kapasitas dalam suatu proses adsorpsi berdasarkan volume adsorben dan laju alir. Permodelan Thomas dapat digambarkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) = \frac{KTh \cdot q_0 \cdot M}{Q} - \frac{KTh \cdot C_0}{Q}$$

Keterangan :

$C_0$  = Konsentrasi influen (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi efluen (mg/L)

$KTh$  = Konstanta Laju Thomas (mL/menit.mg)

$q_0$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

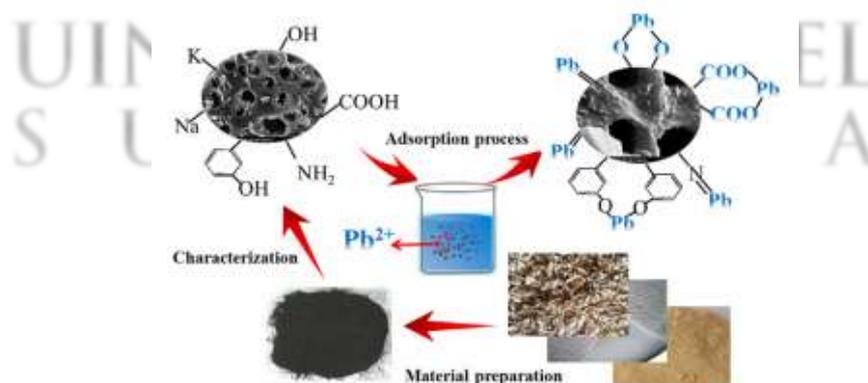
$Q$  = Laju alir influen (ml/menit)

$M$  = Massa adsorben (g)

## 2.4 Bioadsorben

Adsorben merupakan suatu padatan yang dapat menyerap zat kimia dari suatu larutan. Terdapat beberapa zat yang dapat diserap oleh suatu adsorben diantaranya zat organik, zat warna, dan unsur logam pada suatu larutan. Adsorben yang digunakan merupakan suatu bahan yang memiliki pori-pori yang luas, sehingga adsorpsi dapat berlangsung pada dinding pori-pori tersebut (Rahmi, 2017). Contoh adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi diantaranya pellet, zeolite, karbon aktif, gel silika, alumina katif dan biodsorben (Pandia dan Warman, 2017).

Bioadsorben adalah adsorben alami yang terbuat dari limbah produk pertanian dengan kandungan berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin. Pengikatan ion logam pada suatu adsorben dapat dilakukan oleh gugus fungsi (karboksil dan hidroksil) yang terdapat pada selulosa (Kardiman dkk., 2020). Bioadsorben yang dapat mengadsorpsi logam berat diantaranya jerami padi, kulit batang jambu biji, abu tanaman bambu, tongkol jagung, serbuk kayu gergaji dan kulit pisang (Fatmi dan Putra., 2018). Menurut Rahmi (2017) bioadsorben memiliki beberapa kelebihan diantaranya ketersediaan bioadsorben yang melimpah karena berasal dari alam, memiliki efektivitas dalam penyerapan logam berat, tidak menghasilkan zat pencemar, tidak berbahaya bagi lingkungan, dan memiliki biaya yang murah. Gambar 2.2 merupakan tahapan bioadsorben dalam proses adsorpsi logam timbal (Pb).



Gambar 2. 2 Tahapan Bioadsorben dalam Adsorpsi Logam Timbal (Pb)

Sumber: Song, *et al.*, (2018)

Menurut Nisya (2021) tahapan dalam pembuatan bioadsorben memiliki kesamaan dengan pembuatan karbon aktif, namun pembuatan bioadsorben tanpa melalui proses karbonisasi. Berikut merupakan tahapan dalam pembuatan bioadsorben:

#### 1. Tahap Dehidrasi

Proses pengurangan kadar air pada bahan dasar pembuat bioadsorben yang dilakukan dengan cara mengoven atau menjemurnya dibawah sinar matahari (Ramadhani dkk., 2020).

#### 2. Tahap Karakterisasi

Merupakan suatu tahap dimana bioadsorben akan diaktivasi menggunakan zat aktivator. Menurut Erawati & Fernando (2018), tahap aktivasi dapat dilakukan dengan 2 cara yakni, aktivasi kimia dan aktivasi fisika.

##### a. Aktivasi Kimia

Suatu tahap aktivasi yang dilakukan dengan cara mencampurkan bahan karbon dengan zat aktivator kemudian memanaskan atau mengeringkan hasil campuran tersebut.

##### b. Aktivasi Fisika

Suatu tahap aktivasi yang dilakukan dengan cara memanaskan pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  -  $1000^{\circ}\text{C}$  dengan bantuan bahan oksidator yang bersifat lemah seperti uap air, karbondioksida nitrogen, oksigen dan bahan oksidator lainnya.

Suhu yang digunakan pada saat tahap aktivasi dapat mempengaruhi suatu massa karbon. Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka massa karbon akan semakin berkurang. Sifat bahan kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator yakni asam, basa ataupun garam seperti HCL,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , NaOH, KOH, NaCl dan sebagainya.

### 2.5 Kulit Pisang Kepok sebagai Bioadsorben

Pisang kepok merupakan tumbuhan monokotil dengan batang semu, tidak bercabang dan diselimuti dengan pelepah. Cara perkembangbiakan dengan cara bertunas. Pisang kepok merupakan salah satu jenis pisang yang dikonsumsi oleh masyarakat. Pisang kepok memiliki bentuk yang gepeng dan

bersegi dengan tekstur kulit yang tebal berwarna kuning kehijauan (Ilmi, Z. 2021). Menurut Rejeki dkk., (2020) pisang kepok dibedakan menjadi 2 jenis, yakni pisang kepok kuning dan pisang kepok putih. Perbedaan tersebut hanya terletak pada warna buahnya. Untuk pisang kepok kuning memiliki buah dengan warna kuning sedangkan untuk pisang kepok putih memiliki warna buah yang lebih pucat.

Berdasarkan penelitian Rahmi (2017), tumbuhan pisang merupakan tumbuhan yang kaya akan manfaat, mulai dari batang, daun, buah bahkan kulit buahnya juga dapat dimanfaatkan. Kulit buah pisang dapat digunakan dalam pembuatan bioadsorben. Dalam hal ini, kulit buah pisang tersusun dari bahan yang mengandung karbon serta memiliki permukaan pori yang luas dan memiliki potensi yang besar dalam menyerap kontaminan berbahaya seperti logam berat (Arifiyana dan Devianti, 2021). Selain itu, kulit buah pisang juga mengandung komponen biokimia berupa selulosa, hemiselulosa, pigmen klorofil serta zat pektin. Apabila dilihat dari kandungan tersebut, kulit buah pisang sangat cocok digunakan sebagai bahan dalam pembuatan bioadsorben penyerapan logam berat pada limbah cair (Rustanti, 2018).

Menurut Proverawati dkk., (2019) setiap jenis pisang memiliki kandungan pektin dan selulosa yang berbeda-beda. Seperti pisang ambon yang mengandung pektin sebesar 10,63% dan selulosa 12,02%, pisang raja dengan kandungan pektin sebesar 21% dan selulosa 8,4% sedangkan untuk pisang uli mengandung pektin >50% dan selulosa 6,7%. Untuk pisang kepok memiliki kandungan zat pektin dan selulosa yang lebih besar dibandingkan dengan pisang yang lainnya yakni zat pektin sebesar 52,1% dan selulosa sebesar 17,04%. Kandungan yang terdapat pada zat pektin (*galacturonic*) dan selulosa berfungsi sebagai pengikat ion logam yang berasal dari gugus fungsi gula karboksil (-COOH) dan hidroksil (-OH). Zat pektin dan selulosa banyak ditemui pada kulit buah pisang yang telah matang (Anom dkk., 2019).

## 2.6 Integrasi Keislaman

Berkembangnya kegiatan industri dapat memberikan dampak yang besar bagi lingkungan. Sebagian besar kegiatan industri membuang limbahnya

secara langsung diperaikan tanpa melalui proses pengolahan. Sehingga hal ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan seperti pencemaran logam berat. Timbulnya logam berat pada lingkungan dapat menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan dan manusia (Kardiman dkk., 2020). Seperti yang dijelaskan dalam firman Allah SWT dalam Q.S As Shad ayat 27-28:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ۚ ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ ۗ أَمْ يُجْعَلُ

الَّذِينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ كَالْمُفْسِدِينَ فِي الْأَرْضِ ۗ أَمْ يُجْعَلُ الْمُتَّقِينَ كَالْفُجَّارِ

Artinya: “.....dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir. Maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka. Patutkah kami menganggap orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh sama dengan orang-orang yang berbuat kerusakan di muka bumi? Patutkah (pula) kami menganggap orang-orang yang bertaqwa sama dengan orang-orang yang berbuat maksiat?”.

Surah As Shad ayat 27-28 telah menjelaskan bahwa sebagai manusia harus baik sangka terhadap Allah SWT terhadap ciptaannya di muka bumi ini. Allah SWT telah menciptakan alam semesta beserta isinya untuk memenuhi kebutuhan manusia. Oleh karena itu, kita sebagai manusia harus senantiasa beriman kepada Allah SWT dan berbuat baik dimuka bumi ini. Karena dalam hal ini Allah SWT akan memberikan balasan untuk manusia yang dapat menjaga lingkungan dengan baik. Sebagaimana telah tertuang dalam Q.S Al-Baqarah (2) ayat 60 sebagai berikut:

وَإِذِ اسْتَسْقَىٰ مُوسَىٰ لِقَوْمِهِ فَقُلْنَا اضْرِبْ بِعَصَاكَ الْحَجَرَ ۖ فَانفَجَرَتْ مِنْهُ اثْنَتَا عَشْرَةَ عَيْنًا ۗ قَدْ عَلِمَ كُلُّ أُنَاسٍ

مَشْرَبَهُمْ ۗ كُلُوا وَاشْرَبُوا مِنْ رِزْقِ اللَّهِ وَلَا تَعْتُوا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ

Artinya: “.....dan (ingatlah) Ketika Musa memohon air untuk kaumnya, lalu kami berfirman: “pukullah batu itu dengan tongkatmu, “lalu memancarlah daripadanya duabelas mata air. Sungguh tiap-tiap suku telah mengetahui tempat minumnya (masing-masing). Makan dan minumlah rezeki (yang

diberikan) oleh Allah SWT dan janganlah kamu berkeliaran dimuka bumi untuk berbuat kerusakan ....”.

Dapat diketahui bahwa, Allah SWT akan senantiasa memberikan rezeki terhadap manusia melalui semua ciptaan yang ada dibumi ini. Tugas manusia hanyalah mencari suatu cara bagaimana dapat memanfaatkan alam guna memenuhi kebutuhannya tanpa menimbulkan suatu kerusakan. Larangan untuk berbuat kerusakan dibumi telah dipertegas dalam Qur'an Surah Al A'raf (7) ayat 56-58 sebagai berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ۝ وَهُوَ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَّاحَ بُشْرًا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِ حَتَّىٰ إِذَا أَقْلَّتْ سَحَابًا ثِقَالًا سُقْنَاهُ لِبَلَدٍ مَّيِّتٍ فَأَنْزَلْنَا بِهِ الْمَاءَ فَأَخْرَجْنَا بِهِ مِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ ۚ كَذَٰلِكَ نُخْرِجُ الْمَوْتَىٰ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ ۝ وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرِجُ نَبَاتَهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرِجُ إِلَّا نَكِدًا ۚ كَذَٰلِكَ نُصَرِّفُ الْأَيَّاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan dimuka bumi, sesudah (Allah SWT) memperbaikinya dan berdoalah kepadanya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah SWT amat dekat kepada orang-orang yang berbuat kebaikan. Dan dialah yang meniupkan angin sebagai pembawa berita gembira sebelum kedatangan rahmat-nya (hujan), hingga apabila angin itu telah membawa awan mendung, kami halau kesuatu daerah yang tandus. Lalu kami turunkan hujan didaerah itu. Kemudian kami tumbuhkan dengan hujan itu berbagai macam buah-buahan. Seperti itulah kami membangkitkan orang mati agar kamu selalu ingat. Tanah yang baik, tanamannya akan tumbuh subur dengan seizin tuhanNya. Adapun tanah yang tidak subur, tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah kami jelaskan berulang kali tanda kebesaran bagi orang-orang yang bersyukur.

Dari penjelasan ayat diatas, dapat diketahui bahwa Allah SWT sangat memperdulikan kemakmuran umatnya. Dengan diturunkannya hujan, dapat memungkinkan bahwa air hujan tersebut dapat mengalir sehingga dapat diserap oleh tumbuhan. Dimana nantinya tumbuhan tersebut akan dinikmati oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Oleh sebab itu, manusia harus senantiasa dapat melakukan berbagai upaya pencegahan dan pengelolaan

terhadap kerusakan alam yang terjadi. Karena dengan hal ini, manusia dapat hidup dengan tenang apabila alam dapat dikelola dengan baik. Sebagaimana telah tertuang dalam Qur'an Surah Al-Hud ayat 114:

اَقِمِ الصَّلَاةَ طَرَفَيِ النَّهَارِ وَزُلْفًا مِّنَ اللَّيْلِ إِنَّ الْحَسَنَاتِ يُذْهِبُنَ السَّيِّئَاتِ ذَلِكَ ذِكْرَىٰ لِلذَّكِرِينَ

Artinya: Dirikanlah sholat pada kedua ujung hari (pagi dan petang) dan pada bagian-bagian malam. Sesungguhnya perbuatan-perbuatan baik menghapus kesalahan. Itu adalah peringatan bagi orang-orang yang mengingat Allah SWT.

Berdasarkan Qur'an Surah Al-Hud ayat 114 Tafsir Jalalain, mendirikan sholat merupakan suatu perbuatan yang dapat menghapuskan perbuatan dosa. Sebagaimana dengan upaya pengelolaan lingkungan. Apabila kegiatan membuang limbah merupakan suatu kegiatan yang dianggap dosa, maka kita tidak boleh melakukan hal tersebut. Oleh karena itu, kita sebagai manusia khalifah Allah SWT harus senantiasa dapat menjaga dan melakukan pengelolaan agar dapat menghapus dosa yang pernah dibuat. Metode adsorpsi menggunakan bioadsorben dari limbah kulit pisang kepok merupakan salah satu cara dalam pengolahanl kerusakan lingkungan. Dalam hal ini limbah dari kulit pisang yang berpotensi menjadi limbah dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan bioadsorben yang mampu mengurangi logam timbal dalam air. Berdasarkan pandangan islam, metode adsorpsi ini merupakan salah satu kegiatan pencegahan terjadinya pencemaran lingkungan. Selain dapat menjaga kelestarian lingkungan, metode ini juga dapat menjaga kesehatan manusia karena manusia dapat menggunakan air yang layak dalam pemenuhan kebutuhan hidupnya.

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan kumpulan referensi yang digunakan sebagai acuan terhadap penelitian yang akan dilakukan. Berikut merupakan beberapa penelitian serupa yang dilakukan oleh beberapa peneliti:

1. Wardani dkk., (2017) dengan judul **Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata L.*) Sebagai Bahan Aktif Yang Teraktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**. Pada penelitian ini limbah kulit pisang kepok diaktivasi menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selama 1 jam., kemudian dilakukan uji kadar

air, kadar abu, daya serap iodine menggunakan FTIR. Dalam hal ini, kulit pisang kepok mampu mengadsorpsi iodine sebesar 914 mg/g, kadar air sebesar 2-13%, dan kadar abu 2-8%.

2. Fatmi dan Putra., (2018) dengan judul **Studi Efektifitas Limbah Kulit Pisang (*Musa acuminata*) Sebagai Biosorben Logam Berat Seng (Zn)**. Dalam penelitian ini adsorben dari limbah kulit pisang kepok diaktivasi menggunakan NaOH, HNO<sub>3</sub>, KOH, dan ZnCl<sub>2</sub> selama 2 jam. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi waktu kontak, variasi konsentrasi Zn, dan variasi pH. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu optimum penyerapan terjadi pada waktu 90 menit dengan pH 8 dan menggunakan aktivator NaOH.
3. Rhomadhona dkk., (2018) dengan judul **Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata L*) Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Mangan Pada Air Sumur**. Pada penelitian ini proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan variasi waktu perendaman dan kadar adsorben. Untuk variasi waktu yang digunakan yakni 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Sedangkan untuk variasi kadar adsorben yakni 10 gr/l, 20 gr/l dan 30 g/l. Untuk hasil optimum penurunan kadar mangan dengan menggunakan variasi waktu perendaman dan kadar adsorben terjadi pada waktu 90 menit dengan kadar adsorben sebesar 30 gr/l mampu menurunkan kadar mangan sebesar 91,68%.
4. Sylvia dkk., (2017) dengan judul **Kinerja Kolom Adsorpsi Pada Penjerapan Timbal (Pb<sup>2+</sup>) Dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sewet**. Dalam penelitian ini menunjukkan hasil bahwa terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sistem kolom dalam penyerapan ion logam diantaranya, tinggi adsorben, waktu kontak dan laju alir.
5. Alifaturrahman dan Okik., (2018) dengan judul **Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Untuk Menyisihkan Logam Cu**. Dalam penelitian ini, activator yang digunakan untuk mengaktivasi kulit pisang kepok berupa larutan asam (HCL). Variabel bebas yang digunakan adalah variasi massa adsorben dan kecepatan pengadukan. Untuk variasi massa

adsorben (gram) pada penelitian ini diantaranya 2, 2,5, 3, 3,5, 4 dengan variasi kecepatan pengadukan (rpm) sebesar 50, 100, 150, 200, 250. Sehingga didapatkan dosis optimum penyerapan logam Cu terjadi pada dosis 4 gr dengan kecepatan pengadukan 200 rpm mampu menyerap logam Cu sebesar 81,78%.

6. Arifiyana & Devianti (2021) dengan judul **Biosorption Of Fe (Ii) Ions From Aqueous Solution Using Kepok Banana Peel (*Musa acuminata*)**. Dalam penelitian ini adsorben dari limbah kulit pisang kepok dapat menghilangkan kadar Fe pada larutan berair. Massa adsorben yang digunakan pada penelitian ini sebesar (0,5 gr-2,5 gr) dengan konsentrasi awal Fe sebesar (30-70 mg/l). sistem adsorpsi yang digunakan yakni dengan sistem batch, sehingga dilakukan pengadukan pada campuran dengan kecepatan 250 rpm selama 30 menit. Untuk hasil yang didapatkan yakni dengan massa 2,5gram dan konsentrasi awal sebesar 60 mg/l dapat memberikan kapasitas adsorpsi tertinggi yakni sebesar (0,644 mg/l) atau 57,99%.
7. Roni & Yuliwati (2020) dengan judul **Adsorption Analysis of Activated Carbon from Rice Husk and Kepok Banana (Saba Banana) Peel for Treating Ogan River Water**. Dalam penelitian ini kulit pisang kepok diaktivasi menggunakan  $H_2PO_4$  0,1N 20% pada suhu  $450^{\circ}C$ . Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yakni karbon aktif dari kulit pisang kepok mampu mengurangi kadar zat padat yang tersuspensi dari 79,3 mg/l menjadi 48,2 mg/l dan mampu menurunkan kadar konsentrasi Fe dari 0,63 mg/l menjadi 0,07 mg/l.
8. Nurain *et al.*, (2021) dengan judul **Utilization of Banana (*Musa sapientum*) Peel for Removal of  $Pb^{2+}$  from Aqueous Solution**. Pada penelitian ini adsorpsi dilakukan secara batch menggunakan adsorben dari limbah kulit pisang kepok terhadap penurunan kadar timbal. Dalam hal ini adsorpsi maksimum terjadi pada variasi dosis adsorben ke 45 g/l dengan waktu kontak 30 menit, dan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm mampu menurunkan kadar Pb sebesar 4,74 mg/L. Dalam hal ini dapat menunjukkan

bahwa limbah kulit pisang dapat menjadi adsorben potensial untuk logam berat.

9. Arifiyana dan Devianti (2021) dengan judul **Optimization of pH and Contact Time Adsorption of Banana Peels as Adsorbent of Co (II) and Ni (II) From Liquid Solutions**. Pada penelitian ini, memanfaatkan limbah kulit pisang untuk optimalisasi pH dan waktu kontak pada logam Co dan Ni. Dalam hal ini, variasi pH yang digunakan antara lain 3, 4, 5, 6, dan 7 pada waktu kontak 10, 20, 30, 40, dan 50 menit. Untuk hasil yang didapatkan pada penelitian ini yakni untuk pH optimum adsorpsi Co (II) dan Ni (II) berada pada pH 4 dengan presentasi adsorpsi Co (II) sebesar 34,74% dan Ni (II) sebesar 41,43%. Dan waktu kontak optimum 30 menit dengan persentase adsorpsi Co (II) dan Ni (II) berturut-turut sebesar 36% dan 25%.
10. Legiso & Roni., (2021) dengan judul **Analysis Of Active Carbon Of Rice Husk And banana Kepok Skin As Adsorbent Media In Reducing Heavy Metals Iron (Fe), Tss And Ph Atkundur River In South Sumatra**. Dalam penelitian ini, adsorben dari kulit pisang digunakan dalam penurunan kadar kandungan logam berat (Fe, TSS, dan pH). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit pisang kepok dengan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20% dapat mereduksi besi dengan kadar awal 0,52 mg/l menjadi 0,00 mg/l dan untuk kadar TSS juga dapat menurun dari nilai awal sebesar 1803 mg menjadi 0,46 mg

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Proses penelitian Tugas Akhir dilakukan di beberapa laboratorium. Untuk pembuatan bioadsorben kulit pisang kepok dan karakterisasi dilakukan di Laboratorium Fisika dan Kimia Lingkungan Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Untuk running proses adsorpsi dilakukan di laboratorium mandiri dan untuk pengujian effluent hasil adsorpsi dilakukan di Laboratorium DLH Kabupaten Gresik.

### 3.2 Waktu Penelitian

Proses penelitian dan analisis hasil penelitian Tugas Akhir dilaksanakan pada bulan April 2022 hingga Juni 2022. Langkah awal dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data sekunder, pengambilan data primer dan penyusunan laporan. Berikut Tabel 3.1 jadwal kegiatan selama penelitian.

Tabel 3. 1 Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Februari		Maret				April				Mei				Juni			
		iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv
1.	Pra Proposal																		
2.	Pendaftaran Sempro																		
3.	Seminar Proposal																		
4.	Perbaikan Proposal																		
5.	Persiapan Alat																		
6.	Pembuatan reaktor																		
7.	Pengumpulan bahan																		
8.	Pembuatan bioadsorben																		
9.	Running Adsorpsi																		
10.	Pengujian Hasil																		
11.	Penyusunan Laporan																		
12.	Sidang Akhir																		

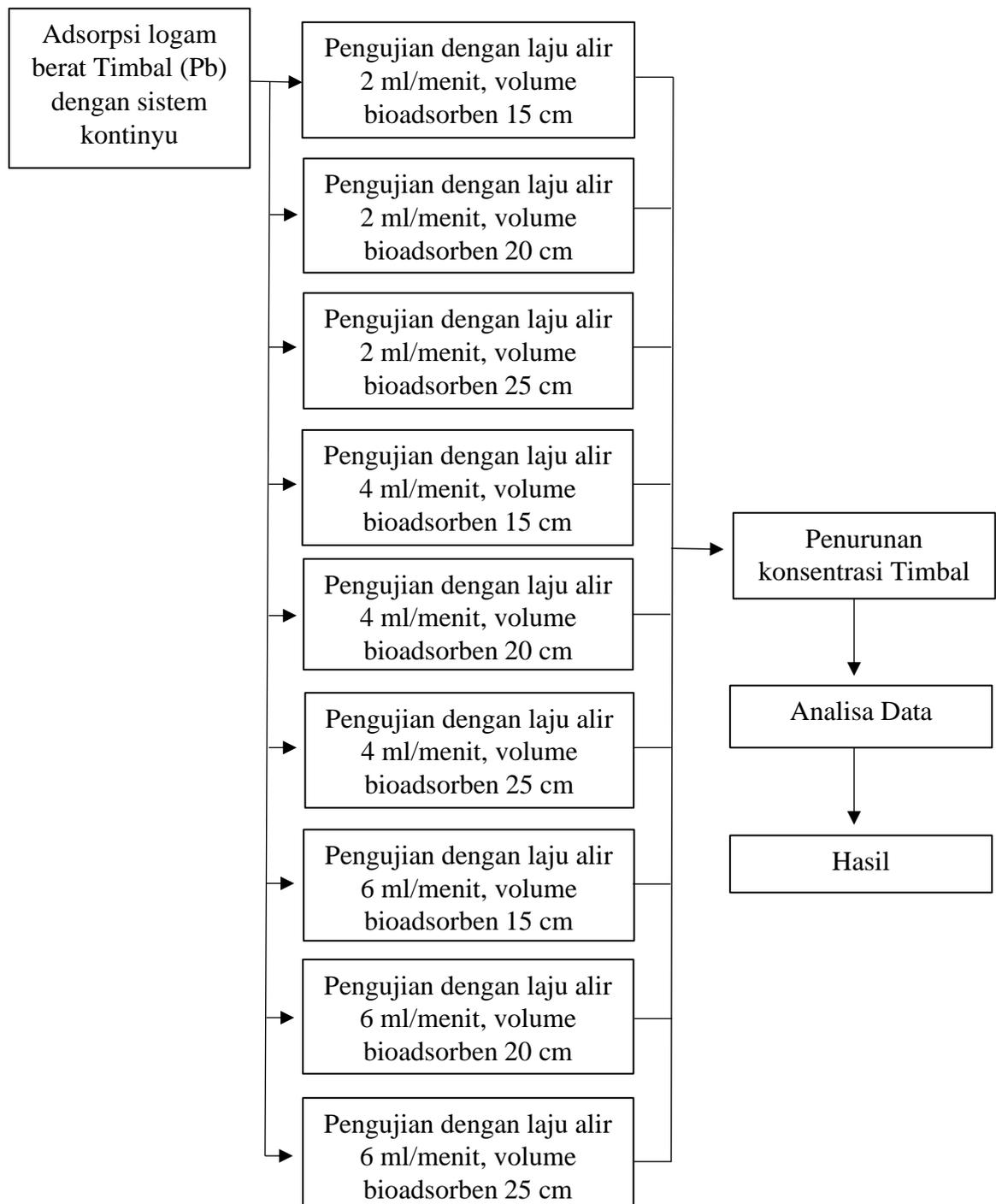
Sumber: Hasil Analisa (2022)

### 3.3 Tahapan Penelitian

#### 3.3.1 Kerangka Pikir Penelitian

Merupakan suatu alur dalam proses penelitian yang dibuat secara terperinci guna mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan logam timbal menggunakan bioadsorben dari limbah kulit pisang kepok dengan sistem kolom kontinyu. Berikut Gambar 3.1 merupakan bagan alir kerangka penelitian.



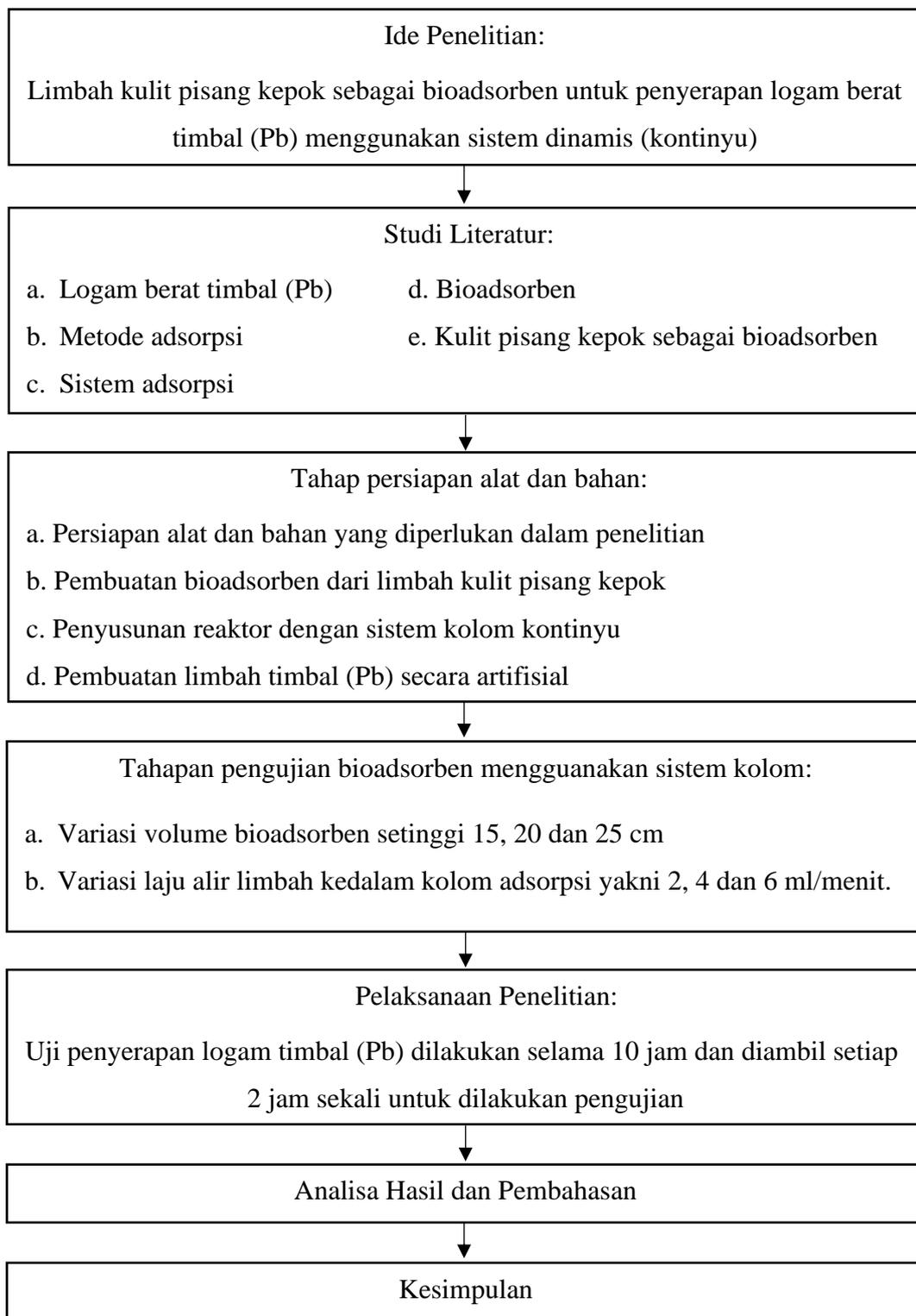


Gambar 3. 1 Kerangka Pikir Penelitian

### 3.3.2 Tahapan Penelitian

Penjabaran mengenai metode dapat meliputi ide penelitian, studi literatur, persiapan alat dan bahan, pelaksanaan penelitian, analisis dan pembahasan, pembuatan laporan dan penarikan kesimpulan. Berikut merupakan rangkaian penelitian disajikan pada Gambar 3.2.





Gambar 3. 2 Bagan Alir Kerangka Penelitian

### 3.3.3 Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilakukan dengan cara pengujian di laboratorium. Sampel air limbah timbal yang dibuat secara artifisial akan diadsorpsi menggunakan sistem kolom kontinyu dengan variasi volume bioadsorben 15, 20, dan 25 cm dengan laju alir sebesar 2, 4, dan 6 ml/menit. Air limbah diadsorpsi selama 10 jam dan hasilnya akan dilakukan pengujian setiap dua jam sekali untuk mengetahui penurunan atau kenaikan konsentrasi logam timbal dalam air limbah. Rancangan percobaan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan Penelitian

M/N	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
N <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	M <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	M <sub>3</sub> N <sub>1</sub>
N <sub>2</sub>	M <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	M <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	M <sub>3</sub> N <sub>2</sub>
N <sub>3</sub>	M <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	M <sub>3</sub> N <sub>3</sub>

Keterangan:

- M<sub>1</sub> : Perlakuan dengan volume bioadsorben 15 cm
- M<sub>2</sub> : Perlakuan dengan volume bioadsorben 20 cm
- M<sub>3</sub> : Perlakuan dengan volume bioadsorben 25 cm
- N<sub>1</sub> : Perlakuan dengan laju alir sebesar 2 ml/menit
- N<sub>2</sub> : Perlakuan dengan laju alir sebesar 4 ml/menit
- N<sub>3</sub> : Perlakuan dengan laju alir sebesar 6 ml/menit
- M<sub>1</sub>N<sub>1</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 15 cm dan laju alir 2 ml/menit
- M<sub>2</sub>N<sub>1</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 20 cm dan laju alir 2 ml/menit
- M<sub>3</sub>N<sub>1</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 25 cm dan laju alir 2 ml/menit
- M<sub>1</sub>N<sub>2</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 15 cm dan laju alir 4 ml/menit
- M<sub>2</sub>N<sub>2</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 20 cm dan laju alir 4 ml/menit
- M<sub>3</sub>N<sub>2</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 25 cm dan laju alir 4 ml/menit
- M<sub>1</sub>N<sub>3</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 15 cm dan laju alir 6 ml/menit
- M<sub>2</sub>N<sub>3</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 20 cm dan laju alir 6 ml/menit
- M<sub>3</sub>N<sub>3</sub> : Perlakuan volume bioadsorben 25 cm dan laju alir 6 ml/menit

### **3.4 Alat dan Bahan**

#### **3.4.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur, gelas beaker, erlenmeyer, cawan petri, batang pengaduk, spatula, reaktor berbentuk tabung, bak penampung influen dan efluen, neraca analitik, blender, oven, selang infus, spektrofotometri serapan atom (AAS).

#### **3.4.2 Bahan**

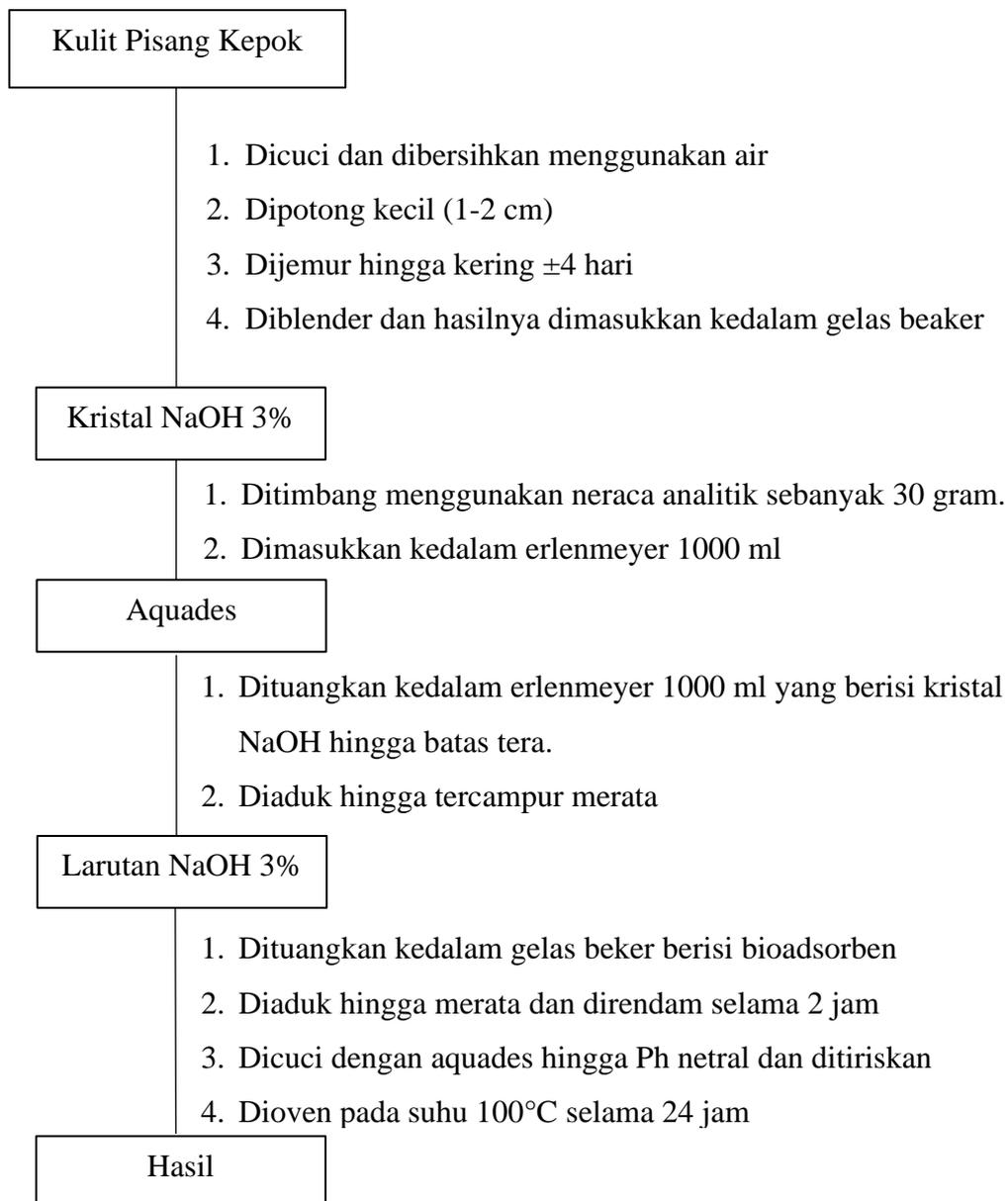
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit pisang kepok, NaOH 3%, serbuk  $(PbNO_3)_2$  dan aquades.

### **3.5 Langkah Kerja Penelitian**

#### **3.5.1 Pembuatan Bioadsorben dari Limbah Kulit Pisang Kepok**

Limbah kulit pisang yang telah dikumpulkan dari penjual pisang goreng kemudian dibersihkan menggunakan air bersih. Setelah itu dipotong kecil dan dijemur  $\pm 4$  hari. Kulit pisang yang telah kering kemudian ditumbuk dan diaktivasi menggunakan larutan natrium hidroksida 3% dengan perbandingan kulit pisang dan larutan natrium hidroksida (NaOH) sebesar 1 gram : 2 ml. Setelah itu dicuci kembali menggunakan aquades hingga pH mendekati netral. Kemudian dikeringkan kembali dengan cara dioven selama 24 jam pada suhu  $100^\circ C$ .

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



Gambar 3. 3 Bagan Tahapan Pembuatan Bioadsorben  
*Sumber: Purnama (2015)*

### 3.5.2 Pembuatan Limbah Artifisial Timbal (Pb)

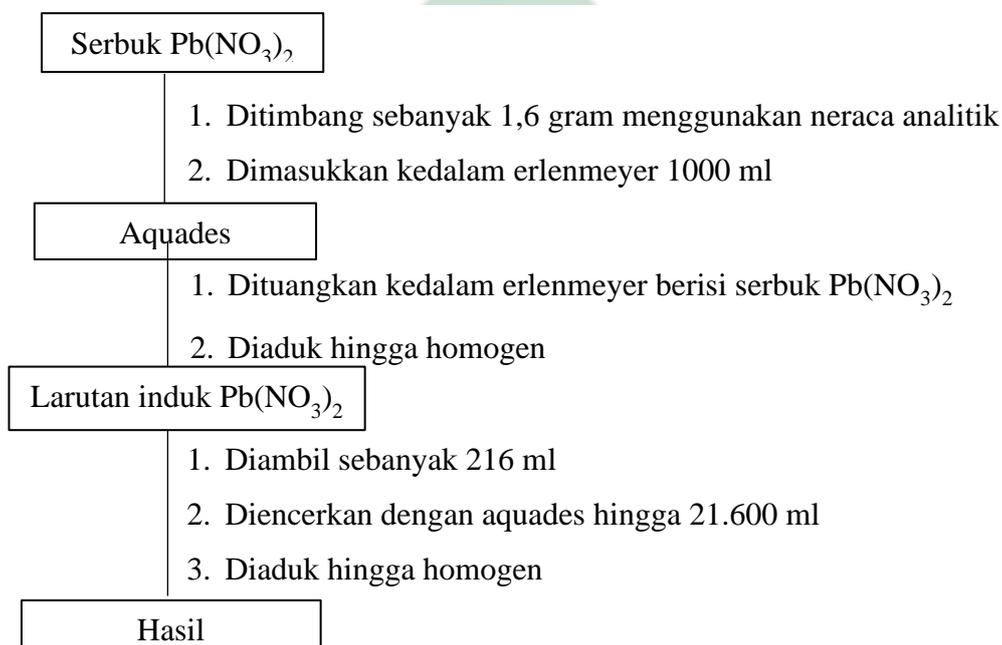
#### a. Pembuatan larutan induk timbal (Pb) 1000 ppm.

Tahap pertama dalam pembuatan larutan induk timbal 1000 ppm yakni dengan menimbang serbuk  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  sebanyak 1,6 gram. Kemudian dimasukkan kedalam erlenmeyer 1000 ml dan ditambahkan aquades hingga batas tera.

### b. Pembuatan sampel limbah timbal (Pb) 10 ppm

Untuk pembuatan sampel limbah timbal 10 ppm yakni dengan mengambil larutan induk sebanyak 10 ml dimasukkan ke dalam erlenmeyer 1000 ml dan ditambahkan aquades hingga batas tera. Langkah ini dilakukan hingga banyaknya sampel yang diperlukan. Adapun banyaknya sampel air limbah yang dibutuhkan dalam reaktor yakni:

$$\begin{aligned} \text{Sampel air limbah} &= (((120 \text{ ml} + 240 + 360 \text{ ml}) \times 10 \text{ jam}) \times 3) \\ &= 21.600 \text{ ml} \end{aligned}$$



Gambar 3. 4 Tahap Pembuatan Limbah Artifisial Logam Timbal  
Sumber: Deviyanti., (2014)

### 3.5.3 Pengukuran Variasi Laju Alir

Laju alir pada kolom adsorpsi diukur dengan stopwatch dan selang infus. Pada tahap pengujian, sampel limbah timbal dialirkan dari atas kebawah (*downflow*) menuju kolom adsorpsi. Variasi laju alir yang diterapkan pada penelitian ini adalah 2, 4 dan 6 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben 15, 20 dan 25 cm. Sampel air limbah diadsorpsi selama 10 jam dan hasilnya akan diambil 200 ml untuk dilakukan pengujian dalam setiap 2 jam.

### 3.5.4 Pengukuran Variasi Volume Bioadsorben

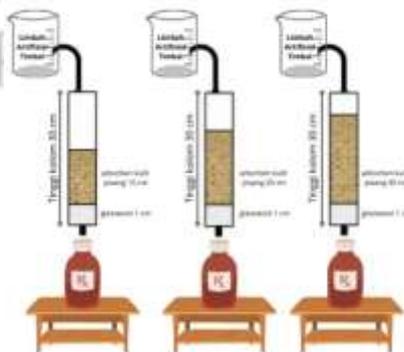
Pada tahap pengujian, sampel limbah timbal akan dialirkan dari atas kebawah (*downflow*) menuju kolom adsorpsi. Variasi volume bioadsorben yang digunakan yakni 15, 20 dan 25 cm dengan variasi laju alir sebesar 2, 4 dan 6 ml/menit. Sampel air limbah diadsorpsi selama 10 jam dan hasilnya diambil 200 ml untuk dilakukan pengujian setiap 2 jam sekali.

### 3.5.5 Persiapan Reaktor

Peralatan yang digunakan yakni kolom adsorpsi, bak penampung influen dan effluent, selang infus, dan gelas ukur. Sedangkan untuk bahan yang diperlukan meliputi bioadsorben dari limbah kulit pisang kepok, sampel timbal artifisial, aquades, dan spon busa. Pengaturan laju alir yang akan dilakukan menggunakan stopwatch dan gelas ukur. Bagian bawah kolom dilapisi dengan spon busa 1 cm guna bioadsorben tidak ikut keluar dan bercampur dengan air effluent hasil proses adsorpsi. Setelah itu bioadsorben dimasukkan pada masing-masing kolom dengan tinggi yang berbeda-beda. Variasi volume bioadsorben yang digunakan yakni 15, 20 dan 25 cm.

### 3.5.6 Desain Reaktor

Pada penelitian ini reaktor yang digunakan berupa kolom yang disambung dengan selang air dengan diameter 5 cm dan tinggi 50 cm. Kemudian limbah timbal artifisial dialirkan dari atas ke bawah (secara *downflow*). Berikut Gambar 3.5 desain reaktor dalam penelitian ini.



Gambar 3. 5 Desain Reaktor

### 3.6 Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis data berupa analisa secara deskriptif kuantitatif. Analisa ini digunakan untuk menjabarkan mengenai kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan dari bioadsorben limbah kulit pisang kepok terhadap penurunan kadar logam berat timbal pada air limbah. Data hasil percobaan akan digambarkan dalam bentuk tabel dan grafik garis. Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan permodelan Thomas sebagai berikut (Atminingtyas dkk., 2016):

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) = \frac{KTh \cdot q_0 \cdot M}{Q} - \frac{KTh \cdot C_0}{Q}$$

Dimana:

$C_0$  = Konsentrasi influen (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi efluen (mg/L)

$KTh$  = Konstanta Laju Thomas (mL/menit.mg)

$q_0$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

$Q$  = Laju alir influen (ml/menit)

$M$  = Massa adsorben (g)

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Sylvia dkk., 2021):

$$Ef = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

Dimana :

$Ef$  = Efisiensi proses adsorpsi

$C_0$  = Konsentrasi awal

$C_e$  = Konsentrasi akhir

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pembuatan Bioadsorben Kulit Pisang Kepok

#### 4.1.1 Preparasi Limbah Kulit Pisang Kepok

Limbah kulit pisang kepok diambil dari pedagang pisang goreng yang berada di Kecamatan Sawahan Kota Surabaya. Karakteristik kulit pisang yang diambil yakni memiliki kulit buah yang masih segar dengan warna kulit kuning kehijauan. Kulit pisang tersebut ditimbang seberat 1500 gram dan dipotong  $\pm 1-2$  cm. Kemudian dicuci bersih menggunakan air mengalir untuk menghilangkan getah dan pengotor yang melekat pada kulit pisang kepok. Berikut Gambar 4.1 proses pengumpulan kulit pisang dari penjual pisang goreng dan Gambar 4.2 proses pencucian kulit pisang kepok menggunakan air mengalir.



Gambar 4. 1 Pengumpulan Kulit Pisang Kepok  
*Sumber: Dokumentasi Pribadi (2022)*



Gambar 4. 2 Proses Pencucian Kulit Pisang Kepok  
*Sumber: Dokumentasi Pribadi (2022)*

Setelah melalui proses pencucian, kulit pisang dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari  $\pm 4$  hari. Menurut Ramadhani dkk., (2020) proses pengeringan pada bahan dasar pembuat bioadsorben disebut dengan proses dehidrasi. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar air pada kulit pisang kepok. Berikut Gambar 4.3 merupakan proses dehidrasi kulit pisang kepok.



Gambar 4. 3 Proses Dehidrasi Kulit Pisang Kepok  
*Sumber: Dokumentasi Pribadi (2022)*

Kulit pisang kepok yang semula memiliki berat 1500 gram setelah mengalami proses dehidrasi beratnya berkurang menjadi 720 gram. Proses dehidrasi dapat menyebabkan pengurangan massa dan volume dari kondisi awal. Hal ini dapat disebabkan oleh panas matahari yang mampu melepaskan kadar air yang terkandung pada kulit pisang kepok. Semakin lama proses pengeringan maka semakin kecil pula kadar air yang terkandung pada bahan tersebut. Rendahnya kandungan air pada kulit pisang dapat memperpanjang waktu penyimpanan karena terhentinya suatu reaksi sehingga mikroorganisme yang terkandung akan mati dan tidak dapat mengalami pertumbuhan (Leviana., 2017).

#### **4.1.2 Aktivasi Kulit Pisang Kepok**

Kulit pisang kepok yang telah kering kemudian diblender. Hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam proses aktivasi. Tujuan dari tahap aktivasi yakni dapat membuka dan memperluas permukaan pori pada suatu bioadsorben sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung secara maksimal (Erawati & Fernando, 2018). Metode aktivasi yang digunakan pada penelitian ini adalah aktivasi kimia, yakni aktivasi yang dilakukan dengan cara mencampurkan bahan kimia aktivator dengan bahan pembuat bioadsorben

kemudian campuran tersebut dikeringkan. Jenis aktivator yang digunakan untuk mengaktivasi kulit pisang kepok yakni NaOH 3%. Untuk rasio perbandingan campuran larutan NaOH dengan kulit pisang kepok yakni sebesar 2 ml : 1 gram (Purnama, 2015). Menurut Deviyanti (2014) NaOH merupakan aktivator yang bersifat tidak berbahaya, memiliki harga terjangkau dan mudah didapatkan. Selain itu, NaOH juga merupakan basa kuat yang mampu melarutkan zat pengotor penutup pori yang dapat menghambat proses adsorpsi.

Kristal Natrium Hidroksida (NaOH) ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 30 gram untuk dilarutkan dengan aquades 1000 ml. Proses penghomogenan kristal NaOH dengan aquades dapat menyebabkan larutan berubah menjadi keruh dan terasa panas. Hal ini dapat disebabkan karena adanya proses pelepasan kalor pada saat pelarutan kristal NaOH (Fitriani., 2021). Setelah beberapa menit, larutan akan kembali berwarna jernih dan tidak terasa panas. Aktivasi dapat dilakukan dengan melakukan perendaman kulit pisang kepok seberat 500 gram dengan 1000 ml larutan NaOH. Berikut Gambar 4.4 Proses aktivasi kulit pisang kepok dengan larutan NaOH.



Gambar 4. 4 Proses Aktivasi Kulit Pisang Kepok dengan Larutan NaOH  
*Sumber:* Dokumentasi Pribadi (2022)

Proses perendaman dilakukan selama 2 jam. Setelah itu, bioadsorben dicuci menggunakan aquades hingga bersih dan memiliki pH mendekati netral. Dalam hal ini proses netralisasi pada bioadsorben dimaksudkan untuk menghindari adanya pengendapan atau korosi yang dapat menimbulkan berkurangnya kualitas bioadsorben ketika proses penyerapan logam timbal pada air limbah (Kurniawan., 2016). Bioadsorben yang sudah diaktivasi kemudian didehidrasi kembali dengan cara dioven pada suhu 100°C selama 24

jam. Menurut Romadhana dkk., (2018) menyatakan bahwa pemanasan dengan temperature yang tinggi ( $>105^{\circ}\text{C}$ ) dapat menimbulkan kerusakan permukaan sehingga pori-pori pada bioadsorben akan menutup kembali dan menyebabkan menurunnya kapasitas peyerapan terhadap logam.

Setelah dioven, bioadsorben diletakkan pada suhu ruangan terlebih dahulu agar beratnya konstan kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik untuk dilakukan uji karakterisasi. Berdasarkan SNI 06-3730-1995 uji karakterisasi pada bioadsorben meliputi kadar air yakni dengan nilai maksimum sebesar 15%. Menurut Normilawati (2019) kadar air dapat dihitung menggunakan persamaan gravimetri sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Keterangan a = Hasil penimbangan bioadsorben sebelum dipanaskan (g)

b = Hasil penimbangan bioadsorben setelah dipanaskan (g)

Sehingga, kadar air pada bioadsorben kulit pisang kepok yakni sebesar:

$$\text{Kadar Air} = \frac{500 \text{ g} - 450 \text{ g}}{500 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 10\% \text{ (Telah memenuhi SNI 06-3730-1995).}$$

## 4.2 Persiapan Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk tabung berbahan dasar acrylic dengan diameter 5 cm dan panjang 50 cm. Untuk bagian atas atau inlet ditutup dengan penutup galon. Sedangkan untuk bagian bawah atau outlet diberi penutup paralon. Dimana disetiap penutup tersebut dilubangi pada bagian tengah sebagai tempat selang keluar dan masuknya air. Untuk penyangga reaktor terbuat dari besi ringan dengan ukuran 56 cm x 60 cm.

Proses adsorpsi pada penelitian ini menggunakan variasi volume bioadsorben dan variasi laju alir. Menurut Utama (2015) variasi laju alir dan volume bioadsorben memiliki pengaruh besar terhadap proses adsorpsi dengan sistem kolom. Volume bioadsorben yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 3 variasi yakni 15 cm setara dengan 95 gram bioadsorben, 20 cm setara dengan 120 gram bioadsorben dan 25 cm setara dengan 150 gram bioadsorben. Sebelum dilakukan pengisian bioadsorben, kolom reaktor pada bagian bawah harus dilapisi dengan spon busa setinggi 1 cm. Hal ini bertujuan untuk

menghambat bioadsorben agar tidak bercampur dengan air yang keluar dari hasil outlet.

Sedangkan untuk variasi laju alir yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 ml/menit, 4 ml/menit dan 6 ml/menit. Pengaturan laju alir dilakukan secara manual, yakni dengan menggunakan selang infus yang disetting dengan stopwatch dan diukur dengan gelas ukur untuk diamati per satu menitnya. Simulasi percobaan dapat dilakukan dengan cara mengalirkan aquades kedalam kolom berisi bioadsorben dengan tujuan untuk melakukan pencucian terhadap bioadsorben sebelum dilakukan pengujian. Selain itu, pengaliran aquades juga dapat digunakan sebagai simulasi pengukuran laju alir untuk mendapatkan hasil settingan yang tepat. Berikut Gambar 4.4 percobaan reaktor dengan sistem kontinyu.



Gambar 4. 5 Percobaan Reaktor dengan Sistem Kontinyu  
*Sumber: Dokumentasi Pribadi (2022)*

Simulasi pencucian bioadsorben menggunakan aquades dapat dilakukan selama 30 menit, setelah itu pengujian dapat dilakukan menggunakan sampel limbah artifisial yang telah dibuat. Air hasil outlet yang pertama keluar dari kolom adsorpsi memiliki warna coklat kehitaman. Hal ini dapat disebabkan karena permukaan bioadsorben yang mengandung endapan hasil dari proses dehidrasi.

### 4.3 Persiapan Sampel Limbah Artifisial Timbal

Sampel limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah artifisial jenis timbal, yakni air limbah yang dibuat dengan melarutkan suatu senyawa jenis timbal (II) nitrat ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) dengan aquades. Takaran senyawa timbal yang digunakan didasarkan pada nilai molaritas dan konsentrasi yang akan digunakan. Untuk konsentrasi senyawa timbal yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 ppm. Langkah pertama yang harus dilakukan yakni pembuatan larutan induk 1000 ppm.

Diketahui:

$$\text{Nilai atom relatif (Ar) Pb} = 207,2$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai molekul relatif (Mr) Pb(NO}_3)_2 &= (\text{Ar Pb}) + (2 \times \text{Ar N}) + (6 \times \text{Ar O}) \\ &= 207,2 + (2 \times 14) + (6 \times 16) \\ &= 331,22 \end{aligned}$$

Larutan induk Pb 1000 ppm dalam 1000 ml aquades

$$M = \frac{n}{t}; n = \frac{\text{gr}}{\text{Ar}}$$

$$M = \frac{\text{gr}}{v \cdot \text{Ar Pb}} = 1000 \text{ ppm (gram/liter)}$$

$$M = \frac{1 \text{ gr}}{1 \text{ liter} \times 207,2} = 0,0048 \text{ M}$$

Jadi, larutan induk Pb 1000 ppm dalam 1000 ml aquades memiliki nilai molaritas sebesar 0,0048 M.

Serbuk  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  yang dibutuhkan untuk larutan induk 1000 ppm adalah:

$$M = \frac{\text{gr}}{\text{Mr Pb(NO}_3)_2} \times \frac{1000}{\text{ml}}$$

$$0,0048 \text{ M} = \frac{\text{gr}}{331,22} \times \frac{1000}{1000}$$

$$\text{gr} = \frac{0,0048 \times 331,22}{1}$$

$$\text{gr} = 1,6 \text{ gr serbuk Pb(NO}_3)_2$$

Langkah pertama yang dilakukan dalam pembuatan larutan induk Pb 1000 ppm yakni menyiapkan larutan aquades dan menimbang 1,6 gram serbuk  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  menggunakan neraca digital. Setelah itu, serbuk  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dimasukkan kedalam erlenmeyer dan ditambahkan aquades hingga 1000 ml dan dilarutkan dengan cara diaduk menggunakan batang pengaduk. Untuk

konsentrasi limbah Pb yang digunakan pada penelitian ini sebesar 10 ppm (10 mg/l). Berikut Gambar 4.6 merupakan proses penimbangan serbuk  $Pb(NO_3)_2$  dan proses pelarutan.



Gambar 4. 6 Penimbangan Serbuk  $Pb(NO_3)_2$  dan Proses Pelarutan

*Sumber:* Dokumentasi Pribadi (2022)

Untuk langkah selanjutnya yakni membuat larutan limbah artifisial 10 ppm. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengenceran pada larutan induk sesuai jumlah limbah dan konsentrasi yang dibutuhkan. Untuk jumlah sampel limbah yang dibutuhkan pada penelitian ini sebesar 21,6 liter. Berikut untuk persamaan perhitungan pengenceran larutan induk.

$$\begin{aligned} C_1 \times V_1 &= C_2 \times V_2 \\ 1000 \text{ ppm} \times V_1 &= 10 \text{ ppm} \times 21.600 \text{ ml} \\ V_1 &= 216 \text{ ml} \end{aligned}$$

Jadi, untuk membuat 21,6 liter sampel limbah artifisial Pb membutuhkan larutan induk Pb sebesar 216 ml. Setelah itu dilakukan pengujian sampel limbah menggunakan spektrofotometri serapan atom (AAS) yang dilakukan di Laboratorium DLH Kabupaten Gresik. Hasil pengujian sampel limbah artifisial Pb yakni sebesar 7,401 mg/l. Dalam hal ini terdapat perbedaan antara perhitungan pada saat pengenceran dengan hasil uji menggunakan spektrofotometri AAS. Permasalahan ini dapat terjadi karena adanya kesalahan atau human error, sehingga konsentrasi yang dihasilkan tidak sesuai dengan perhitungan awal.

#### 4.4 Hasil Uji Adsorpsi dengan Sistem Kontinyu

##### 4.4.1 Hasil Uji Adsorpsi dengan Variasi Volume Bioadsorben pada Laju Alir 2 ml/menit

Data yang dihasilkan pada penelitian ini terdiri dari 2 macam, yakni data inlet (data kadar awal limbah artifisial sebelum dilakukan pengujian dengan sistem adsorpsi) dan data outlet (data kadar limbah artifisial setelah dilakukan pengujian dengan sistem adsorpsi). Adsorpsi dengan sistem kontinyu memiliki kelebihan yakni adsorbat akan selalu berkontak langsung dengan adsorben, sehingga proses adsorpsi dapat dilakukan secara maksimal hingga adsorben mengalami titik jenuh. Pada proses adsorpsi, perhitungan isoterm sangat penting dilakukan guna mengetahui seberapa besar adsorben dapat mengadsorpsi suatu adsorbat. Pada penelitian ini, isoterm adsorpsi yang digunakan yakni isoterm model Thomas. Isoterm model Thomas merupakan isoterm yang baik dalam menggambarkan sistem kontinyu, karena model isoterm Thomas dapat menghitung kapasitas adsorpsi dari adsorben terhadap suatu adsorbat dalam bentuk persamaan linear (Palupi, 2021).

Pada laju alir 2 ml/menit dilakukan proses adsorpsi dengan menggunakan 3 variasi volume bioadsorben yakni 15, 20 dan 25 cm. Dimana proses adsorpsi dilakukan selama 10 jam dengan cara mengalirkan sampel limbah artifisial kedalam kolom yang berisi bioadsorben dan hasilnya akan diamati setiap 2 jam sekali. Pengukuran kadar timbal (Pb) dilakukan sesuai dengan SNI 6989.8:2009 yakni menggunakan spektrofotometri serapan atom (AAS). Berikut Tabel 4.1 merupakan hasil pengujian kadar timbal (Pb) pada laju alir 2 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kadar Timbal (Pb) pada Laju Alir 2 ml/menit

Waktu Kontak (Jam)	Laju Alir (ml/menit)	Kadar Awal (Co) (mg/l)	Kadar Akhir (Ce) (mg/l)		
			15 cm	20 cm	25 cm
2	2	7,401	0,901	0,721	0,635
4	2	7,401	0,762	0,673	0,406
6	2	7,401	0,667	0,532	0,385
8	2	7,401	0,582	0,496	0,321
10	2	7,401	0,431	0,391	0,282
<b>Rata-Rata</b>			<b>0,9882</b>	<b>0,8364</b>	<b>0,7322</b>

Sumber: Hasil Analisa (2022)

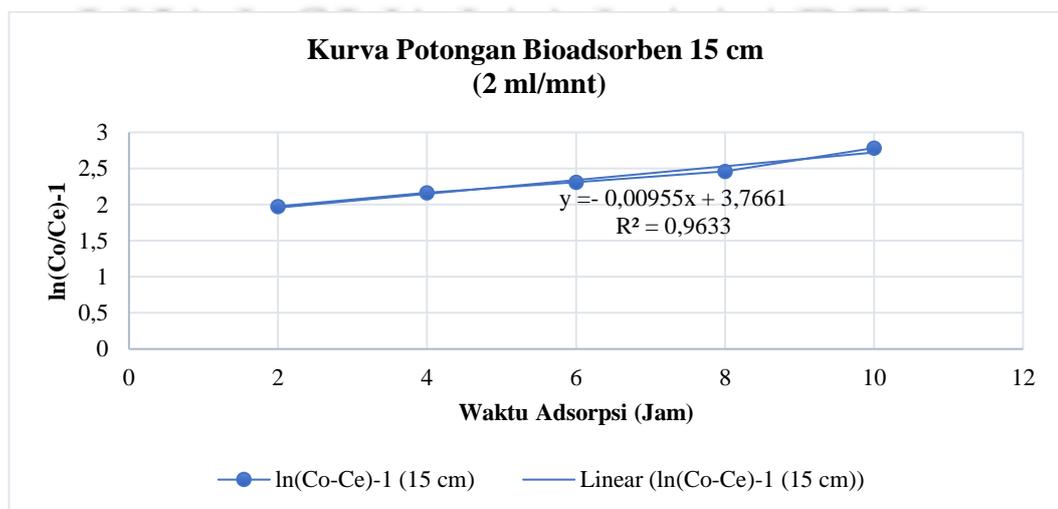
Berdasarkan Tabel 4.1 proses adsorpsi pada laju alir 2 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben menghasilkan kadar timbal (Pb) yang berbeda-beda. Untuk volume bioadsorben 15 cm, 20 cm dan 25 cm menghasilkan kadar timbal terendah secara berturut-turut yakni 0,431 mg/l, 0,391 mg/l dan 0,282 mg/l. Kadar timbal terendah pada laju alir 2 ml/menit terjadi pada jam ke 10. Penentuan kapasitas adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan yang didapatkan dari grafik linear antara waktu adsorpsi dengan  $\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right)$ , setelah itu dihitung dengan menggunakan persamaan Thomas. Untuk dapat mengetahui kapasitas adsorpsi pada laju alir 2 ml/menit maka harus dilakukan perhitungan kapasitas adsorpsi dari masing-masing variasi volume bioadsorben. Berikut perhitungan kapasitas adsorpsi menggunakan persamaan Thomas pada volume bioadsorben 15, 20 dan 25 cm dengan laju alir 2 ml/menit.

#### a) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 15 cm pada Laju Alir 2 ml/menit

Tabel 4. 2 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	2	7,401	0,901	7,213097	1,975898
4	2	7,401	0,762	8,711286	2,164619
6	2	7,401	0,667	10,09445	2,311986
8	2	7,401	0,582	11,71478	2,460851
10	2	7,401	0,431	16,16937	2,783119

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 7 Grafik Linier Volume Bioadsorben 15 cm

Sumber: Hasil Analisa (2022)

## 1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas (KTh) Volume Bioadsorben 15 cm

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_0}{Q}$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan } y &= \downarrow C + \downarrow mX \\ y &= (-0,00955x) + 3,7661 \\ C &= 3,7661 \end{aligned}$$

$$\text{Laju alir effluent (Q)} = 2 \text{ ml/menit atau } 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit}$$

$$\text{Konsentrasi influent (Co)} = 7,401 \text{ mg/l}$$

$$\begin{aligned} \text{Gradien (m)} &= \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}} \\ &= -0,00955 \times \frac{1}{0,001 \text{ liter}} \\ &= -9,55 \text{ liter} \end{aligned}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned} m &= -\frac{K_{Th} \times C_0}{Q} \\ -9,55 \text{ liter} &= -\frac{K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l}}{2 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \\ K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l} &= 9,55 \times 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\ K_{Th} &= \frac{9,55 \times 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}} \\ K_{Th} &= 0,002581 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} = 2,581 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Volume Bioadsorben 15 cm

$$\text{Massa adsorben (M)} = 95 \text{ gram}$$

$$\text{Laju alir (Q)} = 2 \text{ ml/menit atau } 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit}$$

$$\text{Konsentrasi awal (Co)} = 7,401 \text{ mg/l}$$

$$C = 3,7661$$

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$\begin{aligned} C &= \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} \\ 3,7661 &= \frac{0,002581 \times q_0 \times 95 \text{ gram}}{2 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{menit}}} \end{aligned}$$

$$0,002581 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 95 \text{ gr} = 3,7661 \times 2 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}$$

$$q_0 = \frac{3,7661 \times 2 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}}{0,002581 \times 95 \frac{\text{g.l}}{\text{menit.mg}}}$$

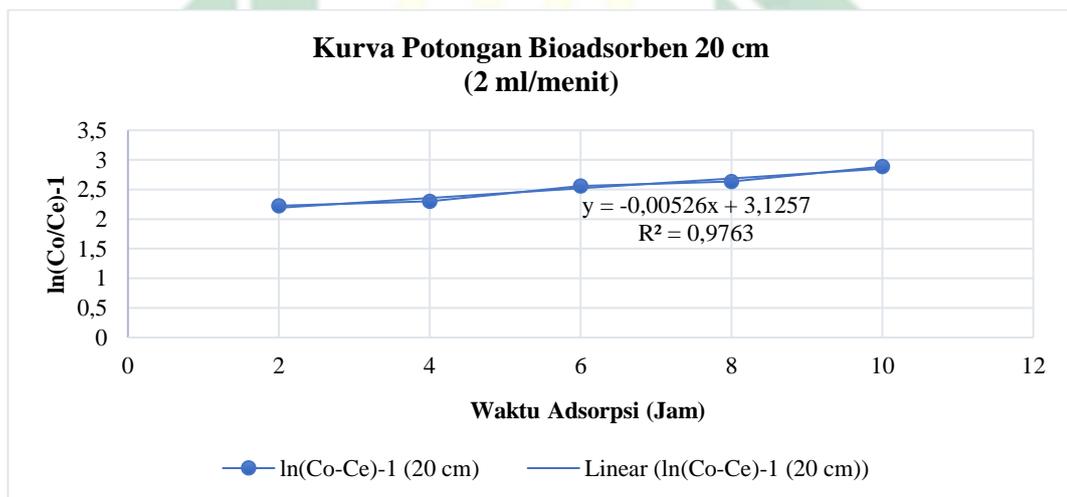
$$= 0,0307 \text{ mg/g}$$

### b) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 20 cm pada Laju Alir 2 ml/menit

Tabel 4. 3 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	2	7,401	0,721	9,26352288	2,226084
4	2	7,401	0,673	9,99554235	2,302139
6	2	7,401	0,532	12,9097744	2,557985
8	2	7,401	0,496	13,9193548	2,63328
10	2	7,401	0,391	17,9258312	2,886243

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 8 Grafik Linier Volume Bioadsorben 20 cm

Sumber: Hasil Analisa (2022)

#### 1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas (KTh) Volume Bioadsorben 20 cm

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_0}{Q}$$

$$\text{Persamaan } y = \begin{matrix} \downarrow \\ C \end{matrix} + \begin{matrix} \downarrow \\ mX \end{matrix}$$

$$y = (-0,00526x) + 3,1257$$

$$C = 3,1257$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju alir effluent (Q)} &= 2 \text{ ml/menit atau } 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 \text{Konsentrasi influent (Co)} &= 7,401 \text{ mg/l} \\
 \text{Gradien (m)} &= \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}} \\
 &= -0,00526 \times \frac{1}{0,001 \text{ liter}} \\
 &= -5,26 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned}
 m &= -\frac{KTh \times Co}{Q} \\
 -5,26 \text{ liter} &= -\frac{KTh \times 7,401 \text{ mg/l}}{2 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \\
 KTh \times 7,401 \text{ mg/l} &= 5,26 \times 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 KTh &= \frac{5,26 \times 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}} \\
 KTh &= 0,001421 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} = 1,421 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}}
 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Sistem Kontinyu

$$\begin{aligned}
 \text{Massa adsorben (M)} &= 120 \text{ gram} \\
 \text{Laju alir (Q)} &= 2 \text{ ml/menit atau } 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 \text{Konsentrasi awal (Co)} &= 7,401 \text{ mg/l} \\
 C &= 3,1257
 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

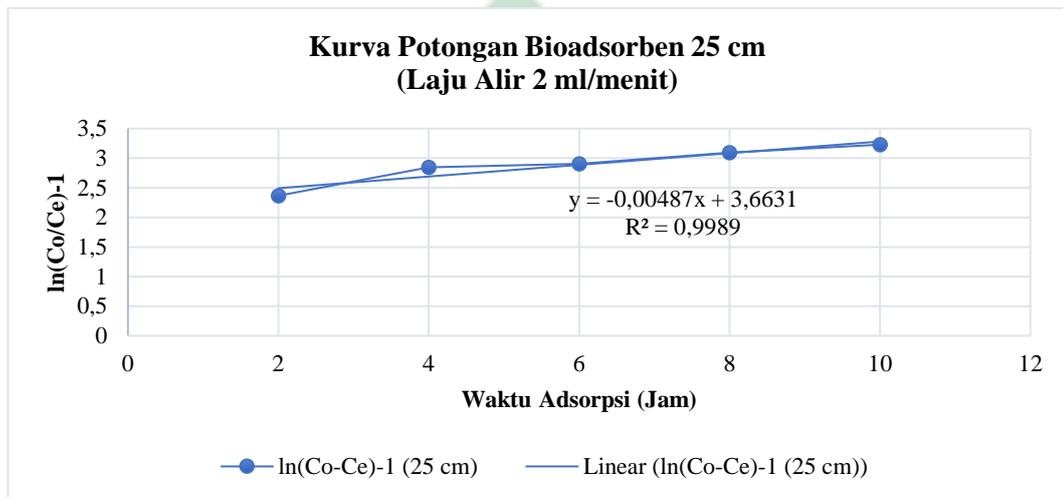
$$\begin{aligned}
 C &= \frac{KTh \times q_0 \times M}{Q} \\
 3,1257 &= \frac{0,001421 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 120 \text{ gram}}{2 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}} \\
 0,001421 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 120 \text{ gr} &= 3,1257 \times 2 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}} \\
 q_0 &= \frac{3,1257 \times 2 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}}{0,001421 \times 120 \frac{\text{g.l}}{\text{menit.mg}}} \\
 &= 0,0366 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

### c) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 25 cm pada Laju Alir 2 ml/menit

Tabel 4. 4 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	2	7,401	0,635	10,65354	2,365893
4	2	7,401	0,406	17,2266	2,846455
6	2	7,401	0,385	18,22078	2,902563
8	2	7,401	0,321	22,05296	3,093447
10	2	7,401	0,282	25,24113	3,228475

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 9 Grafik Linier Volume Bioadsorben 25 cm  
Sumber: Hasil Analisa (2022)

#### 1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas Volume Bioadsorben 25 cm

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) = \frac{KTh \times q_0 \times M}{Q} - \frac{KTh \times C_0}{Q}$$

UIN SUNAN AMPEL  
SURABAYA

Persamaan y = C + mX

$$y = (-0,00487x) + 3,6631$$

$$C = 3,6631$$

Laju alir effluent (Q) = 2 ml/menit atau  $2 \times 10^{-3}$  l/menit

Konsentrasi influent (Co) = 7,401 mg/l

$$\text{Gradien (m)} = \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}}$$

$$= -0,00487 \times \frac{1}{0,001 \text{ liter}}$$

$$= -4,87 \text{ liter}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned}
 m &= -\frac{KTh \times C_0}{Q} \\
 -4,87 \text{ liter} &= -\frac{KTh \times 7,401 \text{ mg/l}}{2 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \\
 KTh \times 7,401 \text{ mg/l} &= 4,87 \times 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 KTh &= \frac{4,87 \times 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}} \\
 KTh &= 0,001316 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} = 1,316 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}}
 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Sistem Kontinyu

$$\begin{aligned}
 \text{Massa adsorben (M)} &= 150 \text{ gram} \\
 \text{Laju alir (Q)} &= 2 \text{ ml/menit atau } 2 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 \text{Konsentrasi awal (Co)} &= 7,401 \text{ mg/l} \\
 C &= 3,6631
 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{KTh \times q_0 \times M}{Q} \\
 3,6631 &= \frac{0,001316 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 150 \text{ gram}}{2 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}} \\
 0,001316 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 150 \text{ gr} &= 3,6631 \times 2 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}} \\
 q_0 &= \frac{3,6631 \times 2 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}}{0,001316 \times 150 \frac{\text{g.l}}{\text{menit.mg}}} \\
 q_0 &= 0,0371 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

Berikut Tabel 4.5 merupakan hasil perhitungan kapasitas adsorpsi pada laju alir 2 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben.

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Pada Laju Alir 2 ml/menit

Variasi Volume Bioadsorben	Laju Alir (liter/menit)	Konstanta Kecepatan Adsorpsi (KTh) (liter/menit*mg)	Kapasitas Adsorpsi (q0) (mg/g)
15 cm (95 gram)	$2 \times 10^{-3}$	0,002581	0,0307
20 cm (120 gram)	$2 \times 10^{-3}$	0,001421	0,0366
25 cm (150 gram)	$2 \times 10^{-3}$	0,001316	0,0371

Variasi Volume Bioadsorben	Laju Alir (liter/menit)	Konstanta Kecepatan Adsorpsi (KTh) (liter/menit*mg)	Kapasitas Adsorpsi (q0) (mg/g)
<b>Rata-Rata</b>			<b>0,0348</b>

Sumber: Hasil Analisa (2022)

Berdasarkan Tabel 4.5 didapatkan hasil kapasitas adsorpsi pada laju alir 2 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben 15 cm, 20 cm dan 25 cm secara berturut-turut yakni 0,0307 mg/g, 0,0366 mg/g dan 0,0371 mg/g. Untuk nilai rata-rata kapasitas adsorpsi pada laju alir 2 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben yakni 0,0348 mg/g. Kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada volume bioadsorben 25 cm yang setara dengan massa bioadsorben 150 gram, yakni sebesar 0,0371 mg/g, dalam hal ini menunjukkan bahwa dalam setiap 1 gram bioadsorben kulit pisang kepok dapat menyerap logam timbal sebanyak 0,0371 mg/g. Menurut Alifaturrahman dan okik (2018) penambahan jumlah adsorben memiliki pengaruh yang besar dalam proses adsorpsi logam timbal. Semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan semakin besar pula luas permukaan yang terbuka, sehingga adsorbat yang teradsorpsi akan semakin banyak pula. Dalam hal ini penambahan jumlah adsorben yang besar dapat menyebabkan efisiensi penyisihan logam timbal akan semakin meningkat. Berikut Tabel 4.6 merupakan efisiensi penyisihan logam timbal pada laju alir 2 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben.

Tabel 4. 6 Efisiensi Penyisihan pada Laju Alir 2 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben.

Waktu Kontak (Jam)	Laju Alir (ml/menit)	Kadar Awal (Co) (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)		
			15 cm	20 cm	25 cm
2	2	7,401	87,8%	90,8%	91,4%
4	2	7,401	89,7%	90,9%	94,5%
6	2	7,401	91,8%	92,8%	94,8%
8	2	7,401	92,1%	93,3%	95,7%
10	2	7,401	94,2%	94,7%	96,2%
<b>Rata-Rata</b>			<b>91,0%</b>	<b>92,4%</b>	<b>94,5%</b>

Sumber: Hasil Analisa (2022)

Berdasarkan Tabel 4.6 efisiensi penyisihan kadar timbal (Pb) pada variasi volume bioadsorben 15 cm yakni berkisar 87,8% hingga 94,2% dengan rata-rata penyisihan sebesar 91,0%. Sedangkan pada volume bioadsorben 20 cm memiliki efisiensi penyisihan kadar timbal berkisar 90,8% hingga 94,7%

dengan rata-rata penyisihan sebesar 92,4%. Dan untuk volume bioadsorben 25 cm memiliki efisiensi penyisihan kadar timbal berkisar 91,4% hingga 96,2% dengan rata-rata penyisihan sebesar 94,5%. Tabel 4.6 telah memperlihatkan adanya perbedaan efisiensi penyisihan pada variasi volume bioadsorben dengan laju alir 2 ml/menit. Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 15 cm di jam ke 2, jam ke 4, jam ke 6 dan jam ke 8 mengalami peningkatan penyisihan timbal yakni masing-masing sebesar 87,8%, 89,7%, 91,8% dan 92,1%. Hingga pada jam ke 10 kapasitas penyisihan masih dapat mengalami peningkatan sebesar 2% menjadi 94,2%. Terjadinya peningkatan kapasitas penyisihan dapat membuktikan bahwa bioadsorben masih memiliki ruang yang cukup untuk proses adsorpsi sehingga proses penyisihan timbal masih dapat dilakukan (Anwar, 2020).

Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 20 cm di jam ke 2 dan jam 4 mengalami peningkatan sebesar 0,1% yakni dari 90,8% meningkat menjadi 90,9%. Untuk kapasitas penyisihan di jam ke 6, jam ke 8 dan jam ke 10 secara berturut-turut mengalami peningkatan penyisihan cukup stabil yakni 92,8%, 93,3% dan 94,7%. Dalam hal ini, proses adsorpsi masih belum menunjukkan adanya penurunan kapasitas penyisihan, sehingga bioadsorben masih memiliki ruang yang cukup untuk proses adsorpsi.

Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 25 cm dari jam ke 2 hingga jam ke 4 mengalami peningkatan yang cukup tinggi yakni dari 91,4% meningkat menjadi 94,5%. Untuk kapasitas penyisihan di jam ke 6, jam ke 8 dan jam ke 10 secara berturut-turut mengalami peningkatan penyisihan cukup stabil yakni 94,8%, 95,7 % dan 96,2%. Dalam hal ini, proses adsorpsi masih belum menunjukkan adanya penurunan kapasitas penyisihan, sehingga bioadsorben masih memiliki ruang yang cukup untuk proses adsorpsi. Proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh volume bioadsorben, semakin tinggi volume bioadsorben dan semakin rendah laju alir yang digunakan maka semakin meningkat pula proses penyisihan logam timbal. Karena laju alir yang rendah dapat memungkinkan air yang mengandung logam berat diserap secara merata pada permukaan bioadsorben (Alardhi *et al.*, 2017).

#### 4.4.2 Hasil Uji Adsorpsi dengan Variasi Volume Bioadsorben pada Laju Alir 4 ml/menit

Data yang dihasilkan pada penelitian ini terdiri dari 2 macam, yakni data inlet (data kadar awal limbah artifisial sebelum dilakukan pengujian dengan sistem adsorpsi) dan data outlet (data kadar limbah artifisial setelah dilakukan pengujian dengan sistem adsorpsi). Adsorpsi dengan sistem kontinyu memiliki kelebihan yakni adsorbat akan selalu berkontak langsung dengan adsorben, sehingga proses adsorpsi dapat dilakukan secara maksimal hingga adsorben mengalami titik jenuh. Pada proses adsorpsi, perhitungan isoterm sangat penting dilakukan guna mengetahui seberapa besar adsorben dapat mengadsorpsi suatu adsorbat. Pada penelitian ini, isoterm adsorpsi yang digunakan yakni isoterm model Thomas. Isoterm model Thomas merupakan isoterm yang baik dalam menggambarkan sistem kontinyu, karena model isoterm Thomas dapat menghitung kapasitas adsorpsi dari adsorben terhadap suatu adsorbat dalam bentuk persamaan linear (Palupi., 2021).

Pada laju alir 4 ml/menit dilakukan proses adsorpsi dengan menggunakan 3 variasi volume bioadsorben yakni 15, 20 dan 25 cm. Dimana proses adsorpsi dilakukan selama 10 jam yakni dengan cara mengalirkan sampel limbah artifisial kedalam kolom yang berisi bioadsorben dan hasilnya akan diamati setiap 2 jam sekali. Pengukuran kadar timbal (Pb) dilakukan sesuai dengan SNI 6989.8:2009 yakni menggunakan spektrofotometri serapan atom (AAS). Berikut Tabel 4.7 merupakan hasil pengujian kadar timbal (Pb) pada laju alir 4 ml/menit.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kadar Timbal (Pb) pada Laju Alir 4 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben

Waktu Kontak (Jam)	Laju Alir (ml/menit)	Kadar Awal (Co) (mg/l)	Kadar Akhir (Ce) (mg/l)		
			15 cm	20 cm	25 cm
2	4	7,401	1,467	1,352	1,228
4	4	7,401	1,224	1,037	0,996
6	4	7,401	0,937	0,772	0,531
8	4	7,401	0,527	0,343	0,328
10	4	7,401	0,786	0,678	0,578
<b>Rata-Rata</b>			<b>0,9882</b>	<b>0,8364</b>	<b>0,7322</b>

Sumber: Hasil Analisa (2022)

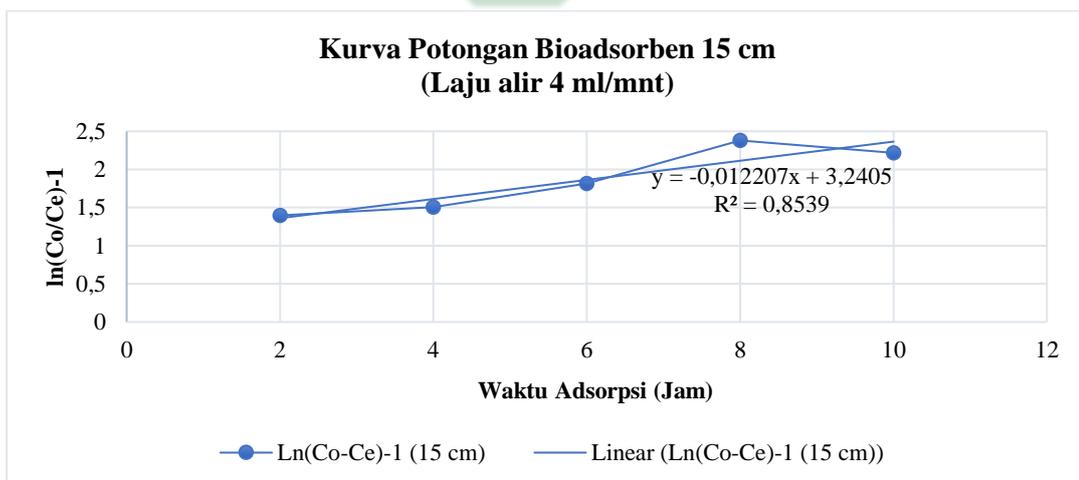
Berdasarkan Tabel 4.7 proses adsorpsi pada laju alir 4 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben menghasilkan kadar timbal (Pb) yang berbeda-beda. Untuk volume bioadsorben 15 cm, 20 cm dan 25 cm menghasilkan kadar timbal terendah secara berturut-turut yakni sebesar 0,527 mg/l, 0,343 mg/l dan 0,328 mg/l. Penentuan kapasitas adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan yang didapatkan dari grafik linear antara waktu adsorpsi dengan  $\ln\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right)$ , setelah itu dihitung dengan menggunakan persamaan Thomas. Untuk dapat mengetahui kapasitas adsorpsi pada laju alir 4 ml/menit maka harus dilakukan perhitungan kapasitas adsorpsi dari masing-masing variasi volume bioadsorben. Berikut perhitungan kapasitas adsorpsi menggunakan persamaan Thomas pada volume bioadsorben 15, 20 dan 25 cm dengan laju alir 4 ml/menit.

#### a) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 15 cm pada Laju Alir 4 ml/menit

Tabel 4. 8 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	4	7,401	1,467	4,044308	1,39731049
4	4	7,401	1,224	5,045752	1,61854663
6	4	7,401	0,937	6,897545	1,9311656
8	4	7,401	0,527	13,04175	2,56815542
10	4	7,401	0,786	8,414758	2,1299871

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 10 Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm

Sumber: Hasil Analisa (2022)

## 1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas Volume Bioadsorben 15 cm

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_0}{Q}$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan y} &= C + mX \\ y &= (-0,012207x) + 3,2045 \\ C &= 3,2045 \end{aligned}$$

Laju alir effluent (Q) = 4 ml/menit atau  $4 \times 10^{-3}$  l/menit

Konsentrasi influent (Co) = 7,401 mg/l

$$\begin{aligned} \text{Gradien (m)} &= \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}} \\ &= -0,012207 \times \frac{1}{0,001 \text{ liter}} \\ &= -12,207/\text{liter} \end{aligned}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned} m &= -\frac{K_{Th} \times C_0}{Q} \\ -12,207/\text{liter} &= -\frac{K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l}}{4 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \\ K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l} &= 12,207 \times 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\ K_{Th} &= \frac{12,207 \times 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}} \\ K_{Th} &= 0,00659 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} = 6,59 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Sistem Kontinyu

Massa adsorben (M) = 95 gram

Laju alir (Q) = 4 ml/menit atau  $4 \times 10^{-3}$  l/menit

Konsentrasi awal (Co) = 7,401 mg/l

C = 3,2045

Sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$\begin{aligned} C &= \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} \\ 3,2045 &= \frac{0,00659 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 95 \text{ gram}}{4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}} \end{aligned}$$

$$0,00659 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 95 \text{ gr} = 3,2045 \times 4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}$$

$$q_0 = \frac{3,2045 \times 4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}}{0,00659 \times 95 \frac{\text{g.l}}{\text{menit.mg}}}$$

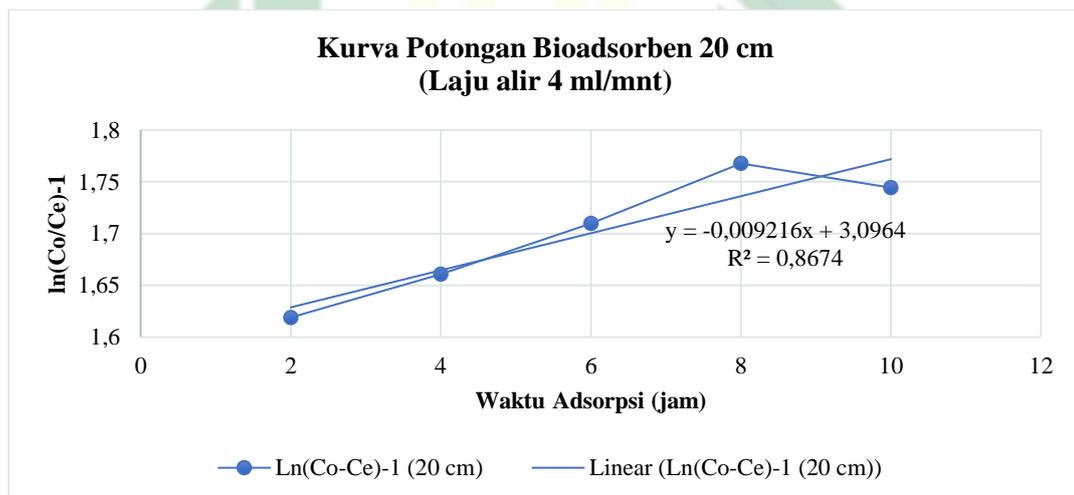
$$= 0,0204 \text{ mg/g}$$

### b) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 20 cm pada Laju Alir 4 ml/menit

Tabel 4. 9 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	4	7,401	1,352	5,048	1,618992
4	4	7,401	1,037	5,363	1,679524
6	4	7,401	0,772	5,628	1,727754
8	4	7,401	0,343	6,057	1,801215
10	4	7,401	0,678	5,722	1,744318

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 11 Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm

Sumber: Hasil Analisa (2022)

#### 1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas Volume Bioadsorben 20 cm

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_0}{Q}$$

$$\text{Persamaan } y = C + mX$$

$$y = (-0,009216x) + 3,0964$$

$$C = 3,0964$$

$$\text{Laju alir effluent (Q)} = 4 \text{ ml/menit atau } 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi influent (Co)} &= 7,401 \text{ mg/l} \\ \text{Gradien (m)} &= \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}} \\ &= -0,009216 \times \frac{1}{0,001 \text{ liter}} \\ &= -9,216/\text{liter} \end{aligned}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned} m &= -\frac{K_{Th} \times C_o}{Q} \\ -9,216/\text{liter} &= -\frac{K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l}}{4 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \\ K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l} &= 9,216 \times 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\ K_{Th} &= \frac{9,216 \times 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}} \\ K_{Th} &= 0,00498 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} = 4,98 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Sistem Kontinyu

$$\begin{aligned} \text{Massa adsorben (M)} &= 120 \text{ gram} \\ \text{Laju alir (Q)} &= 4 \text{ ml/menit atau } 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\ \text{Konsentrasi awal (Co)} &= 7,401 \text{ mg/l} \\ C &= 3,0964 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

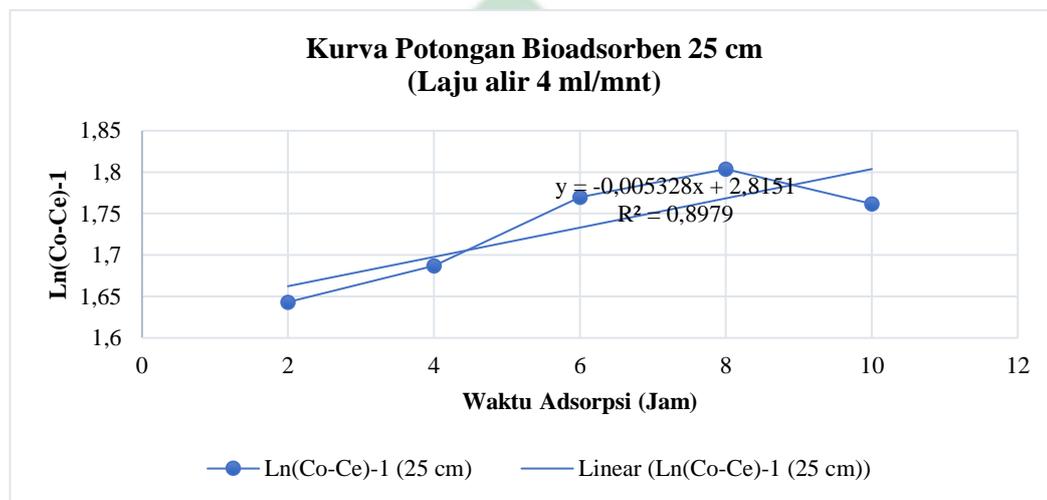
$$\begin{aligned} C &= \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} \\ 3,0964 &= \frac{0,00498 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 120 \text{ gram}}{4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}} \\ 0,00498 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 120 \text{ gr} &= 3,0964 \times 4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}} \\ q_0 &= \frac{3,0964 \times 4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}}{0,00498 \times 120 \frac{\text{g.l}}{\text{menit.mg}}} \\ &= 0,0207 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

### c) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 25 cm pada Laju Alir 4 ml/menit

Tabel 4. 10 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 25 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	4	7,401	1,228	5,172	1,64325946
4	4	7,401	0,996	5,404	1,68713942
6	4	7,401	0,531	5,869	1,76968426
8	4	7,401	0,328	6,072	1,80368804
10	4	7,401	0,578	5,822	1,76164385

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 12 Grafik Linear Volume Bioadsorben 25 cm  
Sumber: Hasil Analisa (2022)

#### 1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas Volume Bioadsorben 25 cm

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right) = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_o}{Q}$$

↓
↓

Persamaan y = C + mX

$$y = (-0,005328x) + 2,8151$$

$$C = 2,8151$$

Laju alir effluent (Q) = 4 ml/menit atau  $4 \times 10^{-3}$  l/menit

Konsentrasi influent (Co) = 7,401 mg/l

$$\begin{aligned} \text{Gradien (m)} &= \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}} \\ &= -0,005328 \times \frac{1}{0,001 \text{ liter}} \\ &= -5,328/\text{liter} \end{aligned}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned}
 m &= -\frac{K_{Th} \times C_0}{Q} \\
 -5,328/\text{liter} &= -\frac{K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l}}{4 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \\
 K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l} &= 5,328 \times 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 K_{Th} &= \frac{5,328 \times 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}} \\
 K_{Th} &= 0,00288 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} = 2,88 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}}
 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Sistem Kontinyu

$$\begin{aligned}
 \text{Massa adsorben (M)} &= 150 \text{ gram} \\
 \text{Laju alir (Q)} &= 4 \text{ ml/menit atau } 4 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 \text{Konsentrasi awal (Co)} &= 7,401 \text{ mg/l} \\
 C &= 2,8151
 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} \\
 2,8151 &= \frac{0,00288 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 150 \text{ gram}}{4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}} \\
 0,00288 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 150 \text{ gr} &= 2,8151 \times 4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}} \\
 q_0 &= \frac{2,8151 \times 4 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}}{0,00288 \times 150 \frac{\text{g.l}}{\text{menit.mg}}} \\
 &= 0,0260 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

Berikut Tabel 4.11 merupakan hasil perhitungan kapasitas adsorpsi pada laju alir 4 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben.

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Pada Laju Alir 4 ml/menit

Variasi Volume Bioadsorben	Laju Alir (liter/menit)	Konstanta Kecepatan Adsorpsi (KTh) (liter/menit*mg)	Kapasitas Adsorpsi (q0) (mg/g)
15 cm (95 gram)	$4 \times 10^{-3}$	0,00659	0,0204
20 cm (120 gram)	$4 \times 10^{-3}$	0,00498	0,0207
25 cm (150 gram)	$4 \times 10^{-3}$	0,00288	0,0260

Variasi Volume Bioadsorben	Laju Alir (liter/menit)	Konstanta Kecepatan Adsorpsi (KTh) (liter/menit*mg)	Kapasitas Adsorpsi (q0) (mg/g)
<b>Rata-Rata</b>			<b>0,0223</b>

Sumber: Hasil Analisa (2022)

Berdasarkan Tabel 4.11 didapatkan hasil kapasitas adsorpsi pada laju alir 4 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben 15 cm, 20 cm dan 25 cm secara berturut-turut yakni 0,0204 mg/g, 0,0207 mg/g dan 0,0260 mg/g. Kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada volume bioadsorben 25 cm yakni sebesar 0,0260 mg/g, dalam hal ini menunjukkan bahwa dalam setiap 1 gram bioadsorben kulit pisang kepok dapat menyerap logam timbal sebanyak 0,0260 mg/g. Dari hasil analisis diatas, dapat menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya massa adsorben yang digunakan. Semakin besar massa adsorben, gugus aktif yang terkandung akan semakin banyak dan logam yang teradsorpsi akan semakin meningkat. Sehingga proses adsorpsi yang terjadi akan semakin baik (Putri dkk., 2019).

Nilai rata-rata kapasitas adsorpsi pada laju alir 4 ml/menit yakni sebesar 0,0223 mg/g. Dalam hal ini rata-rata kapasitas adsorpsi pada laju alir 4 ml/menit memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi pada laju alir 2 ml/menit yakni sebesar 0,0348 mg/g. Besarnya kapasitas pada laju alir 2 ml/menit berkaitan dengan laju alir yang menyebabkan lamanya waktu kontak antara adsorben dengan larutan adsorbat. Dalam hal ini, semakin lambat laju alir semakin lama larutan adsorbat berkontak dengan adsorben sehingga kesempatan terjadinya suatu ikatan dengan gugus adsorben pun akan meningkat dan penyisihan konsentrasi timbal akan semakin efektif (Kristianingrum., 2020). Penambahan jumlah bioadsorben yang besar juga dapat menyebabkan efisiensi penyisihan logam timbal akan semakin meningkat. Berikut Tabel 4.12 merupakan efisiensi penyisihan logam timbal pada laju alir 4 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben.

Tabel 4. 12 Efisiensi Penyisihan Pada Laju Alir 4 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben

Waktu Kontak (Jam)	Laju Alir (ml/menit)	Kadar Awal (Co) (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)		
			15 cm	20 cm	25 cm
2	4	7,401	80,2%	81,7%	83,4%
4	4	7,401	83,5%	86,0%	86,5%
6	4	7,401	87,3%	89,6%	92,8%
8	4	7,401	92,9%	95,4%	95,6%
10	4	7,401	89,4%	90,8%	92,2%
<b>Rata-Rata</b>			<b>86,6%</b>	<b>88,7%</b>	<b>90,1%</b>

Sumber: Hasil Analisa (2022)

Berdasarkan Tabel 4.12 efisiensi penyisihan kadar timbal (Pb) pada variasi volume bioadsorben 15 cm berkisar 80,2% hingga 89,4% dengan rata-rata penyisihan sebesar 86,6%. Sedangkan pada volume bioadsorben 20 cm efisiensi penyisihan kadar timbal berkisar 81,7% hingga 90,8% dengan rata-rata penyisihan sebesar 88,7%. Dan volume bioadsorben 25 cm untuk efisiensi penyisihan kadar timbal berkisar 83,4% hingga 92,2% dengan rata-rata penyisihan sebesar 90,1%. Tabel diatas memperlihatkan adanya perbedaan kemampuan penyisihan pada variasi volume bioadsorben dengan laju alir 4 ml/menit. Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 15 cm pada jam ke 2, jam ke 4, jam ke 6 dan jam ke 8 mengalami peningkatan penyisihan timbal yakni masing-masing sebesar 80,2%, 83,5%, 87,3% dan 92,9%. Pada jam ke 10 kemampuan penyisihan limbah timbal mengalami penurunan menjadi 89,4%. Dengan menurunnya kemampuan penyisihan di jam ke 10 dapat memperlihatkan adanya titik tembus (breakpoint) yakni suatu titik dimana kadar effluennya lebih dari 10%. Tetapi penurunan kemampuan penyisihan di jam ke 10 ini masih belum dapat mencapai titik jenuh (exhaust) yakni suatu titik dimana bioadsorben sudah tidak dapat lagi menyerap limbah timbal sehingga kadar outlet akan memiliki kadar yang sama dengan inlet (Atminingtyas dkk., 2016). Volume bioadsorben 15 cm pada laju alir 4 ml/menit dapat mencapai titik breakpoint lebih cepat dibandingkan dengan volume bioadsorben 15 cm pada laju alir 2 ml/menit. Menurut Utama (2015) semakin cepat laju alir dan sedikitnya jumlah adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi dapat menyebabkan cepatnya waktu breakthrough.

Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 20 cm mengalami peningkatan dari jam ke 2, jam ke 4, jam ke 6 dan jam ke 8 yakni sebesar 81,7%, 86,0%, 89,6% dan 95,4%. Peningkatan tersebut dapat disebabkan oleh permukaan bioadsorben yang masih memiliki ruang yang cukup untuk proses adsorpsi. Pada jam ke 10 kemampuan penyisihan limbah timbal mengalami penurunan menjadi 90,4%. Tetapi penurunan penyisihan limbah timbal di jam ke 10 belum memperlihatkan adanya titik tembus (breakpoint) hal ini dapat dikarenakan kadar outlet yang kurang dari 10%.

Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 25 cm mengalami peningkatan dari jam ke 2, jam ke 4, jam ke 6 hingga jam ke 8 yakni sebesar 83,4%, 86,5%, 92,8% dan 95,6%. Peningkatan tersebut dapat disebabkan oleh permukaan bioadsorben yang masih memiliki ruang yang cukup untuk proses adsorpsi. Pada jam ke 10 kemampuan penyisihan limbah timbal mengalami penurunan menjadi 92,2%. Tetapi penurunan penyisihan limbah timbal di jam ke 10 belum memperlihatkan adanya titik tembus (breakpoint) hal ini dapat dikarenakan kadar outlet yang kurang dari 10%. Menurut Nevyana (2019) cepatnya titik tembus (breakpoint) dapat ditentukan oleh volume bioadsorben. Volume bioadsorben yang semakin tebal dapat memperlambat terjadinya titik tembus (breakpoint) dan titik jenuh (exhaust).

#### **4.4.3 Hasil Uji Adsorpsi dengan Variasi Volume Bioadsorben pada Laju Alir 6 ml/menit**

Data yang dihasilkan pada penelitian ini terdiri dari 2 macam, yakni data inlet (data kadar awal limbah artifisial sebelum dilakukan pengujian dengan sistem adsorpsi) dan data outlet (data kadar limbah artifisial setelah dilakukan pengujian dengan sistem adsorpsi). Adsorpsi dengan sistem kontinyu memiliki kelebihan yakni adsorbat akan selalu berkontak langsung dengan adsorben, sehingga proses adsorpsi dapat dilakukan secara maksimal hingga adsorben mengalami titik jenuh. Pada proses adsorpsi, perhitungan isoterm sangat penting dilakukan guna mengetahui seberapa besar adsorben dapat mengadsorpsi suatu adsorbat. Pada penelitian ini, isoterm adsorpsi yang digunakan yakni isoterm model Thomas. Isoterm model Thomas merupakan isoterm yang baik dalam menggambarkan sistem kontinyu, karena model

isoterm Thomas dapat menghitung kapasitas adsorpsi dari adsorben terhadap suatu adsorbat dalam bentuk persamaan linear (Palupi, 2021).

Pada laju alir 6 ml/menit dilakukan proses adsorpsi dengan menggunakan 3 variasi volume bioadsorben yakni 15, 20 dan 25 cm. Dimana proses adsorpsi dilakukan selama 10 jam yakni dengan cara mengalirkan sampel limbah artifisial kedalam kolom yang berisi bioadsorben dan hasilnya akan diamati setiap 2 jam sekali. Pengukuran kadar timbal (Pb) dilakukan sesuai dengan SNI 6989.8:2009 yakni menggunakan spektrofotometri serapan atom (AAS). Berikut Tabel 4.13 merupakan hasil pengujian kadar timbal (Pb) pada laju alir 6 ml/menit.

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Kadar Timbal (Pb) pada Laju Alir 6 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben

Waktu Kontak (Jam)	Laju Alir (ml/menit)	Kadar Awal (Co) (mg/l)	Kadar Akhir (Ce) (mg/l)		
			15 cm	20 cm	25 cm
2	6	7,401	1,598	1,547	1,369
4	6	7,401	1,192	0,972	0,892
6	6	7,401	0,675	0,535	0,383
8	6	7,401	0,789	0,642	0,391
10	6	7,401	0,924	0,795	0,457
<b>Rata-Rata</b>			<b>1,0356</b>	<b>0,8982</b>	<b>0,6984</b>

Sumber: Hasil Analisa (2022)

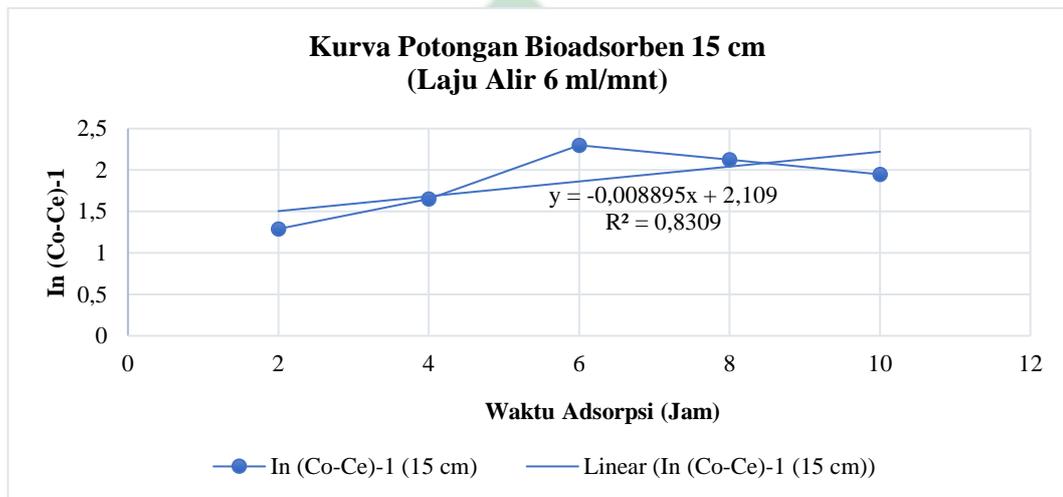
Berdasarkan Tabel 4.13 proses adsorpsi pada laju alir 6 ml/menit menghasilkan kadar timbal (Pb) yang berbeda-beda. Untuk volume bioadsorben 15 cm, 20 cm dan 25 cm menghasilkan kadar timbal terendah yakni secara berturut-turut sebesar 0,675 mg/l, 0,535 mg/l dan 0,383 mg/l. Penentuan kapasitas adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan yang didapatkan dari grafik linear antara waktu adsorpsi dengan  $\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right)$ , setelah itu dihitung dengan menggunakan persamaan Thomas. Untuk dapat mengetahui suatu kapasitas adsorpsi pada laju alir 6 ml/menit harus dilakukan perhitungan kapasitas adsorpsi dari masing-masing variasi volume bioadsorben. Berikut perhitungan kapasitas adsorpsi menggunakan persamaan Thomas pada volume bioadsorben 15, 20 dan 25 cm dengan laju alir 6 ml/menit.

a) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 15 cm pada Laju Alir 6 ml/menit

Tabel 4. 14 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	6	7,401	1,598	3,630788	1,28944984
4	6	7,401	1,192	5,208054	1,65020621
6	6	7,401	0,675	9,962963	2,29887451
8	6	7,401	0,789	8,378961	2,12572389
10	6	7,401	0,924	7,008658	1,94714624

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 13 Grafik Linear Volume Bioadsorben 15 cm

Sumber: Hasil Analisa (2022)

1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas Volume Bioadsorben 15 cm

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_0}{Q}$$

$$\text{Persamaan } y = C + mX$$

$$y = (-0,008895x) + 2,109$$

$$C = 2,109$$

$$\text{Laju alir effluent (Q)} = 6 \text{ ml/menit atau } 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}$$

$$\text{Konsentrasi influent (Co)} = 7,401 \text{ mg/l}$$

$$\text{Gradien (m)} = \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}}$$

$$= -0,008895 \times \frac{1}{0,001 \text{ liter}}$$

$$= -8,895/\text{liter}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned}
 m &= -\frac{K_{Th} \times C_0}{Q} \\
 -8,8895/\text{liter} &= -\frac{K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l}}{6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \\
 K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l} &= 8,895 \times 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 K_{Th} &= \frac{8,895 \times 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}} \\
 K_{Th} &= 0,00721 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} = 7,21 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}}
 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Sistem Kontinyu

$$\begin{aligned}
 \text{Massa adsorben (M)} &= 95 \text{ gram} \\
 \text{Laju alir (Q)} &= 6 \text{ ml/menit atau } 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\
 \text{Konsentrasi awal (Co)} &= 7,401 \text{ mg/l} \\
 C &= 2,109
 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

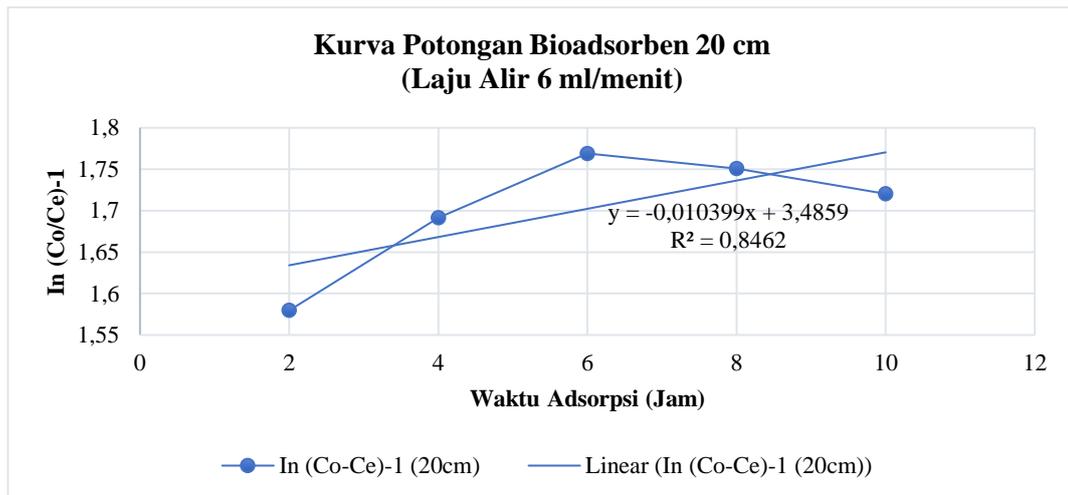
$$\begin{aligned}
 C &= \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} \\
 2,109 &= \frac{0,00721 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 95 \text{ gram}}{6 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}} \\
 0,00721 \frac{\text{L}}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 95 \text{ gr} &= 2,109 \times 6 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}} \\
 q_0 &= \frac{2,109 \times 6 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{menit}}}{0,00721 \times 95 \frac{\text{g.l}}{\text{menit.mg}}} \\
 &= 0,0184 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

### b) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 20 cm pada Laju Alir 6 ml/menit

Tabel 4. 15 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	6	7,401	1,547	4,853	1,579597
4	6	7,401	0,972	5,428	1,691571
6	6	7,401	0,535	5,865	1,769002
8	6	7,401	0,642	5,758	1,750590
10	6	7,401	0,795	5,605	1,723710

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 14 Grafik Linear Volume Bioadsorben 20 cm  
Sumber: Hasil Analisa (2022)

### 1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas Volume Bioadsorben 20 cm

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right) = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_o}{Q}$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan } y &= C + mX \\ y &= (-0,010399x) + 3,4859 \\ C &= 3,4859 \end{aligned}$$

Laju alir effluent (Q) = 6 ml/menit atau  $6 \times 10^{-3}$  l/menit

Konsentrasi influent (Co) = 7,401 mg/l

$$\begin{aligned} \text{Gradien (m)} &= \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}} \\ &= -0,010399 \times \frac{1}{0,001 \text{ liter}} \\ &= -10,399/\text{liter} \end{aligned}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned} m &= -\frac{K_{Th} \times C_o}{Q} \\ -10,399/\text{liter} &= -\frac{K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l}}{6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \\ K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l} &= 10,399 \times 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \\ K_{Th} &= \frac{10,399 \times 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}} \end{aligned}$$

$$K_{Th} = 0,00843 \frac{L}{\text{menit.mg}} = 8,43 \times 10^{-3} \frac{L}{\text{menit.mg}}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Sistem Kontinyu

$$\text{Massa adsorben (M)} = 120 \text{ gram}$$

$$\text{Laju alir (Q)} = 6 \text{ ml/menit atau } 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}$$

$$\text{Konsentrasi awal (Co)} = 7,401 \text{ mg/l}$$

$$C = 3,4859$$

Sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$C = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q}$$

$$3,4859 = \frac{0,00843 \frac{L}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 120 \text{ gram}}{4 \times 10^{-3} \frac{l}{\text{menit}}}$$

$$0,00843 \frac{L}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 120 \text{ gr} = 3,4859 \times 4 \times 10^{-3} \frac{l}{\text{menit}}$$

$$q_0 = \frac{3,4859 \times 4 \times 10^{-3} \frac{l}{\text{menit}}}{0,00843 \times 120 \frac{g \cdot l}{\text{menit.mg}}}$$

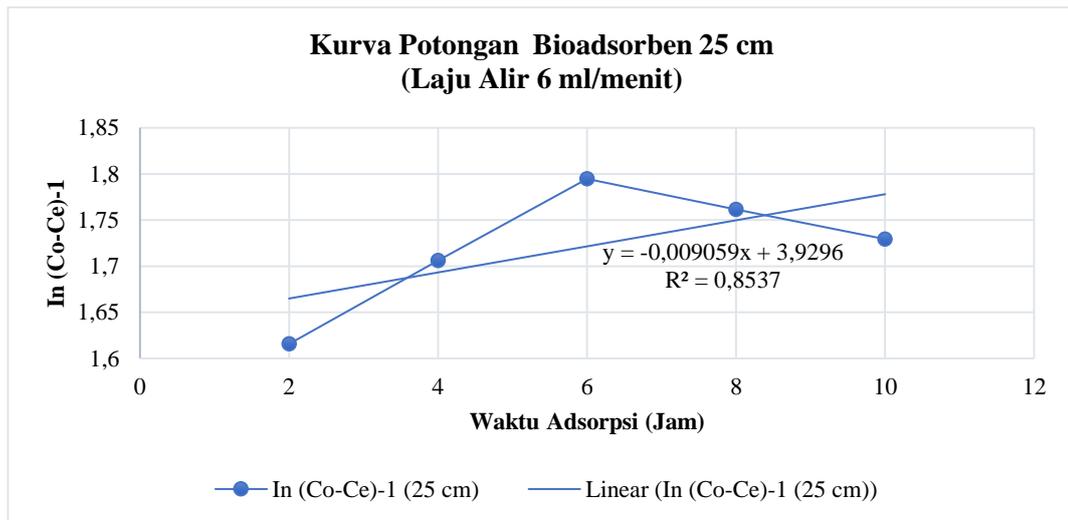
$$= 0,0206 \text{ mg/l}$$

### c) Kapasitas Adsorpsi Bioadsorben 25 cm pada Laju Alir 6 ml/menit

Tabel 4. 16 Tabel Untuk Grafik Linear Volume Bioadsorben 25 cm

Waktu Kontak	Laju Alir (ml/menit)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	(Co/Ce)-1	Ln (Co/Ce)-1
2	4	7,401	1,369	5,031	1,615619
4	4	7,401	0,892	5,508	1,706202
6	4	7,401	0,383	6,017	1,794589
8	4	7,401	0,391	6,009	1,793372
10	4	7,401	0,457	5,943	1,782252

Sumber: Hasil Analisa (2022)



Gambar 4. 15 Grafik Linear Volume Bioadsorben 25 cm  
Sumber: Hasil Analisa (2022)

#### 1. Perhitungan Konstanta Laju Thomas Volume Bioadsorben 25 cm

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right) = \frac{K_{Th} \times q_0 \times M}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_o}{Q}$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan } y &= C + mX \\ y &= (-0,009059x) + 3,9296 \\ C &= 3,9296 \end{aligned}$$

Laju alir effluent (Q) = 6 ml/menit atau  $6 \times 10^{-3}$  l/menit

Konsentrasi influent (Co) = 7,401 mg/l

$$\begin{aligned} \text{Gradien (m)} &= \frac{y}{x} = \frac{1}{\text{ml}} = \frac{1}{0,001 \text{ L}} \\ &= -0,009059x \frac{1}{0,001 \text{ liter}} \\ &= -9,059/\text{liter} \end{aligned}$$

Nilai gradien (m) digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju Thomas.

$$\begin{aligned} m &= -\frac{K_{Th} \times C_o}{Q} \\ -9,059/\text{liter} &= -\frac{K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l}}{6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}} \end{aligned}$$

$$K_{Th} \times 7,401 \text{ mg/l} = 9,059 \times 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}$$

$$K_{Th} = \frac{9,059 \times 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}}{7,401 \text{ mg}}$$

$$KTh = 0,00734 \frac{L}{\text{menit.mg}} = 7,34 \times 10^{-3} \frac{L}{\text{menit.mg}}$$

## 2. Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi Sistem Kontinyu

$$\text{Massa adsorben (M)} = 150 \text{ gram}$$

$$\text{Laju alir (Q)} = 6 \text{ ml/menit atau } 6 \times 10^{-3} \text{ l/menit}$$

$$\text{Konsentrasi awal (Co)} = 7,401 \text{ mg/l}$$

$$C = 3,9296$$

Sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$C = \frac{KTh \times q_0 \times M}{Q}$$

$$3,9296 = \frac{0,00734 \frac{L}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 150 \text{ gram}}{6 \times 10^{-3} \frac{l}{\text{menit}}}$$

$$0,00734 \frac{L}{\text{menit.mg}} \times q_0 \times 150 \text{ gr} = 3,9296 \times 6 \times 10^{-3} \frac{l}{\text{menit}}$$

$$q_0 = \frac{3,9296 \times 6 \times 10^{-3} \frac{l}{\text{menit}}}{0,00734 \times 150 \frac{g.l}{\text{menit.mg}}}$$

$$= 0,0213 \text{ mg/g}$$

Berikut Tabel 4.17 merupakan hasil perhitungan kapasitas adsorpsi pada laju alir 6 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben.

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Pada Laju Alir 6 ml/menit

Variasi Volume Bioadsorben	Laju Alir (liter/menit)	Konstanta Kecepatan Adsorpsi (KTh) (liter/menit*mg)	Kapasitas Adsorpsi (q0) (mg/g)
15 cm (95 gram)	$6 \times 10^{-3}$	0,00721	0,0184
20 cm (120 gram)	$6 \times 10^{-3}$	0,00843	0,0206
25 cm (150 gram)	$6 \times 10^{-3}$	0,00734	0,0213
<b>Rata-Rata</b>			<b>0,0201</b>

Sumber: Hasil Analisa, (2022)

Berdasarkan Tabel 4.17 didapatkan hasil kapasitas adsorpsi pada laju alir 6 ml/menit dengan variasi volume bioadsorben 15 cm, 20 cm dan 25 cm secara berturut-turut yakni 0,0184 mg/g, 0,0206 mg/g dan 0,0213 mg/g. Kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada volume bioadsorben 25 cm yakni sebesar 0,0213 mg/g, dalam hal ini menunjukkan bahwa dalam setiap 1 gram bioadsorben kulit pisang kepok dapat menyerap logam timbal sebanyak 0,0213 mg/g. Nilai rata-

rata kapasitas adsorpsi pada laju alir 6 ml/menit yakni sebesar 0,0201 mg/g. Dalam hal ini rata-rata kapasitas adsorpsi pada laju alir 6 ml/menit memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi pada laju alir 2 ml/menit dan 4 ml/menit. Laju alir yang lebih rendah, dapat menyebabkan bioadsorben memiliki waktu lebih banyak untuk berkontak dengan air limbah sehingga penghapusan atau penyerapan limbah dalam kolom lebih besar. Menurut Palupi (2021) tingginya laju alir dapat mempercepat waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat limbah timbal sehingga dapat menyebabkan bioadsorben akan cepat mengalami jenuh dan dapat menurunnya kapasitas adsorpsi.

Dari hasil analisis diatas, dapat menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya massa adsorben yang digunakan. Hal ini diperkuat oleh penelitian Asnawati, (2017) yang menyatakan bahwa dengan besarnya massa bioadsorben yang digunakan dapat memberikan peluang yang banyak untuk adsorbat dapat teradsorpsi oleh bioadsorben, sehingga kapasitas adsorpsi pun juga akan meningkat. Penambahan jumlah bioadsorben yang besar juga dapat menyebabkan efisiensi penyisihan logam timbal akan semakin besar. Berikut Tabel 4.18 merupakan efisiensi penyisihan logam timbal pada laju alir 6 ml/menit.

Tabel 4. 18 Efisiensi Penyisihan Pada Laju Alir 6 ml/menit dengan Variasi Volume Bioadsorben

Waktu Kontak (Jam)	Laju Alir (ml/menit)	Kadar Awal (Co) (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)		
			15 cm	20 cm	25 cm
2	6	7,401	78,4%	79,1%	81,5%
4	6	7,401	83,9%	86,9%	87,9%
6	6	7,401	90,9%	92,8%	94,8%
8	6	7,401	89,3%	91,3%	94,7%
10	6	7,401	87,5%	88,0%	90,4%
<b>Rata-Rata</b>			<b>86,0%</b>	<b>87,6%</b>	<b>89,9%</b>

Sumber: Hasil Analisa (2022)

Berdasarkan Tabel 4.18 efisiensi penyisihan kadar timbal (Pb) pada variasi volume bioadsorben 15 cm berkisar 78,4% hingga 87,5% dengan rata-rata penyisihan sebesar 86,0%. Sedangkan pada volume bioadsorben 20 cm efisiensi penyisihan kadar timbal berkisar 79,1% hingga 88,0% dengan rata-rata penyisihan sebesar 87,6%. Dan volume bioadsorben 25 cm untuk efisiensi

penyisihan kadar timbal berkisar 81,5% hingga 90,4% dengan rata-rata penyisihan sebesar 89,9%. Tabel diatas memperlihatkan adanya perbedaan kemampuan penyisihan pada variasi volume bioadsorben dengan laju alir 6 ml/menit. Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 15 cm mengalami peningkatan pada jam ke 2 hingga jam 6 secara berturut-turut sebesar 78,4%, 83,9% dan 90,9%. Pada jam ke 8 dan 10 kemampuan penyisihan limbah timbal mengalami penurunan menjadi 89,3% dan 87,5%. Dengan menurunnya kemampuan penyisihan di jam ke 8 dan 10 dapat memperlihatkan adanya titik tembus (breakpoint) yakni suatu titik dimana kadar effluennya lebih dari 10%. Tetapi penurunan kemampuan penyisihan di jam ke 8 dan ke 10 masih belum dapat mencapai titik jenuh (exhaust) yakni suatu titik dimana bioadsorben sudah tidak dapat lagi menyerap limbah timbal sehingga kadar inlet akan memiliki kadar yang sama dengan outlet (Atminingtyas dkk., 2016). Volume bioadsorben 15 cm pada laju alir 6 ml/menit mencapai titik breakpoint lebih cepat dibandingkan dengan volume bioadsorben 15 cm pada laju alir 2 ml/menit dan 4 ml/menit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kim *et al.*, (2019) cepatnya waktu breakpoint pada suatu adsorben dapat disebabkan oleh laju alir yang dapat mempengaruhi kinerja adsorben dalam penyerapan logam timbal. Semakin cepat laju alir yang digunakan maka semakin rendah kemampuan adsorpsinya.

Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 20 cm mengalami peningkatan dari jam ke 2, jam ke 4, jam dan ke 6 yakni sebesar 79,1%, 86,9%, dan 92,8%. Peningkatan tersebut dapat disebabkan oleh permukaan bioadsorben yang masih memiliki ruang yang cukup untuk proses adsorpsi. Pada jam ke 8, kemampuan penyisihan mengalami penurunan sebesar 91,3%. Namun, penurunan tersebut belum memperlihatkan adanya titik tembus (breakpoint) karena kadar outletnya belum mencapai 10% dari kadar inletnya. Pada jam ke 10 kemampuan penyisihan limbah timbal kembali mengalami penurunan menjadi 88,0%. Dalam hal ini, penurunan penyisihan limbah timbal di jam ke 10 telah memperlihatkan adanya titik tembus (breakpoint) yakni kadar outlet yang lebih dari 10% dari kadar inlet.

Penyisihan timbal (Pb) pada volume bioadsorben 25 cm mengalami peningkatan dari jam ke 2, jam ke 4, jam dan ke 6 yakni sebesar 81,5%, 87,9%, dan 94,8%. Peningkatan tersebut dapat disebabkan oleh permukaan bioadsorben yang masih memiliki ruang yang cukup untuk proses adsorpsi. Pada jam ke 8, penyisihan logam timbal mengalami penurunan 0,1% yakni sebesar 94,7% dan pada jam ke 10 kemampuan penyisihan limbah timbal kembali mengalami penurunan menjadi 90,4%. Tetapi penurunan penyisihan limbah timbal di jam ke 8 dan jam ke 10 belum memperlihatkan adanya titik tembus (breakpoint) hal ini dapat dikarenakan kadar outlet yang kurang dari 10%. Menurut Nevyana (2019) cepatnya titik tembus (breakpoint) dapat ditentukan oleh volume bioadsorben. Volume bioadsorben yang semakin tebal dapat memperlambat terjadinya titik tembus (breakpoint) dan titik jenuh (exhaust). Berikut Tabel 4.19 merupakan hasil kapasitas dan rata-rata efisiensi penyisihan dari 3 variasi laju alir pada 3 variasi volume bioadsorben.

Tabel 4. 19 Hasil Kapasitas Adsorpsi dari 3 Variasi Laju Alir dan 3 Variasi Volume Bioadsorben

Variasi Volume Bioadsorben	Kapasitas Adsorpsi (q0) Laju alir 2 ml/mnt	Kapasitas Adsorpsi (q0) Laju alir 4 ml/mnt	Kapasitas Adsorpsi (q0) Laju alir 6 ml/mnt
15 cm (95 gram)	0,0307	0,0204	0,0184
20 cm (120 gram)	0,0366	0,0207	0,0206
25 cm (150 gram)	0,0371	0,0260	0,0213
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,0348</b>	<b>0,0223</b>	<b>0,0201</b>

Sumber: Hasil Analisa, (2022)

Tabel 4. 20 Rata-Rata Efisiensi Penyisihan Timbal dari 3 Variasi Laju Alir pada 3 Variasi Volume Bioadsorben

Variasi Volume Bioadsorben	Rata-Rata (%) Penyisihan Laju alir 2 ml/mnt	Rata-Rata (%) Penyisihan Laju alir 6 ml/mnt	Rata-Rata (%) Penyisihan Laju alir 4 ml/mnt
15 cm (95 gram)	91,0%	86,6%	86,0%
20 cm (120 gram)	92,4%	88,7%	87,6%
25 cm (150 gram)	94,5%	90,1%	89,9%

Sumber: Hasil Analisa (2022)

Dari ketiga variasi volume bioadsorben yang digunakan, didapatkan hasil rata-rata kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan terbesar terjadi pada volume bioadsorben 25 cm. Dalam hal ini volume bioadsorben sangat mempengaruhi proses adsorpsi. Semakin tebal volume bioadsorben kulit

pisang kepok yang digunakan maka semakin banyak pula kadar timbal yang dapat diserap. Hal ini diperkuat dalam penelitian yang dilakukan oleh Harnowo dkk., (2019) dalam penelitiannya yang menggunakan sistem dinamis dengan media adsorpsi berupa arang aktif dari kulit kacang tanah menyimpulkan bahwa proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh massa adsorben yang digunakan. Semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan maka permukaan suatu adsorben yang terbuka akan semakin luas sehingga peluang adsorbat untuk dapat teradsorpsi oleh suatu adsorben akan semakin besar dan waktu breakthrough pun akan semakin lama. Dalam hal ini kapasitas adsorpsi dan efisiensi pun juga akan meningkat.

Dari ketiga variasi laju alir yang digunakan, didapatkan hasil rata-rata kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan terbesar terjadi pada laju alir 2 ml/menit. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Musafira dkk., (2016) dalam penelitiannya yang menggunakan kulit pisang sebagai adsorben ion merkuri menyimpulkan bahwa laju alir yang lambat dapat menjadikan waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat semakin lama sehingga dapat meningkatkan kapasitas dan penyisihan dalam proses adsorpsi.

Dari hasil penelitian yang dilakukan telah memperlihatkan bahwa bioadsorben yang terbuat dari limbah kulit pisang kepok mampu mengurangi kadar logam timbal dalam air limbah dengan persentase sebesar 94,5%. Hal ini telah menunjukkan bahwa limbah kulit pisang kepok bukan hanya sekedar limbah tetapi suatu bahan yang dapat memberikan kebermanfaatannya karena memiliki potensi dalam mengurangi kerusakan lingkungan. Hal ini telah tertuang dalam Q.S Ali Imran ayat 191:

الَّذِينَ يَدْعُونَ اللَّهَ قِيَا مَاؤُفْعُودًا وَعَلَّ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ

هَذَا بَاطِلًا ۖ سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya: (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi seraya berkata “Ya Tuhan kami, tidaklah engkau menciptakan semua sia-sia; Mahasuci engkau lindungilah kami dari azab neraka.”

Berdasarkan tafsir Kemenag telah dijelaskan bahwa Allah SWT tidak akan menciptakan segala sesuatu yang ada di langit dan di bumi secara sia-sia. Semua ciptaan Allah SWT memiliki kebermanfaatan, sebagaimana limbah kulit pisang kepok yang dapat dimanfaatkan sebagai bioadsorben untuk mengurangi konsentrasi timbal yang dapat menyebabkan pencemaran pada air. Dengan segala ciptaan Allah SWT yang dapat memberikan manfaat, kita sebagai makhluk ciptaan-Nya harus selalu bersyukur atas semua manfaat yang telah diberikan. Adapun bentuk rasa syukur yang dapat dilakukan yakni dengan selalu menjaga alam dari kerusakan lingkungan dan selalu berusaha untuk selalu berbenah agar menjadi lingkungan yang lebih baik. Bentuk rasa syukur atas ciptaannya merupakan suatu bentuk amal kebaikan yang dapat dilakukan dengan mudah, sebagaimana telah tertuang dalam Q. S Al-Ma'idah ayat 9 sebagai berikut:

وَعَدَا لِلَّهِ الدِّينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ لَهُمْ مَغْفِرَةٌ وَأَجْرٌ عَظِيمٌ

Artinya: Allah SWT telah menjanjikan kepada orang-orang yang beriman dan beramal saleh (bahwa) bagi mereka ampunan dan pahala yang besar.

Berdasarkan ayat di atas, berbuat kebaikan harus senantiasa dapat dilakukan meskipun dalam hal kecil karena Allah SWT selalu menjanjikan pahala yang berlipat dan ampunan dosa terhadap orang-orang yang selalu beramal kebaikan.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat ditarik disimpulkan sebagai berikut:

1. Kapasitas adsorpsi bioadsorban limbah kulit pisang dalam proses adsorpsi logam timbal sebagai berikut:
  - a) Variasi laju alir 2 ml/menit memiliki rata-rata kapasitas adsorpsi sebesar 0,0348 mg/g.
  - b) Variasi laju alir 4 ml/menit memiliki rata-rata kapasitas adsorpsi sebesar 0,0223 mg/g.
  - c) Variasi laju alir 6 ml/menit memiliki rata-rata kapasitas adsorpsi sebesar 0,0201 mg/g.
2. Efisiensi bioadsorben limbah kulit pisang kepok sebagai berikut:
  - a) Variasi laju alir 2 ml/menit dengan volume bioadsorben 15 cm, 20 cm, dan 25 cm mampu menyisihkan timbal dengan efisiensi berturut-turut sebesar 91,0%, 92,4%, dan 94,5%.
  - b) Variasi laju alir 4 ml/menit dengan volume bioadsorben 15 cm, 20 cm, dan 25 cm mampu menyisihkan timbal dengan efisiensi berturut-turut sebesar 86,6%, 88,7%, dan 90,1%
  - c) Variasi laju alir 6 ml/menit dengan volume bioadsorben 15 cm, 20 cm, dan 25 cm mampu menyisihkan timbal dengan efisiensi berturut-turut sebesar 86,6%, 87,6%, dan 89,9%

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, Adapun rekomendasi untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Setelah dikeluarkan dari oven sebaiknya bioadsorben didesikator terlebih dahulu untuk menjaga bioadsoren agar beratnya konstan dan meminimalisir terjadinya penyerapan bahan kimia pada permukaan bioadsorben.
2. Percobaan dilakukan dengan menggunakan variasi bahan aktivator untuk mendapatkan activator yang lebih baik.

3. Percobaan dilakukan dengan menggunakan variasi ukuran partikel bioadsorben.
4. Percobaan dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi limbah.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR PUSTAKA

- Alardhi, S. M., Albayati, T. M., & Alrubaye, J. M. (2020). *Adsorption of the methyl green dye pollutant from aqueous solution using mesoporous materials MCM- 41 in a fixed-bed column*. *Heliyon*, 6(1), e03253. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03253>
- Alifaturrahman, P. Dan Okik Hendriyanto. (2018). Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Untuk Menyisihkan Logam Cu. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol 8 no 2*
- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb). 12(02), 9.
- Anom Putra, I. P. K., Narwati, N., Hermiyanti, P., & Trisyanti, H. (2019). Bioadsorben Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata* L.) Dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Pada Larutan Pb. *Jurnal Penelitian Kesehatan "SUARA FORIKES" (Journal Of Health Research "Forikes Voice")*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.33846/Sf.V10i1.286>
- Anwar, A. H. (2020). Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Dan Jerami Padi Sebagai Adsorben Kadar Mangan (Mn) Dengan Sistem Kontinyu. *Uin Sunan Ampel Surabaya*
- Aprilia, M., & Ab, S. (2020). Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. 9, 12.
- Arifiyana, D., & Devianti, V. A. (2021). Biosorption Of Fe (Ii) Ions From Aqueous Solution. 2, 10
- Arifiyana, D., & Devianti, V. A. (2021). Optimization of pH and contact time adsorption of banana peels as adsorbent of Co (II) and Ni (II) from liquid solutions. *AIP Conferences Proceedings*

- Asnawati, A. (2017). Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa Terhadap Rhodamin B Dalam Sistem Dinamis. *Jurnal Kimia Riset*, 2(1), 23. <https://doi.org/10.20473/jkr.v2i1.3553>
- Atminingtyas, S., Oktiawan, W., & Wardana, I. W. (2016). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Naoh Dan Tinggi Kolom Pada Arang Aktif Dari Kulit Pisang Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Tembaga (Cu) Dan Seng (Zn) Limbah Cair Industri Elektroplating. 5(1), 11.
- Badan Pusat Statistika. (2018). *Statistika Tanaman Buah-Buahan dan Sayuran Tahunan*.
- Budiastuti, P., Raharjo, M., & Dewanti, N. A. Y. (2016). Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal Di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4, 7.
- Deviyanti., Sumiati. s., Netti, H., (2014). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Singkong terhadap Ion Logam Timbal (Pb<sup>2+</sup>). *Jurnal Chemica Vo/*. 1 5 Nomor 2
- Erawati, E., & Fernando, A. (2018). Pengaruh Jenis Aktivator Dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent Dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (Paraserianthes Falcataria). *Jurnal Integrasi Proses*, 7(2), 58. <https://doi.org/10.36055/jip.v7i2.3808>
- Fatmi, D., & Putra, B. H. (2018a). Studi Efektifitas Limbah Kulit Pisang (Musa Acuminata) Sebagai Biosorben Logam Berat Seng (Zn). 11.
- Fitriani, E L. (2020). Efektivitas Penyisihan Logam Mangan (Mn) Dengan Bioadsorben Ampas Tebu Menggunakan Sistem Kontinyu. UIN Sunan Ampel Surabaya
- Harnowo, A., Hidayah, E. N., & Janah, M. (2019). Kapasitas Adsorbansi Arang Aktif Kulit Kacang Tanah Pada Penyisihan Logam Fe. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 3(1), 53. <https://doi.org/10.31315/jmel.v3i1.2991>

- Husnawati, H., Astutik, I. Y., & Ambarsari, L. (N.D.). Karakterisasi Dan Uji Bioaktivitas Pektin Dari Kulit Pisang Kepok (Musa Balbisiana) Hasil Ekstraksi Dengan Berbagai Pelarut Asam. 10.
- Kardiman, K., La Ifa, L. I., & Rasyid, R. (2020). Pembuatan Adsorben Dari Sabut Kelapa Sebagai Penyerap Logam Berat Pb(Ii). *Iltek : Jurnal Teknologi*, 14(2), 2083–2087. <https://doi.org/10.47398/Iltek.V14i2.421>
- Kristianingrum, S., Sulistyani., Annisa, F., Endang. D S., Nur, H., (2020). Aplikasi Sistem Kontinyu Menggunakan Karbon Aktif Untuk Penurunan Kadar Logam Cu Dan Zn Dalam Air Limbah. *J. Sains Dasar*. 9(2)
- Kurniawan, W. (2016). Pemanfaatan Media Bambu Sebagai Adsorbent Penyerap Logam Timbal (Pb) Dengan Perbandingan Tanpa Aktivasi Dan Aktivasi Dengan Asam Sitrat. Universitas Islam Indonesia
- Kim, D. W., Wee, J. H., Yang, C. M., & Yang, K. S. (2019). Efficient removals of Hg and Cd in aqueous solution through NaOH-modified activated carbon fiber. *Chemical Engineering Journal*, December, 123768. <https://doi.org/10.1016/j.ccej.2019.123768>
- Leviana, W., Vita. P., (2017). Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Air Dan Aktivitas Air Dalam Bahan Pada Kunyit (Curcuma Longa) Dengan Alat Pengering Electrical Oven. *Metana*. Vol. 13(2)
- Legiso., Kiagus. A. R., (2021). Analysis Of Active Carbon Of Rice Husk And Banana Kepok Skin As Adsorbent Media In Reducing Heavy Metals Iron (Fe), Tss And Ph Atkundur River In South Sumatra. *Turkish Journal Of Computer And Mathematics Education*
- Malik, D.S., Jain, C.K., & Yadav, A.K. (2018). *Heavy Metal Removal by Fixed Bed Column- A Review*. *ChemBioEng*, 1 -8.
- Masruhin, M., Rasyid, R., & Yani, S. (2018). Penjerapan Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Lignin Hasil Isolasi Jerami Padi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.33536/Jcpe.V3i1.188>

- Musafira, M., Risman, A., & Rahim, E. A. (2016). Aplikasi Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca Formatypica*) Sebagai Adsorben Ion Merkuri (Hg). *Kovalen*, 2(1). <https://doi.org/10.22487/J24775398.2016.V2.I1.6046>
- Nevyana, F. (2019). Reduksi Kadar Mangan (Mn) Pada Air Tanah Di Sekitar Wilayah Porong Menggunakan (Manganase Greensand) Dalam Kolom Kontinyu. Uin Sunan Ampel Surabaya
- Normilawati., Fadilaturrahmah., Samsul Hadi., Normaidah. (2019). Penetapan Kadar Air Dan Kadar Protein Pada Biskuit Yang Beredar Di Pasar Banjarbaru. *Jurnal Ilmu Farmasi*. Vol 10 No 2
- Nurain, A., Sarker, P., Rahaman, Md. S., Rahman, Md. M., & Uddin, Md. K. (2021). Utilization Of Banana (*Musa Sapientum*) Peel For Removal Of Pb<sup>2+</sup> From Aqueous Solution. *Journal Of Multidisciplinary Applied Natural Science*, 1(2), 117–128. <https://doi.org/10.47352/Jmans.V1i2.89>
- Nurhaeni, N., Musafira, M., & Rahmatullah, A. (2017). Adsorpsi Ion Pb<sup>2+</sup> Menggunakan Arang Aktif Kulit Durian Dengan Metode Kolom Adsorpsi. *Kovalen*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.22487/J24775398.2017.V3.I1.8227>
- Palupi F. (2021). Penentuan Laju Alir Optimum Pada Adsorpsi Ion Logam Zn<sup>2+</sup> Dengan Zeolit-Poliakrilamid-Karboksimetil Selulosa Dalam Sistem Dinamis. UIN Syarif Hidayatullah
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). Baku Mutu Air Limbah.
- Pratiwi. D. Y., (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek* Vol 1. No 1
- Proverawati, A., Nuraeni, I., Sustriawan, B., & Zaki, I. (2019). Upaya Peningkatan Nilai Gizi Pangan Melalui Optimalisasi Potensi Tepung Kulit Pisang Raja, Pisang Kepok, Dan Pisang Ambon. 3, 15.
- Purnama, P. E. (N.D.). Kapasitas Adsorpsi Beberapa Jenis Kulit Pisang Teraktivasi Naoh Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Kimia*, 7.

- Putri, S. A., Asnawati, A., & Indarti, D. (2019a). Optimalisasi Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B Pada Hemiselulosa Dalam Sistem Dinamis. *Berkala Sainstek*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.19184/Bst.V7i1.9681>
- Rahmi, R. (N.D.). Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) Untuk Mengurangi Kadar Timbal (Pb) Dalam Limbah Cair. 9.
- Ramadhani, L. F., Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, & Erwan A. Saputro. (2020). Review: Teknologi Aktivasi Fisika Pada Pembuatan Karbon Aktif Dari Limbah Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 42–53. <https://doi.org/10.36706/Jtk.V26i2.518>
- Rejeki, D. S., Solikhati, D. I. K., & Azizah, H. (2020). Determination Of Catechin In Yellow And White Kepok Bananas By Uv Vis Spectrophotometry. 6.
- Rhomadana, A. F., Kriswandana, F., & . D. (2018). Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata* L.) Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Mangan Pada Air Sumur. *Gema Lingkungan Kesehatan*, 16(2). <https://doi.org/10.36568/Kesling.V16i2.829>
- Roni, K. A., Erna, Y., (2020). Adsorption Analysis Of Activated Carbon From Rice Husk And Kepok Banana (*Saba Banana*) Peel For Treating Ogan River Water. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol 7. No 2
- Rustanti, M. E. (2018). Aplikasi Sistem Kontinyu Menggunakan Karbon Aktif Untuk Penurunan Kadar Logam Cu Dan Zn Dalam Air Limbah. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta
- Saputri, C. A. (2020). Kapasitas Adsorpsi Serbuk Nata De Coco (Bacterial Sellulose) Terhadap Ion Pb<sup>2+</sup> Menggunakan Metode Batch. *Jurnal Kimia*, 71. <https://doi.org/10.24843/Jchem.2020.V14.I01.P12>
- Setiaty Pandia & Budi Warman. (2017). Pemanfaatan Kulit Jengkol Sebagai Adsorben Dalam Penyerapan Logam Cd (Ii) Pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 5(4), 57–63. <https://doi.org/10.32734/Jtk.V5i4.1556>

- Sylvia, N., Yogi, A W., Masrullita., Ferri, A., (2021). Efektivitas Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot Esculenta Crantz*) Terhadap Adsorpsi Ion Logam  $Fe^{2+}$  Dengan Aktivator Naoh Efektivitas Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot Esculenta Crantz*) Terhadap Adsorpsi Ion Logam  $Fe^{2+}$  Dengan Aktiv Naoh. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 10-2
- Sylvia. N., Meriatna., Lukman, H., Fitriai., Anisma, F., (2017). Kinerja Kolom Adsorpsi Pada Penjerapan Timbal ( $Pb^{2+}$ ) Dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit. *Jurnal Integrasi Proses* Vol. 6, No. 4
- Song, M., Wei, Y., Cai, S., Yu, L., Zhong, Z., & Jin, B. (2018b). Study On Adsorption Properties And Mechanism Of  $Pb^{2+}$  With Different Carbon Based Adsorbents. *Science Of The Total Environment*, 618, 1416–1422. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.268>
- Utama, T.T. (2015). Biosorpsi Krom Heksavalen Menggunakan Mikroalga Amobil Dalam Sistem Kontinyu. *Institit Teknologi Bandung*
- Wardani. S., Elvitriana., Vera. V., (2017). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepo (*Musa Acuminate L*) Sebagai Karbon Aktif Yang Teraktivasi  $H_2SO_4$ . *Semdi-Unaya*
- Widayatno, T., Yuliawati, T., & Susilo, A. A. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dari Limbah Cair Dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. 1(1), 7.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A