

**EFISIENSI BIOADSORBEN BATANG PISANG (*Musa sp.*) DALAM MEREDUKSI
KONSENTRASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) PADA AIR LIMBAH ARTIFISIAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Melengkapi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Program
Studi Teknik Lingkungan



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun oleh:

RAFIKA AFKARIANA BALQIS

H75217062

Dosen Pembimbing:

Sarita Oktorina, M.Kes

Amrullah, M.Ag

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rafika Afkariana Balqis

Nim : H75217062

Program Studi : Teknik Lingkungan

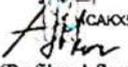
Angkatan : 2017

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiasi dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul "**Efisiensi Bioadsorben Batang Pisang (*Musa Sp.*) Dalam Mereduksi Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Limbah Artifisial**". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 13 Juli 2023

Yang menyatakan


(Rafika Afkariana Balqis)
NIM. H75217062

METERAI TEMPEL
CAK0571932971

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING
SIDANG TUGAS AKHIR

Nama : Rafika Afkariana Balqis
NIM : H75217062
Judul Tugas Akhir : **“ EFISIENSI KARBON AKTIF BATANG PISANG (*Musa sp.*) DALAM MEREDUKSI KONSENTRASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) PADA AIR LIMBAH ARTIFISIAL”**

Telah disetujui untuk pendaftaran Tugas Akhir

Surabaya, 26 Juni 2023

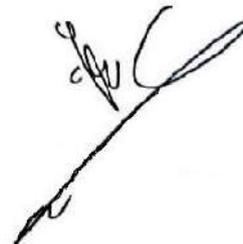
Dosen Pembimbing 1



Sarita Oktorina, M. Kes.

NIP. 198710052014032003

Dosen Pembimbing 2



Amrullah, M. Ag.

NIP. 197309032006041001

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Dokumen Tugas Akhir Oleh:

Nama : Rafika Afkariana Balqis

Nim : H75217062

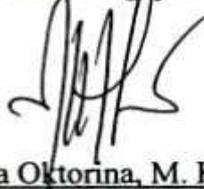
Judul : "Efisiensi Bioadsorben Batang Pisang (*Musa Sp.*) Dalam Mereduksi Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Limbah Artifisial"

Telah dipertahankan didepan penguji tugas akhir

Surabaya, 7 Juli 2023

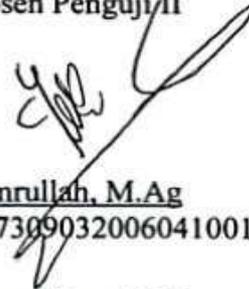
Mengesahkan,
Dewan Penguji,

Dosen Penguji I



Sarita Oktorina, M. Kes
NIP. 198710052014032003

Dosen Penguji II



Amrullah, M. Ag
NIP. 197309032006041001

Dosen Penguji III



Ir. Sulistiya Nengse, S.T., M.T
NIP. 199010092020122019

Dosen Penguji IV



Dedy Supravogi, S.KM., M.KL
NIP. 198512112014031002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Surabaya



Hamdani, M.Pd.
NIP. 196507321000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : RAFIKA AFKARIANA BALQIS
NIM : H75217062
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : rafikaafkariana@gmail.com

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

Skripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul:

**EFISIENSI KARBON AKTIF BATANG PISANG (*MUSA Sp.*) DALAM MEREDUKSI
KONSENTRASI OGAM BERAT TIMBAL (PB) PADA AIR LIMBAH ARTIFISIAL**

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, 14 Juli 2023

Penulis



(Rafika Afkariana Balqis)

ABSTRAK

EFISIENSI BIOADSORBEN BATANG PISANG (*Musa sp.*) DALAM MEREDUKSI KONSENTRASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) PADA AIR LIMBAH ARTIFISIAL

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat mendorong peningkatan akumulasi pencemaran di lingkungan salah satunya berasal dari sektor industri. Limbah hasil kegiatan produksi jika tidak melalui proses pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan. Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat non-esensial, yaitu logam berat yang termasuk dalam kategori beracun dan dapat menimbulkan banyak efek negatif bagi kesehatan manusia maupun lingkungan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (PerMenLHK) Nomor 5 Tahun 2022, konsentrasi Pb maksimum yang terkandung dalam air limbah ditetapkan sebesar 1 mg/L. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bioadsorben batang pisang terhadap logam timbal (Pb) menggunakan sistem batch serta untuk mengetahui perbedaan antara variasi kontak dan massa terhadap penurunan Pb. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan variasi massa adsorben yang digunakan masing - masing 4 gram, 5 gram, 6 gram sedangkan variasi waktu kontak adsorben yang digunakan yaitu 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada variasi massa adsorben 6 gram, menghasilkan efisiensi penyerapan paling tinggi yaitu sebesar 93,64% dan variasi waktu kontak pada menit ke 150 menghasilkan efisiensi penyerapan sebesar 93,64%. Penentuan model Isoterm dilakukan dengan menghitung nilai regresi pada tiap isoterm. Berdasarkan hasil perhitungan, Isoterm Langmuir memiliki nilai regresi sebesar 0,9613. Sedangkan nilai regresi Isoterm Freundlich sebesar 0,087. Model Isoterm Langmuir dipilih untuk adsorpsi logam berat Pb dengan bioadsorben batang pisang dikarenakan memiliki nilai regresi yang mendekati 1 yaitu $R^2 = 0,9613$.

Kata Kunci: Bioadsorben Batang Pisang, Efisiensi, Timbal (Pb), Isoterm Langmuir dan Freundlich

ABSTRACT

EFFICIENCY OF BANANA STEM (Musa Sp.) BIOADSORBENT TO REDUCE HEAVY METAL LEAD (PB) CONCENTRATIONS IN ARTIFICIAL WASTEWATER

The development of science and technology can encourage an increase in the accumulation of pollution in the environment, one of which comes from the industrial sector. If the waste from production activities does not go through a pre-processing process, it can cause a decrease in environmental quality. Lead (Pb) is a non-essential heavy metal, which is a heavy metal that is included in the toxic category and can cause many negative effects on human health and the environment. The maximum amount of lead found in wastewater is established at 1 mg/L according to Regulation of the Minister of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia (PerMenLHK) Number 5 of 2022. This study aims to determine the ability of banana stem bioadsorbents to reduce lead metal (Pb) using a batch system and to determine the differences between contact and mass variations on Pb reduction. This study was an experimental study using a variation of the adsorbent mass used, respectively 4 grams, 5 grams, and 6 grams, while the variation of the adsorbent contact time used was 60 minutes, 90 minutes, 120 minutes, and 150 minutes. From the research results, it is known that the 6 gram adsorbent mass variation produces the highest absorption efficiency of 93.64%, and the contact time variation at 150 minutes produces an absorption efficiency of 93.64%. Isotherm model determination is done by calculating the regression value for each isotherm. According to the calculations, the regression value for the Langmuir isotherm is 0.9613. and the Freundlich Isotherm has a regression value of 0.087. For the adsorption of heavy metal Pb with banana stem bioadsorbent, the Langmuir isotherm model was selected because the regression value it close to 1, which is $R^2 = 0,9613$.

Keywords: Banana Stem Bioadsorbent, efficiency, Plumbum (Pb), Isoterm Langmuir and Freundlich.

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I: PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II: TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Air Limbah	7
2.1.1 Air Limbah Industri	7
2.1.2 Baku Mutu Air Limbah.....	9
2.2 Logam Berat Pb Dalam Air Limbah Industri.....	10
2.2.1 Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb)	11
2.2.2 Mekanisme Pencemaran Logam Berat Timbal di Perairan .	12
2.3 Adsorpsi.....	13
2.3.1 Jenis-Jenis Adsorpsi.....	14
2.3.2 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi.....	15
2.3.3 Kapasitas Adsorpsi.....	18
2.3.4 Kinetika Adsorpsi	18
2.4 Isoterm Adsorpsi	19
2.5 Adsorben.....	21
2.6 Bioadsorben.....	22
2.7 Batang Pisang Sebagai Bioadsorben	25
2.8 Aktivator HCL.....	27

2.9	Adsorpsi Sistem Batch	28
2.10	Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	29
2.11	Penelitian Terdahulu.....	29
BAB III: METODE PENELITIAN		35
3.1	Jenis Penelitian	35
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.3	Kerangka Pikir Penelitian.....	36
3.4	Tahapan Penelitian	36
3.4.1	Rancangan Percobaan	39
3.4.2	Variabel Penelitian.....	40
3.4.3	Alat dan Bahan.....	40
3.4.4	Prosedur Penelitian	40
3.4.5	Prosedur Analisis	44
3.4.6	Desain Reaktor.....	46
3.5	Hipotesis Penelitian	46
3.6	Metode Analisis Data	47
BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN.....		51
4.1	Preparasi Bioadsorben	51
4.1.1	Persiapan Batang Pisang	51
4.1.2	Proses Pembuatan Bioadsorben	55
4.1.3	Proses Aktivasi Karbon.....	61
4.1.4	Pembuatan Limbah Artifisial	64
4.1.5	Perancangan Reaktor.....	66
4.2	Analisis Adsorpsi Pb Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang	67
4.2.1	Adsorpsi Pb dengan Variasi Massa dan Waktu Kontak	68
4.2.2	Efisiensi Adsorpsi Pb dengan Variasi Massa dan Waktu Kontak	71
4.2.3	Kapasitas Adsorpsi (Q_e) Pb dengan Variasi Massa dan Waktu Kontak	74
4.3	Permodelan Isoterm Adsorpsi	78
4.4.1	Model Isoterm Langmuir	78
4.4.2	Model Isoterm Freundlich.....	82
4.4.3	Pemilihan Model Isoterm Adsorpsi	86
4.4	Pengujian Hipotesis	87
4.4.1	Uji Normalitas.....	87
4.4.2	Uji Homogenitas	89

4.4.3 Penentuan Jenis Uji Statistik.....	90
4.5 Penelitian Menurut Perspektif Islam	91
BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN.....	101



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Grafik Isoterm Langmuir	20
Gambar 2. 2	Grafik Isoterm Adsorpsi Freundlich	21
Gambar 2. 3	Karbon Aktif	23
Gambar 2. 4	Reaktor Batch.....	29
Gambar 3. 1	Diagram Kerangka Pikir.....	37
Gambar 3. 2	Diagram Tahapan Penelitian	38
Gambar 3. 3	Reaktor Batch dengan <i>Magnetic Stirrer</i>	46
Gambar 4. 1	Batang pisang.....	51
Gambar 4. 2	Batang pisang yang dipisahkan tiap helai	52
Gambar 4. 3	Batang pisang yang dipotong hingga kecil	52
Gambar 4. 4	Batang Pisang Setelah Dijemur.....	53
Gambar 4. 5	Proses Pengovenan.....	53
Gambar 4. 6	Hasil Pengovenan.....	54
Gambar 4. 7	Reaktor Batch dengan <i>Magnetic Stirrer</i>	66
Gambar 4. 8	Grafik Diagram Batang Uji Kadar Pb Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang	69
Gambar 4. 9	Grafik Diagram Garis Uji Kadar Pb Air Limbah Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang. 69	69
Gambar 4. 10	Grafik Diagram Batang Efisiensi Adsorpsi Pb (%)	73
Gambar 4. 11	Grafik Diagram Garis Efisiensi Adsorpsi Pb (%)	73
Gambar 4. 12	Grafik Diagram Batang Kapasitas Adsorpsi (Q_e) Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang..	76
Gambar 4. 13	Grafik Diagram Garis Kapasitas Adsorpsi (Q_e) Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang..	77
Gambar 4. 14	Grafik Isoterm Langmuir dengan Bioadsorben Batang Pisang...	80
Gambar 4. 15	Grafik Isoterm Freundlich dengan Bioadsorben Batang Pisang.	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya.....	9
Tabel 2. 2	Standar Kualitas Bioadsorben Sesuai	23
Tabel 2. 3	Standar Kualitas Bioadsorben Sesuai	26
Tabel 2. 4	Penelitian Terdahulu	30
Tabel 3. 1	Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	36
Tabel 3. 2	Rancangan Percobaan	39
Tabel 4. 1	Proses Karbonisasi Batang Pisang	55
Tabel 4. 2	Hasil Pengukuran Kadar Air Pada Karbon Batang Pisang	58
Tabel 4. 3	Hasil Pengukuran Kadar Abu pada Karbon Batang Pisang.....	60
Tabel 4. 4	Proses Aktivasi Batang Pisang	63
Tabel 4. 5	Data Uji Kadar Pb dalam Air Limbah Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang.....	68
Tabel 4. 6	Nilai Efisiensi Adsorpsi Pb dengan Variasi Massa dan Waktu	72
Tabel 4. 7	Kapasitas Adsorpsi Berdasarkan Variasi Massa dan Waktu	75
Tabel 4. 8	Data Model Isoterm Langmuir Variasi Massa dan Waktu Kontak dengan Bioadsorben Batang Pisang.....	79
Tabel 4. 9	Data Model Isoterm Freundlich Variasi Massa dan Waktu Kontak dengan Bioadsorben Batang Pisang.....	83
Tabel 4. 10	Perbandingan Pengolahan Data antara Isoterm Langmuir dengan Isoterm Freundlich.....	86
Tabel 4. 11	Uji Normalitas Hasil Penyerapan Pb Berdasarkan Waktu Kontak Dan Massa Bioadsorben	88
Tabel 4. 12	Uji Homogenitas Hasil Penyerapan Pb Berdasarkan Waktu Kontak dan massa bioadsorben	89
Tabel 4. 13	Hasil Uji Statistik Repeated Measure Anova	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat mendorong peningkatan akumulasi pencemaran di lingkungan salah satunya berasal dari sektor industri. Sumber pencemaran yang berasal dari aktivitas industri dapat mencemari air, tanah, maupun udara. Limbah hasil kegiatan produksi jika tidak melalui proses pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan (Karim, 2017).

Limbah merupakan sisa zat dari suatu usaha maupun kegiatan yang mengandung bahan berbahaya yang karena konsentrasi, sifat dan jumlahnya baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemari lingkungan dan kelangsungan hidup makhluk hidup (MenLH, 2020). Limbah dapat berupa padatan, cairan maupun dalam bentuk gas. Limbah cair sendiri terbagi mejadi dua jenis yaitu limbah organik dan anorganik. Suatu senyawa dalam limbah anorganik yang sering ditemui dalam badan air yaitu logam berat. Beberapa jenis logam berat berbahaya yang sering ditemukan di lingkungan perairan antara lain: Timbal (Pb), Arsenik (As), Nikel (Ni), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Merkuri (Hg), Tembaga (Cu) dan Besi (Fe) (Ifanda, 2019).

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat non-esensial, yaitu logam berat yang termasuk dalam kategori beracun dan dapat menimbulkan banyak efek negatif bagi kesehatan manusia maupun lingkungan. Senyawa Pb masuk kedalam perairan melalui air buangan industri maupun domestik. Pb banyak digunakan oleh industri sebagai bahan baku pembuatan material, pelapisan logam, industri peleburan baja dan industri keramik (Imtitsal, 2015). Sehingga potensi keberadaannya sangat besar dalam perairan. Pengaruh konsentrasi Pb yang berlebihan dalam air dapat menimbulkan terganggunya kesehatan manusia seperti kerusakan susunan saraf, terganggunya sistem imunitas, sistem kardiovaskular, sistem reproduksi, anemia berat, dan kerusakan ginjal jika terakumulasi dalam kurun waktu yang lama (Wiyanto & dkk, 2014). Air yang tercemar logam berat membutuhkan perhatian intens

karena jika dibiarkan dalam jangka waktu panjang akan menimbulkan permasalahan lingkungan yang kompleks sehingga sulit untuk diatasi.

Peringatan tentang larangan merusak alam dan makhluk hidup didalamnya telah diturunkan oleh Allah jauh sebelum adanya kemajuan teknologi seperti pada masa sekarang ini. Dalam Al-Quran surat al-A'raf [7]:56 Allah Berfirman:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ٥٦

Artinya: “Dan janganlah engkau berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut serta penuh harap. Sesungguhnya Allah memberi rahmat kepada orang-orang yang berbuat kebaikan” (Al-Quran dan Terjemah, 2023).

Pada ayat tersebut telah dijelaskan bahwa Allah telah memperingatkan pada hamba-hambanya untuk senantiasa menjaga keseimbangan alam tanpa merusaknya. Karena Allah hanya memberikan rahmat kepada hamba-hamba yang bertaqwa dan beriman kepada-Nya. Allah juga senantiasa mengingatkan agar selalu berdoa kepada-Nya karena takut akan hukuman-Nya serta berharap akan pahala dan ampunan-Nya. Berdasarkan QS Al-Hijr ayat 19 dan 20, Allah juga telah menciptakan sumber daya alam yang melimpah untuk kemakmuran dan kesejahteraan umat manusia. Berikut firman Allah dalam surat Al-Hijr [15]:19-20

وَالْأَرْضَ مَدَدْنَا فِيهَا رَوَاسِيَ وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ مَّوْزُونٍ ١٩
وَجَعَلْنَا لَكُمْ فِيهَا مَعَايِشَ وَمَنْ لَسْتُمْ لَهُ بِرَازِقِينَ ٢٠

Artinya: “Dan kami telah menghamparkan bumi dan menjadikan padanya gunung-gunung dan kami tumbuhkan padanya segala sesuatu yang menurut ukuran. Dan kami telah menjadikan untukmu di bumi keperluan-keperluan hidup. Dan (Kami menciptakan pula) makhluk-makhluk yang bukan pemberi rezeki kepadanya” (Al-Quran dan Terjemah, 2023).

Dari ayat diatas dapat disimpulkan bahwa sebagai hamba yang beriman kita perlu menjaga amanat yang telah di berikan Allah kepada kita untuk senantiasa memanfaatkan serta mengelola sumber daya alam dengan baik.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (PerMenLHK) Nomor 5 Tahun 2022 tentang pengolahan air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pertambangan dengan menggunakan metode lahan basah buatan, konsentrasi Pb maksimum yang terkandung dalam air limbah ditetapkan sebesar 1 mg/L. Sedangkan dari hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Salindra, dkk (2021) menyatakan bahwa konsentrasi Pb dalam air sumur yang terletak di sekitar industri kertas X yaitu sebesar 4,247 mg/L. Kandungan Pb tersebut telah melebihi kadar maksimum yang telah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sehingga perlu dilakukan upaya pengolahan air yang tercemar logam berat timbal (Pb) sebelum dibuang ke badan air.

Pengolahan air limbah menjadi air bersih dapat dilakukan dengan tiga cara yakni pengolahan secara fisik, kimia, dan biologi. Pengolahan yang paling sederhana, tidak membutuhkan biaya besar serta sesuai untuk diaplikasikan dalam skala kecil adalah pengolahan secara fisik, salah satunya adalah dengan menggunakan adsorpsi. Adsorpsi merupakan fenomena fisik yang terjadi ketika molekul-molekul gas maupun cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan yang berpori sehingga terjadi suatu gaya tarik menarik (*Van der waals*) antara padatan (adsorben) dengan molekul/zat pencemar yang diserap (adsorbat) (Rosydiana, 2015). Adsorpsi secara fisika dapat dilakukan dengan menggunakan bioadsorben. Pemilihan adsorben yang baik adalah adsorben yang memiliki luas permukaan dan volume pori yang besar (Asih, 2014).

Indonesia menjadi salah satu negara dengan produksi tanaman pisang terbesar di dunia. Berdasarkan data dari FAO (*Food and Agriculture Organization*) tahun 2019, Indonesia menjadi negara dengan posisi ke tiga penghasil pisang terbesar di dunia. Menurut Direktorat Jendral Hortikultura produksi pisang di Indonesia mencapai 7.280.658 ton pada tahun 2019. Tanaman pisang merupakan bahan yang banyak ditemukan, ketersediaanya melimpah di alam dan dapat diperbarui. Bagian batang pada tanaman pisang dapat berpotensi menjadi sampah perkebunan karena sebagian besar masyarakat hanya memanfaatkan bagian buah dan daunnya, sedangkan

bagian batangnya sebagai kecil dimanfaatkan sebagai campuran pakan ternak dan sisanya dibiarkan.

Bahan baku yang dapat dimanfaatkan sebagai bioadsorben adalah bahan yang memiliki kandungan selulosa (Suziyana & Daud, 2017). Batang pisang memiliki komposisi kimia dengan kadar selulosa yang tinggi dan lignin yang rendah. Kandungan selulosa pada batang pisang kering mencapai 60-65% (Rahman, 2006). Karena adanya kandungan selulosa tersebut, batang pisang dapat menjadi bahan baku bioadsorben. Sebab, Selulosa yang memiliki rumus $C_6H_{10}O_5$ jika dilakukan pembakaran dalam suhu tinggi akan kehilangan atom hidrogen dan oksigen sehingga yang tersisa adalah unsur karbon (Muna, 2011). Sedangkan kandungan lignin yaitu sebesar 5-10 %. Semakin sedikit kandungan lignin maka semakin baik kualitas bioadsorben, sebab lignin dapat membentuk senyawa tar ketika melalui proses karbonisasi sehingga dapat mempengaruhi kemampuan adsorpsi (Yuliono,dkk, 2014).

Penelitian terdahulu tentang bioadsorben batang pisang telah banyak dilakukan, salah satunya oleh Suziyana, (2017). Hasil dari penelitian tersebut dapat menyisihkan Fe sebesar 80,31% dengan waktu kontak 30 menit dan massa adsorben 2,5 gram. Hal tersebut membuktikan bahwa bioadsorben dari batang pisang dapat digunakan sebagai bioadsorben.

Penelitian tugas akhir ini dilakukan agar dapat mengetahui kemampuan optimum bioadsorben batang pisang dalam mengadsorpsi kandungan Pb dengan variasi massa bioadsorben dan waktu kontak menggunakan reaktor batch.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka permasalahan yang timbul dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa lama waktu kontak adsorpsi optimum yang dibutuhkan bioadsorben batang pisang untuk mereduksi kadar Pb dalam air limbah artifisial?
2. Berapa gram massa bioadsorben dari batang pisang yang paling optimum dalam mengadsorpsi Pb dalam air limbah artifisial?

3. Apakah ada perbedaan antara variasi kontak dan massa terhadap penurunan Pb air limbah artifisial?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui waktu kontak adsorpsi optimum yang dibutuhkan bioadsorben batang pisang untuk mereduksi kadar Pb dalam air limbah artifisial.
2. Mengetahui massa bioadsorben batang pisang paling optimum dalam mengadsorpsi Pb dalam air limbah artifisial.
3. Mengetahui perbedaan variasi kontak dan massa terhadap penurunan Pb dalam air limbah artifisial.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pihak - pihak terkait. Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Bagi Akademisi
 - a. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dan sumber informasi bagi Mahasiswa Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya untuk menambah ilmu dan wawasan tentang adsorpsi logam Pb dengan memanfaatkan bioadsorben batang pisang.
 - b. Memberikan informasi tentang waktu kontak dan massa bioadsorben dari batang pisang yang paling optimum dalam mengadsorpsi logam Pb.
 - c. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai acuan dalam melakukan pengembangan penelitian berikutnya terutama tentang adsorpsi logam Pb dengan memanfaatkan bioadsorben batang pisang.
2. Manfaat Bagi Instansi

Manfaat yang diperoleh instansi dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai sasaran untuk meningkatkan pengetahuan dan wawasan terutama bagi mahasiswa UIN Sunan Ampel Surabaya terkait “Efisiensi

Bioadsorben Batang Pisang (*Musa Sp.*) Dalam Mereduksi Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Limbah Artifisial”.

3. Manfaat Bagi Masyarakat

Manfaat yang diperoleh masyarakat terkait hasil dari penelitian ini adalah dapat menyumbangkan informasi dan pengetahuan tentang metode pengolahan yang tekontaminasi Pb dengan mengkonversi batang pisang menjadi bioadsorben.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai beberapa ruang lingkup atau batasan dalam melakukan penelitian, diantaranya yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Adsorben yang di gunakan adalah batang pisang kapok.
3. Senyawa yang diadsorpsi adalah senyawa Pb pada reaktor batch dengan variasi waktu kontak adsorpsi dan massa adsorben.
4. Penelitian ini hanya menggunakan satu jenis aktivator dengan satu varian konsentrasi saja yaitu HCL 3M.
5. Penelitian ini menjelaskan tentang efisiensi bioadsorben batang pisang (*musa sp.*) dalam mereduksi konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada air limbah artifisial.
6. Pengulangan pada penelitian ini dilakukan sebanyak dua kali (*Duplo*).
7. Penelitian dilakukan menggunakan sistem batch, dengan variasi sebagai berikut :

- a. Variasi massa adsorben yaitu: 4 gram, 5 gram, dan 6 gram.

Berdasarkan penelitian dari patracia (2018) massa adsorben paling optimum dalam menyerap logam berat adalah 4 gr, sehingga divariasikan massa sebesar 4 gr, 5 gr, dan 6 gr.

- b. Variasi waktu kontak adsorben dengan selama 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit.

Berdasarkan waktu detensi kolam adsorpsi IPAL yaitu 1jam - 4jam (Reynold,1996 dalam Rini,2013).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

Air limbah merupakan hasil sampingan dari suatu kegiatan atau usaha dalam wujud cair dimana bahan-bahan berbahaya yang dapat mengancam kelangsungan hidup manusia serta mengganggu kelestarian lingkungan. Kehadiran limbah di lingkungan sangat tidak dikehendaki karena tidak mempunyai nilai ekonomis sehingga cenderung untuk dibuang. Pembuangan air limbah tanpa melalui proses pengolahan dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sebab kandungan zat berbahaya yang terdapat dalam air limbah berpotensi menurunkan kualitas air.

Sumber air limbah dapat dibedakan menjadi tiga jenis diantaranya yaitu: air limbah industri, air limbah domestik, dan air hujan (Metcalf & Eddy, 2003). Sedangkan karakteristik pada air limbah meliputi sifat fisika, kimia dan biologi. Sifat fisika air limbah berupa warna, bau dan temperatur. Sifat kimia meliputi senyawa organik (O, N, P, H) dan anorganik (nitrogen, fosfor, klorida dan logam berat). Karakteristik biologi yaitu air yang mengandung mikroorganisme patogen (Siregar, 2005).

2.1.1 Air Limbah Industri

Air limbah industri merupakan sumber pencemaran potensial bagi lingkungan perairan. Jenis dan proses produksi dalam suatu industri mempengaruhi konsentrasi dan Klasifikasi logam berat yang terkandung dalam air limbah. Saat proses produksi berlangsung, kegiatan industri memerlukan bahan-bahan baku primer dan bahan baku sekunder atau penunjang. Di antara bahan baku tersebut banyak mengandung unsur logam berat, sehingga hasil samping dari kegiatan produksi menghasilkan air limbah yang memuat senyawa logam berat pula. Air limbah industri menjadi salah satu penyumbang logam berat paling banyak diantara sumber limbah lainnya. Hal tersebut disebabkan karena kegiatan industri membutuhkan unsur logam berat dalam jumlah banyak

sebagai bahan baku, katalis, bahan aditif, dan fungisida (Patang, 2018). Limbah industri yang mengandung logam berat perlu melalui serangkaian proses pengolahan terlebih dahulu agar tidak menimbulkan pencemaran air, tanah, maupun udara. Logam berat yang sering digunakan sebagai bahan dasar kegiatan industri adalah timbal. Timbal merupakan bahan baku pembuatan baterai, pipa *Polyvinyl Chloride* (PVC), pelapis kabel. Meningkatnya kebutuhan akan barang-barang tersebut, berbanding lurus dengan jumlah air limbah yang dihasilkan nantinya. Air limbah industri yang mengandung logam berat timbal (Pb) jika dibuang ke badan air secara terus menerus tanpa melalui proses pengolahan dapat menyebabkan penurunan kualitas air. Keberadaan unsur logam berat timbal (Pb) dalam badan air dapat menyebabkan kematian biota dan rusaknya ekosistem perairan.

Pencemaran air akibat kegiatan manusia tersebut telah tercantum dalam Al-Quran. Allah berfirman dalam QS Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي
عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari akibat perbuatan mereka, agar mereka kembali ke jalan yang benar” (Al-Quran dan Terjemah, 2023).

Dalam Surah Ar-Rum ayat 41 ini Allah telah memberitakan perihal kerusakan yang terjadi di darat dan di laut yang merupakan akibat dari perbuatan manusia. Pencemaran lingkungan perairan merupakan contoh dari salah satu efek negatif yang muncul akibat adanya aktivitas manusia yang telah berbuat kerusakan baik dalam skala kecil maupun skala besar. Pencemaran tersebut nantinya akan berdampak pada kualitas hidup manusia itu sendiri, kerusakan lingkungan dapat mengakibatkan menurunnya sanitasi sehingga rawan terjadinya wabah penyakit. Di

dalam surat Ar-rum ayat 4, diartikan bahwa Allah bersabda: “upaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari akibat perbuatan mereka” maksudnya adalah agar hambanya sadar bahwasannya Allah akan memberikan balasan yang setimpal sesuai dengan perbuatannya. Sehingga Allah memberikan contoh terlebih dahulu berdasarkan sebab dan akibat perbuatan mereka di dunia. “Agar mereka kembali,” menjadi pribadi yang lebih baik dan tidak menimbulkan kerusakan bagi diri mereka sendiri, sehingga keadaan mereka menjadi baik.

2.1.2 Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu air limbah merupakan ukuran batas atau kadar dari zat pencemar yang terdapat dalam air limbah yang diperolehkan dibuang ke badan air. Jumlah konsentrasi zat pencemar dapat diketahui dari uji analisis kualitas air limbah di laboratorium. Hasil uji dari tiap parameter tersebut nantinya dibandingkan dengan baku mutu yang telah tercantum dalam peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan. Peraturan yang mengatur tentang baku mutu air limbah telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (PerMenLHK) Nomor 5 Tahun 2022 tentang pengolahan air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pertambangan dengan menggunakan metode lahan basah buatan. Penetapan baku mutu air limbah dilakukan sebagai bentuk upaya dalam pengendalian pencemaran air serta menjamin terjaganya kualitas air agar sumber-sumber air yang tersedia dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan sesuai dengan peruntukannya. Baku mutu air berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (PerMenLHK) Nomor 5 Tahun 2022 dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Industri Pertambangan

Parameter	Satuan	Konsentrasi Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)		6 - 9	6 - 9

Parameter	Satuan	Konsentrasi Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	200	200
Seng (Zn)	mg/L	5	5
Kadmium (Cd)	mg/L	0,1	0,1
Sianida (CN)	mg/L	-	0,5
Tembaga (Cu)	mg/L	2	2
Kromium (Cr)	mg/L	1	1
Timbal (Pb)	mg/L	1	1
Nikel (Ni)	mg/L	0,5	0,5
Arsen (As)	mg/L	0,5	0,5
Merkuri (Hg)	mg/L	0,005	0,005
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/L	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	100	100

(Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (PerMenLHK) Nomor 5 Tahun 2022).

Pada penelitian skala laboratorium ini, limbah yang akan dilakukan proses adsorpsi, bukan berasal dari air limbah industri secara langsung melainkan adalah air limbah artifisial. Sedangkan baku mutu yang dipilih adalah baku mutu air limbah yang berasal dari industri pertambangan dikarenakan pada air limbah industri tersebut terdapat kontaminan Pb. Penggunaan limbah artifisial dilakukan dengan pertimbangan banyaknya kontaminan dalam air limbah industri dapat mempersulit analisis penurunan kadar Pb yang telah teradsorpsi. Oleh karena itu, baku mutu yang digunakan acuan adalah baku mutu air limbah industri yang mengandung konsentrasi Pb.

2.2 Logam Berat Pb Dalam Air Limbah Industri

Logam merupakan salah satu jenis unsur kimia yang siap membentuk ion⁺ (kation) dan memiliki ikatan logam. Logam bersifat kuat, memiliki titik lebur yang rendah serta dapat menghantarkan arus listrik dan kalor dengan baik (Harwanto, 2019). Sedangkan logam berat adalah logam yang memiliki massa jenis 5 atau lebih dengan nomor atom antara 21 (scandium) dan 92

(uranium) dari sistem periodik unsur kimia. Di muka bumi ini unsur logam berat yang telah teridentifikasi berjumlah 80 jenis dari 109 unsur kimia yang ada (BPOM RI, 2010). Logam berat memiliki efek negatif bagi lingkungan karena sulit diuraikan dan tidak dapat dihilangkan.

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, terdapat dua macam logam berat yaitu logam berat esensial dan logam berat non-esensial. Logam berat esensial merupakan unsur kimia yang sangat dibutuhkan makhluk hidup dalam jumlah dan konsentrasi tertentu, karena jika tersedia dalam jumlah banyak dapat menimbulkan efek toksik/racun. Contoh logam berat esensial antara lain : Fe, Cu, Co, Mn dan Zn. Logam berat non-esensial merupakan logam berat beracun yang dapat menimbulkan banyak efek negatif bagi kesehatan manusia maupun lingkungan. Contoh logam berat non esensial yaitu : Pb, Cr, Hg, Ni, dan As (BPOM RI, 2010).

2.2.1 Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal merupakan salah satu unsur kimia dalam tabel periodik yang termasuk dalam kategori logam berat. Lambang Pb diambil dari bahasa latin yaitu "*Plumbum*" atau yang biasa dikenal dengan sebutan timah hitam. Dalam tabel periodik unsur kimia, timbal memiliki lambang Pb dengan nomor atom 82 dan berat atom 207,2 yang berada pada golongan IV A. Timbal murni memiliki warna kebiruan atau abu-abu keperakan yang umumnya terdapat dalam endapan sulfid dan tercampur pada mineral seperti tembaga dan seng (Cahyani, 2017). Ketersediaan logam berat timbal di alam secara alami berada dalam lapisan kerak bumi dan menyebar luas ke permukaan bumi akibat adanya proses alamiah seperti gunung meletus maupun akibat aktivitas manusia.

Timbal banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Dalam kegiatan industri, timbal dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan baterai, pipa *Polyvinyl Chloride* (PVC), pelapis kabel, penyepuhan dan solder. Logam berat timbal (Pb) banyak dimanfaatkan dalam berbagai keperluan karena sifat timbal yang mudah dibentuk, tahan panas dan tidak mudah mengalami korosi. Timbal termasuk dalam logam berat non esensial sehingga memiliki tingkat toksisitas tinggi yang

berbahaya bagi tubuh. Ambang batas maksimum logam berat timbal yang dapat ditoleransi oleh tubuh manusia adalah 2mg/hari. Akumulasi timbal dalam tubuh dapat menyebabkan terganggunya sistem syaraf dan pencernaan. Efek tosisitas pada timbal dapat menyerang sistem syaraf pada otak, sehingga dapat menyebabkan kerusakan jaringan dalam otak besar, halusinasi, epilepsi dan derilium. Sedangkan pada sistem pencernaan unsur timbal dapat merusak ginjal (Cahyani, 2017). Pada hewan dan tumbuhan, konsentrasi timbal dalam jumlah tertentu mengakibatkan terganggunya metabolisme tubuh dan kerusakan jaringan yang kemudian mengakibatkan kematian (Muslim, 2017).

2.2.2 Mekanisme Pencemaran Logam Berat Timbal di Perairan

Pencemaran adalah suatu peristiwa masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain kedalam lingkungan oleh kegiatan manusia maupun proses alam sehingga terjadi perubahan tatanan lingkungan yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan (MenLH, 2014). Logam berat menjadi salah satu unsur pencemar dalam perairan yang bersifat toksik dan perlu dikendalikan keberadaannya di lingkungan. Di lingkungan perairan logam dapat berupa ion bebas, ion kompleks dan pasangan ion organik. Logam berat dalam perairan banyak ditemukan dalam bentuk senyawa Pb^{2+} , $PbHCO^3$, $PbCO^+$, $PbSO^4$ dan $PbOH^+$ (Alsuhendra & Ridawati, 2013). Sedangkan menurut (Palar, 2008) logam berat timbal dalam perairan dapat membentuk ion divalen (Pb^{2+}) Dan ion tetravalen (Pb^{4+}). Kontaminan logam berat timbal dapat masuk ke perairan melalui aliran buangan industri, kegiatan pertambangan, limbah domestik, partikel-partikel debu dari atmosfer yang jatuh ke badan air karena adanya proses pengkristalan unsur Pb di udara dengan bantuan hujan, dan secara alami akibat aktivitas gunung berapi di dasar laut serta proses korosifikasi batuan mineral karena proses alam.

Penyebab utama logam berat menjadi unsur pencemar yang sangat berbahaya bagi lingkungan adalah karena logam berat bersifat non-degradable (tidak dapat dimusnahkan) oleh mikroorganisme pengurai

sehingga jika dibiarkan dalam waktu lama dapat terakumulasi dalam jumlah yang membahayakan. Konsentrasi rata-rata logam berat timbal (Pb) dalam perairan air tawar pada keadaan normal adalah 0,3mg/L. Sedangkan konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada perairan laut sekitar 0,03mg/L (Darmono, 1995).

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa menempelnya atom atau molekul zat pada permukaan zat lain karena adanya ketidakseimbangan gaya tarik menarik ataupun dengan interaksi kimia. Secara sederhana, adsorpsi merupakan proses pelekatan molekul pada permukaan adsorben. Suatu molekul atau partikel yang melekat pada adsorben disebut dengan adsorbat. Adsorpsi bisa digunakan dalam proses penyerapan unsur logam, penghilangan zat warna, partikel koloid, bakteri, virus, dan pigmen (Agusti, 2019).

Sedangkan menurut (Arya, 2017), Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika fluida (cairan maupun gas) berikatan dengan suatu padatan sehingga terbentuk lapisan tipis (film) pada permukaan padatan tersebut. Proses adsorpsi digambarkan sebagai proses pelepasan ikatan molekul larutan yang kemudian melekat pada permukaan adsorben sebagai zat penyerap akibat adanya ikatan fisika dan kimia. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam menurunkan konsentrasi ion logam dalam air limbah adalah penukar ion (*Ion Exchange*), pengendapan, filtrasi dan adsorpsi. Dari keempat metode tersebut, adsorpsi menjadi metode yang paling banyak dipilih karena preparasinya yang sederhana serta bahan-bahannya mudah dicari dan ekonomis.

Adanya gaya tarik-menarik molekul pada permukaan adsorben yang tidak seimbang mengakibatkan zat padat yang berfungsi sebagai adsorben tersebut cenderung menarik molekul lain saat terjadi kontak dengan permukaan adsorben. Hal tersebut menandakan bahwa proses adsorpsi sedang berlangsung.

Berdasarkan ayat diatas, manusia diutus Allah menjadi khalifah di muka bumi, memiliki peranan sebagai penjaga lingkungan. Khalifah adalah suatu kaum yang akan menggantikan satu kaum lainnya, dari generasi satu ke generasi berikutnya. Untuk menjaga amanat yang dititipkan Allah kepada umat manusia ini dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan ciptaan-Nya dengan sebaik baiknya diiringi tindakan pencegahan untuk meminimalisasi kerusakan dan pemulihan jika terjadi kerusakan. Kerusakan yang dimaksud disini adalah suatu ketidakseimbangan antara pemanfaatan alam dengan dampak yang ditimbulkan setelahnya. Dengan adanya kegiatan pengelolaan lingkungan, keberlangsungan hidup manusia akan senantiasa terjamin. Oleh sebab itu sangat penting untuk melakukan upaya pengelolaan lingkungan.

2.3.1 Jenis-Jenis Adsorpsi

Adsorpsi suatu zat oleh permukaan zat padat terdiri atas dua jenis, yaitu adsorpsi fisika (*Physisorption*) dan adsorpsi kimia (*Chemisorption*). Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing jenis adsorpsi:

a. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya ikatan *Van Der Waals*, dimana ketika terjadi gaya tarik-menarik molekul antara larutan dengan permukaan media adsorben lebih besar dari pada gaya tarik zat/substansi terlarut dengan larutan, sehingga zat/substansi terlarut akan teradsorpsi oleh permukaan media adsorben. Dalam adsorpsi fisika, kekuatan tarikan gaya *Van Der Waals* relatif kecil dan membentuk lapisan multilayer pada permukaan adsorben. Hasil dari adsorpsi fisika yaitu Ikatan antar molekul sangat lemah serta energi entalpi yang dilepaskan juga relatif rendah yaitu berkisar antara 4 kJ/mol - 20 kJ/mol (Hanastasia, 2019). Adsorpsi fisika terjadi pada temperatur rendah yaitu dibawah titik didih adsorbat. Hal inilah yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisika bersifat reversibel (reaksi kimia berlangsung dalam dua arah atau bolak balik) sehingga proses yang berlangsung sangat cepat.

Proses adsorpsi fisika berlangsung tanpa menggunakan energi aktivasi. Hasil ikatan yang terbentuk pada adsorpsi fisika dapat terputus pada temperatur 150°C - 200°C dengan kurun waktu selama 2 - 3 jam (Darmansyah, 2015). Media yang digunakan dalam adsorpsi fisika dapat berupa karbon aktif, zeolit, atau silika gel.

b. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia terjadi ketika zat/senyawa terlarut dalam larutan dengan molekul pada media adsorben membentuk ikatan kimia kovalen. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan kuat sehingga lapisan pada permukaan adsorben adalah monolayer. Proses adsorpsi kimia berawal dari adsorpsi fisik, dimana partikel adsorbat tertarik ke permukaan adsorben karena adanya gaya *Van Der Waals* atau ikatan hidrogen. Kemudian partikel yang melekat pada permukaan adsorben, membentuk ikatan kimia dan cenderung mencari lokasi yang dapat memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat (Hanastasia, 2019).

Adsorpsi kimia bersifat Irreversible (reaksi yang tidak dapat kembali ke bentuk semula) dan umumnya terjadi pada temperatur tinggi sehingga Energi entalpi yang dilepaskan juga relatif tinggi yaitu berkisar antara 40 kJ/mol - 800 kJ/mol (Darmansyah, 2015). Media yang digunakan dalam adsorpsi kimia dapat berupa pertukaran ion (*Ion Exchange*), Metal hydride, dan calcium cholide.

2.3.2 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Menurut (Hanastasia, 2019), Daya adsorpsi suatu zat yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Jenis Adsorbat

a) Ukuran Molekul Zat

Ukuran molekul yang sesuai menjadi syarat penting dalam proses adsorpsi. Proses adsorpsi dapat berlangsung jika molekul-molekul yang diadsorpsi memiliki diameter yang lebih

kecil dibandingkan dengan diameter pori-pori pada permukaan adsorben.

b) **Kepolaran Zat**

Proses adsorpsi suatu zat memiliki daya yang lebih kuat pada molekul polar dibandingkan dengan adsorpsi molekul kurang polar. Hal tersebut dikarenakan molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul yang kurang polar yang telah terlebih dahulu teradsorpsi. Pada kondisi ukuran diameter yang sama, maka molekul polar dapat terlebih dahulu teradsorpsi.

2. **Karakteristik Adsorben**

a) **Kemurnian Adsorben**

Kemurnian adsorben menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi daya serap adsorben. Adsorben murni memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan yang tidak murni.

b) **Luas Permukaan dan Pori Adsorben**

Faktor utama yang paling mempengaruhi proses adsorpsi adalah luas permukaan. Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi dapat meningkat seiring dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Sehingga dalam proses pembuatan adsorben, seringkali diberikan perlakuan awal seperti penambahan aktivator untuk dapat meningkatkan luas permukaan dan volume pori adsorben.

3. **Waktu Kontak**

Waktu kontak menjadi salah satu aspek yang mempengaruhi proses adsorpsi (Reynold, 1982). Adsorben yang dikontakkan dengan fluida yang mengandung adsorbat membutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan tersebut terkadang berbanding terbalik terhadap jumlah adsorben yang digunakan. Proses adsorpsi yang diiringi dengan pengadukan juga mempengaruhi waktu kontak yang dibutuhkan adsorben dalam menyerap adsorbat. Pengadukan dimaksudkan untuk memberi

kesempatan pada partikel adsorben untuk bersinggungan dengan zat/senyawa yang diserap. Waktu kontak kurang dari 150 menit berada dalam kondisi seimbang, dimana proses adsorpsi dapat dicapai. Jika melebihi waktu tersebut maka banyak adsorbat yang terserap tidak berbanding lurus dengan penambahan waktu kontak. Sehingga nilai dari hasil uji adsorpsinya tidak akan berubah secara signifikan (Han, 2007). Sedangkan berdasarkan penelitian dari Jubilate, dkk. (2016) pada waktu kontak kurang dari 30 menit nilai hasil adsorpsi cenderung lebih kecil, sebab masih belum terjadi interaksi antara adsorben dengan adsorbat. Dimana permukaan adsorben belum terisi sepenuhnya oleh adsorbat.

4. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman pada suatu larutan berpengaruh pada kehadiran unsur logam pada larutan. Dalam kondisi normal unsur logam dapat mengendap pada suasana basa atau yang memiliki pH diatas 10. Sebab, pada kondisi basa komponen logam membentuk kompleks netral atau dalam bentuk hidroksida anionik sehingga pertukaran kation tidak akan terjadi. Agar pertukaran ion positif menjadi efektif, saat proses pengolahan berlangsung, pH perlu diturunkan pada keadaan normal ($\text{pH} = 7$) atau dalam kondisi asam (Maghfirana, 2019).

5. Temperatur

Pada saat proses adsorpsi berlangsung, temperatur perlu diperhatikan. Temperatur dan proses adsorpsi berkaitan erat dengan kondisi proses dan operasi di reaktor yang didalamnya terjadi reaksi endotermik dan eksotermik. Proses adsorpsi yang terjadi secara endotermik memiliki ciri-ciri adanya peningkatan penyerapan unsur logam yang beriringan dengan meningkatnya temperatur. Proses adsorpsi endotermik digunakan sebagai indikator adsorpsi secara kimia. Sedangkan proses adsorpsi yang terjadi secara eksotermik memiliki ciri-ciri, menurunnya penyerapan unsur logam seiring

dengan meningkatnya temperatur. Adsorpsi bersifat eksotermik menjadi indikator adsorpsi secara fisik. (Maghfirana, 2019)

2.3.3 Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi adalah suatu jumlah konsentrasi zat terlarut (adsorbat) yang terikat pada permukaan padatan (adsorben) pada konsentrasi larutan tertentu. Kapasitas adsorpsi pada adsorben dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)}{m_{\text{adsorben}}} \times V \dots\dots\dots (\text{Rumus 2.1})$$

Sumber: (Arif, 2014)

Keterangan:

q_e = Kapasitas adsorpsi / massa adsorbat yang teradsorpsi per satuan massa adsorben (mg/g)

C_i = Nilai Konsentrasi Limbah Awal (mg/l)

C_e = Nilai Konsentrasi Limbah Akhir (mg/l)

m_{adsorben} = Massa Adsorben (g)

V = Volume Adsorbat (L)

2.3.4 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan suatu proses terserapnya zat oleh adsorben dalam fungsi waktu. Biasanya untuk menentukan kinetika adsorpsi menggunakan orde kinetika adsorpsi, yang dinyatakan dalam rumus berikut ini :

$$C_e^{-(n-1)} = (n-1) kt + C_o^{-(n-1)} \dots\dots\dots (\text{Rumus 2.2})$$

Sumber : (Putri, 2016)

Keterangan :

K = konstanta laju adsorpsi

T = waktu

N = orde kinetika adsorpsi

C_o dan C_e = konsentrasi analit sebelum dan sesudah proses adsorpsi.

2.4 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan suatu model persamaan kesetimbangan pada proses adsorpsi yang fungsinya untuk mengetahui mekanisme adsorpsi zat terlarut pada larutan oleh adsorben pada temperatur tetap. Persamaan isoterm adsorpsi telah ditemukan dan dikaji oleh Freundlich dan Langmuir yang dijelaskan pada subsub bab dibawah ini:

2.4.1 Isoterm Langmuir

Teori isoterm adsorpsi Langmuir didefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat di permukaan adsorben. Isoterm Langmuir diasumsikan bahwa masing-masing titik aktif pada permukaan adsorben (Site) hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat. Dikarenakan adsorbat di permukaan adsorben bersifat homogen. Sehingga proses adsorpsi hanya membentuk lapisan tunggal. Tidak terdapat interaksi lateral antar molekul yang telah teradsorpsi. Persamaan Langmuir dapat dilihat dibawah ini:

$$q_e = \frac{\alpha \cdot b \cdot C}{1 + b \cdot C} \dots\dots\dots(\text{Rumus 2.3})$$

(Sumber : Mardiah, 2017)

Keterangan:

q_e = Massa adsorbat yang teradsorpsi per satuan massa adsorben (mg/g)

α = Konstanta kapasitas adsorpsi (mg/g)

b = konstanta Equilibrium / kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

C = konsentrasi adsorbat (mg/L)

Persamaan isoterm langmuir dilinearisasikan guna mendapatkan konstanta α dan b yang didapat dari grafik hubungan $\frac{C}{q_e}$ terhadap C setelah memasukkan data penelitian dengan persamaan :

$$\frac{C}{q_e} = \frac{1}{\alpha \cdot b} + \frac{1}{\alpha} C \dots\dots\dots(\text{Rumus 2.4})$$

(Sumber : Mardiah, 2017)

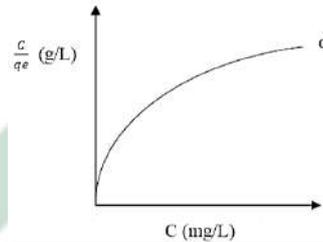
Keterangan:

q_e = Massa adsorbat yang teradsorpsi tiap satuan massa adsorben (mg/g)

α = Konstanta kapasitas adsorpsi (mg/g)

b = konstanta Equilibrium / kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

C = konsentrasi adsorbat (mg/L)



Gambar 2.1 Grafik Isoterm Langmuir

(Sumber : Halimah, 2016)

2.4.2 Isoterm Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich mengemukakan bahwa adsorpsi bersifat heterogen, karena permukaan adsorben tidak sepenuhnya memiliki kemampuan menyerap adsorbat. Isoterm freundlich menggambarkan terdapat lebih dari satu lapisan (multilayer) yang terbentuk pada lapisan adsorbat ketika adsorpsi berlangsung. Berikut merupakan persamaan isoterm adsorpsi menurut Freundlich:

$$q_e = K_f \times C_e^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots \text{(Rumus 2.5)}$$

(Sawyer dkk, 1994)

Keterangan:

q_e = jumlah adsorbat yang teradsorpsi tiap gram adsorben (mg/g)

C_e = konsentrasi pada saat setimbang (mg/L)

K_f = konstanta isoterm Freundlich (mg/g)

n = kapasitas adsorpsi Freundlich

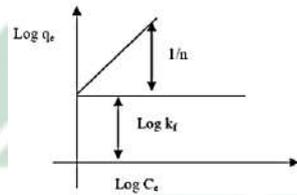
Konstanta Freundlich (K_f) membuktikan adanya ikatan zat yang terserap oleh adsorben yang nilainya didapat dari percobaan. Untuk dapat menentukan konstanta K_f dan nilai n , maka dilakukan

linearisasi pada persamaan Freundlich diatas menjadi persamaan sebagai berikut :

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \times \log C_e \dots\dots\dots(\text{Rumus 2.4})$$

(Sawyer dkk, 1994)

Rumus persamaan freundlich dapat digambarkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah pengamatan daya adsorpsi yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 2 Grafik Isoterm Adsorpsi Freundlich
(Sumber : Halimah, 2016)

Dari data hasil percobaan adsorpsi, nilainya di plot kedalam kurva dengan log q_e sebagai sumbu Y dan log C_e sebagai sumbu X sehingga diperoleh garis linier dengan intersep log K_f dan kemiringan $1/n$, sehingga nilai K_f dan n dapat diketahui. Nilai K_f dan n dipengaruhi oleh jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Dari penjelasan tersebut maka dapat diasumsikan, semakin besar nilai k_f maka daya adsorpsi akan semakin baik (Sumber : Halimah, 2016).

Persamaan adsorpsi Isoterm Freundlich dan Langmuir berfungsi sebagai penentuan persamaan kesetimbangan saat berlangsungnya adsorpsi serta untuk mengetahui seberapa besar kapasitas adsorpsi unsur Pb oleh adsorben. Pemilihan persamaan isoterm dilihat dari hasil regresi linear (R^2) yang paling mendekati nilai 1 yang didapatkan dari hasil perhitungan data penelitian pada masing masing persamaan (Firmanto, 2020).

2.5 Adsorben

Adsorben adalah zat yang berperan dalam penyerapan zat lain (baik cairan maupun gas) pada proses adsorpsi. Pemilihan jenis adsorben sangat

berpengaruh dalam proses adsorpsi. Untuk menghasilkan daya serap maksimal, perlu disesuaikan dengan karakteristik dan sifat zat yang akan diadsorpsi. Jenis adsorben yang banyak dipilih untuk menyerap zat-zat dalam larutan adalah bioadsorben. Seiring dengan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, maka akan bermunculan industri-industri baru guna memenuhi kebutuhan manusia sehingga dikawatirkan dapat menimbulkan pencemaran dan kerusakan lingkungan. Allah telah memperingatkan umat manusia tentang larangan berbuat kerusakan di muka bumi Sebagaimana firman Allah dalam QS Al-A`raf ayat 56:

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

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik” (Al-Quran dan Terjemah, 2023).

Maksud dari ayat ini adalah peringatan Allah terhadap umat manusia agar senantiasa menjaga ciptaan-Nya dan tidak berbuat kerusakan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk tetap menjaga lingkungan seperti yang telah menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengurangi potensi timbulan sampah dari kegiatan perkebunan, yaitu adanya limbah pohon pisang dalam jumlah banyak setelah proses pemanenan pisang. Duta dapat diminimalisir dengan adanya pemanfaatan batang pisang sebagai bahan baku pemuatan bioadsorben.

2.6 Bioadsorben

Bioadsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis karbon aktif. Karbon aktif adalah bahan berupa karbon bebas yang masing-masing berikatan secara kovalen atau suatu bahan yang telah diolah melalui tahapan-tahapan khusus dan dilakukan proses pengaktifasian sehingga pori-porinya terbuka. Pori-pori karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat tinggi

yaitu diatas $600\text{m}^2/\text{gram}$ (Sahara, 2017). Menurut (Maghfirana, 2019), karbon aktif merupakan suatu bahan padat berpori tinggi dimana permukaannya dapat mengikat zat atau senyawa. Berikut merupakan gambar karbon aktif :



Gambar 2. 3 Karbon Aktif

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2023)

Karbon aktif adalah salah satu jenis adsorben yang paling sering digunakan dalam melakukan pengolahan air limbah. Struktur pori berhubungan erat dengan luas permukaan, semakin kecil ukuran pori-pori pada karbon aktif maka akan menyebabkan semakin besar luas permukaannya. Sehingga daya serap karbon aktif terhadap adsorbat dapat meningkat. Faktor yang menyebabkan adanya daya serap pada karbon aktif yaitu :

1. Adanya pori-pori berukuran mikro dalam jumlah banyak sehingga menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap.
2. Memiliki luas permukaan yang tinggi yaitu berkisar $300\text{-}3500\text{ cm}^2/\text{gram}$ sehingga memiliki daya serap yang besar.

(Arya, 2017)

Berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang teknis pembuatan karbon aktif, telah ditetapkan standar kualitas karbon aktif seperti yang tercantum dalam tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Standar Kualitas Karbon Aktif Sesuai

Kriteria	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Kadar Air	Maks. 4,5	Max 15%
Kadar Abu	Maks. 2,5	Max 10%

Kriteria	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Karbon Aktif Murni	Min. 80	Minimal 65%
<i>Volatile Matter</i> (Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C)	Maks. 15	Max 25%

(Sumber : SNI 06-3730-1995).

Tahapan pembuatan karbon aktif terdiri dari dehidrasi, karbonisasi bahan baku serta aktivasi. Berikut merupakan penjelasan dari ketiga tahapan tersebut, yaitu :

1. Proses dehidrasi

Tahap dehidrasi dilakukan dengan cara pemanasan bahan dasar karbon aktif pada suhu 105 - 170 °C selama 18 - 24 jam. Proses pemanasan tersebut bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam bahan baku.

2. Proses karbonisasi

Tahap karbonisasi merupakan proses konversi atau perubahan zat organik menjadi karbon melalui proses yang biasa disebut dengan pirolisis. Proses pirolisis merupakan proses pembakaran tidak sempurna pada bahan yang mengandung senyawa karbon kompleks dan tidak sampai teroksidasi menjadi karbon dioksida. Saat proses pirolisis berlangsung, energi panas mendorong terjadinya reaksi oksidasi sehingga senyawa karbon kompleks sebagian besar terurai menjadi karbon atau arang (Rosalina, 2016). Proses ini mengakibatkan struktur senyawa organik terurai dan membentuk hidrokarbon, uap asam asetat, methanol, dan tar (Arif, 2014).

3. Proses aktivasi

Proses aktivasi merupakan suatu proses meningkatkan luas permukaan karbon dengan menguraikan senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam karbon. Untuk meningkatkan kualitas bioadsorben sehingga memiliki jumlah pori yang banyak dan luas permukaan yang besar dapat dilakukan dengan beberapa metode pengaktifasian. proses aktivasi bioadsorben dibagi menjadi dua, antara lain:

a. Aktivasi fisika

Proses aktivasi ini dilakukan dengan pengaktifasian pada suhu tinggi. Aktivasi dengan uap air biasanya dilakukan pada suhu 750 °C - 900°C dan aktivasi dengan CO₂ (karbon dioksida) dilakukan pada suhu 850°C - 1100°C. Namun aktivasi dengan CO₂ (karbon dioksida) jarang sekali dilakukan karena reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermis. Hal tersebut disebabkan karena reaksi eksotermis diharuskan untuk mengontrol waktu aktivasi, suhu, dan laju alir aktivator. Agar dapat menghasilkan bioadsorben dengan susunan karbon yang padat dan memiliki pori-pori yang luas (Arif, 2014).

b. Aktivasi kimia

Cara melakukan aktivasi kimia adalah dengan merendam bahan baku pada bahan kimia seperti asam nitrat (HNO₃), asam phosphate (H₃PO₄), asam klorida (HCl), kalsium phosphat (Ca(PO₄)₂), kalsium hidroksida (Ca(OH)₂), Kalsium klorida (CaCl₂), kalium hidroksida (KOH), natrium hidroksida (NaOH), natrium sulfat (Na₂SO₄), zink klorida (ZnCl₂) dan natrium karbonat (Na₂CO₃) sebelum proses karbonisasi. Aktivasi kimia juga dapat dilakukan dengan merendam bahan baku yang telah dikarbonisasi (Arif, 2014).

2.7 Batang Pisang Sebagai Bioadsorben

Pisang yang memiliki nama latin *Musa Sp.* merupakan jenis tanaman yang banyak tumbuh di daerah tropis. Tanaman pisang banyak di temukan di Indonesia dengan sangat melimpah karena kondisi tanahnya yang subur. Pisang dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian kurang dari 500 mdpl, pH tanah 4,5 - 7,5, suhu 25°C - 28°C dan curah hujan 2000 - 3000 mm/tahun. Tinggi tanaman pisang dapat mencapai 2 - 9 meter. Berdasarkan data dari FAO (Food and Agriculture Organization) tahun 2019, Tanaman pisang menjadi komoditi hasil pertanian Indonesia dengan jumlah produksi terbesar nomor 3 di dunia setelah Negara India dan Cina. Menurut sumber dari Direktorat Jendral Hortikultura produksi pisang di Indonesia mencapai 7.280.658 ton pada tahun 2019.

Tanaman pisang merupakan tanaman yang hanya bisa berbuah sekali. Setelah berbuah, tanaman pisang harus segera ditebang agar dapat menjadi individu baru lagi. Bagian batang pada tanaman pisang tersebut dapat berpotensi menjadi sampah perkebunan karena sebagian besar masyarakat hanya memanfaatkan bagian buah dan daunnya, sedangkan bagian batangnya sebagian kecil dimanfaatkan sebagai campuran pakan ternak dan sisanya dibiarkan. Berdasarkan hal tersebut, batang pisang dapat digunakan sebagai bahan baku bioadsorben karena banyak ditemukan, ketersediaannya melimpah di alam dan dapat diperbarui.

Berdasarkan hasil analisis komposisi kimia oleh Rahman (2006), batang pisang memiliki kandungan sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Standar Kualitas Karbon Aktif Sesuai

Komponen Kimia	Persentase
Selulosa	60%-65%
Lignin	5-10%
Hemiselulosa	6-8%
Air	10%-15%

(Sumber : Rahman, 2006)

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa kadar selulosa pada batang pisang cukup tinggi. Selulosa adalah komponen utama pada penyusunan dinding sel tanaman. Mekanisme selulosa dapat menyerap logam Pb yaitu dengan cara pemutusan ikatan gugus karbon dengan OH. Rantai panjang selulosa terhubung melalui ikatan hidrogen dan gaya van der Waals. Rantai panjang dalam selulosa memiliki kandungan karbon yang saling mengikat dengan gugus OH yang apabila dilakukan pemanasan suhu tinggi menyebabkan terputusnya ikatan karbon dengan Oksigen dan Hidrogen. Sehingga mengakibatkan tersedianya ruang dalam pori pori karbon aktif tersebut (Muna, 2011).

Allah yang merupakan pencipta alam semesta ini senantiasa memperbaiki alam yang menjadi tempat hidup manusia sehingga menjadi tempat ideal bagi umatnya. Oleh sebab itu, Allah memerintahkan umat manusia agar senantiasa berbuat kebaikan kepada manusia lainnya. Hal ini tertulis dalam firman Allah dalam Al-Quran surat Al-Qashash [28]: 77

قَالَ إِنَّمَا أُوتِيْتُهُ عَلَىٰ عِلْمٍ عِنْدِي ۗ أَوَلَمْ يَعْلَم أَنَّ اللَّهَ قَدْ أَهْلَكَ مِن قَبْلِهِ مِن
الْقُرُونِ مَن هُوَ أَشَدُّ مِنْهُ قُوَّةً وَأَكْثَرُ جَمْعًا ۗ وَلَا يُسْئَلُ عَن ذُنُوبِهِمُ الْمُجْرِمُونَ

Artinya :“Berbuat baiklah kepada orang lain sebagaimana Allah telah berbuat kebajikan kepadamu, dan jangan kamu berbuat kerusakan di muka bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan” (Al-Quran dan Terjemah, 2023).

Berdasarkan ayat diatas maka dapat terlihat dengan jelas bahwa membuang air limbah ke badan air tanpa dilakukan proses pengolahan adalah perbuatan yang dilarang oleh Allah sebab dapat mencemari air dan dapat mencelakakan orang lain. Di sisi lain sebagai umat muslim sudah sepatutnya agar menghindari perbuatan – perbuatan yang dapat merugikan orang lain. Oleh karena itu, air limbah tersebut diolah terlebih dahulu salah satu caranya adalah dengan metode adsorpsi.

Metode adsorpsi logam berat timbal dalam air limbah industri dengan memanfaatkan bioadsorben yang terbuat dari batang pisang merupakan upaya untuk mengurangi rusaknya lingkungan. Sedangkan batang pisang dipilih sebagai bahan dasar pembuatan bioadsorben karena batang pisang berpotensi menjadi sampah perkebunan dan dapat menurunkan estetika lingkungan sekitar. Dalam prespektif agama, penelitian ini merupakan suatu perbuatan baik yang dapat digunakan untuk memperbaiki dampak dari perbuatan buruk yang telah dilakukan sebelumnya yaitu merusak lingkungan. Jika dikembalikan pada konsep Islam rahmatan lil alamin itu sendiri yaitu untuk menghadirkan keselamatan berupa kesehatan manusia dan lingkungan, serta kesejahteraan bagi kehidupan di bumi dengan cara terus memperlakukan alam dengan baik sesuai dengan tuntunan Allah yang telah tercantum dalam kitabnya yakni Al-Quran.

2.8 Aktivator HCL

Asam klorida merupakan senyawa yang termasuk dalam asam kuat, memiliki sifat mudah terlarut dalam air sehingga banyak dipakai dalam analisis kimia. Larutan HCL dapat melarutkan pengotor dan menghasilkan pori-pori optimal (Patracia, 2018). Asam Klorida berperan sebagai aktivator bersifat

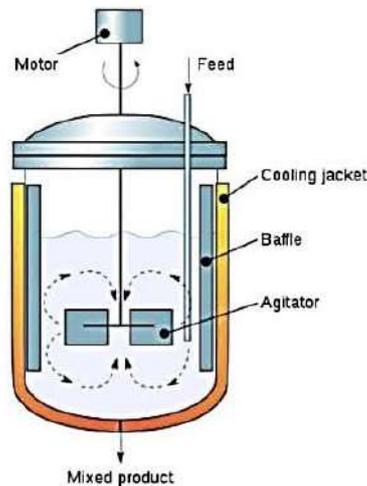
higroskopis sehingga dapat mengurangi kadar air dalam adsorben (Huda, 2020). Kadar air berpengaruh pada kualitas bioadsorben. Semakin besar penurunan kadar air maka semakin meningkat pula ukuran pori permukaan sehingga proses adsorpsi dapat berjalan dengan baik.

Proses aktivasi karbon dari batang pisang menggunakan asam klorida bertujuan untuk mendegradasi senyawa organik yang terbentuk saat proses karbonisasi dan membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat berlangsungnya proses karbonisasi dengan cara memecah ikatan hidrokarbon. (Ramadhana, 2019). Senyawa lignin yang berubah menjadi tar akibat proses karbonisasi juga dapat dihilangkan dengan asam klorida.

2.9 Adsorpsi Sistem Batch

Adsorpsi menggunakan sistem batch merupakan proses adsorpsi suatu senyawa dalam larutan oleh adsorben dengan jumlah yang tetap sehingga perubahan konsentrasi senyawa yang diteliti pada selang waktu tertentu dapat diketahui. Pada sistem batch proses pengujian dilakukan dalam sebuah reaktor sederhana dengan ditambahkan reaktan secara bersamaan pada awal proses serta tidak ada larutan yang ditambahkan maupun diambil saat berlangsungnya proses adsorpsi. Sistem batch dilakukan pada skala mikro tidak memerlukan banyak waktu dan aspek operasionalnya yang mudah sehingga cocok untuk pengolahan skala kecil. (Putri, 2019)

Biasanya reaktor batch disertai dengan pengadukan baik menggunakan paddle atau batang pengaduk maupun dengan bantuan *magnetic stirrer* yang diletakkan dibawah reaktor. Reaktor batch umumnya digunakan untuk mereaksikan sesuatu dalam wujud cair (larutan). Proses pengadukan dalam reaktor batch dilakukan untuk mempercepat laju reaksi yang terjadi didalam larutan.



Gambar 2. 4 Reaktor Batch

(Sumber : Wikipedia.org)

2.10 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri serapan atom atau Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) merupakan teknik analisis kuantitatif yang menggunakan metode pengukuran untuk mengetahui konsentrasi suatu unsur dalam sampel yang berbentuk larutan. Prinsip analisis AAS berdasarkan proses penyerapan energi radiasi oleh atom yang berada pada tingkat tenaga dasar. Dengan mengukur radiasi yang terserap. Radiasi yang terserap oleh unsur terukur dalam absorbansi. Untuk menghitung konsentrasi diperlukan persamaan Lambert-Beer :

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

A= radiasi yang terserap

ϵ = tetapan absorptivitas molar (M-1.cm-1)

b = panjang medium (cm)

c = konsentrasi zat (M) karena b dan ϵ merupakan bilangan tetap, maka absorbansi hanya tergantung oleh konsentrasi.

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat dijadikan sebagai sumber referensi akademik sebagai dasar acuan dalam penyusunan kerangka

penelitian yang akan dilaksanakan. Penelitian terdahulu berfungsi sebagai pendukung dalam memperkuat teori yang akan digunakan penulis. Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sampah plastik sebagai adsorben dan penyisihan logam berat timbal (Pb):

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

NO	Nama dan Tahun Penelitian	Judul	Hasil Penelitian
1.	Suziyana, Syarfi Daud, Edward HS (2017)	Pengaruh Massa Adsorben Batang Pisang dan Waktu Kontak Adsorpsi Terhadap Efisiensi Penyisihan Fe dan Kapasitas Adsorpsi Pada Pengolahan Air Gambut.	Efisiensi penyisihan tertinggi dalam menurunkan kadar logam Fe yaitu 80,31% pada massa adsorben 2,5 gram dengan waktu kontak 30 menit. Kapasitas adsorpsi terhadap penyisihan logam Fe didapatkan nilai tertinggi yaitu 0,027 mg Fe/gr yaitu pada massa adsorben 1 gram dengan waktu kontak 30 menit, sedangkan nilai kapasitas adsorpsi terendah yaitu 0,010 mg Fe/gr yaitu pada massa adsorben 2,5 gram dengan waktu kontak 90 menit.
2.	E.Taer,*, R. Taslim, W.S. Mustika, B. Kurniasih, Agustino, A. Afrianda and Apriwandi. (2018)	Production of an Activated Carbon from a Banana Stem and its application as electrode materials for Supercapacitors.	Elektroda karbon aktif tanpa pengikat dari batang pisang menunjukkan kombinasi yang sangat baik antara sifat fisik dan elektrokimia. Penggunaan agen aktivasi KOH konsentrasi rendah 0,0-0,7M yang dilanjutkan dengan aktivasi fisik pada suhu 850°C selama 2 jam dengan menggunakan gas CO ₂ telah berhasil menghasilkan elektroda karbon aktif tanpa penambahan bahan perekat. Densitas terendah dan tinggi puncak elektroda karbon masing-masing adalah 0,639 g / cm ³ dan 11,001 Å, dan

NO	Nama dan Tahun Penelitian	Judul	Hasil Penelitian
			elektroda ini memiliki kapasitas spesifik tertinggi 170 F / g, diperoleh pada konsentrasi aktivasi KOH 0,5 M.
3.	Y. El Maguana , N. Elhadiri, M. Bouchdoug, M. Benchanaa, and A. Jaouad2 (2019)	Activated Carbon from Prickly Pear Seed Cake: Optimization of Preparation Conditions Using Experimental Design and Its Application in Dye Removal	Kondisi optimal untuk pembuatan karbon aktif dengan kapasitas adsorpsi tinggi untuk metilen biru diidentifikasi sebagai rasio impregnasi 2,9. suhu karbonisasi 541°C, dan waktu karbonisasi 88 menit. Pada kondisi ini, rendemen karbon dan adsorpsi metilen biru masing-masing adalah 56,48% dan 260mg.
4.	E Misran, S Maulina, S F Dina, A Nazar, S A Harahap. (2018)	Removal efficiency of methylene blue using activated carbon from waste banana stem: Study on pH influence.	Semakin lama waktu karbonisasi maka semakin tinggi rendemen, kandungan karbon dan luas permukaan total. Rendemen dan kandungan karbon yang dicapai dari karbon aktif batang pisang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif dari ampas tebu. Namun, karbon aktif dari ampas tebu memiliki luas permukaan total yang lebih tinggi. Rendemen tertinggi adalah 46,73%, kadar karbon 90,33% dan luas permukaan 1130,465 m ² /g.
5.	E Misran*, O Bani, E M Situmeang and A S Purba (2018)	Removal efficiency of methylene blue using activated carbon from waste banana stem: Study on pH influence.	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh arang batang pisang sebagai adsorben dalam menurunkan kesadahan air. Proses adsorben batang pisang arang dikeringkan dibawah sinar matahari selama satu

NO	Nama dan Tahun Penelitian	Judul	Hasil Penelitian
			<p>minggu, dan di oven pada suhu 110°C selama 24 jam untuk mengurangi kadar air dan kadar air. Selanjutnya, untuk menghilangkan bahan volatil, sampel yang terhidrolisis dipanaskan pada suhu 400°C menjadi arang dengan waktu 30 menit di dalam furnace kemudian diayak dengan saringan 106 µm dan 250 µm dan disimpan dalam desikator. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa proses adsorpsi arang pisang mampu menurunkan tingkat kesadahan air hingga mencapai 43.56% untuk waktu kontak sekitar 240 menit dengan ketebalan arang yang digunakan sekitar 5 cm.</p>
6.	Cendekia Aghni Maghfirana (2019)	Kemampuan adsorpsi karbon aktif dari limbah kulit singkong terhadap logam timbal (Pb) menggunakan sistem kontinyu.	<p>Pada penelitian dilakukan untuk menentukan adsorpsi limbah kulit singkong terhadap logam berat timbal (Pb) menggunakan sistem kontinyu serta perbedaan kemampuan adsorpsinya. Penelitian menggunakan variasi laju alir (5 dan 15ml/menit) dan tinggi adsorben 10 dan 15 cm. Hasil dari penelitian ini adalah didapat rata-rata penyerapan pada variasi bed depth adsorben 10 cm adalah 98,90% dan bed depth adsorben 15 cm adalah 99,32%.</p>

NO	Nama dan Tahun Penelitian	Judul	Hasil Penelitian
7.	Saibun Sitorus, Otta Vianus (2017)	Pemanfaatan Biomassa Batang Pisang (<i>Musa Paradisiaca</i>) Yang Terimmobilkan Pada Abu Batu Bara Sebagai Pengadsorpsi Ion Logam Besi (Fe).	Arang aktif batang pisang layak digunakan sebagai adsorben dengan kadar air 12,27% dan kadar abu 5,84%. dengan waktu kontak optimum adsorpsi arang aktif batang pisang terhadap ion Cr(VI) adalah 120 menit. Kapasitas adsorpsi arang aktif batang pisang terhadap ion Cr(VI) adalah 0,2139 mg/g yang diperoleh pada waktu kontak 120 menit.
8.	Siti Aisyah, Alimuddin, Saibun Sitorus (2019)	Pengaruh Variasi Waktu Pada Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Dari Limbah Batang Pisang (<i>Musa Paradisiaca</i> L.) Terhadap Benzena.	pH optimum terjadi pada pH 5 dengan kadar teradsorpsi sebesar 5,4196 mg/L dan waktu kontak optimum terjadi pada waktu 60 menit dengan kadar teradsorpsi sebesar 5,4280 mg/L. Perbandingan massa optimum pada abu batu bara adalah 0,5 gram biomassa batang pisang dan 1 gram abu batu bara dengan jumlah ion logam besi (Fe) yang teradsorpsi sebesar 5,5699 mg/L . 3. Kapasitas adsorpsi maksimum biomassa batang pisang (<i>Musa Paradisiaca</i>) yang terimmobilkan pada abu batu bara terhadap adsorpsi ion logam besi (Fe) adalah sebesar 2,51004 mg/g.

NO	Nama dan Tahun Penelitian	Judul	Hasil Penelitian
9.	Irmawati Syahrir, 1Damianus Samosir, Nanda Ayu Destarini, Bariah. (2020)	Pemanfaatan Limbah batang pisang (Musa paradisiaca L.) Sebagai arang aktif melalui proses aktivasi menggunakan aktivator NaOH.	Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi activator NaOH yaitu, 1%, 3%, 5%, 7%, 9%. Diperoleh hasil analisa terbaik pada konsentrasi activator 5 %, dengan karakteristik kadar air 1,51 %, kadar abu 8,81 %, <i>volatile matter</i> 8,98 % dan daya serap I2 825,27 mg/g sudah memenuhi standar arang aktif menurut SNI No.06-37301995.
10.	Yuliono, Netti Herawati, Maryono (2014)	Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Batang Pisang (Musa paradisiaca) Terhadap Ion Logam Kromium VI.	Arang aktif batang pisang layak digunakan sebagai adsorben dengan kadar air 12,27% dan kadar abu 5,84%. dengan waktu kontak optimum adsorpsi arang aktif batang pisang terhadap ion Cr(VI) adalah 120 menit. Kapasitas adsorpsi arang aktif batang pisang terhadap ion Cr(VI) adalah 0,2139 mg/g yang diperoleh pada waktu kontak 120 menit.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian merupakan suatu kegiatan ilmiah yang dilakukan secara sistematis dan metodologis dengan menggunakan suatu analisis guna mencapai tujuan tertentu. Sebelum memasuki tahap pengumpulan data atau informasi yang nantinya diolah dan dianalisa secara ilmiah, dalam sebuah penelitian perlu dilakukan pemilihan jenis penelitian sesuai dengan tujuan awal penelitian. Dalam penelitian yang berjudul “Efisiensi Bioadsorben Batang Pisang (*Musa Sp.*) Dalam Mereduksi Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Limbah Artifisial” menggunakan jenis penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang digunakan untuk menjawab permasalahan melalui teknik pengukuran yang cermat terhadap variabel tertentu, sehingga menghasilkan simpulan yang dapat digeneralisasikan. Penelitian kuantitatif banyak digunakan terutama untuk mengembangkan teori dalam suatu disiplin ilmu (Arsyam, 2021).

Pada penelitian ini, dilakukan pengumpulan data faktual berdasarkan hasil eksperimen dan pengujian di laboratorium. Data hasil penelitian tersajikan dalam bentuk informasi numerik maupun grafik yang disertai dengan analisis bersifat statistik guna mendukung kebenaran yang diambil dari suatu teori penelitian terdahulu. Data kuantitatif yang diperoleh juga dipakai untuk menguji sebuah teori yang telah tertulis dalam hipotesis penelitian. Hasil akhir dalam penelitian ini adalah berupa kesimpulan. Data dalam sebuah penelitian eksperimental ini diolah dengan menggunakan uji analisis statistik sehingga dapat diambil kesimpulan dari ada tidaknya perbedaan antar variasi perlakuan dalam sebuah kelompok data.

Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif menggunakan 12 sampel dengan variasi massa dan waktu kontak yang dianalisis memakai Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) untuk mengetahui kadar Pb yang teradsorpsi.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

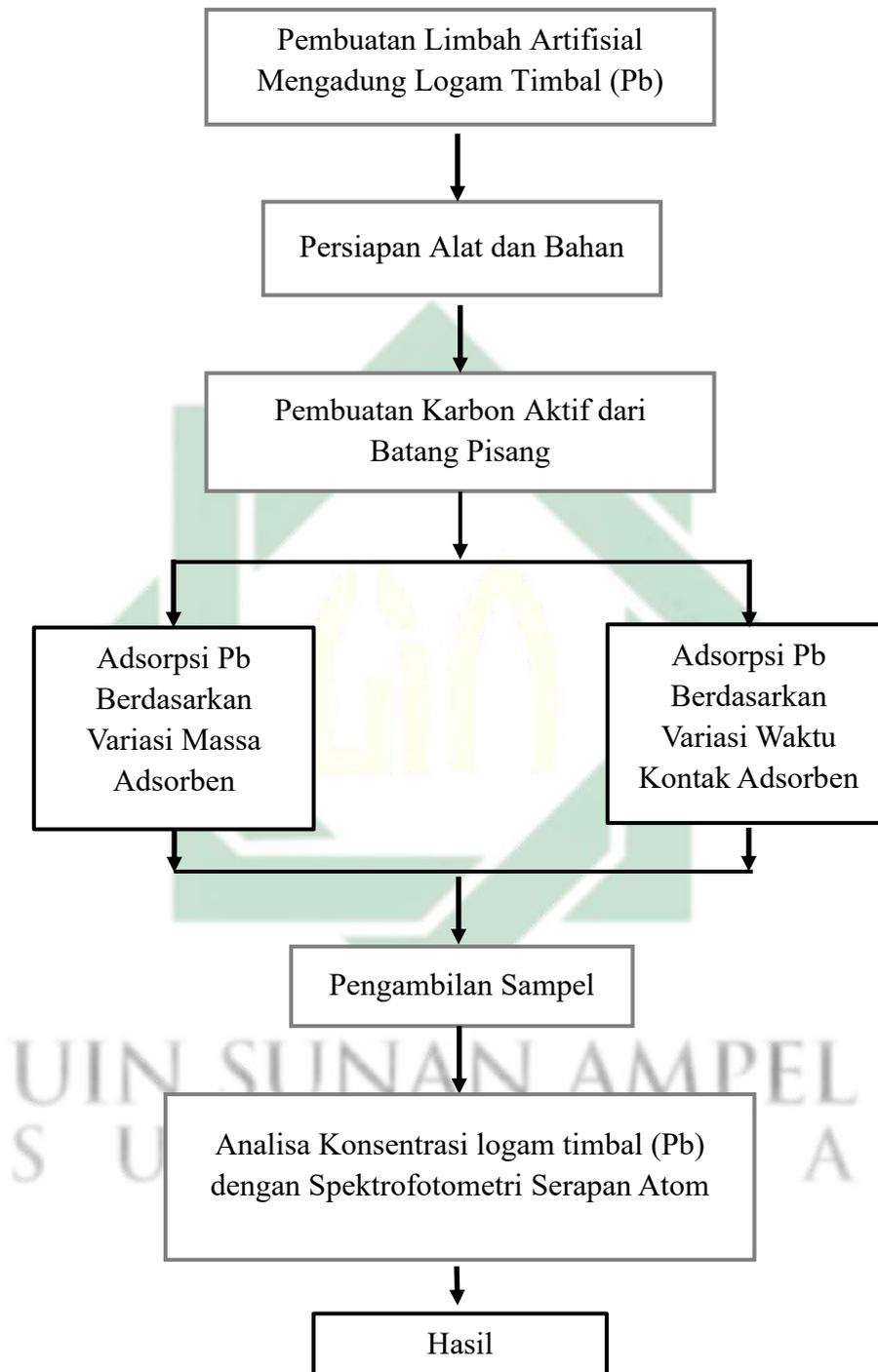
Penelitian dengan judul “Efisiensi Bioadsorben Batang Pisang (*Musa Sp.*) Dalam Mereduksi Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Limbah Artifisial” bertempat di Laboratorium Integrasi UIN Sunan Ampel Surabaya di ruangan Fisika dan Kimia Lingkungan Universitas Islam Negri Sunan Ampel Surabaya yang berlokasi di Jalan Ahmad Yani No. 117, Kelurahan Jemur Wonosari, Kecamatan Wonocolo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60237. Sedangkan analisa kadar Pb dalam air limbah artifisial dilaksanakan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Jombang. Sedangkan Pelaksanaan penelitian tugas akhir dilakukan pada bulan Februari hingga Juni 2021.

3.3 Kerangka Pikir Penelitian

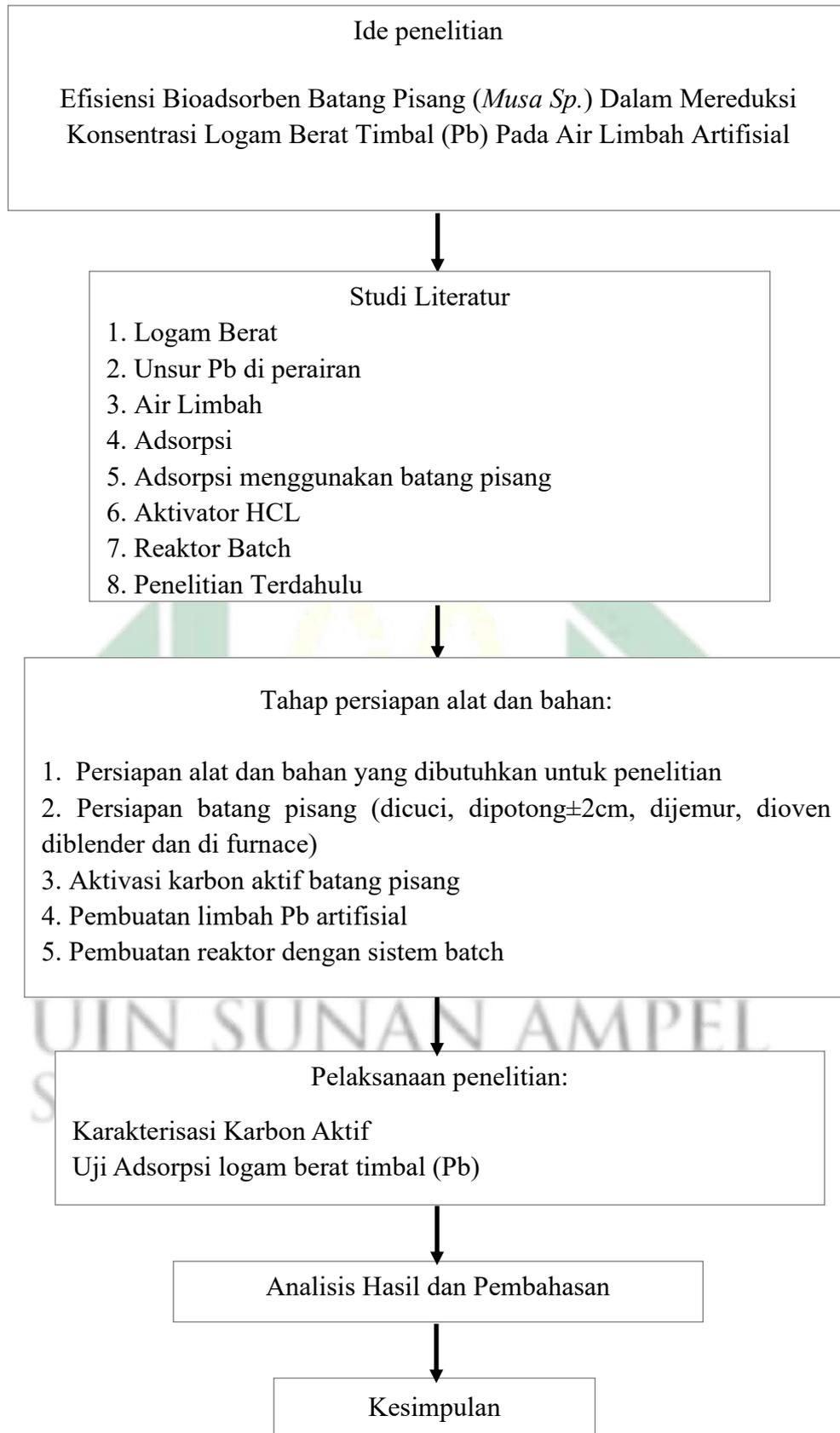
Kerangka pikir penelitian adalah suatu diagram yang dipakai sebagai acuan dalam menjelaskan garis besar alur logika berjalannya sebuah penelitian. Pembuatan kerangka penelitian mangacu pada permasalahan yang ada pada penelitian guna tercapainya tujuan. Penelitian ini dilaksanakan agar dapat mengetahui nilai adsorpsi bioadsorben dari batang pisang terhadap unsur Pb dengan sistem batch sehingga nilai reduksi logam berat dan nilai kapasitas unsur Pb dalam air limbah buatan dapat diketahui. Kerangka pikir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan terdiri atas tahap persiapan penelitian dan tahapan pelaksanaan penelitian. Pada tahap persiapan penelitian berisi tentang studi literatur, dan rancangan reaktor dan untuk tahap pelaksanaan penelitian adalah menyiapkan alar dan bahan, pembuatan limbah artifisial, pembuatan bioadsorben, aktivasi karbon, pembuatan reaktor batch, tahap pengujian adsorben ke dalam reaktor air limbah serta uji karakterisasi bioadsorben. Gambar 3.2 merupakan tahapan-tahapan dalam penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram Kerangka Pikir



Gambar 3.2 Diagram Tahapan Penelitian

3.4.1 Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu massa bioadsorben dan waktu kontak sedangkan variabel terikat yaitu kadar Pb dalam air limbah. Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor batch dengan variasi penelitian yang digunakan yaitu perbedaan waktu kontak adsorben dengan air limbah 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Serta dengan perbedaan massa adsorben 4 gram, 5 gram, dan 6 gram. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah perbedaan waktu kontak adsorben dan perbedaan massa adsorben dapat mengoptimalkan tingkat penyerapan logam berat timbal (Pb) pada air limbah. Rancangan penelitian percobaan dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan

SAMPEL	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
X	XA ₁	XA ₂	XA ₃	XA ₄
Y	YA ₁	YA ₂	YA ₃	YA ₄
Z	ZA ₁	ZA ₂	ZA ₃	ZA ₄

Keterangan:

XA₁ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 60 menit.

YA₁ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 60 menit.

ZA₁ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 60 menit.

XA₂ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 90 menit.

YA₂ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 90 menit.

ZA₂ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 90 menit.

XA₃ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 120 menit.

YA₃ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 120 menit.

ZA₃ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 120 menit.

XA₄ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 150 menit.

YA₄ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 150 menit.

ZA₄ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 150 menit.

S = Tanpa perlakuan (variabel kontrol)

* Sampel tanpa perlakuan dilakukan uji Pb untuk mengetahui kadar Pb awal.

3.4.2 Variabel Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, Adapun variabel-variabel yang terdapat adalah sebagai berikut:

a. Variabel bebas

Variabel bebas/independen pada penelitian ini adalah massa bioadsorben dari batang pisang dan waktu kontak adsorben pada air limbah artifisial.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat/dependen/tetap pada penelitian ini adalah konsentrasi timbal (Pb) dalam air limbah artifisial.

3.4.3 Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat dan bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini:

a. Alat yang digunakan antara lain:

Gelas beaker 1000ml, erlenmeyer, oven, furnace, cawan krusibel, neraca analitik, labu ukur, gelas ukur, *magnetic stirrer*, blender, ayakan ukuran 100 mesh, termometer, corong, mortar, pipet, batang pengaduk kaca, pH meter, aluminium foil dan Spektrofotometri serapan atom (AAS).

b. Bahan yang digunakan antara lain:

Aquades (H₂O), kertas saring whatman, HCL 3M, Pb(NO₃)₂.

3.4.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan urutan tahapan yang dilakukan dalam melakukan suatu penelitian. Tahap-tahap dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.4.1 Preparasi Adsorben Batang Pisang

- a. Persiapan Batang Pisang
- b. Batang pisang dicuci hingga bersih. Setelah itu dipotong kecil-kecil hingga berukuran ± 2 cm. Kemudian dijemur selama 2 hari. Pemotongan batang pisang hingga berukuran kecil dilakukan agar mempercepat proses pengeringan.
- c. Batang pisang kemudian dioven pada suhu 110°C selama 4 jam untuk proses pengeringan tahap 2. Setelah keluar dari oven sampel didiamkan terlebih dahulu hingga temperatur sampel sama dengan suhu ruangan.
- d. Batang pisang yang telah kering, dihaluskan menggunakan blender hingga berbentuk serbuk.
- e. Pembuatan Karbon
- f. Batang pisang yang telah berbentuk serbuk tersebut, kemudian dimasukkan ke dalam cawan krusibel. Lalu dilakukan proses pembakaran dengan menggunakan furnace pada suhu 400°C selama 2 jam (Patracia, 2018). Setelah keluar dari furnace, dilakukan proses pendinginan sampel hingga sama dengan temperatur ruang dan masukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Kemudian sampel diayak menggunakan ayakan 100 mesh.
- g. Aktivasi Karbon
Proses aktivasi dilakukan dengan perendaman karbon dari batang pisang tersebut ke dalam HCL 3M dengan rasio serbuk karbon : HCL yaitu 1 : 2. Kemudian direndam selama 24 jam dalam beaker glass dan ditutup menggunakan alumunium foil. Setelah itu adsorben disaring menggunakan kertas saring dan dicuci menggunakan aquades hingga bersih dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 110°C selama 3 jam (Verayana, 2018).

3.4.4.2 Pembuatan Limbah Artifisial Timbal (Pb)

Pemilihan senyawa timbal (II) nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) berdasarkan penelitian terdahulu dan SNI 06- 6989.8:2004 tentang uji limbah timbal (Pb) dalam Spektrofotometer Serapan Atom. Pada penelitian ini konsentrasi Pb yang digunakan yaitu sebesar 10 ppm dan senyawa Pb yang dipakai adalah dalam bentuk serbuk. Sehingga, dilakukan perhitungan kebutuhan serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang telah disajikan secara detail dibawah ini:

Diketahui:

$$\text{konsentrasi Pb} = 10 \text{ ppm} = 10 \text{ mg/L}$$

$$\text{Ar Pb} = 207,2$$

Ditanya:

Nilai Mol

Jawab:

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

$$M = \frac{gr}{V \times Ar \text{ Pb}}$$

$$M = \frac{10 \text{ mg/L}}{1 \text{ L} \times 207,2}$$

$$= 0,048 \text{ M}$$

Jadi, larutan Pb 10 ppm dalam 1000 ml aquades memiliki nilai molaritas sebesar 0,048 M. Serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dibutuhkan untuk larutan air limbah artifisial 10ppm adalah:

Diketahui:

$$M = 0,048$$

$$\text{Mr Pb}(\text{NO}_3)_2 = (\text{Ar Pb}) + (2 \times \text{Ar N}) + (6 \times \text{Ar O})$$

$$= 207,2 + (2 \times 14) + (6 \times 16)$$

$$= 331,22$$

$$\text{Volume} = 1000 \text{ ml}$$

Ditanya:

kebutuhan serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Jawab:

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{gr}{Mr \text{ Pb(NO}_3)_2} \times \frac{1000}{ml} \\
 0,048 \text{ M} &= \frac{gr}{331,22} \times \frac{1000}{1000} \\
 gr &= 0,048 \times 331,2 \\
 gr &= 15,9 \text{ gr serbuk Pb(NO}_3)_2
 \end{aligned}$$

Jadi, dalam pembuatan limbah artifisial Pb membutuhkan serbuk Pb sebesar 15,9 gr dalam 1 L aquades. Kemudian dilakukan penghomogenan larutan menggunakan batang pengaduk kaca.

3.4.4.3 Proses Adsorpsi Terhadap Limbah Artifisial Pb

Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan reaktor batch. Reaktor yang digunakan berupa beaker glass ukuran 1000 ml. Air limbah artifisial yang mengandung Pb 10 ppm di tuangkan dalam beaker glass sebanyak 1000 ml. Kemudian ditambahkan bioadsorben batang pisang. Setelah itu beaker glass diletakkan pada alat *magnetic stirrer* untuk dilakukan proses pengadukan dengan menggunakan kecepatan 100 rpm/jam dan variasi waktu kontak 60, 90, 120, 150 menit dan massa adsorben 4 gr, 5 gr dan 6 gr. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali pengulangan (*Duplo*).

Limbah mengandung Pb yang telah diadsorpsi dengan bioadsorben batang pisang kemudian di saring menggunakan kertas saring. Penurunan logam berat timbal dalam air limbah artifisial dapat diketahui dengan melakukan uji sampel menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS).

3.4.4.4 Uji Pb Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS)

- a) Disiapkan larutan standar yaitu larutan Pb yang telah diketahui konsentrasinya.
- b) Menyiapkan sampel air limbah artifisial yang telah dilakukan proses adsorpsi.
- c) Menyiapkan larutan blanko, yaitu aquades

- d) Mengukur nilai adsorbansi larutan standar dan sampel menggunakan AAS. Atur panjang gelombang sebesar 283,3 nm atau 217 nm
- e) Catat hasil pengukuran nilai adsorbansinya.
(SNI 6989.8:2009)

3.4.5 Prosedur Analisis

Merupakan tahapan yang perlu dilakukan dalam pengolahan data hasil penelitian. Analisis ini digunakan untuk mengetahui karakteristik dari bioadsorben batang pisang setelah melalui proses pirolisis dan aktivasi. Data tersebut dimasukkan kedalam sebuah rumus perhitungan yang tercantum dibawah ini:

3.4.5.1 Penentuan Yield Bioadsorben

Yield merupakan hasil akhir dari pembuatan bioadsorben. Yield bioadsorben didapatkan dari rasio massa bioadsorben setelah pengaktifasian (karbon yang telah melalui proses aktivasi, pencucian, dan pengeringan) terhadap masa karbon mula-mula. Berikut merupakan prosedur untuk mendapatkan nilai yield bioadsorben batang pisang:

1. Batang pisang yang telah di keringkan, dihaluskan dan diayak. Kemudian ditimbang sebanyak 15 gram.
2. Serbuk batang pisang kemudian diaktivasi sesuai dengan prosedur pembuatan bioadsorben yang telah dijelaskan sebelumnya.
3. Bioadsorben batang pisang ditimbang massanya menggunakan neraca analitik.
4. Yield bioadsorben didapat dengan memasukkan data hasil percobaan dalam Persamaan 3.1.

$$\text{Yield} = \frac{b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

a = berat serbuk batang pisang (gram)

b = berat bioadsorben batang pisang (gram)

3.4.5.2 Penentuan Kadar Air Bioadsorben

Persentase penurunan kadar air digunakan untuk mengetahui karakteristik bioadsorben yang kemudian dibandingkan dengan SNI.

1. Bioadsorben ditimbang sebanyak 1 gram kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 110 °C selama 2 jam.
2. Bioadsorben dikeluarkan dari oven dan dibiarkan hingga suhunya sama dengan suhu ruangan lalu dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang.
3. Kadar air dihitung menggunakan Persamaan 3.2:

$$\text{Kadar air \%} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat kering}}{\text{berat awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

3.4.5.3 Penentuan Kadar Abu Bioadsorben

1. Sebanyak 15 gram bioadsorben diletakkan ke dalam cawan krusibel.
2. Bioadsorben dimasukkan ke dalam furnace selama 1 jam dengan suhu 600°C.
3. Abu hasil furnace kemudian didinginkan dan ditimbang menggunakan neraca analitik.
4. Kadar abu dihitung menggunakan Persamaan 3.3:

$$\text{Kadar abu \%} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

3.4.5.4 Penentuan Kadar *Volatile Matter* Bioadsorben

1. Bioadsorben sebanyak 1 gr diletakkan dalam cawan krusibel berpenutup lalu ditimbang.
2. Cawan krusibel dimasukkan ke dalam furnace hingga suhu mencapai 950 °C.
2. Cawan krusibel dikeluarkan dari furnace dan dibiarkan dingin tanpa membuka penutup cawan.
3. Setelah dingin, cawan porselen masuk ke dalam desikator dan ditimbang.
4. Kadar *Volatile matter* dihitung menggunakan Persamaan 3.4.

$$\text{Volatile matter} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan:

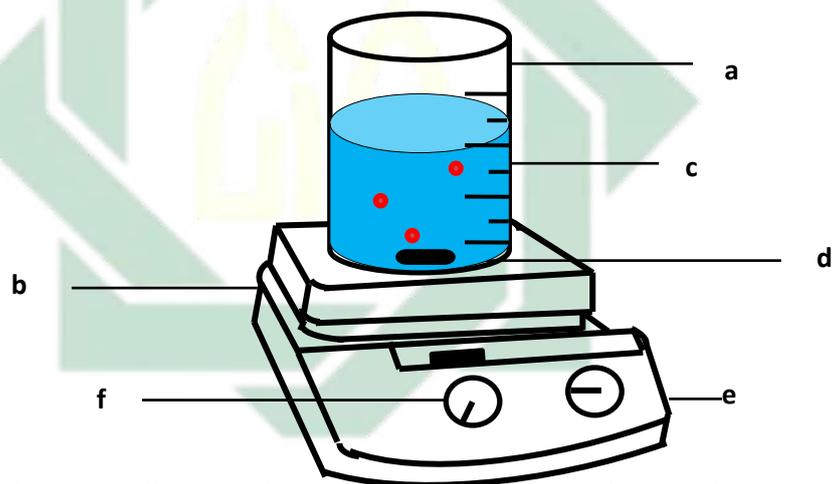
a = berat bioadsorben mula-mula (gram)

b = berat bioadsorben setelah dipanaskan (gram)

(Purba, 2018).

3.4.6 Desain Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor batch dengan menggunakan alat *magnetic stirrer* sebagai alat pengadukan air limbah. Proses adsorpsi dilakukan dengan kecepatan 100 rpm dengan variasi waktu kontak selama 60, 90, 120, 150 menit. Berikut merupakan gambar ilustrasi nya:



Gambar 3.3 Reaktor Batch dengan *Magnetic Stirrer*

Keterangan:

a. Gelas Beaker

d. Magnet Pengaduk (Shaker)

b. *Magnetic Stirrer*

e. Tombol Putaran

c. Adsorben

f. Tombol Suhu

3.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan suatu jawaban sementara terhadap penelitian yang hendak diuji kebenarannya setelah data terkumpul. Jawaban yang diperoleh bisa diterima dan bisa saja ditolak. Maka hipotesis dalam penelitian ini

digunakan untuk menduga perbedaan antara variabel yang diterapkan yaitu variasi waktu kontak adsorben dengan air limbah dan variasi massa yang digunakan. Dengan demikian hipotesis dalam penelitian ini adalah:

H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan antara variasi waktu kontak adsorben dengan air limbah dan variasi massa terhadap penurunan Pb.

H_1 : Ada perbedaan signifikan antara variasi waktu kontak adsorben dengan air limbah dan variasi massa terhadap penurunan Pb.

Berdasarkan probabilitasnya terhadap masing-masing variabel dalam mengambil keputusan dapat dilakukan berdasarkan hal berikut:

H_0 : diterima jika nilai signifikan $> 0,05$ nilai α (sig. $> \alpha$)

H_1 : diterima jika nilai signifikan $< 0,05$ nilai α (sig. $< \alpha$)

3.6 Metode Analisis Data

Pada penelitian ini terdapat dua metode dalam mengolah data yang didapatkan dari hasil uji percobaan. Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Analisa Deskriptif

Analisa deskriptif dalam penelitian ini digunakan untuk menjelaskan mengenai kemampuan adsorben (efisiensi) dalam menurunkan kadar logam timbal (Pb) serta untuk mengetahui kapasitas adsorpsi yang terjadi pada proses adsorpsi oleh batang pisang. Hasil dari perhitungan kapasitas adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui jumlah adsorbat yang dapat diakumulasi pada permukaan adsorben (Aisyahlika, 2018). Kemudian perhitungan dilanjutkan untuk menentukan model isoterm adsorpsi yang tepat pada penelitian ini. Model isoterm terdapat dua macam yaitu Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich. Model isoterm adsorpsi digunakan untuk melihat distribusi adsorpsi saat titik kesetimbangan (Wiyantoko, 2014). Berikut merupakan tahapan beserta rumus yang digunakan dalam analisa deskriptif pada penelitian ini:

1. Menghitung efisiensi penyisihan limbah logam timbal (Pb) dapat dihitung menggunakan rumus (Arif, 2014):

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \%$$

Keterangan:

C_0 : Konsentrasi awal logam (mg/L)

C_e : Konsentrasi akhir logam (mg/L)

2. Kemudian menghitung kapasitas adsorpsi Pb oleh bioadsorben menggunakan rumus berikut:

$$Q_e = \frac{C_i - C_e}{\text{massa Adsorben}} \times \text{Volume}$$

Sumber: (Arif, 2014)

Keterangan:

q_e = Kapasitas adsorpsi / massa adsorbat yang teradsorpsi per satuan massa adsorben (mg/g)

C_i = Nilai Konsentrasi Limbah Awal (mg/l)

C_e = Nilai Konsentrasi Limbah Akhir (mg/l)

m_{adsorben} = Massa Adsorben (g)

V = Volume Adsorbat (L).

3. Setelah itu dilanjutkan dengan menghitung Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich. Perhitungan isoterm memerlukan data hasil uji kadar Pb awal dan akhir serta nilai kapasitas adsorpsi. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich:

Rumus Isoterm Langmuir

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_a \cdot q_m}$$

Rumus Isoterm Freundlich

$$\log (q_e) = \log (K_f) + \frac{1}{n} \cdot \log (C_e)$$

Keterangan:

C_0 = Kadar Pb awal (mg/L)

C_e = Kadar Pb akhir (mg/L)

Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

q_m = Konstanta adsorpsi Langmuir

K_a = Kesetimbangan adsorpsi

K_f = Konstanta kesetimbangan adsorpsi Freundlich

n = Konstanta faktor intensitas

b. Analisa Statistik

Dalam penelitian ini data dianalisis untuk mengetahui perbedaan waktu kontak dan massa adsorben. Oleh karena itu metode analisis data statistik parametrik dalam penelitian ini yaitu uji Repeated Measure Anova. uji Repeated Measure Anova digunakan untuk menguji perbedaan dari tiga sampel atau bahkan lebih yang saling berpasangan. Data hasil penelitian diolah ke dalam program SPSS dan dilakukan analisis sehingga dapat ditarik kesimpulan sesuai dengan hipotesis awal penelitian. Berikut persyaratan yang harus terpenuhi saat menggunakan uji Repeated Measure Anova:

1. Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan sebagai uji pendahuluan untuk mengetahui apakah data yang digunakan terdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas yang digunakan pada penelitian ini adalah Uji Saphiro-Wilk sebab sampel yang jumlahnya kurang dari 50 data. Adapun pedoman pengambilan keputusan uji normalitas Saphiro Wilk adalah sebagai berikut:

- a. Jika nilai Sig. (signifikansi) $> 0,05$ maka distribusi data adalah normal.
- b. Jika nilai Sig. (signifikansi) $< 0,05$ maka distribusi data adalah tidak normal.

2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah variasi dari beberapa data sama atau tidak. Adapun pedoman dalam uji homogenitas adalah sebagai berikut:

- a. Jika nilai Sig. (signifikansi) $> 0,05$ maka dikatakan bahwa variasi dari dua atau lebih kelompok populasi adalah sama (homogen).
- b. Jika nilai Sig. (signifikansi) $< 0,05$ maka dikatakan bahwa variasi dari dua atau lebih kelompok populasi adalah tidak sama (tidak homogen).

3. Uji Repeated Measure Anova

Uji Repeated Measure Anova memiliki persyaratan sebagai berikut:

- a) Variabel independent (variabel bebas) menggunakan data berskala kategori. Sementara untuk variabel dependent (variabel terikat) menggunakan data berskala interval atau rasio (numerik).
- b) Uji Repeated Measures Anova merupakan bagian dari statistik parametrik. Oleh karena itu, nilai Standardized Residual untuk semua pengukuran (variabel) harus berdistribusi normal. Sementara itu, jika salah satu dari nilai Standardized Residual untuk variabel ada yang tidak normal, maka solusinya adalah mengganti analisis data dengan statistik non parametrik menggunakan uji friedman.
- c) Data penelitian diasumsikan memiliki varians yang sama atau homogen. Hal ini dibuktikan dengan nilai signifikansi (Sig.) > 0,05 pada Mauchly's Test of Sphericity. Namun demikian, untuk persyaratan poin ke-3 ini bukanlah sebuah keharusan (tidak mutlak). Sebab, walaupun varians tidak homogen, akan tetapi kita tetap bisa melanjutkan penggunaan uji repeated measures anova untuk analisis data penelitian yakni dengan memperhatikan nilai Greenhouse-Geisser yang ada di tabel output SPSS Tests of Within-Subjects Effects

4. Penarikan Kesimpulan Uji Repeated Measure Anova:

- a. Jika nilai Asym. Sig. (signifikansi) > 0,05 maka tidak ada perbedaan secara signifikan atau H_0 diterima.
- b. Jika nilai Sig. (signifikansi) < 0,05 maka ada perbedaan secara signifikan atau H_1 diterima.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Bioadsorben

Batang pohon pisang yang digunakan pada penelitian ini adalah berasal dari limbah sisa perkebunan. Dimana pohon pisang tersebut telah berbuah sekaligus sudah dipanen buahnya. Seusai dipanen buahnya, pohon pisang tidak dapat berbuah untuk yang kedua kalinya. Agar dapat berkembang biak, batang pohon pisang perlu ditebang terlebih dahulu sehingga siklus hidup pohon pisang dapat digantikan oleh tunas yang tumbuh saat induk pohon pisang masih hidup. Akibat dari perkembangbiakan pohon pisang yang unik tersebut, secara langsung dapat berdampak pada peningkatan limbah batang pohon pisang jika dipanen dalam skala besar dan dalam kurun waktu yang berdekatan pula. Oleh karena itu limbah batang pohon pisang yang belum dimanfaatkan tersebut diolah menjadi bioadsorben sebagai salah satu alternatif untuk meduksi pencemaran logam berat di perairan.

4.1.1 Persiapan Batang Pisang

Batang pisang yang dipakai untuk pembuatan bioadsorben pada penelitian ini diambil di daerah kuwukan, tandes, surabaya barat. Penampakan batang pisang yang telah di tebang dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4. 1 Batang pisang

Seusai ditebang, batang pisang tersebut di pisahkan helai demi helai agar mempermudah proses pencucian dan pemotongan. Setelah itu, batang pisang tersebut di cuci menggunakan air mengalir agar bersih dari getah pohon pisang. Kemudian di lap menggunakan kain bersih hingga kering. Selanjutnya batang pisang yang sudah bersih di potong-potong menjadi bagian kecil dan tipis, hal tersebut dilakukan untuk mempercepat proses pengeringan. Berikut merupakan gambar hasil pemotongan batang pisang yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3 dibawah ini:



Gambar 4.2 Batang pisang yang dipisahkan tiap helai



Gambar 4.3 Batang pisang yang dipotong hingga kecil

Batang pisang yang telah dipotong hingga berukuran kecil, selanjutnya dilakukan proses pengeringan dibawah sinar matahari selama 2 hari. Proses penjemuran dilakukan untuk mengurangi kadar air yang terdapat pada batang pisang. Batang pisang yang sudah dikeringkan berubah warna menjadi sedikit kecoklatan dan berukuran menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Berikut merupakan gambar

batang pisang setelah dilakukan proses penjemuran dibawah sinar matahari:



Gambar 4. 4 Batang Pisang Setelah Dijemur

Hasil proses penjemuran selama 2 hari pada batang pisang ternyata masih belum efektif untuk mengurangi kadar air. Hal tersebut dibuktikan dari pengamatan secara langsung sekaligus adanya sensasi lembab jika di pegang menggunakan tangan. Sehingga dapat diketahui bahwa kadar air yang terkandung pada batang pisang masih tinggi.

Dikarenakan proses pengeringan dengan memanfaatkan sinar matahari dirasa kurang cukup untuk mengurangi kadar air, maka dilanjutkan proses berikutnya yaitu pengeringan menggunakan oven. Proses pengovenan dilakukan pada suhu 110°C selama 4 jam (Muna, 2011). Proses pengovenan dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini:



Gambar 4. 5 Proses Pengovenan

Proses pengovenan berlangsung pada suhu 110°C yang bertujuan agar kadar air yang terkandung dalam batang pisang dapat menurun (Yuliono, dkk., 2014). Sebab, kadar air sangat berpengaruh dalam kualitas bioadsorben nantinya. Bioadsorben batang pisang yang sudah dioven kemudian dimasukkan ke dalam desikator untuk dilakukan pendinginan. Persentase kadar air pada bioadsorben harus sesuai dengan SNI 06-3730-1995. Syarat mutu kadar air pada bioadsorben yang telah diatur oleh SNI adalah sebesar < 15%. (SNI, 1995).

Batang pisang yang telah melalui proses pengovenan berubah warna menjadi coklat gelap. Hasil proses pengovenan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 6 Hasil Pengovenan

Setelah proses pengovenan, batang pisang dibiarkan di suhu ruangan selama 1 jam. Kemudian tahapan selanjutnya adalah mengukur berat batang pisang yang telah kering menggunakan neraca analitik. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung pada batang pisang seusai dilakukan pengovenan. Perhitungan kadar air dapat dilihat dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air batang pisang} &= \frac{\text{berat awal} - \text{berat kering}}{\text{berat awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{1250 \text{ gr} - 552 \text{ gr}}{1250 \text{ gr}} \times 100\% \\
 &= \frac{698 \text{ gr}}{1250 \text{ gr}} \times 100\% \\
 &= 0,558 \times 100\% \\
 &= 55,84 \%
 \end{aligned}$$

4.1.2 Proses Pembuatan Bioadsorben

Proses karbonisasi merupakan proses perubahan fisika dan kimia dengan adanya proses perubahan akibat dari pengaruh temperature sehingga mengkonversi zat organik menjadi residu, pada residu tersebut terdapat senyawa karbon. Batang pisang yang telah melewati proses dehidrasi, selanjutnya akan dilakukan proses pengecilan volume menggunakan blender. Kemudian, batang pisang yang telah halus tersebut di masukkan kedalam cawan porselen untuk dilakukan proses karbonisasi pada alat furnace. Furnace digunakan. Setelah keluar dari furnace, dilakukan proses pendinginan sampel hingga sama dengan temperatur ruang. Agar lebih mudah dipahami, berikut disajikan tabel tahapan pembuatan bioadsorben dari batang pisang beserta gambarnya pada tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4. 1 Proses Karbonisasi Batang Pisang

NO	Perlakuan	Gambar
1.	Batang pisang kering di timbang di neraca analitik seberat 60 gr dan diletakan pada cawan krusibel dengan pembagian berat masing-masing 15 gr.	

NO	Perlakuan	Gambar
2.	Kemudian batang pisang yang sudah dimasukkan kedalam cawan krusibel tersebut diletakkan dalam furnace. Suhu furnace diatur sebesar 400°C dengan durasi selama 2 jam (Patracia, 2018).	
3.	Setelah di furnace Batang pisang yang awalnya berwarna coklat berubah menjadi hitam keabu-abuan.	
4.	Batang pisang di haluskan dengan menggunakan mortar.	
5.	Batang pisang diayak dengan ukuran 100 mesh untuk menyeragamkan ukuran serbuk.	

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

4.1.2.1 Karakteristik Bioadsorben Batang Pisang

a) Perhitungan Yield Bioadsorben

Yield merupakan hasil akhir dari pembuatan bioadsorben. Yield bioadsorben didapatkan dari rasio massa bioadsorben setelah pengaktifasian (karbon yang telah melalui proses aktivasi, pencucian, dan pengeringan) terhadap masa karbon mula-mula. Hasil dari perhitungan yield bioadsorben nantinya, akan didapat data berupa persentasi massa bioadsorben yang hilang selama proses karbonisasi. Persentasi massa yang hilang diambil dari jumlah massa yang hilang selama proses karbonisasi dibanding dengan jumlah massa serbuk batang pisang mula-mula. Agar lebih jelas, berikut merupakan perhitungan yield bioadsorben batang pisang:

RUMUS:

$$\text{Yield} = \frac{b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = berat serbuk batang pisang (gram)

b = berat bioadsorben batang pisang (gram)

$$\text{Yield} = \frac{b}{a} \times 100\%$$

$$= \frac{7,28}{15} \times 100\%$$

$$= 48,53 \%$$

b) Perhitungan Kadar Air Bioadsorben

Penentuan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari bioadsorben. Dengan melakukan pengujian, kadar air yang tersisa pada bioadsorben setelah melalui proses aktivasi dapat diketahui. Hasil perhitungan kadar air, akan didapat persentase kadar air yang kemudian dibandingkan dengan SNI.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Kadar Air Pada Karbon Batang Pisang

Berat Cawan kosong (gr)	Berat cawan + sampel awal (gr)	Berat cawan + sampel setelah kering (gr)	Kadar Air	SNI
43,5193	44,5193	44,5020	1,7%	06-37301995 Max. 15%

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

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

Keterangan =

a : Berat cawan + sampel awal (gr)

b : Berat cawan + sampel kering (gr)

c : Berat sampel awal (gr)

RUMUS:

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air (\%)} &= \frac{a - b}{c} \times 100\% \\ &= \frac{44,5193 - 44,5020}{1,0000} \times 100\% \\ &= \frac{0,0173}{1,0000} \times 100\% \\ &= 1,7\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan kadar air pada sampel karbon batang pisang didapatkan persentase sebesar 1,7%. Sehingga dapat dinyatakan bahwa karbon batang pisang telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI 06-3730-1995. Karbon aktif memiliki sifat higroskopis atau kemampuan dalam mengikat air, sehingga perlu dilakukan perhitungan kadar air pada karbon aktif (Laos, 2016).

c) Perhitungan Kadar Abu Bioadsorben

Pengujian kadar abu pada bioadsorben bertujuan untuk mengetahui sisa kandungan oksida logam dari mineral yang berasal dari bahan yang masih ada pada bioadsorben setelah dilakukan aktivasi. Kandungan tersebut tidak akan menguap Ketika proses pengabuan berlangsung. Jika kandungan kandungan abu semakin tinggi maka dapat mempengaruhi daya serap. Daya serap yang dihasilkan akan semakin rendah Sehingga kadar abu pada bioadsorben harus kecil agar proses adsorpsi dapat berjalan dengan maksimal (Meilianti, 2017). Untuk mendapatkan kadar karbon pada sampel batang pisang digunakan rumus : $b/a \times 100 \%$ yang kemudian hasil dari perhitungan nantinya akan dibandingkan dengan standar SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Berikut merupakan perhitungan kadar bioadsorben:

RUMUS:

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{b}{a} \times 100 \%$$

Keterangan:

a : Berat bioadsorben sebelum di furnace (gr)

b : Berat bioadsorben sesudah di furnace (gr)

Diketahui:

Berat Cawan kosong (gr) = 50,6120

Berat sampel + cawan awal (gr) = 65,6120

Berat setelah di furnace + cawan (gr) = 52,028

$$\begin{aligned} \text{Kadar Abu (\%)} &= \frac{b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{52,028 - 50,6120}{65,6120 - 50,6120} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,416}{15} \times 100\% \\
 &= 0,0944 \times 100\% \\
 &= 9,44\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Kadar Abu pada Karbon Batang Pisang

Berat Cawan kosong (g)	Berat bioadsorben sebelum di furnace (gr)	Berat bioadsorben sesudah di furnace (gr)	Kadar abu	SNI 06-37301995
50,6120	15	13,584	9,44%	Max. 10%

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Standar Karbon Aktif yang mengacu pada SNI 06-370-1995 menyatakan bahwa kadar abu dalam bentuk serbuk maksimal adalah sebesar 10%. Setelah dilakukan perhitungan kadar abu yang terkandung dalam batang pisang mencapai 9,44% hal tersebut membuktikan bahwa karbon aktif dengan menggunakan batang pisang telah memenuhi standar kadar abu yang dikeluarkan oleh SNI.

d) Perhitungan *Volatil Matter* Bioadsorben

Penentuan *kadar volatile matter* atau kadar zat mudah menguap bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang mudah menguap yang terkandung dalam bioadsorben. Zat yang tergolong *volatile* diantaranya yaitu H₂, CO, CH₄, dan gas yang dapat mengembun seperti CO₂ dan H₂O. Berikut merupakan rumus untuk Analisa kadar *Volatil Matter*:

$$\text{Volatil matter} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = berat bioadsorben mula-mula (gram)

b = berat bioadsorben setelah dipanaskan (gram)

Volatile matter:

$$\begin{aligned} VM &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{\text{massa bioadsorben awal} - \text{massa setelah di pirolisis}}{\text{massa bioadsorben awal}} \times 100\% \\ &= \frac{1 \text{ gr} - 0,5993}{1 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 0,4007 \times 100\% \\ &= 40,07\% \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 06-3730-1995, kadar *volatile matter* (Zat menguap) pada bioadsorben maksimal adalah sebesar 25%. Pada penelitian ini, hasil perhitungan kadar *volatile matter* sebesar 40,07 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa masih banyak zat menguap yang memblokir permukaan bioadsorben, sehingga nilainya melebihi batas maksimum yang telah diatur dalam SNI Arang Aktif Teknis.

4.1.3 Proses Aktivasi Karbon

Aktivasi merupakan proses untuk memperbesar pori-pori karbon pada batang pisang sehingga hidroksiapatit dapat terbuka, hal ini dapat dilakukan dengan cara penggunaan aktivator yang dapat melarutkan pengotor yang terdapat di dalam hidroksiapatit. Hidroksiapatit merupakan adsorben yang banyak digunakan dalam proses defluorisasi air karna dapat mengikat ion F negatif. (Amalia dkk., 2018). Proses aktivasi dilakukan dengan perendaman karbon dari batang pisang tersebut ke dalam HCL 3M dengan rasio serbuk karbon : HCL yaitu sebesar 1 : 2. Semakin tinggi konsentrasi aktivator yang digunakan, maka tingkat penyerapan adsorben akan semakin baik. Sebab, permukaan bioadsorben yang aktif akan semakin banyak, sehingga mudah untuk menyerap logam berat Pb (Sylvia dkk., 2021). Kemudian direndam selama 24 jam dalam beaker glass dan ditutup menggunakan alumunium foil. Setelah itu adsorben disaring menggunakan kertas saring dan dicuci menggunakan aquades hingga bersih (ditandai dengan

air bekas cucian tidak berbau HCL pekat). dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 110 °C selama 3 jam (Verayana, 2018).

Proses aktivasi

Pada proses aktivasi, batang pisang yang sudah berubah menjadi serbuk ditambahkan dengan larutan HCL 3M. Untuk mengetahui volume HCL 3M yang akan ditambahkan kedalam larutan aquades hingga 550 ml, dilakukan perhitungan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Mr HCL} = 36,46 \text{ g/mol}$$

$$\rho = 1,19 \text{ g/mol}$$

$$\% \text{ HCL} = 37\%$$

Ditanya : M ?

Jawab :

$$\begin{aligned} M &= (\% \times 10 \times \rho) / (\text{Mr HCL}) \\ &= (37 \times 10 \times 1,19 \text{ g/mol}) / (36,46 \text{ g/mol}) \\ &= 440,3 \text{ g/mol} \times 36,46 \text{ g/mol} \\ &= 16,053 \text{ M} \end{aligned}$$

Konsentrasi HCL 3M:

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 16,053 \text{ M} = 550 \text{ ml} \times 3\text{M}$$

$$V_1 = 102,78 \text{ ml}$$

$$= 103 \text{ ml}$$

Sehingga untuk membuat larutan HCL dengan konsentrasi 3M dibutuhkan sebanyak 103 ml HCL pekat yang dilarutkan dengan larutan aquades dalam beaker glass sebanyak 447 ml. Langkah-langkah kerja dalam melakukan aktivasi karbon batang pisang dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Proses Aktivasi Batang Pisang

NO	Perlakuan	Gambar
1.	HCL pekat diambil sebanyak 103 ml menggunakan gelas ukur	
2.	HCL sebanyak 103 ml dituangkan ke dalam beaker glass dan ditambahkan aquades hingga 550 ml. Kemudian diaduk menggunakan batang pengaduk kaca. Hal ini dilakukan untuk menghomogenkan larutan.	
3.	Selanjutnya, karbon batang pisang di masukkan kedalam gelas beaker dan diaduk menggunakan batang pengaduk kaca. Kemudian didiamkan selama 24 jam.	
4.	Langkah selanjutnya adalah disaring dengan menggunakan kertas saring dan dibilas dengan aquadest sebanyak 3 kali.	

NO	Perlakuan	Gambar
5.	Karbon batang pisang yang telah diaktivasi, kemudian dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 110 °C selama 3 jam.	

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

4.1.4 Pembuatan Limbah Artifisial

Limbah artifisial adalah limbah yang dihasilkan dari proses pencampuran larutan aquadest dengan zat pencemar yang telah dirancang sesuai dengan penelitian. Air limbah artifisial yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah artifisial jenis timbal (Pb). Pada penelitian ini konsentrasi Pb yang digunakan yaitu sebesar 10 ppm dan senyawa Pb yang dipakai adalah dalam bentuk serbuk. Sehingga, dilakukan perhitungan kebutuhan serbuk $Pb(NO_3)_2$ yang telah disajikan secara detail dibawah ini:

Diketahui:

$$\text{konsentrasi Pb} = 10 \text{ ppm}$$

$$\text{Ar Pb} = 207,2$$

$$10 \text{ ppm} = 10 \text{ mg/L}$$

Ditanya:

Nilai Mol

Jawab:

$$M = \frac{n}{v}; \quad \text{dan} \quad n = \frac{gr}{Ar}$$

$$M = \frac{gr}{V \times Ar \text{ Pb}}$$

$$M = \frac{10 \text{ mg/L}}{1 \text{ L} \times 207,2}$$

$$= 0,048 \text{ M}$$

Jadi, larutan Pb 10 ppm dalam 1000 ml aquades memiliki nilai molaritas sebesar 0,048 M.

Serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dibutuhkan untuk larutan air limbah artifisial 10 ppm adalah:

Diketahui:

$$M = 0,048$$

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

$$\text{Volume} = 1000 \text{ ml}$$

Ditanya:

kebutuhan serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Jawab:

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

$$0,048 \text{ M} = \frac{\text{gr}}{331,22} \times \frac{1000}{1000}$$

$$\text{gr} = 0,048 \times 331,2$$

$$\text{gr} = 15,9 \text{ gr serbuk Pb}(\text{NO}_3)_2$$

Jadi, dalam pembuatan limbah artifisial Pb membutuhkan serbuk Pb sebesar 15,9 gr dalam 1 L aquades. Kemudian dilakukan penghomogenan larutan menggunakan batang pengaduk kaca. Setelah itu dilakukan pengujian sampel limbah menggunakan spektrofotometri serapan atom (AAS) yang dilakukan di Laboratorium DLH Kabupaten jombang. Hasil pengujian sampel limbah artifisial Pb tanpa perlakuan memiliki kadar sebesar 8,197 mg/l. Dalam hal ini terdapat perbedaan sebesar 1,803 mg/l antara perhitungan pada saat pengenceran dengan hasil uji menggunakan spektrofotometri AAS. Permasalahan ini dapat terjadi karena adanya kesalahan atau human error baik dari pihak internal maupun eksternal, sehingga konsentrasi yang dihasilkan tidak sesuai dengan perhitungan awal. Kesalahan dapat terjadi ketika proses pengukuran massa serbuk Pb dengan menggunakan neraca analitik. Neraca analitik yang belum di kalibrasi mengakibatkan berkurangnya

akurasi nilai penimbangan. Berkurangnya serbuk Pb ketika proses penimbangan atau pemindahan serbuk dari tempat satu ke tempat yang lain juga menjadi faktor berkurangnya konsentrasi pada larutan. Faktor lainnya adalah karena adanya zat pengotor atau kontaminan yang tidak diketahui pada wadah penyimpanan serbuk Pb maupun wadah saat membuat larutan limbah artifisial, sehingga terjadi perbedaan konsentrasi pada larutan.

4.1.5 Perancangan Reaktor

Perancangan dan model reaktor biofilter menyesuaikan kebutuhan dan perencanaan pada penelitian dengan melihat kapasitas reaktor dan volume media yang digunakan (Mirandri, 2020). Reaktor biofilter yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor batch dengan menggunakan alat *magnetic stirrer* sebagai alat pengadukan air limbah. Mekanisme kerja pada reaktor batch yaitu dengan memasukkan seluruh reaktan bersama-sama pada awal proses dan keseluruhan hasil adsorpsi dikeluarkan pada akhir proses. Dalam proses ini, reagen ditambahkan di awal proses running dan tidak penambahan atau pengeluaran ketika proses berlangsung. Proses batch cocok untuk produksi dengan kapasitas kecil. Berikut merupakan gambar reaktor batch yang di pakai dalam penelitian ini:



Gambar 4. 7 Reaktor Batch dengan *Magnetic Stirrer*

Berdasarkan gambar diatas, limbah artifisial dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* dengan penambahan bioadsorben dari batang pisang yang telah mengalami proses pirolisis di dalam furnace pada suhu 400°C selama 2 jam. Proses ini disebut proses adsorpsi. Proses adsorpsi merupakan salah satu metode pengolahan air limbah dengan cara penyerapan adsorbat pada permukaan adsorben. Proses running reaktor batch dilakukan pada suhu ruangan, yaitu berkisar antara 28-29°C.

Proses adsorpsi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan kecepatan 100 rpm dengan variasi waktu kontak selama 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit. Berdasarkan penelitian Syauqiah (2011), pada proses pengadukan dengan kecepatan 90 rpm, terjadi penurunan konsentrasi logam berat paling optimum pada air limbah, sedangkan penurunan konsentrasi logam berat pada kecepatan pengadukan 120 rpm sedikit berkurang jika dibandingkan dengan penurunan Pb pada pengadukan 90 rpm. Kecepatan pengadukan sebesar 100 rpm ditentukan berdasarkan penelitian terdahulu yang membuktikan bahwa pada kecepatan pengadukan 90 rpm terjadi penurunan kadar logam berat paling optimum dan pada kecepatan 120 rpm konsentrasi logam berat mengalami kenaikan dibandingkan sebelumnya. Pertimbangan lain pada pemilihan kecepatan pengadukan adalah jika pengadukan terlalu lambat maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula, tetapi bila pengadukan terlalu cepat kemungkinan struktur adsorben cepat rusak, sehingga proses adsorpsi kurang optimal (Syauqiah, 2011).

4.2 Analisis Adsorpsi Pb Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang

Proses penyerapan logam berat Pb dilakukan dengan menggunakan reaktor sistem batch. Bioadsorben yang digunakan berasal dari batang pisang. Pengujian kadar Pb dalam air limbah artifisial menggunakan alat Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) yang dilakukan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Jombang.

Tabel 4.5 Data Uji Kadar Pb dalam Air Limbah Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang.

SAMPLER	Kadar Pb Dalam Air Limbah Menggunakan Bioadsorben			
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
kadar Pb Awal	8,197	8,197	8,197	8,197
X	3,224	2,445	1,403	0,908
Y	2,415	1,538	1,341	0,764
Z	1,135	0,800	0,867	0,521

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

4.2.1 Adsorpsi Pb dengan Variasi Massa dan Waktu Kontak

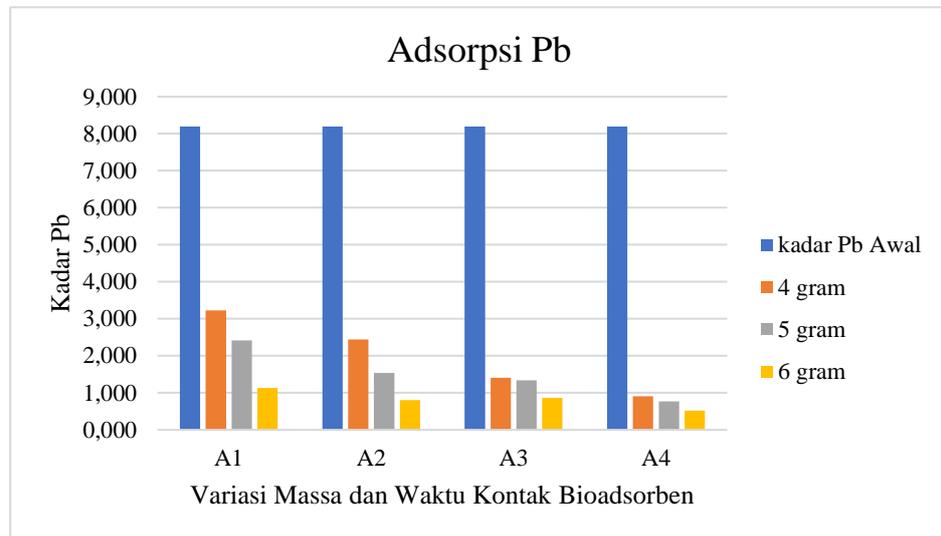
Penelitian ini menggunakan variasi massa adsorben 4, 5, dan 6 gram serta waktu kontak 60, 90, 120, dan 150 menit. Berikut merupakan tabel hasil uji adsorpsi Pb menggunakan bioadsorben batang pisang:

Keterangan:

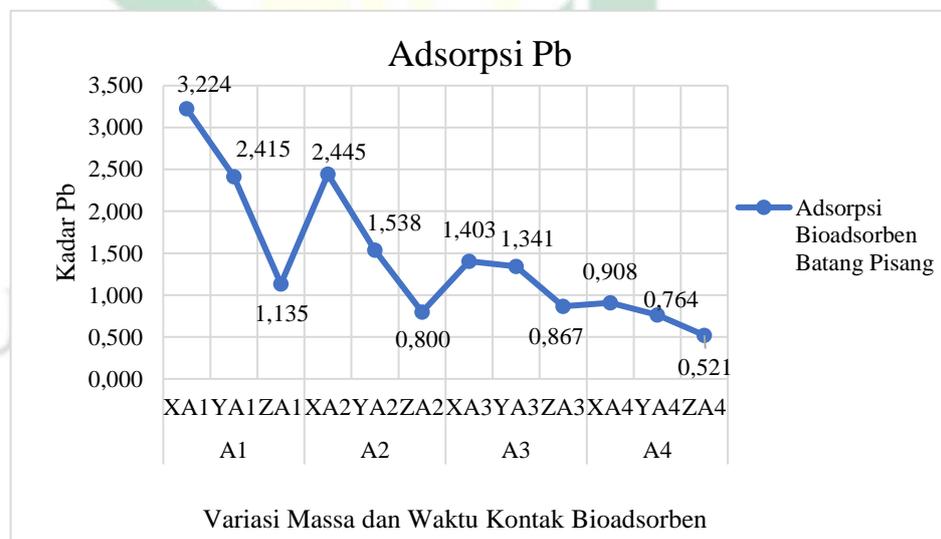
Jenis Sampel:

- XA₁ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- YA₁ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- ZA₁ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- XA₂ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- YA₂ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- ZA₂ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- XA₃ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- YA₃ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- ZA₃ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- XA₄ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 150 menit.
- YA₄ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 150 menit.
- ZA₄ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 150 menit.

Data hasil kadar Pb dari tabel 4.5 diubah menjadi data dalam bentuk grafik agar mempermudah proses analisis. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9 dibawah ini:



Gambar 4. 8 Grafik Diagram Batang Uji Kadar Pb Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang.



Gambar 4. 9 Grafik Diagram Garis Uji Kadar Pb Air Limbah Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang.

Pada penelitian ini, uji sampel air limbah artifisial dilakukan sebanyak dua kali pengulangan (duplo). Tiap sampel air limbah yang mengandung logam berat Pb, dibuat variasi perlakuan massa dan waktu kontak yang berbeda. Masa bioadsorben divariasikan sebanyak 3 macam

yaitu 4 gram, 5 gram, dan 6 gram. Sedangkan untuk waktu kontak divariasikan sebanyak 4 macam yaitu 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit. Pada variasi massa adsorben sebanyak 4 gram, penurunan kadar Pb berurutan sesuai dengan waktu kontak yaitu sebesar 3,224 mg/L; 2,445 mg/L ; 1,403 mg/L ; 0,908 mg/L. Untuk massa adsorben 5 gram, penurunan kadar Pb berurutan sesuai dengan waktu kontak yaitu sebesar 2,415 mg/L ; 1,538 mg/L ; 1,341 mg/L ; 0,764 mg/L. Sedangkan pada massa adsorben 6 gram, penurunan kadar Pb berurutan sesuai dengan waktu kontak yaitu sebesar 1,135 mg/L ; 0,800 mg/L ; 0,867 mg/L ; 0,521 mg/L. Berdasarkan hasil uji kadar Pb pada air limbah artifisial dengan variasi massa dan waktu kontak menggunakan bioadsorben batang pisang, didapatkan data bahwa penurunan kadar Pb paling rendah adalah pada sampel XA₁ yaitu variasi massa 4 gram dan waktu kontak 60 menit dengan kadar Pb sebesar 3,2 mg/l. Sedangkan penurunan kadar Pb paling optimum terjadi pada sampel ZA₄, yaitu variasi massa 6 gram dan waktu kontak 150 menit dengan kadar Pb sebesar 0,5 mg/l. dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan massa adsorben dan waktu kontak berbanding lurus dengan tingkat penyerapan Pb.

Waktu kontak memiliki pengaruh dalam berlangsungnya proses adsorpsi. Waktu kontak kurang dari 150 menit berada dalam kondisi seimbang, dimana proses adsorpsi dapat dicapai. Jika melebihi waktu tersebut maka banyak adsorbat yang terserap tidak berbanding lurus dengan penambahan waktu kontak. Sehingga nilai dari hasil uji adsorpsinya tidak akan berubah secara signifikan (Han, 2007). Sedangkan berdasarkan penelitian dari Jubilate, dkk. (2016) pada waktu kontak kurang dari 30 menit nilai hasil adsorpsi cenderung lebih kecil, sebab masih belum terjadi interaksi antara adsorben dengan adsorbat. Dimana permukaan adsorben belum terisi sepenuhnya oleh adsorbat. Hal tersebut dapat mewakili keadaan adsorpsi yang terjadi pada sampel X (waktu kontak 60 menit) dimana hasil penyerapan kadar Pb masih belum optimal. Dikarenakan pada waktu kontak tersebut interaksi antara adsorben dan adsorbat baru dimulai.

4.2.2 Efisiensi Adsorpsi Pb dengan Variasi Massa dan Waktu Kontak

Persentase efisiensi menyatakan penyerapan kadar logam berat Pb oleh adsorben dalam persen. Dari hasil pengolahan data uji penyerapan Pb dalam air limbah artifisial, dilakukan perhitungan untuk mencari persentase efisiensi adsorpsi Pb. Efisiensi adsorpsi dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

RUMUS:

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

Keterangan:

C_0 : Kadar Pb awal (mg/L)

C_t : Kadar Pb akhir (mg/L)

Diketahui:

$C_0 = 8,197$ mg/L

$C_t = 0,521$ mg/L

Ditanya:

Persentase Efisiensi (%)

Jawab:

$$\begin{aligned} \% \text{ Efisiensi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \\ &= \frac{8,197 - 0,521}{8,197} \times 100 \end{aligned}$$

$$= \frac{7,676}{8,197} \times 100$$

$$= 0,9364 \times 100$$

$$= 93,64\%$$

Perhitungan diatas merupakan salah satu contoh untuk mendapatkan persentase efisiensi (%). Nilai efisiensi adsorpsi berdasarkan variasi massa dan waktu kontak secara keseluruhan disajikan dalam tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6 Nilai Efisiensi Adsorpsi Pb dengan Variasi Massa dan Waktu Kontak

Sampel	Nilai Efisiensi Adsorpsi Pb dengan variasi massa dan waktu kontak			
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
kadar Pb Awal	8,197	8,197	8,197	8,197
X	60,67	70,17	82,88	88,92
Y	70,54	81,24	83,64	90,68
Z	86,16	90,25	89,43	93,64

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

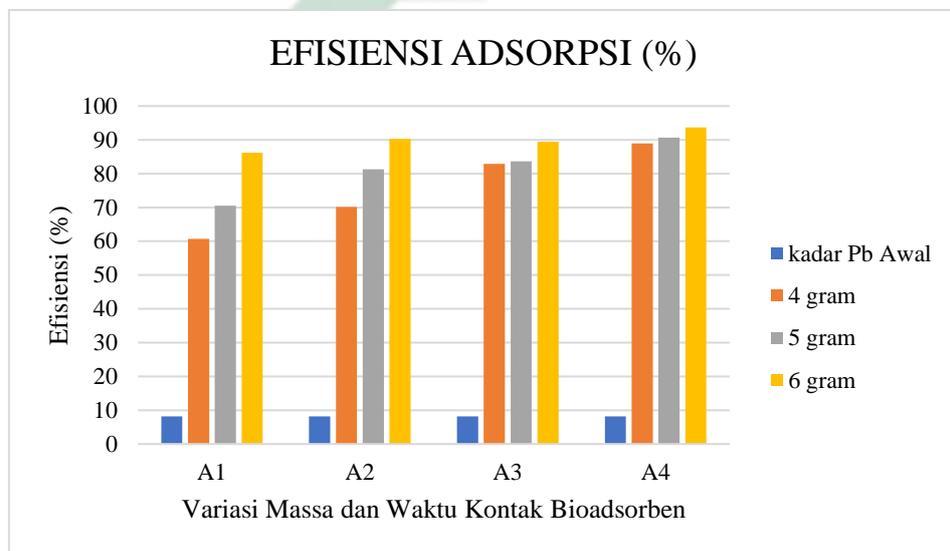
Keterangan:

Jenis Sampel:

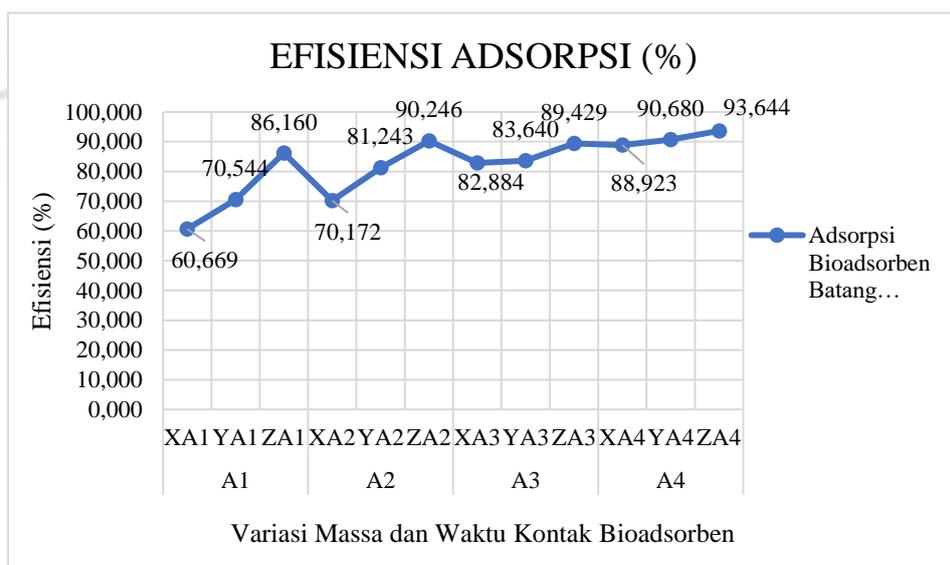
- XA₁ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- YA₁ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- ZA₁ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- XA₂ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- YA₂ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- ZA₂ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- XA₃ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- YA₃ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- ZA₃ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- XA₄ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 150 menit.
- YA₄ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 150 menit.
- ZA₄ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 150 menit.

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa konsentrasi awal logam Pb pada limbah artifisial adalah 8,197 mg/L yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium. Efisiensi penyerapan tertinggi adalah pada saat penambahan adsorben batang pisang dengan massa 6 gram dan waktu kontak selama 150 menit. Berdasarkan (Karim, 2017) disebutkan bahwa semakin banyak massa adsorben yang ditambahkan maka akan semakin tinggi pula efisiensi penyerapannya. Ini dikarenakan kemampuan karbon aktif dalam mengikat air. Namun pada tabel diatas, terjadi penurunan efisiensi penyerapan pada penambahan bioadsorben sebanyak 6 gram dan

waktu kontak 120 menit. Efisiensi penyerapan mengalami penurunan sebanyak 0,82%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan jumlah ion logam dalam larutan tidak sebanding dengan jumlah partikel bioadsorben yang tersedia sehingga gugus fungsi dari bioadsorben batang pisang sudah penuh mengikat logam berat Pb (jenuh). Dalam kondisi jenuh dan waktu kontak yang terlalu lama, ion logam berat Pb yang sudah terikat oleh adsorben dapat mengalami pelepasan (desorpsi). Dari data tabel diatas, kemudian diubah menjadi grafik untuk mempermudah proses analisis data. Grafik efisiensi adsorpsi disajikan pada gambar 4.10 dan 4.11 dibawah ini:



Gambar 4. 10 Grafik Diagram Batang Efisiensi Adsorpsi Pb (%)



Gambar 4. 11 Grafik Diagram Garis Efisiensi Adsorpsi Pb (%)

Pada gambar grafik diatas penurunan paling optimum untuk penyerapan logam berat timbal (Pb) dapat diamati pada sampel ZA₄ yaitu sampel dengan massa 6 gram dan waktu kontak 150 menit memiliki nilai efisiensi sebesar 93,64%. Nilai efisiensi paling rendah merupakan sampel XA₁ yaitu sampel dengan massa 4 gram dan waktu kontak 60 menit memiliki nilai efisiensi sebesar 60,67%. Dari hasil pengamatan data maka dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu kontak maka efisiensi penurunan Pb semakin besar. Menurut Sulistyawati (2008) menyatakan bahwa kapasitas adsorpsi berbanding lurus dengan waktu sampai pada titik tertentu, kemudian mengalami penurunan setelah melewati titik tersebut. Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak kesempatan partikel bioadsorben untuk bersinggungan dengan logam yang terikat di dalam pori-pori bioadsorben sampai waktu kontak yang diperlukan cukup untuk dapat mengadsorpsi logam Pb secara optimal. Kemampuan penyerapan dari bioadsorben dimungkinkan karena proses desorpsi atau pelepasan adsorbat kembali selama pengadukan. Desorpsi terjadi akibat permukaan adsorben yang telah jenuh. Pada keadaan jenuh, laju adsorpsi menjadi berkurang sehingga waktu kontak tidak lagi berpengaruh.

Dari pengolahan data dan grafik diatas terlihat bahwa pada variasi massa dan waktu kontak paling optimum adalah sampel ZA₄. Yaitu sampel dengan massa 6 gram dan waktu kontak 150 menit, yang memiliki nilai efisiensi sebesar 93,64%.

4.2.3 Kapasitas Adsorpsi (Q_e) Pb dengan Variasi Massa dan Waktu Kontak

Kapasitas adsorpsi dilakukan untuk mengetahui jumlah adsorbat yang dapat diakumulasi pada permukaan adsorben (Aisyahlita, 2018). Proses adsorpsi berbanding lurus dengan hasil kapasitas adsorpsi. Sehingga jika proses adsorpsi berjalan dengan maksimal maka, sama halnya dengan hasil kapasitas adsorpsinya. Kapasitas adsorpsi didapat dari perhitungan data kadar Pb awal (C_i) dikurang dengan kadar Pb akhir (C_e) kemudian dibagi dengan massa adsorben, lalu dikalikan dengan volume

adsorbat (L). Tabel 4.7 berikut merupakan hasil perhitungan kapasitas adsorpsi berdasarkan variasi massa dan waktu kontak:

Tabel 4.7 Kapasitas Adsorpsi Berdasarkan Variasi Massa dan Waktu Kontak

Massa (Gr)	Vol. (L)	Sampel	Kapasitas Adsorpsi (Qe)			
			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
4	1	X	1,243	1,438	1,699	1,822
5	1	Y	1,157	1,332	1,371	1,487
6	1	Z	1,177	1,233	1,222	1,279

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Keterangan:

Jenis Sampel:

- XA₁ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- YA₁ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- ZA₁ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 60 menit.
- XA₂ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- YA₂ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- ZA₂ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 90 menit.
- XA₃ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- YA₃ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- ZA₃ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 120 menit.
- XA₄ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 150 menit.
- YA₄ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 150 menit.
- ZA₄ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 150 menit.

Berikut merupakan contoh perhitungan nilai kapasitas adsorpsi (Qe) yang dihitung menggunakan rumus persamaan dibawah ini:

RUMUS:

$$Q_e = \frac{C_i - C_e}{\text{massa Adsorben}} \times \text{Volume}$$

Keterangan:

C_i = Kadar Pb awal (mg/L)

Ce = Kadar Pb akhir (mg/L)

V = Volume adsorbat (L)

M adsorben = Massa adsorben

Qe = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

Diketahui:

Ci = 8,197 mg/L

Ce = 3,224 mg/L

V = 1 L

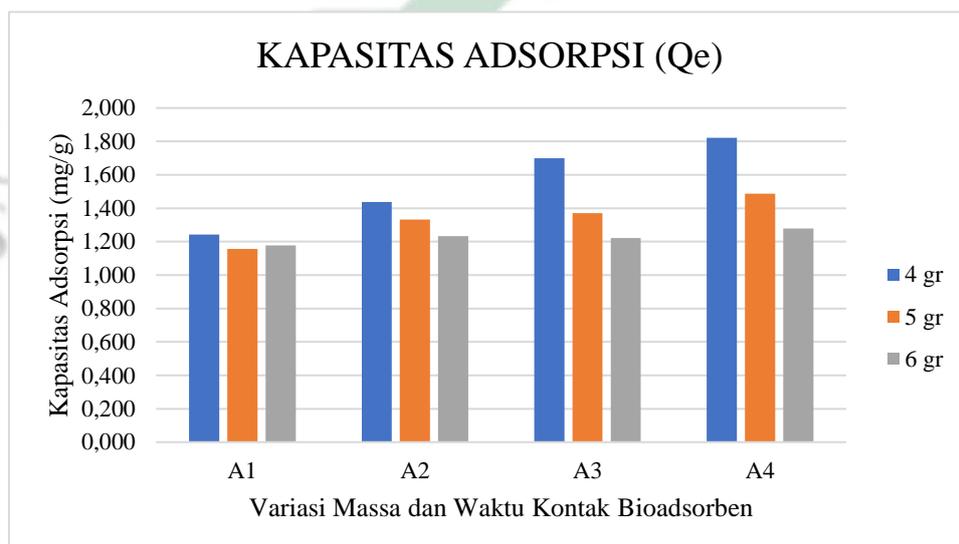
M adsorben = 4 gram

Ditanya = Nilai Kapasitas Adsorben (Qe)

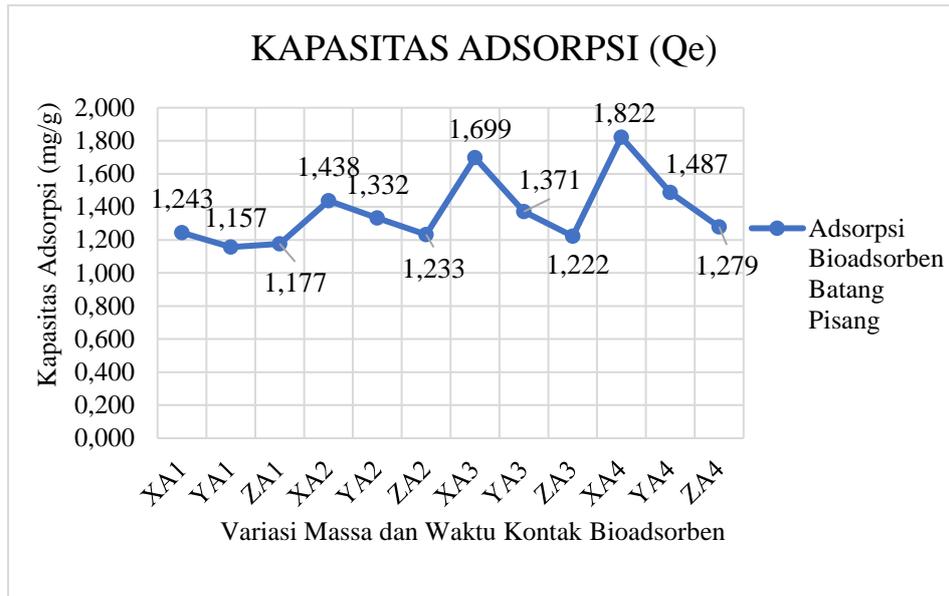
Jawab:

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_i - C_e}{\text{massa Adsorben}} \times \text{Volume} \\ &= \frac{8,197 - 3,224}{4} \times 1 \text{ L} \\ &= \frac{4,973}{4} \times 1 \text{ L} \\ &= 1,243 \end{aligned}$$

Data nilai kapasitas adsorben(Qe) dari tabel 4.7 diubah menjadi data dalam bentuk grafik agar mempermudah proses analisis. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.12 dan 4.13 dibawah ini:



Gambar 4.12 Grafik Diagram Batang Kapasitas Adsorpsi (Qe) Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang.



Gambar 4. 13 Grafik Diagram Garis Kapasitas Adsorpsi (Q_e) Variasi Massa dan Waktu Kontak Menggunakan Bioadsorben Batang Pisang.

Dari hasil pengolahan data kapasitas adsorpsi (Q_e) menggunakan variasi massa dan waktu kontak pada tabel 4.7, pada massa adsorben berurutan 4 gram, 5 gram dan 6 gram dengan sampel dengan waktu kontak 60 menit didapat nilai sebesar 1,243 ; 1,157 ; 1,177 untuk Kemudian nilai 1,438 ; 1,332 ; 1,233 pada sampel dengan waktu kontak 90 menit. Untuk sampel dengan waktu kontak 120 menit didapatkan nilai sebesar 1,699 ; 1,371 ; 1,279. Dan yang terakhir untuk sampel dengan waktu kontak 150 menit didapatkan nilai sebesar 1,822 ; 1,487 ; 1,279.

Berdasarkan data hasil kapasitas adsorben diatas (Q_e) dapat dianalisis bahwa kapasitas adsorben mengalami penurunan jika massa adsorbennya ditambah, begitu pula dengan waktu kontak, semakin lama waktu kontak adsorben dengan adsorbat maka semakin menurun pula kapasitas adsorbennya. Penurunan kapasitas adsorben terjadi karena adanya sisi aktif pada adsorben yang belum berinteraksi dengan adsorbat. Massa adsorben juga berpengaruh dalam meningkatnya sisi aktif adsorben, (Reyra, dkk., 2017). Sehingga pada penelitian ini semakin banyak massa yang ditambahkan, nilai kapasitas adsorpsinya pun semakin menurun. Pada sampel waktu kontak 60 menit yaitu sampel YA₁ (massa 5 gram) dan ZA₁ (massa 6 gram) terjadi sedikit peningkatan kapasitas adsorpsi.

Dimana untuk sampel YA₁ memiliki nilai 1,157 dan ZA₁ memiliki nilai 1,177. Hal tersebut terjadi karena semakin lama waktu kontak diantara bioadsorben dan adsorbat maka semakin banyak pula kadar Pb yang terserap oleh bioadsorben, sehingga kapasitas adsorpsi juga meningkat (Aman, 2018).

Kapasitas adsorpsi juga dipengaruhi oleh ukuran partikel adsorben. Pada penelitian yang dilakukan Reyra, dkk., (2017) dijelaskan bahwa ukuran partikel yang paling kecil yaitu 120 mesh memiliki kapasitas adsorpsi yang paling baik dibandingkan dengan ukuran partikel 80 mesh. Hal tersebut karena adanya keterkaitan antara luas permukaan adsorben dengan ukuran partikelnya. Semakin halus adsorben maka luas permukaan bioadsorben akan semakin luas sehingga berdampak pada semakin banyaknya bagian aktif. Bagian yang telah aktif tersebut membuat logam berat Pb dapat teradsorpsi dengan maksimal. Pada penelitian ini ukuran partikel yang digunakan adalah 100 mesh. Sehingga dapat dikatakan bahwa ukuran partikel sudah sesuai untuk memaksimalkan penyerapan kadar Pb dalam air limbah artifisial.

4.3 Permodelan Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan suatu model persamaan kesetimbangan pada proses adsorpsi yang fungsinya untuk mengetahui mekanisme adsorpsi zat terlarut pada larutan oleh adsorben pada temperatur tetap. Model isoterm adsorpsi digunakan untuk melihat distribusi adsorpsi saat titik kesetimbangan (Wiyantoko, 2014). Isoterm adsorpsi menggambarkan adanya interaksi antara adsorben dan adsorbat (Ariyanto E., 2021) Pada penelitian ini, parameter isoterm adsorpsi dipakai untuk menggambarkan suatu hubungan antara jumlah Pb yang teradsorpsi dengan konsentrasi kesetimbangannya dalam larutan.

4.4.1 Model Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir menggambarkan proses terjadinya ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat (Miri,2022). Penentuan model Isoterm Langmuir didapat dari pengolahan data hasil uji kadar Pb awal dan akhir

serta data hasil perhitungan kapasitas adsorpsi. Dari hasil pengolahan data tersebut, dibuat grafik hubungan antara kadar Pb akhir (C_e) yang diletakkan pada sumbu X dengan kadar Pb akhir dibagi kapasitas adsorpsi (C_e/Q_e) yang diletakkan pada sumbu Y. Tabel hasil pengolahan data Isoterm Langmuir variasi massa dan waktu kontak dengan bioadsorben batang pisang dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini:

Tabel 4. 8 Data Model Isoterm Langmuir Variasi Massa dan Waktu Kontak dengan Bioadsorben Batang Pisang

NO	Jenis Sampel	C_0 (mg/l)	C_e (mg/l)	C_0-C_e (mg/l)	Q_e (mg/l)	C_e/Q_e (mg/l)
1	XA1	8,197	3,224	4,973	1,243	2,593
2	YA1	8,197	2,415	5,783	1,157	2,088
3	ZA1	8,197	1,135	7,063	1,177	0,964
4	XA2	8,197	2,445	5,752	1,438	1,700
5	YA2	8,197	1,538	6,660	1,332	1,154
6	ZA2	8,197	0,800	7,398	1,233	0,648
7	XA3	8,197	1,403	6,794	1,699	0,826
8	YA3	8,197	1,341	6,856	1,371	0,978
9	ZA3	8,197	0,867	7,331	1,222	0,709
10	XA4	8,197	0,908	7,289	1,822	0,498
11	YA4	8,197	0,764	7,433	1,487	0,514
12	ZA4	8,197	0,521	7,676	1,279	0,407

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Keterangan:

Jenis Sampel:

XA₁ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 60 menit.

YA₁ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 60 menit.

ZA₁ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 60 menit.

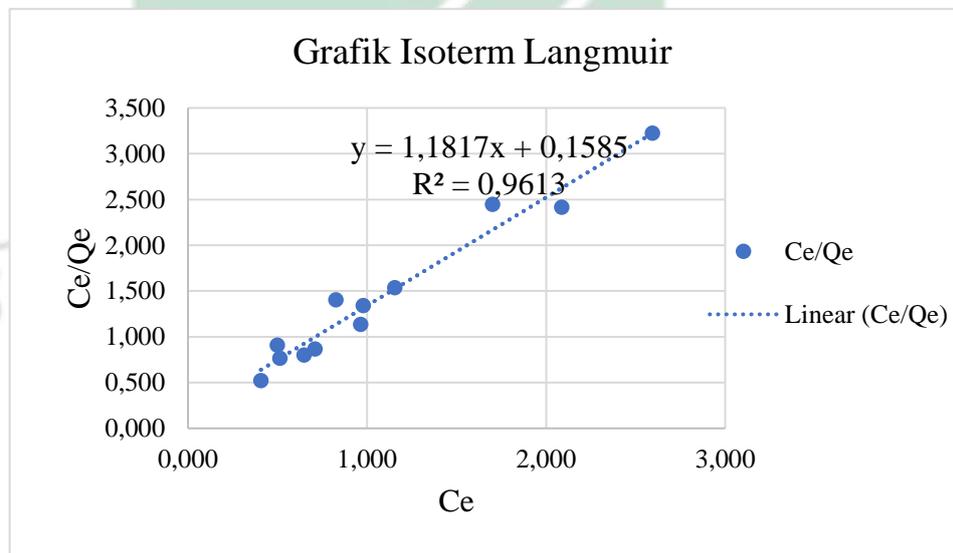
XA₂ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 90 menit.

YA₂ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 90 menit.

ZA₂ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 90 menit.

- XA_3 = Massa 4 gr dengan waktu kontak 120 menit.
 YA_3 = Massa 5 gr dengan waktu kontak 120 menit.
 ZA_3 = Massa 6 gr dengan waktu kontak 120 menit.
 XA_4 = Massa 4 gr dengan waktu kontak 150 menit.
 YA_4 = Massa 5 gr dengan waktu kontak 150 menit.
 ZA_4 = Massa 6 gr dengan waktu kontak 150 menit.
 C_0 = Kadar Pb awal (mg/L)
 C_e = Kadar Pb akhir (mg/L)
 $C_0 - C_e$ = Kadar Pb awal (mg/L) - Kadar Pb akhir (mg/L)
 Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
 C_e/Q_e = Kadar Pb akhir (mg/L) / Kapasitas adsorpsi (mg/g)

Berdasarkan Tabel 4,8 didapatkan grafik hasil plot data dengan menggunakan aplikasi Ms Excel. Data tersebut dimasukkan ke dalam persamaan garis lurus menggunakan grafik kurva standar. Sehingga diperoleh nilai regresi liniernya. Agar lebih jelas lagi, Grafik Isoterm Langmuir dengan bioadsorben batang pisang dapat dilihat pada gambar 4.14 dibawah ini:



Gambar 4. 14 Grafik Isoterm Langmuir dengan Bioadsorben Batang Pisang

Berdasarkan grafik kurva standar Isoterm Langmuir yang telah disajikan diatas, dapat diketahui bahwa bioadsorben dengan variasi massa

dan waktu kontak memiliki nilai regresi linear R^2 sebesar 0,9613. Nilai lain yang dapat diketahui dari grafik tersebut adalah nilai slope yaitu sebesar 1,1817 dan nilai intersep sebesar 0,1585. Dari perolehan nilai regresi linear, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai konstanta adsorpsi Isoterm Langmuir dan konstanta kesetimbangan adsorpsi Isoterm Langmuir. Berikut merupakan detail perhitungannya:

a) Nilai Konstanta Adsorpsi

Diketahui:

Berdasarkan persamaan garis regresi: $y = 1,1817x + 0,1585$, maka:

$$\text{Nilai slope} = 1,1817$$

$$\text{Nilai intersep} = 0,1585$$

Ditanya:

Nilai Konstanta Adsorpsi (q_m)

RUMUS:

Dari

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_a \cdot q_m}$$

Di substitusikan ke-

$$y = 1,1817x + 0,1585$$

menjadi

$$\frac{1}{q_m} = \text{nilai slope}$$

Dijawab:

$$\frac{1}{q_m} = 1,1817$$

$$1 = 1,1817 q_m$$

$$q_m = 0,846$$

b) Nilai Kesetimbangan Adsorpsi

Diketahui:

$$\text{Nilai intersep} = 0,1585$$

$$\text{Nilai Konstanta Adsorpsi } (q_m) = 0,846$$

Ditanya:

Nilai Kesetimbangan Adsorpsi (K_a)

RUMUS:

Dari

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_a \cdot q_m}$$

Di substitusikan ke-

$$y = 1,1817x + 0,1585$$

menjadi

$$\frac{1}{K_a \cdot q_m} = \text{Nilai Intersep}$$

Dijawab:

$$\frac{1}{K_a \cdot q_m} = 0,1585$$

$$\frac{1}{K_a \cdot 0,846} = 0,1585$$

$$1 = 0,1585 (K_a \cdot 0,846)$$

$$1 = 0,1585 K_a \cdot 0,134$$

$$0,1585 K_a = 7,463$$

$$K_a = 47,083$$

Q_m merupakan kapasitas maksimum penyerapan logam berat Pb oleh bioadsorben batang pisang. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan rumus Persamaan Isoterm Langmuir, dapat diketahui bahwa konstanta adsorpsi memiliki nilai sebesar 0,846 dan konstanta kesetimbangan adsorpsi memiliki nilai sebesar 47,083.

4.4.2 Model Isoterm Freundlich

Model Isoterm Freundlich digunakan untuk menjelaskan bahwa proses adsorpsi membentuk lapisan multilayer dimana ikatan antara adsorben dan adsorbat terbentuk karena adanya gaya Van der Waals adanya lapisan multilayer sehingga kekuatan ikatan rentan terlepas (Arif A.S., 2015). Model Isoterm Freundlich didapat dari pengolahan data nilai $\text{Log } C_e$ (kadar Pb akhir) dan nilai $\text{Log } Q_e$ (kapasitas adsorpsi). Dari hasil pengolahan data tersebut, dibuat grafik hubungan antara $\text{Log } C_e$ yang diletakkan pada sumbu X dengan $\text{Log } Q_e$ yang diletakkan pada sumbu Y. Tabel hasil pengolahan data Isoterm Freundlich variasi massa dan waktu kontak dengan bioadsorben batang pisang dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Data Model Isoterm Freundlich Variasi Massa dan Waktu
Kontak dengan Bioadsorben Batang Pisang

NO	Jenis Sampel	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ -C _e (mg/l)	Q _e (mg/l)	C _e /Q _e (mg/l)	Log C _e	Log Q _e
1	XA ₁	8,197	3,224	4,973	1,243	2,593	0,508	0,095
2	YA ₁	8,197	2,415	5,783	1,157	2,088	0,383	0,063
3	ZA ₁	8,197	1,135	7,063	1,177	0,964	0,055	0,071
4	XA ₂	8,197	2,445	5,752	1,438	1,700	0,388	0,158
5	YA ₂	8,197	1,538	6,660	1,332	1,154	0,187	0,124
6	ZA ₂	8,197	0,800	7,398	1,233	0,648	0,097	0,091
7	XA ₃	8,197	1,403	6,794	1,699	0,826	0,147	0,230
8	YA ₃	8,197	1,341	6,856	1,371	0,978	0,127	0,137
9	ZA ₃	8,197	0,867	7,331	1,222	0,709	0,062	0,087
10	XA ₄	8,197	0,908	7,289	1,822	0,498	0,042	0,261
11	YA ₄	8,197	0,764	7,433	1,487	0,514	0,117	0,172
12	ZA ₄	8,197	0,521	7,676	1,279	0,407	0,283	0,107

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Keterangan:

Jenis Sampel:

XA₁ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 60 menit.

YA₁ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 60 menit.

ZA₁ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 60 menit.

XA₂ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 90 menit.

YA₂ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 90 menit.

ZA₂ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 90 menit.

XA₃ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 120 menit.

YA₃ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 120 menit.

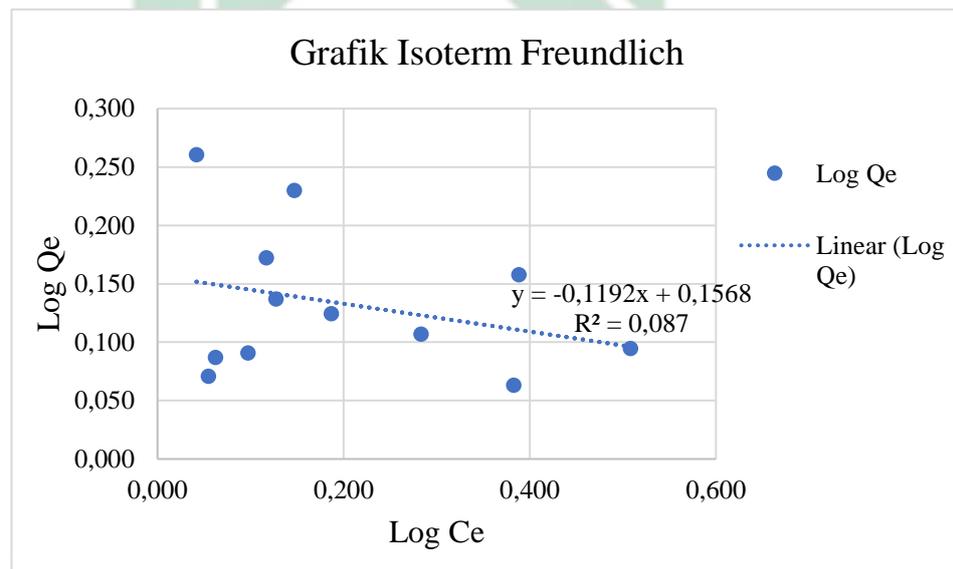
ZA₃ = Massa 6 gr dengan waktu kontak 120 menit.

XA₄ = Massa 4 gr dengan waktu kontak 150 menit.

YA₄ = Massa 5 gr dengan waktu kontak 150 menit.

- ZA_4 = Massa 6 gr dengan waktu kontak 150 menit.
 C_0 = Kadar Pb awal (mg/L)
 C_e = Kadar Pb akhir (mg/L)
 $C_0 - C_e$ = Kadar Pb awal (mg/L) - Kadar Pb akhir (mg/L)
 Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
 C_e/Q_e = Kadar Pb akhir (mg/L) / Kapasitas adsorpsi (mg/g)

Berdasarkan Tabel 4.9, didapatkan grafik hasil plot data dengan media Ms Excel. Data tersebut dimasukkan ke dalam persamaan garis lurus menggunakan grafik kurva standar. Sehingga diperoleh nilai regresi liniernya. Agar lebih jelas lagi, Grafik Isoterm Freundlich dengan bioadsorben batang pisang dapat dilihat pada gambar 4.15 dibawah ini:



Gambar 4.15 Grafik Isoterm Freundlich dengan Bioadsorben Batang Pisang.

Berdasarkan grafik kurva standar Isoterm Freundlich yang telah disajikan diatas, dapat diketahui bahwa bioadsorben dengan variasi massa dan waktu kontak memiliki nilai regresi linear R^2 sebesar 0,087. Nilai lain yang dapat diketahui dari grafik tersebut adalah nilai slope yaitu sebesar -0,1192 dan nilai intersep sebesar 0,1568. Dari perolehan nilai regresi linear, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai konstanta faktor intensitas Isoterm Freundlich dan konstanta kesetimbangan adsorpsi Isoterm Freundlich. Berikut merupakan detail perhitungannya:

a) Nilai konstanta faktor intensitas Isoterm Freundlich

Diketahui:

Berdasarkan persamaan garis regresi: $y = -0,1192x + 0,1568$, maka:

Nilai slope = -0,1192

Ditanya:

Nilai konstanta faktor intensitas Freundlich

RUMUS:

Dari

$$\log (q_e) = \log (K_f) + \frac{1}{n} \cdot \log (C_e)$$

Di substitusikan ke-

$$y = -0,1192x + 0,1568$$

menjadi

$$\frac{1}{n} = \text{Nilai Slope}$$

Dijawab:

$$\frac{1}{n} = -0,1192$$

$$1 = -0,1192n$$

$$n = -8,389$$

b) Nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi Isoterm Freundlich

Diketahui:

Nilai intersep = 0,1568

Ditanya:

Nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi Freundlich

RUMUS:

Dari

$$\log (q_e) = \log (K_f) + \frac{1}{n} \cdot \log (C_e)$$

Di substitusikan ke-

$$y = -0,1192x + 0,1568$$

menjadi

$$\text{Log} (K_f) = \text{Nilai Intersep}$$

Dijawab:

$$\text{Log} (K_f) = 0,1568$$

$$\begin{aligned} K_f &= \text{Log}(0,1568) \\ K_f &= -0,805 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan rumus Persamaan Isoterm Freundlich, dapat diketahui bahwa konstanta faktor intensitas Freundlich memiliki nilai sebesar -8,389 dan konstanta kesetimbangan adsorpsi Freundlich memiliki nilai sebesar -0,805. Nilai minus pada K_f (Konstanta kesetimbangan adsorpsi Freundlich) dan konstanta faktor intensitas Freundlich (n) menggambarkan rendahnya energi ikatan adsorben dengan adsorbat.

4.4.3 Pemilihan Model Isoterm Adsorpsi

Berdasarkan subbab 4.4.1 dan 4.4.2 telah dipaparkan data beserta grafik hasil permodelan dari Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich. Dari hasil pengolahan tersebut dilakukan analisis guna menentukan model isoterm yang sesuai untuk bioadsorben batang pisang pada penelitian ini. Data dari Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich yang telah didapat, dilakukan perbandingan hasil. Perbandingan hasil pengolahan data tersebut dapat dilihat dalam tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4. 10 Perbandingan Pengolahan Data antara Isoterm Langmuir dengan Isoterm Freundlich

ISOTERM ADSORPSI	Isoterm Langmuir	Nilai (q_m)	0,846
		Nilai (K_a)	47,083
		Nilai (R^2)	0,9613
		Persamaan Regresi	$y = 1,1817x + 0,1585$
	Isoterm Freundlich	Nilai (n)	-8,389
		Nilai (K_f)	-0,805
		Nilai (R^2)	0,087
		Persamaan Regresi	$y = -0,1192x + 0,1568$

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan nilai R^2 (R-squared value) diketahui bahwa model Isoterm Langmuir lebih cocok digunakan untuk adsorpsi logam berat Pb dengan bioadsorben batang pisang. Model Isoterm Langmuir dipilih dikarenakan memiliki nilai regresi yang paling mendekati 1 yaitu 0,9613. Selain itu, Model Isoterm Langmuir dianggap representatif terhadap penelitian ini dikarenakan proses adsorpsi terjadi pada orde satu dikarenakan adanya lapisan tunggal adsorben (monolayer) dengan setiap situs aktif yang hanya dapat mengadsorpsi satu molekul. Sifat larutan pada proses adsorpsi logam Pb dengan bioadsorben batang pisang adalah reversible (dapat berlangsung bolak balik).

4.4 Pengujian Hipotesis

Data hasil penelitian perlu dilakukan sebuah analisis untuk mengetahui adanya hubungan antar variabel data yang telah diperoleh. Pengujian hipotesis pada penelitian ini menggunakan *software* SPSS sebagai alat untuk pengolahan data statistik. Pada analisis statistik parametrik, persyaratan mutlak yang harus dipenuhi adalah data yang digunakan harus berdistribusi normal. Sehingga diperlukan uji normalitas terlebih dahulu sebelum menentukan jenis uji yang akan dilakukan selanjutnya.

4.4.1 Uji Normalitas

Data hasil penelitian yang telah diperoleh, kemudian dilakukan uji normalitas terlebih dahulu. Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui data hasil penelitian tersebut berdistribusi normal atau tidak normal. Distribusi normal (gaussian / bell-shaped) menjadi jenis distribusi yang paling banyak dijumpai dalam analisa statistik. Pada uji statistik untuk menentukan normalitas data, uji yang digunakan ada bermacam-macam. Diantaranya yaitu Uji Kolmogorov Smirnov, Shapiro Wilk, Chi-Square, Lilliefors, dan Jarque Bera (Faradiba, 2020). Uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Uji Normalitas Hasil Penyerapan Pb Berdasarkan Waktu Kontak Dan Massa Bioadsorben

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
Standardized Residual for hasil 1	0.210	12	0.149	0.886	12	0.106
Standardized Residual for hasil 2	0.204	12	0.181	0.878	12	0.083
a. Lilliefors Significance Correction						

Keterangan:

Hasil 1 = Massa 4 gr dengan waktu kontak 60, 90, 120 dan 150 menit

Massa 5 gr dengan waktu kontak 60, 90, 120 dan 150 menit

Massa 6 gr dengan waktu kontak 60, 90, 120 dan 150 menit

Hasil 2 = Duplo (Variasi sampel yang digunakan sama)

Syarat yang digunakan dalam Uji Shapiro-Wilk adalah apabila nilai signifikansi $> 0,05$ maka distribusi data dikatakan memenuhi asumsi normalitas, dan apabila nilai signifikansi $< 0,05$ maka data dinyatakan tidak berdistribusi normal (Putra dkk., 2019).

Berdasarkan hasil dari plot data menggunakan *software* SPSS, dapat ditentukan bahwa uji normalitas yang digunakan pada penelitian ini adalah uji ShapiroWilk karena data yang disajikan kurang dari 50 sampel ($n < 50$). Pada umumnya, uji Shapiro-Wilk digunakan untuk data yang memiliki sampel kurang dari 50 (Oktaviani, 2014). Dari tabel 4.11, dapat diketahui bahwa nilai signifikansi (sig.) pada sampel hasil 1 dan hasil 2 dengan memakai uji Shapiro-Wilk diperoleh masing-masing sebagai berikut: 0.106 dan 0.083 keempat data tersebut memiliki nilai $> 0,05$. Merujuk pada dasar pengambilan keputusan pada Uji Normalitas Shapiro-wilk, maka dapat disimpulkan bahwa data hasil adsorpsi Pb dengan variasi massa dan waktu kontak merupakan data yang berasal dari populasi berdistribusi normal.

4.4.2 Uji Homogenitas

Pedoman dasar yang perlu diperhatikan dalam pengambilan keputusan uji homogenitas adalah sebagai berikut:

- a) Apabila nilai signifikansi $< 0,05$ maka dapat dikatakan bahwa jenis dari dua atau lebih kelompok populasi data bukan termasuk data homogen.
- b) Apabila nilai signifikansi $> 0,05$ maka dapat dikatakan bahwa jenis dari dua atau lebih kelompok populasi data adalah homogen.

Tabel 4. 12 Uji Homogenitas Hasil Penyerapan Pb Berdasarkan Waktu Kontak dan massa bioadsorben

Test of Homogeneity of Variance					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil Lab 1	Based on Mean	5.875	2	9	0.023
	Based on Median	5.806	2	9	0.024
	Based on Median and with adjusted df	5.806	2	7.463	0.030
	Based on trimmed mean	5.874	2	9	0.023
Hasil Lab 2	Based on Mean	3.295	2	9	0.084
	Based on Median	2.862	2	9	0.109
	Based on Median and with adjusted df	2.862	2	6.587	0.127
	Based on trimmed mean	3.240	2	9	0.087

Berdasarkan tabel test of homogeneity of variance, nilai signifikansi yang menjadi acuan adalah pada kolom based on mean. Pada hasil lab 1 didapatkan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,023. Sedangkan untuk pengujian kadar Pb yang kedua didapatkan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0.084. Karena nilai Sig $< 0,05$ maka dapat disimpulkan bahwa data penelitian tidak memenuhi asumsi kesamaan varian (bukan data homogen). Namun, uji repeated measures masih dapat dilanjutkan dengan mengacu pada nilai Greenhouse-Geisser. Sebab pada uji repeated

measures anova data yang homogen bukan menjadi syarat mutlak yang harus terpenuhi.

4.4.3 Penentuan Jenis Uji Statistik

Berdasarkan dari data penelitian, sampel memiliki lebih dari 2 kelompok yang saling berpasangan dan 2 kali pengujian data. Sehingga uji statistik yang dipilih adalah Uji Repeated Measures Anova. Kriteria pengujian yang harus terpenuhi dalam Uji Repeated Measures Anova adalah sebagai berikut:

- a) Variabel bebas memakai data dengan skala kategori. Dan untuk variabel terikat menggunakan data numerik.
- b) Data yang digunakan harus berdistribusi normal
- c) Data hasil penelitian yang bersifat homogen. Ditentukan dengan nilai signifikansi ($\text{sig} > 0,05$) pada tabel test of homogeneity of variance. Namun jika hasil uji didapatkan data yang tidak homogen, maka langkah yang diambil selanjutnya adalah mengacu pada nilai Greenhouse-Geisser pada tabel output SPSS Test of Within-Subject Effect.

Berdasarkan data hasil uji normalitas dan homogenitas, maka analisis statistik yang digunakan adalah analisis parametis dengan Uji Repeated Anova. Statistik parametrik dilakukan Uji Repeated Measures Anova karena data yang diambil merupakan data kelompok lebih dari 2 yang berpasangan dan data penelitian yang diperoleh adalah berdistribusi normal. Karena data penelitian termasuk data yang tidak homogen (nilai $\text{Sig} < 0,05$) maka, Uji Repeated Measures Anova diambil dari nilai Greenhouse-Geisser pada tabel output SPSS Test of Within-Subject Effect. Berikut merupakan hasil uji statistik Repeated measure Anova yang disajikan pada Tabel 4.13

Tabel 4. 13 Hasil Uji Statistik Repeated Measure Anova

Tests of Within-Subjects Effects							
Measure: nilai							
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Uji Pb	Sphericity Assumed	0.000	1	0.000	0.006	0.938	0.001
	Greenhouse-Geisser	0.000	1.000	0.000	0.006	0.938	0.001
	Huynh-Feldt	0.000	1.000	0.000	0.006	0.938	0.001
	Lower-bound	0.000	1.000	0.000	0.006	0.938	0.001
Error (ujiPb)	Sphericity Assumed	0.242	11	0.022			
	Greenhouse-Geisser	0.242	11.000	0.022			
	Huynh-Feldt	0.242	11.000	0.022			
	Lower-bound	0.242	11.000	0.022			

Berdasarkan tabel output diatas, nilai Sig. Greenhouse-Geisser adalah sebesar 0.938. jika nilai signifikansi Greenhouse-Geisser (Sig.) < 0,05, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa “Tidak ada perbedaan yang nyata (signifikan) pada variasi waktu kontak dan massa bioadsorben terhadap efisiensi penyerapan logam berat Pb pada air limbah”.

4.5 Penelitian Menurut Perspektif Islam

Berdasarkan hasil penelitian ini secara keseluruhan, pembuatan bioadsorben batang pisang dengan variasi massa dan waktu kontak dapat efektif menyisihkan kadar logam berat Pb dalam air limbah. Dibuktikan dengan persentase penyerapan Pb pada sampel ZA₄ yaitu pada variasi massa 6 gram dan waktu kontak 150 menit menjadi sampel dengan tingkat penyerapan Pb paling optimum. Hasil pengolahan data menunjukkan pada sampel ZA₄ memiliki efisiensi adsorpsi sebesar 93,64%. Sedangkan untuk kapasitas adsorpsi yang paling tinggi adalah pada sampel XA₄ (variasi massa 4 gram dan waktu kontak 150 menit) dengan nilai kapasitas sebesar 1,822.

Surat Al-Baqoroh [2]:60

وَإِذِ اسْتَسْقَىٰ مُوسَىٰ لِقَوْمِهِ فَقُلْنَا اضْرِبْ بِعَصَاكَ الْحَجَرَ فَانْفَجَرَتْ مِنْهُ اثْنَا عَشَرَ
عَيْنًا قَدْ عَلِمَ كُلُّ أُنَاسٍ مَّشْرِبَهُمْ كُلُوا وَاشْرَبُوا مِنْ رِزْقِ اللَّهِ وَلَا تَعْتُوا فِي الْأَرْضِ
مُفْسِدِينَ

Artinya: “Dan ingatlah nikmat yang telah kami berikan kepada kalian (saat kalian mengalami kehausan dan berada dalam kesesatan di tengah jalan) kemudian Musa memohon kepada kami (dengan penuh ketundukan hati) supaya kami memberi kaumnya air minum. Maka kami berfirman: “pukullah batu itu dengan tongkatmu”. Lalu Musa memukulnya, maka memancarlah dari nya 12 mata air sesuai dengan jumlah suku mereka disertai dengan Pemberitahuan kepada tiap suku tentang mata air yang khusus bagi mereka agar mereka tidak berebutan. Dan kami berfirman kepada mereka: “makan dan minumlah dari rizki Allah dan janganlah kalian berkeliaran di muka bumi dengan membuat kerusakan” (Al-Quran dan Terjemah, 2023).

Berdasarkan ayat diatas, Allah telah melarang keras pada umat umatnya untuk berbuat kerusakan di bumi. Namun, di era milenialisasi dimana sektor pembangunan infrastruktur dan industri semakin meningkat, kerusakan alam tidak bisa dihindari lagi. Oleh karena itu pada setiap kerusakan yang ditimbulkan perlu dilakukan penanggulangan agar dampaknya tidak semakin parah. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan membuat bioadsorben dari bahan ramah lingkungan dan mudah didapatkan di alam, contohnya adalah adsorben dari batang pisang.

Surat Al-Hajj [22]:63

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَتُصْبِحُ الْأَرْضُ مُخْضَرَّةً ۗ إِنَّ اللَّهَ لَطِيفٌ خَبِيرٌ

Artinya: “Apakah kamu tiada melihat, bahwasanya Allah menurunkan air dari langit, lalu jadilah bumi itu hijau? Sesungguhnya Allah Maha Halus lagi Maha Mengetahui” (Al-Quran dan Terjemah, 2023).

Berdasarkan surat Al-Hajj ayat ke 63, Allah telah menegaskan bahwa Allah telah menyediakan air di bumi ini sebagai kebutuhan mutlak untuk menunjang kehidupan. Maka dari itu sebagai umat manusia kita harus senantiasa menjaga sumber-sumber air agar tetap lestari. Pada penelitian ini, salah satu cara yang dapat dilakukan untuk merawat lingkungan perairan adalah dengan menggunakan rekayasa ilmu pengetahuan agar dapat mengurangi pencemaran air akibat aktifitas manusia.

Allah telah menganugerahi manusia dengan akal dan pikiran, sehingga kita dituntut untuk belajar. Dengan belajar kita akan mendapatkan banyak ilmu sekaligus dapat diamalkan dengan cara mengajarkan kepada orang lain. Orang yang Ikhlas membagikan ilmunya pada orang lain akan mendapat pahala jariyah. Dari Abu Hurairah radhiyallahu'anhu, Rasulullah SAW bersabda:

إِذَا مَاتَ الْإِنْسَانُ انْقَطَعَ عَمَلُهُ إِلَّا مِنْ ثَلَاثَةٍ مِنْ صَدَقَةٍ جَارِيَةٍ وَعِلْمٍ يُنْتَفَعُ بِهِ وَوَالِدٍ صَالِحٍ يَدْعُو لَهُ

Artinya: “Jika seseorang meninggal dunia, maka terputuslah amalannya kecuali tiga perkara yaitu sedekah jariyah, ilmu yang diamalkan, dan do'a dari anak yang sholeh” (HR. Muslim no. 1631).

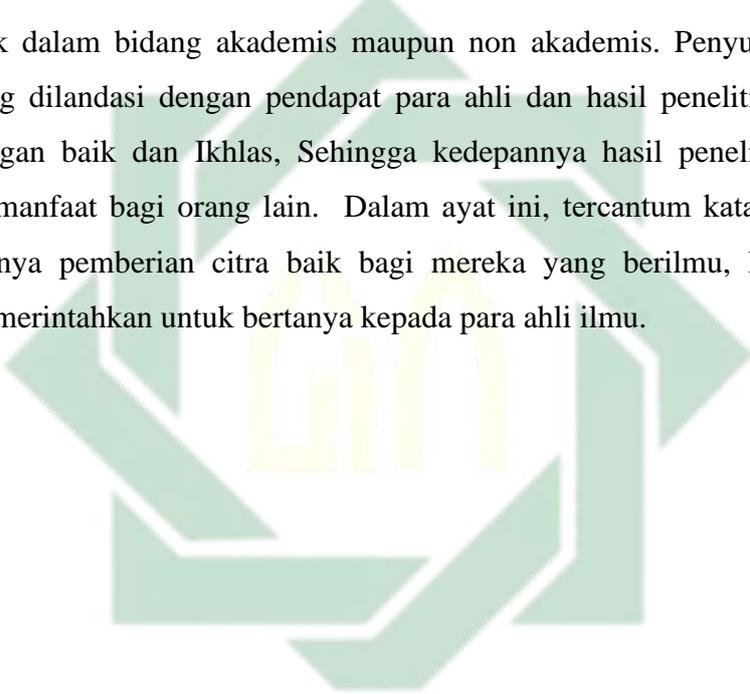
Berdasarkan dalil diatas, orang yang membagikan ilmunya dengan orang lain di berikan Allah keistimewaan berupa pahala yang tak akan terputus bahkan setelah orsng tersebut meninggal. Oleh karena itu, kita sebagai orang muslim sudah sepatutnya untuk mengamalkan ilmu yang telah kita peroleh kepada orang lain agar bermafaat.

Surat An-Nahl [16]:43

وَمَا أَرْسَلْنَا مِنْ قَبْلِكَ إِلَّا رَجَالًا نُوحِيَ إِلَيْهِمْ فَسَأَلُوا أَهْلَ الذِّكْرِ إِنْ كُنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ

Artinya: “Dan Kami tidak mengutus sebelum kamu, kecuali orang-orang lelaki yang Kami beri wahyu kepada mereka, maka bertanyalah kepada orang yang mempunyai pengetahuan jika kamu tidak mengetahui” (Al-Quran dan Terjemah, 2023).

Berdasarkan surat Surat An-Nahl ayat 43, bahwasannya jenis ilmu yang memiliki kedudukan paling tinggi adalah ilmu tentang kitabullah yang diwariskan kepada umat-umatnya. Dalam surat An-Nahl, Allah telah mengutus umatnya yang tidak berilmu (orang awam) untuk bertanya kepada para ahli ilmu guna menambah wawasan pengetahuan serta mencari solusi dalam berbagai permasalahan. Korelasi ayat Al-Quran dengan penelitian ini adalah, sebagai umat islam yang taat kepada perintah Allah sudah sepatutnya kita senantiasa untuk selalu menuntut ilmu dan menambah ilmu pengetahuan baik dalam bidang akademis maupun non akademis. Penyusunan laporan yang dilandasi dengan pendapat para ahli dan hasil penelitian dirangkum dengan baik dan Ikhlas, Sehingga kedepannya hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi orang lain. Dalam ayat ini, tercantum kata “ta’dil” yang artinya pemberian citra baik bagi mereka yang berilmu, lantaran Allah memerintahkan untuk bertanya kepada para ahli ilmu.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian dan analisis data pada penyerapan Pb dengan bioadsorben dari batang pisang menunjukkan bahwa waktu kontak adsorpsi optimum pada penyerapan logam berat Pb adalah pada menit ke 150 dengan persentase 93,64%.
2. Dari hasil penelitian dan analisis data pada penyerapan Pb dengan bioadsorben dari batang pisang menunjukkan bahwa variasi massa bioadsorben optimum pada penyerapan logam berat Pb adalah 6 gram dengan persentase 93,64%.
3. H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa “Tidak ada Perbedaan yang nyata (signifikan) pada variasi waktu kontak dan massa bioadsorben terhadap efisiensi penyerapan logam berat Pb”.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai bioadsorben dari batang pisang menggunakan variasi aktivator dalam membuat bioadsorben.
2. Melakukan uji analisis struktur permukaan dengan SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mendapatkan gambaran morfologi permukaan bioadsorben sehingga perubahan struktur pori-pori pada bahan pembuatan bioadsorben dapat diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusti, A. N. (2019). Analisis Logam Timbal Dan Tembaga Terhadap Daya Serap Rumput Laut *Gracilaria* Sp. Sebagai Biosorben. *Program Studi Kimia, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh*.
- Aisyahlika S. Z, F. M. (2018). KAPASITAS ADSORPSI ARANG AKTIF CANGKANG BINTARO (Cerbera odollam) TERHADAP ZAT WARNA SINTETIS REACTIVE RED-120 DAN REACTIVE BLUE-198. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia, 2018:2(2). ISSN 2252-8075, 148-155*.
- Alsuhendra, & Ridawati. (2013). Bahan Toksik Dalam Makanan. *Bandung : PT Remaja Rosdakarya*.
- Arif A.S., A. S. (2015). Adsorpsi Karbon Aktif Dari Tempurung Kluwak (*Pangium edule*) Terhadap Penurunan Fenol. *Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar, 12*.
- Arif, A. R. (2014). Arif, A. R. (2014). Adsorpsi Karbon Aktif Dari Tempurung Kluwak (*Pangium Edule*) Terhadap Penurunan Fenol. . *Skripsi Universitas Islam Negeri (Uin) Alauddin Makassar., 1-77*.
- Ariyanto E., L. D. (2021). ANALISA KEMAMPUAN DAN KINETIKA ADSORPSI KARBON AKTIF DARI CANGKANG KETAPANG TERHADAP ZAT WARNA METIL ORANYE. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri Vol. 32 No. 2, 166-178*.
- Arsyam, M. d. (2021). Ragam Jenis Penelitian dan Perspektif. *STAI DDI Kota Makassar, UIN Alauddin Makassar, P-ISSN : 2745-7796, 2*.
- Arya, Y. (2017). Studi Adsorpsi Merkuri Pada Limbah Pengolahan Emas Menggunakan Karbon Aktif Berbahan Baku Janjang Buah Pohon Aren (*Arenga Pinnata*) (Studi Kasus Pertambangan Emas Rakyat Di Kec. Penyabungan Kab. Mandailing Natal) . *Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Medan*.
- Asih, C. S. (2014). Pengaruh Ukuran Media Adsorben Dan Konsentrasi Aktivator Naoh Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) Dan Warna Limbah Cair Industri Galvanis Menggunakan Arang Sekam Padi : Studi Kasus PT. Cerah Sempurna Semarang Jurusan.
- Asnawati A., K. R. (2017). PENENTUAN KAPASITAS ADSORPSI SELULOSA TERHADAP RHODAMIN B DALAM SISTEM DINAMIS. *Jurnal Kimia Riset, Volume 2 No. 1, 23-29*.
- BPOM RI. (2010). *Mengenal Logam Beracun*. Direktorat Pengawasan Produk dan Bahan Berbahaya. ISBN 978-979-1269-30-8.
- Cahyani. (2017). Analisis Kadar Timbal Pada Perairan dan Sedimen Sungai lesti Kabupaten Malang Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Isalm Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang*.
- Caroline, J., & Moa, G. (2015). FITOREMEDIASI LOGAM TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN TANAMAN MELATI AIR (*Echinodorus palaefolius*) PADA LIMBAH INDUSTRI PELEBURAN TEMBAGA DAN KUNINGAN. *Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya., ISBN 978-602-98569-1-0*.

- Darmansyah. (2015). Darmansyah, 2015 Pemodelan Adsorpsi Biogas Dengan Metode Ono-Kondo Dan Langmuir Pada Material Aluminasilikat MCM-41. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung*.
- Darmono. (1995). Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta. *Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta*.
- Dewi, T. K. (2010). Pengaruh Konsentrasi Naoh, Temperatur Pemasakan, Dan Lama Pemasakan Pada Pembuatan Pulp Dari Batang Rami Dengan Proses Soda. . *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*, No. 2, Vol. 171.
- Han, R. Y. (2007). Comparison of linear and nonlinear analysis in estimating the Thomas model parameters for methylene blue adsorption onto natural zeolite in fixedbed column. *Department of Chemistry, Zhengzhou University, Journal of Hazardous Materials* , 31–335.
- Hanastasia, R. L. (2019). Efisiensi Penurunan Logam Berat Pb Pada Limbah Cair Melalui Metode Kombinasi Elektrokoagulasi – Adsorpsi Menggunakan Karbonasi Biji Alpukat . *Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*.
- Harwanto, S. R. (2019). Aplikasi Game Edukasi Pengenalan Unsur Dan Senyawa Kimia. *Jurnal Teknik Informatika ISSN: 2301-8364*, Vol. 14 No. 1.
- Hendriarianti E., Y. F. (2013). Sampah Plastik Polyethylene Sebagai Media Adsorpsi Pengolahan Limbah Cair Pencucian Mobil. *Prodi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional Malang Kampus I, Jalan Bendungan Sigura-gura Malang*.
- Ifanda, D. (2019). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Kepiting bakau (ScyllamOlivacea) di Perairan Danau Siombak dan Desa Jaring Halus Sumatera Utara. *Program Studi Manajemen Sumber daya Perairan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.*, 17.
- Imtitsal, H. (2015). Pemanfaatan Serbuk Pektin Kakao Sebagai Media Adsorben Logam Berat Pb Pada Limbah Cair (Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember). *Jurusan Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Jembe*.
- Jubilate, F. Z. (2016). Pengaruh Aktivasi Arang dari Limbah Kulit Pisang Kepok sebagai Adsorben Besi (II) Pada Air Tanah. *Universitas Tanjungpura, Pontianak*.
- Karim M.A., J. H. (2017). ADSORPSI ION LOGAM Fe DALAM LIMBAH TEKSTIL SINTESIS DENGAN MENGGUNAKAN METODE BATCH. *Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang. Distilasi, Vol. 2 No. 2*, 68-81.
- Laos, L. S. (2016). Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif . *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika Volum 1 Nomor 1*, 32-36.
- Madanih, A. A. (2019). Indonesia Darurat Limbah Plastik: Merubah Limbah Botol Plastik Menjadi Kursi Multiguna Di Kelurahan Sawah Baru, Ciputat, Tangerang Selatan. *Indonesia Darurat Limbah Plastik: Merubah Limbah Botol Plastik Menjadi Kursi Multiguna Di Kelurahan Sawah Baru, Ciputat, Tangerang Selatan*. .
- Maghfirana, C. A. (2019). Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong Terhadap Logam Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Kontinyu .

- Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.*
- Meilianti. (2017). KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI CANGKANG BUAH KARET MENGGUNAKAN AKTIVATOR H₃PO₄. *Program Studi Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya. Vol. 2 No. 2, 6.*
- MenLH. (2020). PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR P.12/MENLHK/SETJEN/PLB.3/5/2020 TENTANG PENYIMPANAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN, 2.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse, 4th ed.* New York.: McGraw Hill Book Co.
- Muna, A. N. (2011). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dari Batang Pisang Sebagai Adsorben Untuk Penyerapan Ion Logam Cr (Vi) Pada Air Limbah Industri. *Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.*
- Muslim, N. F. (2017). Pengaruh Cekaman Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap Pertumbuhan Beberapa Varietas Kedelai (*Glycine max (L) Merrill*). *Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.*
- Nanda, D. (2015). Pemanfaatan Biji Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Plastik Biodegradable Dengan Plasticizer (Sorbitol) dan Tepung Tapioka. *Politeknik Negeri Semarang , Jurusan Teknik Kimia, Palembang.*
- Palar. (2008). Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. *Jakarta: Rineka Cipta.*
- Patang. (2018). Dampak Logam Berat Kadmium Dan Timbal Pada Perairan. Badan Penerbit Umm .
- Peacock, A. J. (2000). *Handbook of Polyethylene (Structures, Properties, and Applications) . New York, USA: Marcel Dekker, Inc.*
- Prasidha, I. D. (2012). Adsorpsi Logam Berat Pada Limbah Industri Elektroplating Menggunakan Kulit Telur. *Program Studi Teknik Lingkungann Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim, 10.*
- Puro, P. K. (2019). Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis Pet (Polyethylene Terephthalate) Dan Ldpe (Low Density Polyethylene) Sebagai Bahan Tambahan Pembuatan Paving Block . *Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.*
- Purwaningrum, P. (2016). Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan. *Jurusan Teknik Lingkungan, FALTL, Universitas Trisakti., JTL Vol 8 No.2.*
- Purwonugroho, S. W. (2018). Pengolahan Limbah Plastik Jenis High Density Polyethylene (Hdpe) Dan Polypropylene (Pp) Dengan Metode Mix Plastic Coated Aggregate Untuk Meningkatkan Kualitas Aspal Beton. *Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Insitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.*
- Putri, M. F. (2016). Adsorpsi Diklorometana Pada Adsorben Granular Activated Carbon (GAC) Menggunakan Sistem Batch. *Program Studi S1 Kimia, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.*

- Rahman, H. (2006). Rahman, H. 2006. Pembuatan pulp dari batang pisang Utert (*Musa paradisiaca* L.) pascapanen dengan proses soda. *Universitas Gadjah Mada*.
- Reynold, T. (1982). *Unit Operation and Process In Environmental Engineering. Monterey California*. Monterey California.
- Reyra A.S., D. S. (2017). Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Daun Nanas Terhadap Efisiensi Penyisihan Fe Pada Air Gambut . *Jom FTEKNIK Volume 4 No. 2*.
- Rosalina, T. T. (2016). Pengaruh Aktivasi Fisika dan Kimia Arang Aktif Buah Bintaro Terhadap Daya Serap Logam Berat Krom. *Biopropal Industri. 7 , 35-45*.
- Rosydiena. (2015). Rancang Bangun Kinerja Alat Adsorpsi Limbah Cair Pewarnaan Industri Batik Tulis Sidoarjo. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Boisistem*.
- Sahara, E. N. (2017). Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gunitir (*Tagetes Erecta*) Dengan Aktivator NaOH . *Progam Studi Kimia Fmipa Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Badung, Jurnal Kimia*.
- Salindra, B. P., Ningrum, P. T., & Ariyanto, Y. (2021). Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Aliran Limbah Cair dan Air Sumur Serta Keluhan Kesehatan Masyarakat. *Biolink : Jurnal Biologi Lingkungan, Industri dan Kesehatan, 2(1)*.
- Siregar, S. A. (2005). Instalasi Pengolahan Air Limbah. *Yogyakarta: Kanisius*.
- SNI. (1995). Arang Aktif Teknis. *06-3730-1995*.
- Suziyana, & Daud, S. (2017). Pengaruh Massa Adsorben Batang Pisang dan Waktu Kontak Adsorpsi Terhadap Efisiensi Penyisihan Fe dan Kapasitas Adsorpsi Pada Pengolahan Air Gambut. *Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Jom Fteknik Vol. 4 No. 1*.
- Syauqiah, I. M. (2011). ANALISIS VARIASI WAKTU DAN KECEPATAN PENGADUK PADA PROSES ADSORPSI LIMBAH LOGAM BERAT DENGAN ARANG AKTIF . *INFO TEKNIK, Volume 12 No. 1*.
- Sylvia N., W. Y. (2021). EFEKTIVITAS KARBON AKTIF KULIT SINGKONG (*Manihot Esculenta* Crantz) TERHADAP ADSORPSI ION LOGAM Fe²⁺ DENGAN AKTIVATOR NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal 10:2, 83-91*.
- Wiyanto, E., & dkk. (2014). Penerapan Elektrokoagulasi Dalam Proses Penjernihan Limbah Cair. *Jurnal Tadris Kimiya, 20*.
- Wiyantoko, B. . (2014). Adsorption Isotherm of Cr(VI) Using Mg/Al Hydrotalcite with Molar Ratio . *DIII Analis Kimia UII, 23*.
- Yuliono, Netti Herawati, & Maryono. (2014). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Batang Pisang (*Musa paradisiaca*) Terhadap Ion Logam Kromium VI. *Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar, urnal Chemica Vol. 15 Nomor 2 Desember 2014, 24 - 32*.