

**UJI EFEKTIVITAS ADSORBSI LOGAM TIMBAL (Pb)
MENGUNAKAN BIOSORBEN BUAH LERAK (*Sapindus rarak* DC)
TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI pH DAN WAKTU
PENGONTAKAN**

SKRIPSI

**Oleh:
RATNA FARIHATUR ROHMANI A
NIM. 19630015**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**UJI EFEKTIVITAS ADSORBSI LOGAM TIMBAL (Pb)
MENGUNAKAN BIOSORBEN BUAH LERAK (*Sapindus rarak* DC)
TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI pH DAN WAKTU
PENGONTAKAN**

SKRIPSI

**Oleh:
RATNA FARIHATUR ROHMANI A
NIM. 19630015**

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik
Ibrahim Malang Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S. Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**UJI EFEKTIVITAS ADSORBSI LOGAM TIMBAL (Pb)
MENGUNAKAN BIOSORBEN BUAH LERAK (*Sapindus rarak* DC)
TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI pH DAN WAKTU
PENGONTAKAN**

SKRIPSI

**Oleh:
RATNA FARIHATUR ROHMANI A
NIM. 19630015**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 21 Juni 2023**

Pembimbing I



**A. Ghanaim Fasya, M. Si
NIP. 19820616 200604 1 002**

Pembimbing II



**Lulu'atul Hamidatu Ulya, M. Sc
NIDT. 19900906 20180201 2 239**

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia**



**Rachmayati Wingsih, M. Si
NIP. 19810811 200801 2 010**

**UJI EFEKTIVITAS ADSORBSI LOGAM TIMBAL (Pb)
MENGUNAKAN BIOSORBEN BUAH LERAK (*Sapindus rarak* DC)
TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI pH DAN WAKTU
PENGONTAKAN**

SKRIPSI

**Oleh:
RATNA FARIHATUR ROHMANI A
NIM. 19630015**

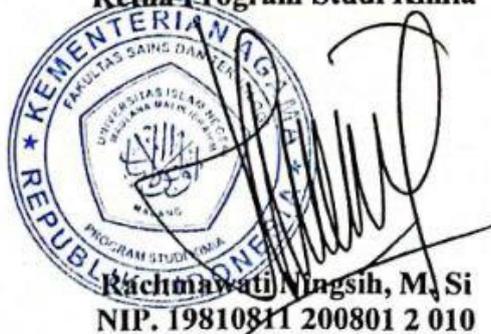
**Telah dipertahankan di depan dewan penguji skripsi
dan dinyatakan diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar sarjana sains (S. Si)**

Tanggal: 21 Juni 2023

Ketua Penguji	: Eny Yulianti, M.Si NIP. 19760611 200501 2 006
Anggota Penguji I	: Ahmad Hanapi, M.Sc NIDT. 19851225 20160801 1 069
Anggota Penguji II	: A. Ghanaim Fasya, M.Si NIP. 19820616 200604 1 002
Anggota Penguji III	: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc NIDT. 19900906 20180201 2 239

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

**Mengesahkan,
Ketua Program Studi Kimia**


**Rachmawati Ningsih, M. Si
NIP. 19810811 200801 2 010**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ratna Farihaturohmani A
NIM : 19630015
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Uji Efektivitas Adsorpsi Logam Timbal (Pb)
Menggunakan Biosorben Buah Lerak (Sapindus rarak
DC) Teraktivasi NaOH dengan Variasi pH dan Waktu
Pengontakan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila ini di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 19 September 2022

Yang membuat pernyataan



Ratna Farihaturohmani A

NIM. 19630015

MOTTO

حَسْبُنَا اللَّهُ وَنِعْمَ الْوَكِيلُ نِعْمَ الْمَوْلَى وَنِعْمَ النَّصِيرُ

“Cukuplah bagi kami Allah, sebaik-baiknya pelindung dan sebaik-baiknya penolong kami.”

“Sopo wani rekasa, bakal nggayuh mulya”

“Allah said “وَيْشِرُ الصَّابِرِينَ” So, don't worry, Allah never breaks his promise”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin...

Sujud syukur dan segala puji tiada henti kepada Allah Swt. yang telah memberikan *rahman rahim*-Nya mengijabah salah satu do'a ibu saya sehingga tugas akhir saya yang masih jauh dari kata sempurna ini dapat terselesaikan dengan baik.

Lantunan *Al-Fatihah* beriring selawat serta do'a tiada henti,
saya persembahkan karya sederhana ini kepada:

Kedua orangtua saya, Bapak Taufikur Rohman dan Ibu Titik Tohiroh yang tiada pernah henti melangitkan do'a untuk anaknya yang masih selalu menyusahkan, tidak menyerah atas anaknya ini, dan senantiasa berusaha memberikan dukungan baik material maupun non material secara penuh dan tidak sering hingga melupakan diri mereka sendiri, serta memberikan motivasi yang tak terhingga untuk dapat menyelesaikan karya sederhana ini.

Para dosen dan seluruh laboran Program Studi Kimia khususnya Bapak A. Ghanaim Fasya M.Si selaku dosen pembimbing utama, Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M. Sc selaku pembimbing agama, Ibu Eny Yulianti, M. Si selaku dosen wali sekaligus dosen penguji dan Pak Abi selaku laboran organik yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu, dan senantiasa sabar menghadapi saya saat perkuliahan maupun penelitian sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk orang-orang baik yang Allah kirimkan untuk menemani perjuangan saya dalam perkuliahan maupun organisasi yakni seluruh teman-teman Uranium angkatan 2019, bestie KKN Sawahan bismillah mengabdikan, terima kasih untuk setiap do'a baik, pelajaran, hiburan, motivasi dan bantuan tanpa pamrih hingga detik ini yang sangat berharga bagi saya pribadi. Terima kasih telah menjadi bagian dalam kehidupan saya di bangku perkuliahan. Semoga kita dapat dipertemukan lagi di *overlapping orbital* kesuksesan kita masing-masing. Aamiin

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah Swt. yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, yang senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya. sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Uji Efektivitas Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Biosorben Buah Lerak (*Sapindus Rarak* DC) Teraktivasi NaOH Dengan Variasi pH Dan Waktu Pengontakan”**. Tak lupa selawat serta salam selalu tercurah limpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad saw. yang telah menuntun umatnya hingga akhir zaman yang senantiasa berlandaskan al-Qur’an dan al Sunnah, serta suri tauladannya.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan nasehat, bimbingan, bantuan, dan support dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. M. Zainuddin, MA., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak A. Ghanaim Fasya, M. Si., selaku dosen pembimbing yang senantiasa bersabar dan meluangkan banyak waktu berharganya untuk memberikan bimbingan, nasehat, dan perhatian selama proses penyusunan hingga selesainya skripsi ini.

5. Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M. Sc., selaku dosen pembimbing agama, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, nasehat dan perhatian selama proses penyusunan hingga selesainya skripsi ini.
6. Segenap Bapak/Ibu dosen serta pegawai di Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang memberikan akses sarana guna keberlangsungan penyusunan skripsi ini.
7. Orang tua saya yang selalu mendoakan ketika penyusunan skripsi ini dan selalu memberikan support terbaiknya.
8. Seluruh kakak tingkat dan teman-teman sekalian, terutama teman-teman angkatan uranium 2019, bestie seper-KKN sawahan, yang telah membantu dan memberikan support, serta menguatkan hingga penyusunan skripsi ini selesai.

Penulis menyadari akan keterbatasan penulisan skripsi ini jauh dari kata sempurna. sehingga dengan sepuh hati penulis membuka kritik dan saran guna perbaikan maupun pengembangan penyusunan selanjutnya. Terlepas dari segala kekurangan dan kesalahan, semoga skripsi ini dapat memberikan sebuah informasi yang bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Malang, 18 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
مستخلص البحث	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II STUDI PUSTAKA	8
2.1 Buah Lerak (<i>Sapindus rarak</i> DC).....	8
2.2 Biosorben.....	10
2.3 Logam Timbal (Pb).....	14
2.4 Karakterisasi FTIR.....	15
2.5 Spektroskopi Serapan Atom	16
2.6 Uji One Way ANOVA.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat.....	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.2.1 Alat.....	20
3.2.2 Bahan.....	20
3.3 Rancangan Penelitian.....	20
3.4 Tahapan Penelitian.....	22
3.5 Prosedur Kerja	23
3.5.1 Preparasi Buah Lerak (<i>Sapindus rarak</i> DC)	23
3.5.2 Aktivasi Biosorben.....	23
3.5.3 Pembuatan Kurva Standar Pb.....	24
3.5.4 Uji Adsorben	24
3.5.5 Identifikasi Gugus Fungsi Dengan Spektrofotometer FTIR	26
3.6 Analisis Data.....	27
3.6.1 Metode Kurva Standar	27
3.6.2 Penentuan Kinetika Adsorpsi.....	27
3.6.3 Penentuan Isoterm Adsorpsi	28
3.6.4 Efektivitas Adsorpsi Logam Timbal	32
3.6.5 Analisis One Way Anova.....	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Preparasi Sampel	33
4.2 Aktivasi Biosorben	33
4.3 Kurva Standar Timbal (Pb).....	37
4.4 Uji Adsorben dengan Variasi Massa	38
4.5 Uji Adsorben dengan Variasi pH.....	42
4.6 Uji Adsorben dengan Variasi Waktu	45
4.7 Penentuan Isoterm Adsorpsi	50
4.8 Perbandingan Adsorpsi Biosorben Lerak Teraktivasi dan Tanpa Aktivasi ..	55
4.9 Karakterisasi dengan Spektrofotometer FTIR	56
4.10 Pembahasan Biosorben Lerak dalam Perspektif Islam.....	59
BAB V PENUTUP	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rancangan variasi perlakuan	22
Tabel 3.2 Persamaan isoterm adsorpsi	29
Tabel 4.1 Hasil uji adsorpsi variasi massa	40
Tabel 4.2 Hasil uji adsorpsi variasi pH	43
Tabel 4.3 Hasil uji adsorpsi dengan variasi waktu pengontakan	47
Tabel 4.4 Hasil uji perbandingan antara lerak murni dan teraktivasi	55
Tabel 4.5 Bilangan gelombang puncak yang muncul dalam FTIR.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Morfologi Buah Lerak (<i>Sapindus rarak</i> DC).....	9
Gambar 2.2 Aktivasi selulosa dengan NaOH untuk melepas lignin.....	11
Gambar 2.3 Pengikatan ion logam Pb^{2+} oleh selulosa	12
Gambar 2.4 Struktur kompleks selulosa dengan timbal	13
Gambar 2.5 Senyawa kompleks protein dan logam Pb.....	13
Gambar 2.6 Pengikatan Pb oleh protein.....	14
Gambar 2.7 Karakterisasi FTIR sebelum dan setelah aktivasi pada kulit kopi	16
Gambar 3.1 Kinetika adsorpsi orde 1	28
Gambar 3.2 Kinetika adsorpsi orde 2.....	28
Gambar 3.3 Grafik Isoterm Langmuir	30
Gambar 3.4 Grafik Isoterm Freundlich	30
Gambar 3.5 Grafik isoterm BET	31
Gambar 3.6 Grafik isoterm Temkin	31
Gambar 4.1 Ikatan selulosa dan lignin di alam	34
Gambar 4.2 Perbandingan warna lerak a) sebelum aktivasi b) setelah aktivasi ...	34
Gambar 4.3 Mekanisme pelepasan lignin dari selulosa oleh NaOH.....	36
Gambar 4.4 Kurva Standar Timbal (Pb)	38
Gambar 4.5 hubungan perubahan massa adsorben dengan jumlah Pb terserap....	39
Gambar 4.6 Grafik hubungan perubahan pH dengan jumlah Pb terserap.....	43
Gambar 4.7 Grafik hubungan waktu pengontakan dengan jumlah Pb terserap....	46
Gambar 4.8 Kinetika adsorpsi orde 1.....	49
Gambar 4.9 Kinetika adsorpsi orde 2.....	50
Gambar 4.10 Grafik persamaan isoterm Langmuir.....	51
Gambar 4.11 Grafik persamaan isoterm Freundlich	51
Gambar 4.12 Grafik persamaan isoterm BET.....	52
Gambar 4.13 Grafik persamaan isoterm Temkin	52
Gambar 4.14 Kemungkinan mekanisme adsorpsi Pb^{2+} oleh biosorben lerak.....	55
Gambar 4.15 Spektra IR biosorben lerak.....	56
Gambar 4.16 Ikatan antara gugus OH selulosa dengan Pb	58
Gambar 4.17 Kemungkinan adanya keterlibatan protein dalam proses adsorpsi .	58

ABSTRAK

Rohmani, Ratna Farihatu. 2023. **Uji Efektivitas Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Biosorben Buah Lerak (*Sapindus rarak* DC) Teraktivasi NaOH dengan Variasi pH, dan Waktu Pengontakan.** Skripsi. Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: A. Ghanaim Fasya, M.Si; Pembimbing II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc.

Kata Kunci: *Sapindus rarak* DC, Biomassa, Biosorben, Adsorpsi Limbah

Buah lerak (*Sapindus rarak* DC) merupakan tanaman dari salah satu famili Sapindaceae yang banyak tumbuh liar di pulau Jawa. Lerak dirasa memiliki potensi yang besar karena kaya akan senyawa aktif yang memiliki gugus-gugus fungsi dengan salah satu kemampuannya untuk mengikat logam. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas buah lerak sebagai biomassa untuk mengadsorpsi logam timbal (Pb) dengan variasi pH dan waktu pengontakan.

Tahapan penelitian ini meliputi preparasi lerak, aktivasi dengan NaOH 3%, pengontakan dengan logam dengan variasi massa adsorben, pH, dan waktu kontak, penentuan isotherm adsorpsi, perbandingan adsorpsi lerak murni dan teraktivasi, analisis dengan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) dan karakterisasi FTIR.

Hasil penelitian ini didapatkan keberhasilan aktivasi dengan NaOH ditandai dengan berubahnya warna biosorben menjadi lebih pucat setelah aktivasi dan juga berat adsorben yang menurun dari 500 g menjadi 208 g, kondisi optimum pengontakan terjadi pada massa adsorben 75 mg, pH 6, dan waktu pengontakan 90 menit, serta setiap variasi menunjukkan hasil penyerapan yang berbeda nyata berdasarkan uji Tukey dan Duncan. Biosorben teraktivasi NaOH 3% efektif menyerap sampai 93,87% logam timbal. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan adanya gugus -OH, -NH, -CO, -CN, C-OH primer, dan C-OH sekunder dalam biosorben lerak.

ABSTRACT

Rohmani, Ratna Farihatu. 2023. **Effectiveness Test of Lead (Pb) Adsorption Using NaOH-Modified Fruit Lerak (*Sapindus rarak* Dc) Biosorbent with Variations in pH and Contact Time.** Thesis. Chemistry Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: A. Ghanaim Fasya, M.Sc.

Kata Kunci: *Sapindus rarak* DC, Biomass, Biosorbent, Waste Adsorption

Lerak fruit (*Sapindus rarak* DC) is a plant from the Sapindaceae family that grows abundantly in the wild on the island of Java. Lerak is believed to have great potential because it is rich in active compounds that have functional groups with the ability to bind metals. This study was conducted to determine the effectiveness of lerak fruit as a biomass for adsorbing lead (Pb) metal with variations in pH and contact time.

The research step included the preparation of lerak, activation with 3% NaOH, contact with the metal with variations in adsorbent mass, pH, and contact time, determination of adsorption isotherms, comparison of pure and activated lerak adsorption, analysis with AAS, and characterization using FTIR.

The results of this study showed that the successful activation with NaOH was marked by the change in the color of the biosorbent to a paler after activation and also the weight of the adsorbent decreased from 500 g to 208 g. and each variation shows significantly different absorption results based on the Tukey and Duncan test. Biosorbent activated by 3% NaOH effectively absorbs up to 93.87% of lead metal. The results of characterization with FTIR showed the presence of -OH, -NH, -CO, -CN, primary C-OH, and secondary C-OH groups in lerak biosorbent.

مستخلص البحث

رحماني، راتنا فرحاتور. ٢٠٢٣. اختبار فعالية امتصاص المعادن الرصاص (Pb) استخدام خشخيشات (*Sapindus rarak DC*) تنشيط (NaOH) مع تغير الأس الهيدروجيني ووقت التمرد. الكتاب المقدس. برنامج الدراسات الكيميائية، كلية العلوم والتكنولوجيا ، مولانا مالك إبراهيم مالانج جامعة الدولة الإسلامية. المشرف الأول: أ. غنايم فاشي، الماجستير؛ المشرفة الثانية: لؤلؤة حميدة العليا، الماجستير.

كلمة رئيسية: *Sapindus Rarak Dc*، الكتلة الحيوية، الامتصاص الحيوي ، امتصاص النفايات

فاكهة الكراك (Buah Lerak) هي نبات ينتمي إلى إحدى عائلات (*Sapindaceae*) وتنمو برياً في جزيرة جاوة. تشعر بأن لديها إمكانات كبيرة للتدافع لأنها غنية بالمركبات النشطة التي تحتوي على مجموعات وظيفية، مع قدرتها على ربط المعادن. تم إجراء هذا البحث لمعرفة فعالية فاكهة الكراك ككتلة حيوية لاختبار معادن الرصاص (Pb) في ظل تغيرات في الأس الهيدروجيني ووقت التمرد.

تشمل مراحل هذه الدراسة التحضير الصرير ، والتنشيط مع NaOH ٣٪، والتمرد المعدني مع الاختلافات في الكتلة الممتزة ، ودرجة الحموضة ، ووقت الاتصال ، وتحديد متساوي الامتزاز ، ومقارنة امتزاز الطقطقة النقي والمنشط ، تحليل باستخدام AAS (مطياف الامتصاص الذري) وتوصيف FTIR.

نتائج هذه الدراسة الحصول على حالة مثالية من التمرد تحدث عند كتلة ممتزة من خمسة و سبعين مجم ، و ستة درجة الحموضة، و وقت تمرد تسعين دقيقة ، ويظهر كل اختلاف نتيجة امتصاص مختلفة بشكل كبير. فعالية امتصاص النفايات الحيوية الخالصة (Pb) هي ٤٤,١٣٪ فقط ، بينما يمتص 3% NaOH من المواد الحيوية الماصة حتى ٩٣,٨٧٪ تظهر نتائج التوصيف مع FTIR الطيف -OH ، -NH ، -CO ، -CN ، ، الابتدائي C-OH ، والثانوي C-OH في فخخيشات الكراك.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Timbal (Pb) merupakan salah satu dari beberapa logam berat yang paling berbahaya dan bersifat akumulatif (Haryanti *et al.*, 2013). Logam berat seperti timbal (Pb) bersifat non-essensial dan non-*biodegradable* yang artinya akan terus ada di alam karena tidak dapat terurai. Paparan timbal yang terakumulasi pada organisme perairan dan kemudian dikonsumsi oleh manusia akan bersifat toksik dan sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, yang kemudian dapat berdampak pada gangguan sistem syaraf, ginjal, sistem reproduksi, dan sirkulasi (Purnamawati *et al.*, 2015).

Oleh karena dampak buruk yang ditimbulkan dari limbah logam berat terutama timbal (Pb) yang telah disebutkan sebelumnya, maka tidak seharusnya limbah dengan kandungan logam berat langsung dibuang begitu saja ke lingkungan perairan, sebagaimana firman Allah Swt. dalam Q.S. Ar Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ
يَرْجِعُونَ (٤١)

“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (41).” (Q.S. Ar Rum: 41)

Penjelasan ayat di atas sebagaimana tertera dalam tafsir *Al- Mishbah*, dikatakan bahwa tidak ada penciptaan Allah Swt. yang rusak, tercemar, maupun tidak seimbang pada awal penciptaannya, namun akibat perbuatan manusia

sendirilah yang mengubah fitrah awal lingkungan yang telah diciptakan dengan sempurna, menjadi muncul pencemaran, kerusakan, dan juga menyebabkan bahaya bencana alam, dengan perbuatan maksiat (Shihab, 2003). Pada ayat بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ (disebabkan perbuatan tangan manusia) berupa perbuatan-perbuatan maksiat لِیُذِيقَهُمْ (supaya Allah merasakan kepada mereka) dapat dibaca *liyudziiqahum* dan *linudziiqahum*; apabila dibaca *linudziiqahum* artinya supaya Kami merasakan kepada mereka بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا (sebagian dari akibat perbuatan mereka) sebagai hukumannya لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ (agar mereka kembali) supaya mereka bertobat dari perbuatan-perbuatan maksiat (Al-Mahalli & As-Suyuthi, 2007). Manusia sebagai khalifah di muka bumi harus menjaga dan bertanggung jawab atas lingkungan, apabila kita membuat kerusakan lingkungan mencemari dengan limbah, maka kita akan merasakan akibat dari perbuatan kita sendiri berupa dampak buruk lingkungan yang bisa berimbas pada diri kita sendiri, sehingga diperlukan teknologi atau metode untuk mengolah limbah tersebut supaya tidak mencemari lingkungan. Metode pengolahan pencemar logam yang biasanya digunakan yaitu presipitasi, elektrolisis, pertukaran ion, koagulasi, oksidasi kimiawi, pemisahan membran, elektrokoagulasi, adsorpsi dan beberapa teknik lainnya (Suprihatin & Indrasti, 2010). Yuan & Liu (2013) menyatakan air limbah dengan konsentrasi logam yang rendah dan industri kecil, cocok menggunakan metode adsorpsi dengan biaya yang murah.

Biosorpsi menjadi salah satu proses adsorpsi alternatif untuk mendegradasi logam berat pada air limbah. Biosorpsi merupakan teknik adsorpsi logam berat menggunakan bahan-bahan biologis sebagai adsorben dimana faktor penting dari proses ini adalah adanya gugus fungsi yang menjadi situs aktif pada permukaan

adsorben yang selanjutnya akan mengakumulasi ion logam (Nuban *et al.*, 2021). Biosorpsi telah terbukti efisien dalam penghilangan beberapa logam berat seperti Cd, Cu, Ni, Pb, dan Zn (Papirio *et al.*, 2017). Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Wulandari *et al.* (2014) dikatakan bahwa keunggulan dari metode ini adalah ketersediaan bahan baku yang berlimpah, mudah didapat, biayanya relatif terjangkau, efisiensi tinggi pada larutan encer, meminimalisir pembentukan lumpur dan mudah proses regenerasinya. Selain itu, penggunaan bahan alam menjadi salah satu upaya mendukung program *Green Technology*.

Tanaman lerak (*Sapindus rarak DC*) merupakan salah satu famili Sapindaceae yang banyak tumbuh liar di pulau Jawa dan belum dibudidayakan secara luas. Lerak tumbuh dengan baik pada 450 hingga 1.500 mdpl, dan merupakan jenis pohon-pohonan dengan tinggi rata-rata 10 m sampai 42 m dengan diameter batang 1 m (Husna & Khaira, 2019). Buah lerak berbentuk bulat, keras, dan banyak dimanfaatkan sebagai deterjen tradisional untuk mencuci kain batik dan mampu menjaga kualitas warna batik (Moenandar *et al.*, 2021).

Metabolit sekunder pada lerak banyak dimanfaatkan sebagai antibakteri seperti pada penelitian Artha *et al.* (2022). Namun, masih sedikit yang menjelaskan secara rinci terkait metabolit primer yang terkandung di dalam lerak seperti selulosa, dan protein. Akan tetapi, diprediksikan dalam buah lerak juga terdapat kandungan protein dan juga selulosa, sebagaimana pada tumbuhan dengan famili sejenis cenderung memiliki kesamaan morfologi dan kandungan senyawa yang hampir sama (Alfarisi *et al.*, 2022). Famili lerak yakni *Sapindaceae* memiliki kandungan protein dan selulosa seperti pada penelitian Andriani *et al.* (2020) yang menyebutkan kandungan 5,31% protein kasar dalam famili *Sapindaceae*.

Kemudian disebutkan pula oleh Kurniawan *et al.* (2022) adanya kandungan selulosa yang tinggi sebesar 50% dalam famili *Sapindaceae*. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan memanfaatkan lerak sebagai biosorben karena memiliki kandungan metabolit primer yang berpotensi untuk menjerab logam berat timbal.

Sebelum dapat digunakan biosorben perlu diaktivasi untuk memperkuat permukaan adsorben melalui pengikatan gugus-gugus pembentuk kompleks dengan logam. Aktivasi dapat dilakukan dengan penambahan larutan organik, asam, basa, ataupun agen pengoksidasi yang dapat memisahkan komponen yang dapat mengganggu sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam pengikatan logam berat oleh biosorben (Shukla & Pai, 2005). Peneliti terdahulu telah banyak mempelajari aktivasi biosorben ini. Salah satunya adalah Almuchty *et al.* (2020) yang mendapatkan bahwa dengan aktivator NaOH biosorben kulit rambutan mampu mengikat logam Pb dengan efektivitas penyerapan sebesar 83.30% lebih baik dari yang didapatkan oleh Purwiandono & Haidar (2022) yang mendapatkan efektivitas penyerapan 71.2% saat kulit rambutan diaktivasi dengan HNO₃.

Setelah ditinjau dari beberapa kajian di atas, tanaman lerak yang masih minim pemanfaatan terutama metabolit primernya dan juga limbah sisanya setelah digunakan proses pencucian batik, dirasa memiliki potensi yang besar karena kaya akan senyawa aktif yang memiliki gugus-gugus fungsi dengan kemampuan mengikat logam. Lerak sebagai biosorben akan diaktivasi dengan larutan NaOH yang menyebabkan biosorben bersifat dehidrasi dan akan memiliki pori-pori yang terbuka dimana semakin luas pori-pori biosorben maka akan semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi. Dengan aktivasi Basa, biosorben difokuskan untuk mengikat logam timbal (Pb) sebagai kation Pb²⁺. Hal ini mengingat bahwa kation

logam Pb^{2+} bertindak sebagai asam Lewis, dan yang bertindak sebagai basa lewisnya berupa gugus-gugus aktif pada buah lerak, sehingga pada proses adsorpsi dapat diaplikasikan pengklasifikasian asam-basa keras dan lunak. (Rahmawati, 2012). Gugus aktif -OH dan gugus -NH dari metabolit primer yang mendominasi pada buah lerak merupakan basa keras, sementara ion-ion logam yang bermuatan positif besar, bilangan oksidasi tinggi memberikan polarisabilitas kecil dikelompokkan dalam asam keras sehingga logam Pb^{2+} akan mudah berinteraksi dengan gugus amina (-NH) dan gugus hidroksil (-OH) yang merupakan basa keras sesuai teori HSAB (*Hard Soft Acid Base*) (Fitriah *et al.*, 2012). Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan uji efektivitas biosorben lerak dengan variasi pH dan waktu kontak untuk menentukan kondisi optimum pengontakan dimana pH mempengaruhi kemampuan muatan pada situs aktif dan spesi logam dalam larutan, serta waktu kontak yang berhubungan dengan proses adsorpsi dan desorpsi pada biosorben.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektivitas buah lerak sebagai biosorben teraktivasi basa terhadap logam timbal (Pb) dalam limbah cair?
2. Bagaimana pengaruh variasi pH, waktu pengontakan, konsentrasi adsorben, dan adsorbat terhadap kemampuan buah lerak sebagai biosorben logam timbal (Pb) dalam limbah cair?
3. Bagaimana karakterisasi FTIR biosorben buah lerak sebelum dan setelah diaktivasi?

4. Bagaimana kemampuan adsorpsi biosorben lerak pada logam timbal limbah laboratorium kimia UIN Malang?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui efektivitas buah lerak sebagai biosorben logam timbal (Pb) dalam limbah cair dengan tinjauan efektivitas dan kapasitas adsorpsinya.
2. Mengetahui pengaruh variasi pH, waktu pengontakan, konsentrasi adsorben, dan adsorbat terhadap kemampuan buah lerak sebagai biosorben logam timbal (Pb) dalam limbah cair.
3. Mengetahui karakterisasi biosorben buah lerak sebelum dan setelah diaktivasi.
4. Mengetahui kemampuan adsorpsi biosorben lerak pada logam timbal limbah laboratorium kimia UIN Malang.

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel yang digunakan adalah buah lerak (*Sapindus rarak* DC) yang diperoleh dari Kelurahan Bandulan, Kecamatan Sukun, Kota Malang.
2. Analisis dilakukan pada kemampuan sampel sebagai biosorben logam Pb pada limbah cair.
3. Variasi pH dilakukan pada 2; 4; 6; 7, variasi waktu pengontakan pada 5; 10; 15; 20; 25 menit, variasi massa adsorben dilakukan pada 15; 30; 45; 60; 75 mg, variasi konsentrasi adsorbat pada 5; 10; 15; 20; 25 ppm.
4. Karakterisasi dilakukan dengan instrumen Spektroskopi Serapan Atom dan FTIR.

5. Pada penelitian ini dilakukan variasi pH, waktu pengontakan, massa adsorben, dan konsentrasi adsorbat pada saat pengontakan biosorben.
6. Konsentrasi timbal pada sampel diketahui melalui metode instrumentasi Spektroskopi Serapan Atom.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian yang dilakukan ini diharapkan dapat memberikan sumber informasi kepada masyarakat tentang potensi buah lerak sebagai biosorben limbah cair logam Pb dengan aktivator basa dan mekanismenya, untuk secara lanjut bisa diaplikasikan pada limbah internal laboratorium kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang sebagai upaya mendukung *Green Technology* dan skala yang lebih besar lagi. serta dapat digunakan juga sebagai bahan studi lanjut untuk objek penelitian biosorben menggunakan buah lerak.

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Buah Lerak (*Sapindus rarak* DC)

Buah lerak (*Sapindus rarak* DC) atau yang dikenal sebagai rerek di sunda, kalikea di Jambi, dan buah sabun di Tapanuli Selatan, merupakan jenis tumbuhan asli Asia Tenggara yang dapat tumbuh dengan baik di hampir semua jenis tanah dan kondisi iklim (Husna & Khaira, 2019). Buah lerak banyak digunakan sebagai pencuci pakaian, pembersih lantai dan perabot rumah tangga, insektisida alami dan sari buah lerak dapat membunuh kutu pada hewan peliharaan (Moenandar *et al.*, 2021). Walaupun telah diketahui banyak manfaat lerak, tidak menutup kemungkinan lerak memiliki manfaat lain yang belum diketahui seperti pada penelitian ini yang ingin membuktikan bahwa lerak juga memiliki kebermanfaatan sebagai adsorben logam timbal. Sebagaimana telah tertera dalam Q.S. Asy Syu'ara ayat 7:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ (٧)

“Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami telah menumbuhkan disana segala jenis (tanaman) yang tumbuh baik?(7).” (QS. Asy Syu'ara:7)

Dalam tafsir *Al-Mishbah* dijelaskan bahwa orang-orang kafir akan terus mempertahankan kekufuran dan pendustaan, serta tidak merenungi dan mengamati sebagian ciptaan Allah di bumi ini. Apabila mereka bersedia merenungi dan mengamati hal itu, niscaya mereka akan mendapatkan petunjuk. Kamilah (Allah) yang mengeluarkan dari bumi ini beraneka ragam tumbuh-tumbuhan yang mendatangkan manfaat, dan itu semua hanya dapat dilakukan oleh Tuhan yang

Maha esa dan Maha kuasa (Shihab, 2003). Sebagai hamba Allah yang diberi akal, hendaknya kita mengkaji tumbuhan yang telah diciptakan Allah dengan banyak manfaat di dalamnya. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan studi penelitian tentang pemanfaatan berbagai jenis tumbuhan yang ada di bumi, seperti pada buah lerak yang belum banyak dikaji terutama metabolit primernya.

Menurut (Quattrocchi, 2017) Taksonomi lerak adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledons
Sub kelas	: Rosidae
Ordo	: Sapindales
Famili	: Sapindaceae
Genus	: Sapindus
Spesies	: <i>Sapindus rarak DC</i>



Gambar 2.1 Morfologi Buah Lerak (*Sapindus rarak DC*)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, lerak memiliki kandungan metabolit sekunder yang cukup banyak dan beragam, salah satu yang

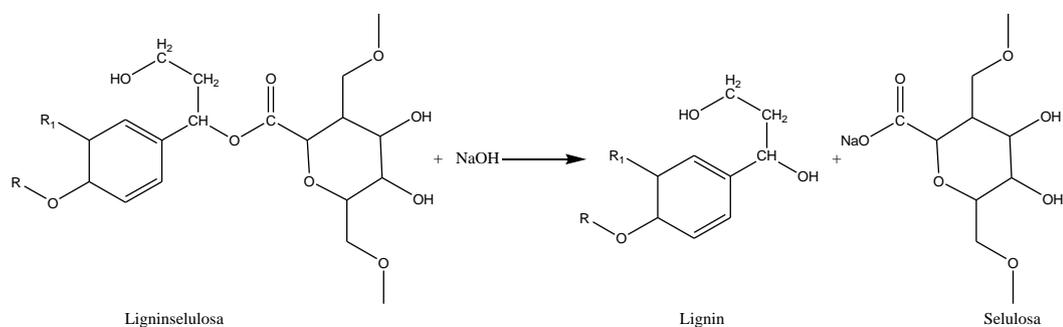
sudah meneliti adalah Isrianto & Kristianto (2017) yang mengatakan bahwa buah lerak mengandung flavonoid sebesar 1,05%, tanin 5,81%, saponin 5,99%, dan alkaloid 6,11%. Masih sedikit penelitian terkait metabolit primer yang terkandung dalam lerak, namun dapat diketahui bahwa tumbuhan dengan famili yang sama memiliki morfologi mirip serta kandungan senyawa yang juga hampir sama (Alfarisi *et al.*, 2022). Salah satu spesies lain dari famili *Sapindaceae* adalah matoa yang telah diketahui memiliki kandungan selulosa 50% (Kurniawan *et al.*, 2022), dan protein kasar sebesar 4.89 ppm (Andriani *et al.*, 2020). Selain itu dari sifat biologisnya selulosa diketahui sangat mudah menyerap air, hal ini sesuai dengan sifat sampel lerak yang higroskopis dan banyak ditemukan pada tumbuhan yang keras seperti lerak (Nisa & Putri, 2014).

2.2 Biosorben

Biosorben merupakan adsorben alami yang dimanfaatkan sebagai alternatif dalam pengolahan limbah, hal tersebut dikarenakan biayanya yang relatif murah dan mudah diperoleh, selain itu penggunaan bahan-bahan biologi lebih aman, *biodegradable* dan ramah lingkungan (Rahmi & Sajidah, 2017). Secara mekanismenya penyerapan limbah dengan biosorben menggunakan sistem Adsorpsi. Adsorpsi kimia terjadi melalui pembentukan ikatan kovalen pada senyawa sampel, adsorben maupun adsorbat memiliki peran aktif dalam Adsorpsi, dan memiliki sifat irreversible. Adapun hal-hal yang mempengaruhi proses Adsorpsi yaitu: waktu kontak, ukuran partikel, pH, konsentrasi, luas permukaan, dan suhu. (Adamson, 1990).

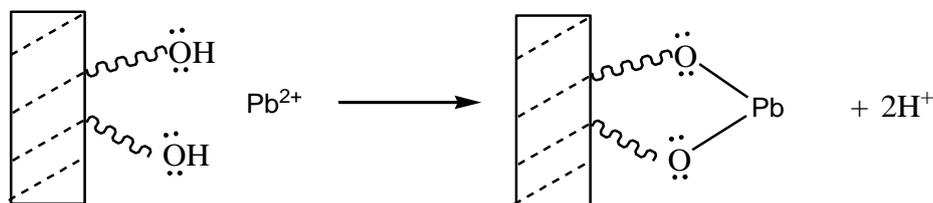
Kelemahan biosorben sendiri adalah daya Adsorpsi yang tidak sekuat dengan adsorben dari bahan sintetik, oleh karena itu, diperlukan aktivasi biosorben untuk menguatkan permukaan adsorben melalui ikatan antara gugus pembentuk kompleks dengan logam (Shukla & Pai, 2005). Zaini & Sami (2016) melaporkan bahwa adsorpsi logam Pb oleh biosorben kulit kacang tanah meningkat saat diaktivasi dengan basa daripada asam atau tanpa diaktivasi dengan persen massa penyisihan 96.57% saat diaktivasi menggunakan NaOH. Almuchty *et al.* (2020) juga mendapatkan bahwa dengan aktivator NaOH biosorben kulit rambutan mampu mengikat logam Pb dengan efektivitas penyerapan sebesar 83.30%.

Metabolit primer dalam lerak yang diduga selulosa dan protein, kaya akan gugus karboksil (-COOH), hidroksil (-OH) dan amina (-NH). Gugus fungsi inilah yang digunakan sebagai adsorben dalam penyerapan logam karena kemampuannya bertindak sebagai pengikat logam dengan mengganti ion H^+ dengan kation logam. Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Oktasari (2018) didapatkan bahwa setelah pengaktifasian dengan basa dan dikarakterisasi dengan FTIR, didapat peak pengotor yang hilang, dimana pengotor inilah yang mengganggu proses Adsorpsi logam Pb^{2+} oleh adsorben, sehingga dengan aktivasi ini, mampu meningkatkan kemampuan adsorben dalam proses adsorbansi logam.



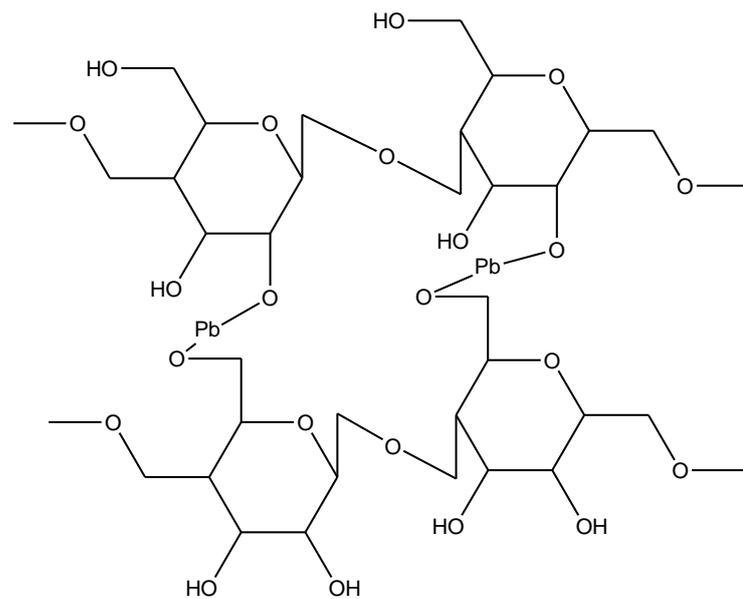
Gambar 2.2 Aktivasi selulosa dengan NaOH untuk melepas lignin (Purwiandono & Haidar, 2022)

Pada dasarnya selulosa di alam banyak tersedia berikatan dengan lignin, sehingga dengan adanya aktivasi NaOH terlebih dahulu menyebabkan sisi aktif selulosa yang sebelumnya tertutup berikatan dengan lignin, kemudian terbuka seperti pada Gambar 2.2 dengan cara OH milik NaOH memutus ikatan struktur dasar lignin yang selanjutnya menyebabkan lignin mudah larut, dan kemudian selulosa mampu menjerap logam Pb^{2+} (Purwiandono & Haidar, 2022). Pada Gambar 2.3 proses Adsorpsi menggunakan konsep asam-basa keras dan lunak, dimana kation logam Pb^{2+} dapat dinyatakan sebagai asam Lewis, sedangkan gugus-gugus aktif pada permukaan adsorben dinyatakan sebagai basa Lewis. Gugus -OH merupakan basa keras, sehingga dapat diprediksikan terjadi ikatan antara Pb^{2+} dengan situs aktif yang mempunyai gugus -OH (Oktasari, 2018).



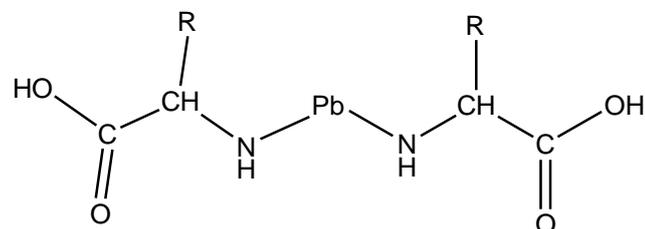
Gambar 2.3 Pengikatan ion logam Pb^{2+} oleh selulosa (Oktasari, 2018)

Senyawa kompleks juga mampu terbentuk pada antara logam timbal dan selulosa akibat gugus -OH selulosa menyumbangkan sepasang electron terhadap orbital d kosong milik logam Pb, sehingga nantinya Pb akan menjadi ligan antar selulosa seperti pada Gambar 2.4 (Purwiandono & Haidar, 2022).

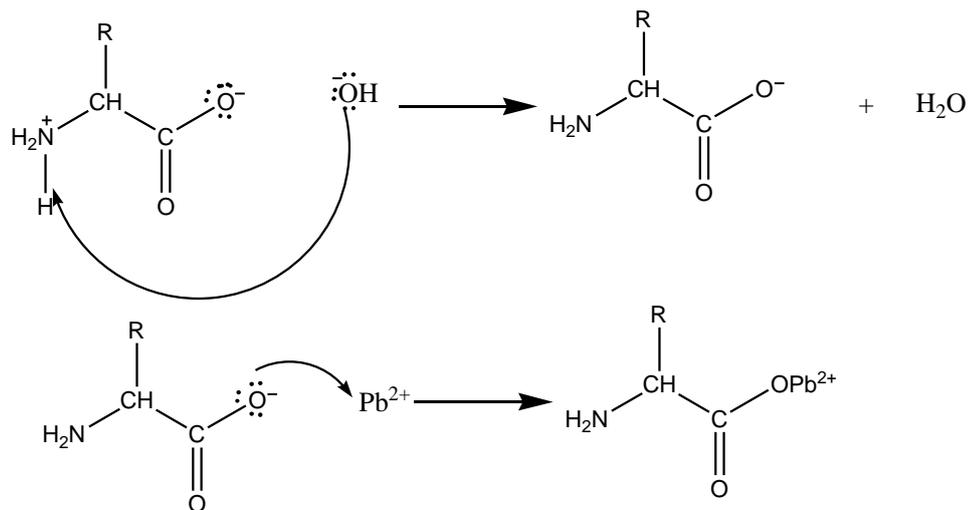


Gambar 2.4 Struktur kompleks selulosa dengan timbal (Purwiandono & Haidar, 2022)

Sementara pada protein yakni asam amino yang memiliki gugus asam dan basa sehingga bersifat amfoter, pereaksian dengan basa NaOH menyebabkan asam amino semakin elektronegatif dengan gugus -COO^- sehingga akan semakin tertarik untuk mengikat Pb^{2+} yang positif. OH dari NaOH akan mengambil 1 H dari NH_3^+ milik asam amino sehingga nantinya asam amino menjadi lebih stabil sebagaimana dipaparkan pada Gambar 2.6. Kemungkinan lain pada mekanisme pengikatan Pb oleh protein yakni dengan membentuk senyawa kompleks dengan cara atom N gugus amina protein menyumbangkan pasangan elektron bebasnya untuk nantinya mengikat Pb yang tertera pada Gambar 2.5 (Al-ayubi *et al.*, 2012).



Gambar 2.5 Senyawa kompleks protein dan logam Pb (Al-ayubi *et al.*, 2012)



Gambar 2.6 Pengikatan Pb oleh protein (Al-ayubi *et al.*, 2012)

2.3 Logam Timbal (Pb)

Logam timbal merupakan salah satu logam berat golongan IVA dalam tabel periodik unsur kimia. Timbal memiliki nomor atom 82, massa atom 207,2 g/mol, dengan massa jenis 11,34 g/cm³. Logam timbal merupakan logam lunak dengan titik leleh 327°C dan titik didih 1.620°C. Selain itu, logam timbal (Pb) juga merupakan logam yang sangat rapuh dan dapat menyusut saat didinginkan (Palar, 1994).

Timbal tersebar lebih luas dibanding logam toksik lainnya dan ditemukan secara alami di bebatuan serta lapisan kerak bumi. Timbal banyak digunakan pada industri sebagai zat aditif bahan bakar, cat dan zat warna. Besarnya penggunaan timbal inilah yang menjembatani peningkatan kadar Pb di lingkungan (Agustina, 2011).

Logam timbal (Pb) dapat mencemari lingkungan dan termasuk dalam golongan bahan beracun dan berbahaya (B3). Unsur ini juga tergolong logam berat yang dapat bersifat racun bagi manusia. Namun masih banyak sungai di Indonesia

yang mengandung kadar logam timbal (Pb) melebihi ambang batas yang telah ditentukan, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh (Maddusa *et al.*, 2017) didapat pada sungai tondino kadar Pb berkisar antara 0,09 – 0,14 ppm, tentu hal ini sudah melebihi ambang batas yang telah diatur dalam PERMENKES No.492 tahun 2010 yang menyatakan bahwa ambang batas logam timbal (Pb) dalam air sungai sebesar 0,03 ppm.

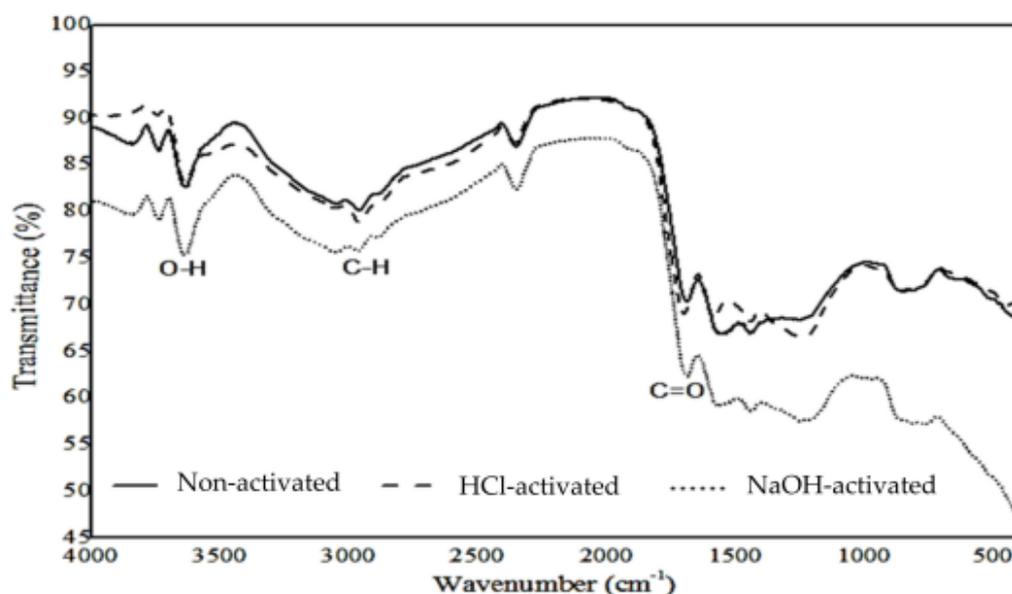
2.4 Karakterisasi FTIR

FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan instrumen analisis yang bergantung pada pengukuran intensitas inframerah terhadap panjang gelombang dan juga mendeteksi getaran gugus fungsi suatu senyawa dalam sampel. Ketika sinar inframerah akan berinteraksi dengan sampel, molekul-molekul yang berinteraksi dalam sampel akan mengalami *stretching* dan *bending*. (Kang dkk, 1998).

Prinsip kerja FTIR adalah mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut, interaksi radiasi elektromagnetik berupa radiasi inframerah yang dilewatkan pada suatu molekul, sehingga menyebabkan terjadinya vibrasi pada molekul yang dikenai sinar tersebut. Pola absorbansi yang diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikuantifikasikan (Astuti, 2016).

Hasil karakterisasi FTIR biosorben akan mampu menunjukkan telah berhasil tidaknya suatu aktivasi biosorben, seperti pada penelitian Mariana *et al.* (2021) yang mendapatkan hasil karakterisasi FTIR biosorben dari endokarp kopi gayo sebagaimana terlihat pada Gambar 2.7 yang mendapatkan hasil perbedaan

antara biosorben sebelum dan sesudah teraktivasi akan memunculkan pergeseran peak dan perbedaan intensitas yang mengindikasikan bahwa proses aktivasi berefek pada intensitas adsorpsi, seperti pada gugus -OH yang muncul pada panjang gelombang 3620 cm^{-1} pada biosorben non-aktivasi, dan bergeser menjadi 3645 cm^{-1} setelah teraktivasi NaOH. Dan gugus C=O yang muncul pada 1693 cm^{-1} sebelum aktivasi dan meningkat intensitasnya pada saat setelah teraktivasi dimana gugus ini juga menunjukkan adanya selulosa dalam biosorben



Gambar 2.7 Karakterisasi FTIR sebelum dan setelah aktivasi pada kulit kopi

2.5 Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi adalah cara analisis kuantitatif yang mana pengukurannya sangat bergantung pada jumlah radiasi yang dipancarkan atau diserap oleh molekul sampel. Salah satu bagian dari spektroskopi adalah *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), AAS merupakan suatu metode analisis unsur kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan pada penyerapan cahaya oleh sampel dengan panjang

gelombang tertentu oleh sebuah atom logam yang dianalisis keadaan bebas. (Prasetyo, 2009).

Prinsip kerja AAS sendiri adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel yang akan diuji. Dari berbagai metode yang ada, AAS merupakan salah satu metode yang paling tepat untuk menganalisis sampel pada konsentrasi yang cukup rendah. Metode ini didasarkan pada emisi dan absorpsi uap atom. Komponen paling penting dari SSA adalah generator uap atom dalam sampel. Sedangkan mekanisme kerja SSA sendiri tergantung penguapan sampel yang kemudian logam di dalamnya akan diubah menjadi atom bebas. Atom yang diuapkan akan menyerap radiasi yang dipancarkan oleh sumber cahaya lampu katoda yang mengandung unsur sasaran. Jumlah radiasi yang telah diserap oleh sampel, kemudian akan diukur pada panjang gelombang tertentu dan Panjang gelombang tersebut tergantung pada jenis logam yang dianalisis. (Agusti, 2019)

2.6 Uji One Way ANOVA

Suatu penelitian tentu akan menghasilkan banyak data yang beragam melalui pengulangan, oleh karena itu, diperlukan suatu metode analisis untuk menyelidiki ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan antara data hasil satu dengan data hasil lainnya. *Analysis of variance* (anova) merupakan suatu salah satu metode yang dapat digunakan untuk menguji kesamaan rata-rata dari dua atau lebih populasi yang selanjutnya bisa melahirkan suatu hipotesis (Megawati *et al.*, 2021).

Prinsip uji Anova adalah melakukan analisis variabilitas data menjadi dua sumber variasi yaitu variasi di dalam kelompok (*within*) dan variasi antar kelompok (*between*). Bila variasi *within* dan *between* sama (nilai perbandingan kedua varian

mendekati angka satu) maka berarti rerata kedua variasi yang dibandingkan tidak ada perbedaan. Namun sebaliknya, bila variasi antar kelompok lebih besar dari variasi dalam kelompok, nilai mean yang dibandingkan menunjukkan adanya perbedaan (Supriyantini & Soenardjo, 2015).

Berdasarkan jumlah variabel yang diamati, uji anova dibedakan menjadi 2 macam yakni *one way* anova apabila hanya ada satu variabel yang ingin diamati dan *two way* anova apabila ada dua variabel yang ingin diamati dalam suatu analisis. Uji Anova dapat digunakan untuk menyelidiki apakah perlakuan yang telah dilakukan dalam penelitian benar-benar mempengaruhi respon penelitian. Analisis data melalui ANOVA akan lebih efektif apabila dilakukan pengulangan perlakuan. Asumsi hasil ANOVA perlu diuji melalui uji kenormalan data dan uji homogenitas data.

Uji normalitas bertujuan untuk menguji apakah variabel dalam penelitian ini terdistribusi normal atau tidak. Residual dikatakan berdistribusi normal jika nilai signifikansi ($p > \alpha$ (0,05)). Yang kemudian memunculkan hipotesis H_0 : Data terdistribusi normal, H_1 : Data tidak terdistribusi normal. Jika $p > \alpha$ maka H_0 diterima, namun apabila $p < \alpha$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima (Da Costa & Sukartha, 2020). Sedangkan uji homogenitas untuk mengetahui apakah subjek yang digunakan dalam penelitian homogen atau tidak, yang mana menjadi persyaratan yakni data harus terdistribusi normal dan juga homogen untuk dilanjutkan uji *one way* anova. Adapun hasil interpretasi uji homogenitas yaitu jika $p > \alpha$ (0.05) artinya varian kelompok data adalah sama (homogen) sedangkan $p < \alpha$ (0.05) maka varian kelompok data tidak homogen. Jika nilai antar kelompok signifikan $p > \alpha$ (0.05), maka dilakukan analisis lanjutan dengan menggunakan uji beda nyata terkecil

(BNT) / *least significant differences* (LSD) untuk melihat perbedaan antar kelompok, yang menunjukkan apakah perlakuan satu dengan yang lain dalam penelitian ini akan memberikan hasil yang berbeda nyata atau tidak mempengaruhi hasil penelitian (Permatasari *et al.*, 2022).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada 01 Februari – 15 April 2023 bertempat di Laboratorium Kimia Organik Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian kali ini antara lain seperangkat gelas kimia, bola hisap, gelas ukur, erlenmeyer, blender, pipet tetes, pipet ukur, tabung reaksi, spatula, dan labu ukur, penangas air, neraca analitik cawan porselen, ayakan, oven, spektrofotometer FTIR (Merk Varian 1000 FTIR Scimitar Series), spektrofotometer AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*), dan sonikator frekuensi 42 kHz.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah buah Lerak *Sapindus rarak DC*, etanol, aquades, NaOH 3%, Pb(NO₃)₂, KBr, H₂O₂, HCL 0,1 M, Kertas saring, indicator pH universal.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji efektivitas buah lerak sebagai biosorben melalui analisis dengan melihat seberapa banyak logam Pb²⁺

yang teradsorpsi oleh biosorben lerak dengan instrumentasi Atomic Absorption Spectrophotometer. Buah lerak yang diperoleh dari Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang, dibersihkan dan dicuci hingga kotorannya hilang, lalu dipotong-potong kecil. Selanjutnya lerak dikeringkan dengan oven pada suhu 40°C selama 7 hari, setelah kering lerak diserbukkan. Serbuk lerak kemudian diaktivasi dengan direndam dalam NaOH 3% selama 24 jam untuk aktivasi. Selanjutnya, lerak disaring dengan corong buchner dan dibilas dengan aquades sampai pH nya netral. Selanjutnya lerak dikeringkan dalam oven suhu 110°C sampai kering. Selanjutnya dibuat kurva standar Pb dan diujikan ke AAS supaya nantinya bisa mengetahui konsentrasi Pb sampel melalui adsorpsinya. Selanjutnya lerak teraktivasi sebanyak 15; 30; 45; 60; 75 mg dikontakkan dengan logam Pb konsentrasi 20 ppm dan kemudian di shaker dengan kecepatan 150 rpm selama 25 menit. Pengontakan lerak pada massa optimum yang telah diperoleh dilakukan dengan variasi pH 2; 4; 6; 7 pada larutan Pb 20 mL 20 ppm. Selanjutnya variasi waktu pengontakan biosorben dilakukan pada 5; 10; 15; 20; 25 menit dengan pengkondisian pada pH dan massa adsorben optimum. Tiap variasi dilakukan 3 kali pengulangan. Setelah diperoleh massa adsorben, pH, dan waktu optimum dilakukan penentuan isotherm Langmuir dan freundlich untuk mengetahui apakah lerak mengadsorpsi logam pb secara fisika atau kimia dengan memvariasikan konsentrasi adsorbat pada 5; 10; 15; 20; 25 ppm. Dan kemudian diujikan dengan One way Anova, serta pos hoc test duncan, tukey, dan LSD, untuk mengetahui apakah tiap perlakuan variasi menghasilkan pengaruh yang berbeda nyata terhadap efektivitas adsorben.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 3 faktor sebanyak tiga kali pengulangan sebagaimana pada Tabel 3.1, antara lain:

1. Faktor pertama massa adsorben.
2. Faktor kedua pH pengontakan.
3. Faktor ketiga waktu pengontakan.

Tabel 3.1 Rancangan variasi perlakuan

Variasi Perlakuan	Perlakuan	Pengulangan		
		1	2	3
Variasi Massa Adsorben	15 mg			
	30 mg			
	45 mg			
	60 mg			
	75 mg			
Variasi pH	2			
	4			
	6			
	7			
Variasi Waktu kontak	5 menit			
	10 menit			
	15 menit			
	20 menit			
	25 menit			
Variasi konsentrasi adsorbat (Penentuan isoterm adsorpsi)	5 ppm			
	10 ppm			
	15 ppm			
	20 ppm			
	25 ppm			

3.4 Tahapan Penelitian

1. Preparasi buah lerak (*Sapindus rarak* DC).
2. Aktivasi serbuk biosorben lerak.
3. Pengontakan dengan larutan logam timbal (Pb) dengan variasi massa adsorben, pH, dan waktu kontak.
4. Penentuan isoterm Langmuir dan Freundlich.
5. Pengujian AAS.

6. Perbandingan adsorpsi dengan filtrat ekstraksi sonikasi.
7. Pengaplikasian pada limbah laboratorium kimia UIN Malang.
8. Karakterisasi FTIR.
9. Pengolahan data secara statistika dengan anova dan post hoc.

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Preparasi Buah Lerak (*Sapindus rarak* DC)

Buah Lerak *Sapindus rarak* DC dipisahkan antara daging buah dan biji kemudian diambil daging buahnya, setelah itu dicuci hingga tiga atau empat kali dan dibersihkan dari semua kotoran serta zat-zat pengotor yang menempel pada sampel hingga tidak ada kotoran yang tersisa, kemudian di oven dalam suhu 40°C selama 7 hari, dan diserbukkan (Masrihanah, 2020).

3.5.2 Aktivasi Biosorben

Serbuk biosorben buah lerak kering diaktivasi menggunakan NaOH 3% dengan rasio NaOH : serbuk biosorben sebesar 10 mL : 1,0 g. Sampel direaksikan di atas stirrer dengan kecepatan 150 rpm selama 24 jam. Serbuk yang telah direaksikan kemudian dicuci dengan aquades hangat sampai pH menjadi 7, kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 3 jam. Serbuk biosorben yang telah kering direndam kembali dengan aquades selama 24 jam dan dicek pH kembali untuk memastikan serbuk biosorben telah benar netral (Almughty *et al.*, 2020).

3.5.3 Pembuatan Kurva Standar Pb

Sebelum melakukan pengukuran, sampel dibuat terlebih dahulu dengan konsentrasi 0; 10; 20; 30; 40 ppm sebanyak 20 mL. Setelah larutan selesai dibuat maka larutan yang telah dibuat tersebut akan diuji pada panjang gelombang 283,3 nm. Kemudian data yang didapatkan diplotkan menjadi kurva standar untuk mendapatkan persamaan garis regresi. Dan setelah itu dilakukan pengukuran uji dengan Sederetan larutan standar timbal (Pb) dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) varian spektra AA 240 dengan lampu katoda (HCl) terbuat dari wolfram/tungsten dengan kuat arus HCl 10,0 μ A, panjang gelombang untuk timbal pada 283,3 nm, burner Mark 7, monokromator, detektor jenis MPT (Multiplayer tube), laju alir asetilen pada 2,0 (Siwi, 2020).

3.5.4 Uji Adsorben

3.5.4.1 Uji Adsorben dengan Variasi Massa Adsorben

Penentuan massa optimum adsorben dilakukan dengan larutan Pb sebanyak 20 ml dengan konsentrasi 20 ppm dimasukkan kedalam erlenmeyer berukuran 100 ml. Kemudian dimasukkan adsorben dengan variasi massa yaitu 15; 30; 45; 60; 75 mg. Larutan diaduk dengan kecepatan 150 rpm menggunakan shaker selama 25 menit. Larutan disaring dengan corong *buchner*, kemudian Sampel yang telah terpisah kemudian dianalisis dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) (Fajriah, 2018).

3.5.4.2 Uji Adsorben dengan Variasi pH

Serbuk lerak diambil dan ditimbang sesuai dengan hasil massa optimum. Kemudian ditambahkan 20 mL larutan Pb 20 ppm dan dikondisikan pH pada 2; 4; 6; 7 yang mana dapat disesuaikan dengan penambahan larutan NaOH dan HCl. Selanjutnya ditambahkan larutan buffer sesuai pH sebanyak 4 mL. Setelah itu *dishaker* selama 25 menit dan disaring dengan kertas saring. Sampel yang telah terpisah kemudian dimasukkan dalam beaker gelas dan selanjutnya dianalisis dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) (Fajriah, 2018).

3.5.4.3 Uji Adsorben dengan Variasi Waktu Kontak

Larutan Pb^{2+} diambil sebanyak 20 mL lalu dimasukkan kedalam gelas beaker. Selanjutnya ditambahkan serbuk adsorben sesuai dengan massa adsorben optimum yang telah diperoleh. pH pengontakan juga disesuaikan dengan hasil pH optimum yang telah didapat. Setelah itu *dishaker* larutan selama 5; 10; 15; 20; 25 menit dengan kecepatan 150 rpm, kemudian larutan disaring dengan kertas saring. Sampel yang telah terpisah kemudian dimasukkan dalam beaker gelas dan dianalisis dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) (Fajriah, 2018).

3.5.4.4 Uji Adsorben dengan Limbah Logam Laboratorium

Limbah logam Pb dari laboratorium kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang diambil sebanyak 20 mL lalu dimasukkan kedalam gelas beaker. Selanjutnya ditambahkan serbuk adsorben sesuai dengan massa adsorben optimum yang telah diperoleh. pH pengontakan juga disesuaikan dengan hasil pH optimum yang telah didapat. Setelah itu *dishaker* larutan selama waktu optimum yang telah

didapatkan dengan kecepatan 150 rpm, kemudian larutan disaring dengan kertas saring. Sampel yang telah terpisah kemudian dimasukkan dalam beaker gelas dan dianalisis dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) (Fajriah, 2018).

3.5.4.5 Uji Adsorben dengan Adsorben Tanpa Aktivasi

Larutan Pb^{2+} diambil sebanyak 20 mL lalu dimasukkan kedalam gelas beaker. Selanjutnya ditambahkan masing-masing beaker glass berbeda serbuk adsorben teraktivasi dan serbuk lerak tanpa aktivasi sesuai dengan massa adsorben optimum yang telah diperoleh. pH pengontakan juga disesuaikan dengan hasil pH optimum yang telah didapat. Setelah itu dishaker larutan selama 5; 10; 15; 20; 25 menit dengan kecepatan 150 rpm, kemudian larutan disaring dengan kertas saring. Sampel yang telah terpisah kemudian dimasukkan dalam beaker gelas dan selanjutnya dianalisis dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) (Fajriah, 2018).

3.5.5 Identifikasi Gugus Fungsi Dengan Spektrofotometer FTIR

Serbuk biosorben hasil aktivasi, sebelum aktivasi, dan setelah pengontakan dengan timbal diidentifikasi menggunakan spektrofotometer FTIR, sampel digerus bersama KBr dengan perbandingan (1:10) dan dibentuk menjadi pellet. Kemudian sampel diidentifikasi gugus fungsinya pada Panjang gelombang $450-4000\text{ cm}^{-1}$. Kemudian spektrum yang telah didapatkan dilakukan interpretasi menggunakan data dari literatur. (Sari dkk, 2021)

3.6 Analisis Data

3.6.1 Metode Kurva Standar

Salah satu metode yang digunakan adalah metode kurva standar, dimana pada metode ini menggunakan persamaan regresi linear, persamaan tersebut dibuat berdasarkan pada nilai absorpsi dan juga nilai konsentrasi dari larutan standar. Sehingga dapat didapatkan ion Pb^{2+} yang tersisa dapat dicari menggunakan persamaan kurva baku yakni: $Y = ax + b$. dimana: $Y =$ Absorbansi, $X =$ konsentrasi, $b =$ intercept, dan $a =$ slope. (Hesty,2020).

3.6.2 Penentuan Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi dilakukan dengan mengolah data hasil uji variasi waktu. Hasil pengukuran dianalisis dengan menggunakan persamaan *Lagergren pseudo first order* dan *second order kinetic model* dimana variasi waktu kemudian dimasukkan kedalam persamaan berikut ini:

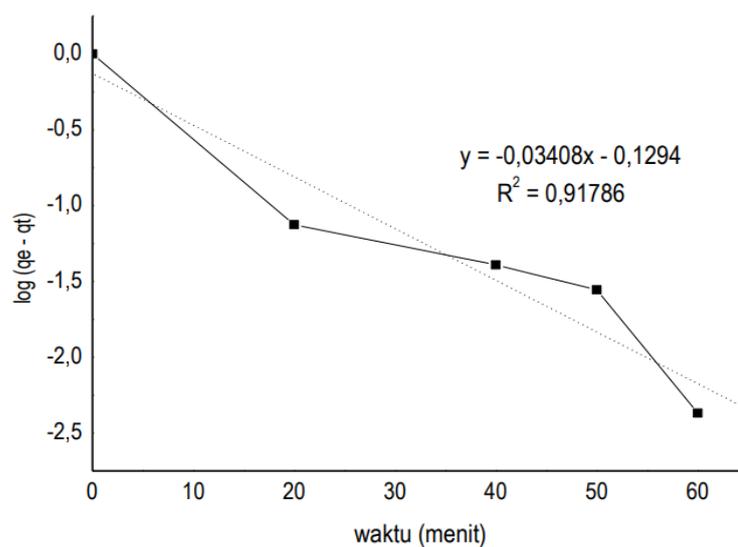
Orde 1:

$$\log(q_e/(q_e - q_t)) = \frac{-k_1 \times t}{2,303}$$

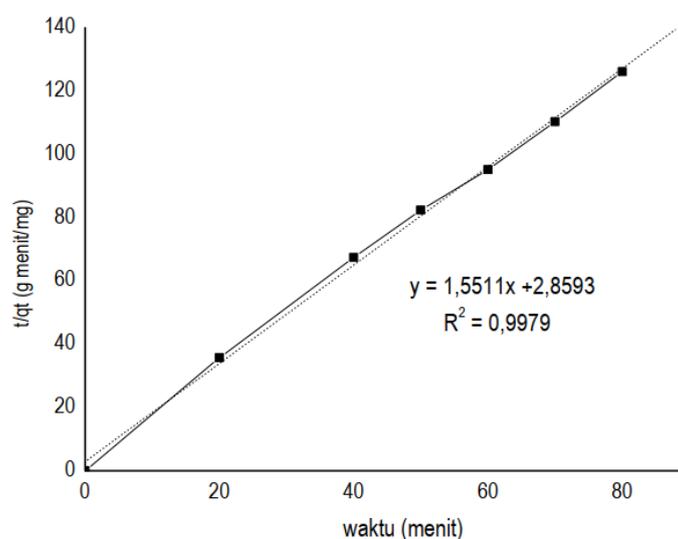
Orde 2:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1 \cdot t}{q_e}$$

Hasil yang diperoleh nantinya diplotkan pada grafik sebagaimana Gambar 3.1 – Gambar 3.2. Nilai regresi yang mendekati 1 akan disimpulkan sebagai isoterm paling tepat pada mekanisme adsorpsi dalam penelitian ini.



Gambar 3.1 Kinetika adsorpsi orde 1 (Badriyah & Putri, 2017)



Gambar 3.2 Kinetika adsorpsi orde 2 (Badriyah & Putri, 2017)

3.6.3 Penentuan Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm dilakukan pada kondisi optimum yang telah didapatkan dari tahapan sebelumnya. Diambil larutan Pb^{2+} sebanyak 20 mL dengan konsentrasi 5; 10; 15; 20; 25 ppm, dan dimasukkan kedalam gelas beaker, pH larutan

selanjutnya dikondisikan pada pH optimum 6. Adsorben lerak kemudian ditambahkan kedalam larutan dengan massa sesuai kondisi optimum yang telah dilakukan yakni 75 mg. Kemudian larutan diaduk menggunakan shaker dengan kecepatan 150 rpm dengan waktu optimum kontak 90 menit. Konsentrasi Pb^{2+} dalam larutan kemudian diukur menggunakan AAS (Hesty,2020). Selanjutnya ditentukan isoterm adsorpsi Langmuir untuk mendapatkan data grafik seperti pada Gambar 3.1 – Gambar 3.4 melalui persamaan berikut:

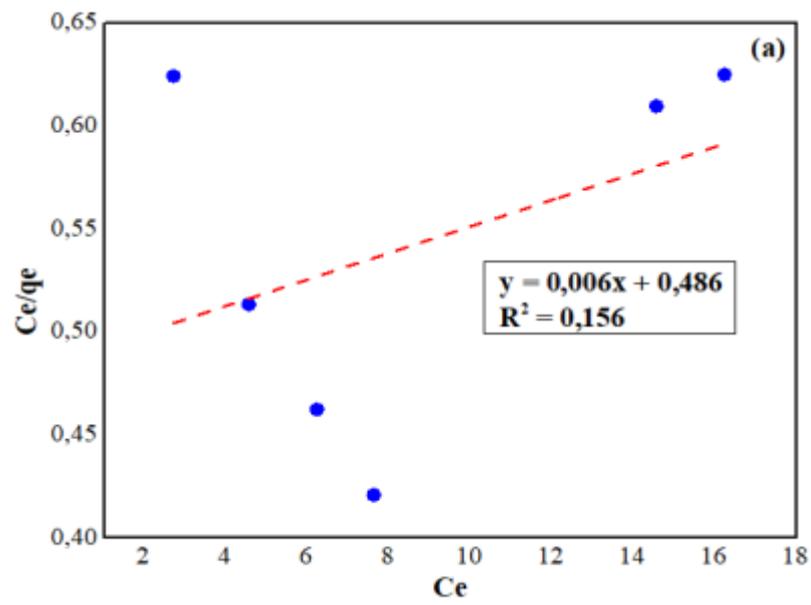
Tabel 3.2 Persamaan isoterm adsorpsi

Model Isoterm	Bentuk Persamaan
Langmuir	$Q_e = \frac{X_m K C_e}{(1 + K C_e)}$
Freundlich	$Q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$
BET	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_s C_{BET}} + \frac{C_{BET} - 1}{q_s C_{BET}} \frac{C_e}{C_s}$
Temkin	$q_e = \left(\frac{RT}{b_T} \ln A_T \right) + \left(\frac{RT}{b_T} \ln C_e \right)$

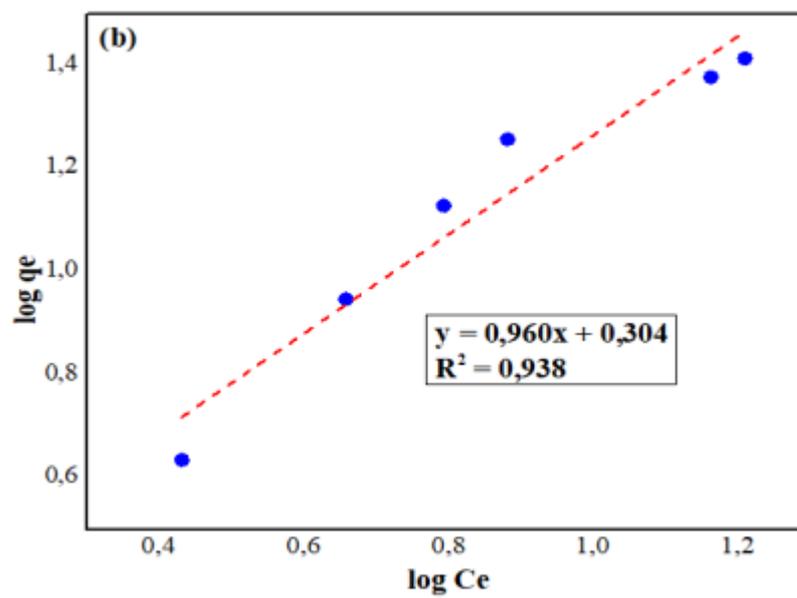
Dimana:

Q_e = banyaknya zat yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g)
 C_e = konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (ppm)
 K_f = konstanta Freundlich (L/mol)
 n = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

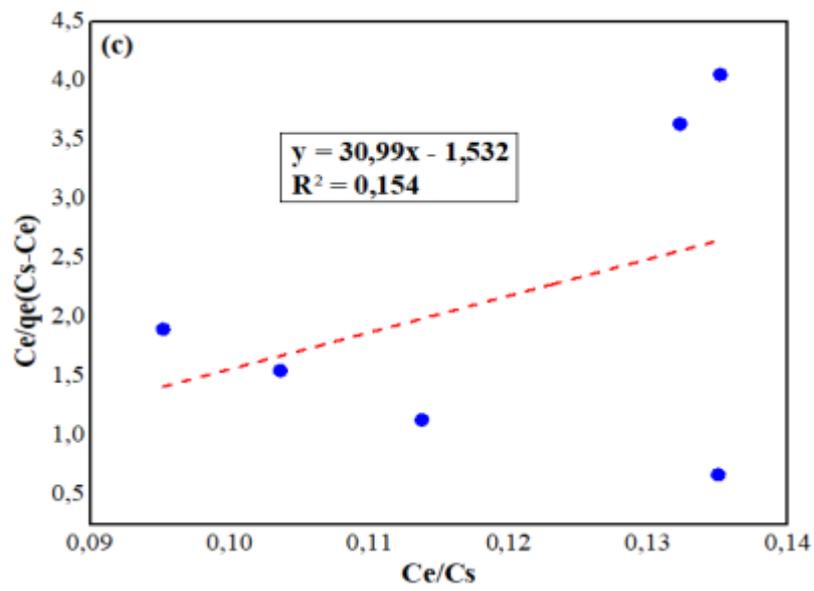
Hasil yang diperoleh nantinya diplotkan pada grafik sebagaimana Gambar 3.3 – Gambar 3.6. Nilai regresi yang mendekati 1 akan disimpulkan sebagai isoterm paling tepat pada mekanisme adsorpsi dalam penelitian ini.



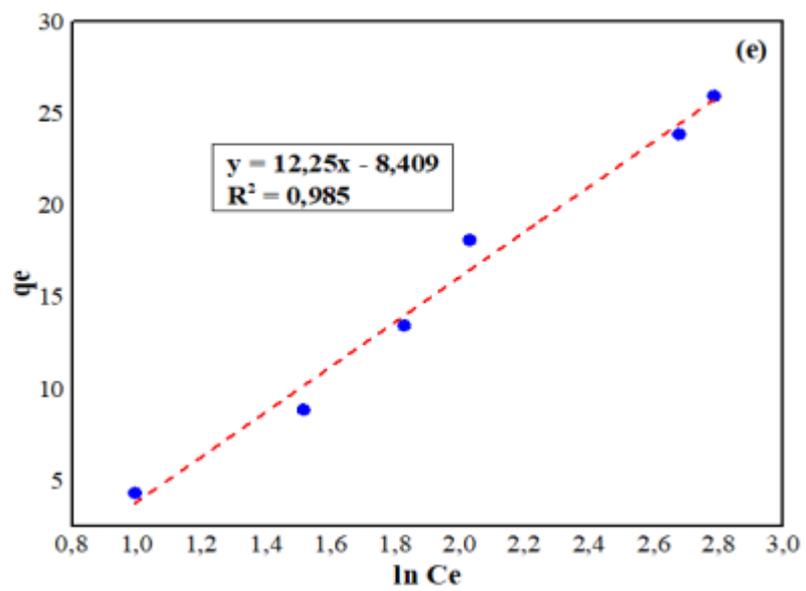
Gambar 3.3 Grafik Isoterm Langmuir (Naat, 2022)



Gambar 3.4 Grafik Isoterm Freundlich (Naat, 2022)



Gambar 3.5 Grafik isoterm BET (Naat, 2022)



Gambar 3.6 Grafik isoterm Temkin (Naat, 2022)

3.6.4 Efektivitas Adsorpsi Logam Timbal

Efektivitas Adsorpsi Pb dapat diukur dengan menghitung efektivitas penurunan (Ef) yang mana dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :(Hajar dkk., 2016):

$$EF\% = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100\%$$

Dimana:

Y_i = Kandungan awal Pb (ppm)

Y_f = Kandungan akhir Pb (ppm)

3.6.5 Analisis One Way Anova

Nilai absorbansi yang didapat di interpolisasikan kedalam kurva standar dengan sumbu x adalah konsentrasi dan sumbu y adalah absorbansi. Kemudian dianalisis dengan menggunakan uji varian One Way ANOVA serta uji post hoc tukey, Duncan, dan LSD untuk mengetahui apakah variasi waktu kontak, pH, dan massa adsorben. mempunyai pengaruh dalam penyerapan logam timbal.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

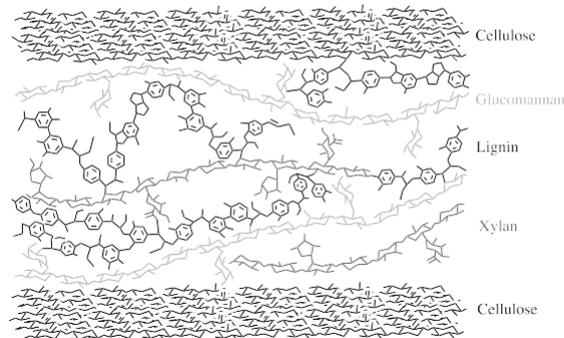
4.1 Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah lerak yang berasal dari Kelurahan Bandulan, Kecamatan Sukun, Kota Malang. Sampel yang telah didapatkan, kemudian dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran dan debu yang menempel pada sampel, dipotong kecil untuk memudahkan proses pengeringan dengan memperbesar luas permukaan sampel, selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 40°C selama 7 hari. Sampel perlu dikeringkan terlebih dahulu untuk mencegah tumbuhnya jamur dan pekembangbiakan bakteri yang bisa merusak sampel, sehingga sampel lerak bisa disimpan untuk waktu yang lebih lama. Sampel yang telah kering, kemudian diserbukkan dengan tujuan untuk memperbesar luas permukaan, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya tumbukan antara adsorben lerak dan adsorbat timbal yang akan memudahkan proses adsorpsi. Serbuk lerak selanjutnya diekstraksi dengan air untuk mengkondisikan buah lerak sebagai limbah sabun dan diambil residunya, kemudian dioven lagi pada suhu 40°C. Serbuk lerak kering kemudian disimpan dalam wadah kering dan tertutup untuk mencegah adanya kontaminasi dan kerusakan sampel. Preparasi yang telah dilakukan mendapatkan rendemen sebesar 41,6% dari sampel awal (Lampiran L.2.5).

4.2 Aktivasi Biosorben

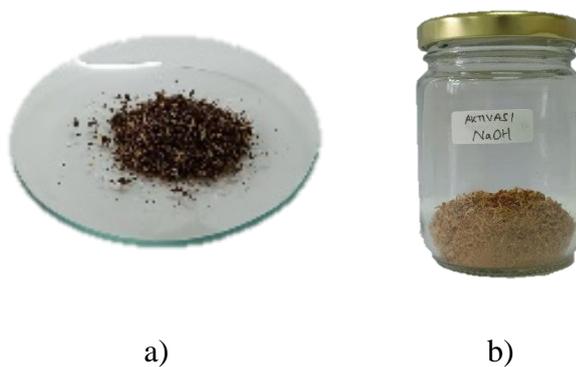
Biosorben telah tersedia di alam dengan gugus-gugus fungsi yang kaya, namun untuk menjadi biosorben yang baik perlu dilakukan suatu tindakan aktivasi

seperti pengontakan dengan basa untuk mengurai selulosa yang secara alami berikatan dengan lignin dan menyebabkan gugus fungsi selulosa lebih aktif serta struktur yang terbuka sebagaimana pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Ikatan selulosa dan lignin di alam (Aminzadeh *et al.*, 2017)

Aktivasi dalam penelitian ini dilakukan dengan cara serbuk buah lerak diambil 25 gram dan diaktivasi menggunakan NaOH 3% sebanyak 250 mL dengan rasio NaOH : serbuk biosorben sebesar 10:1. Aktivasi dengan NaOH menyebabkan terjadinya delignifikasi, yaitu suatu proses terlarutnya senyawa lignin dalam sampel awal yang dapat menghambat proses adsorpsi.



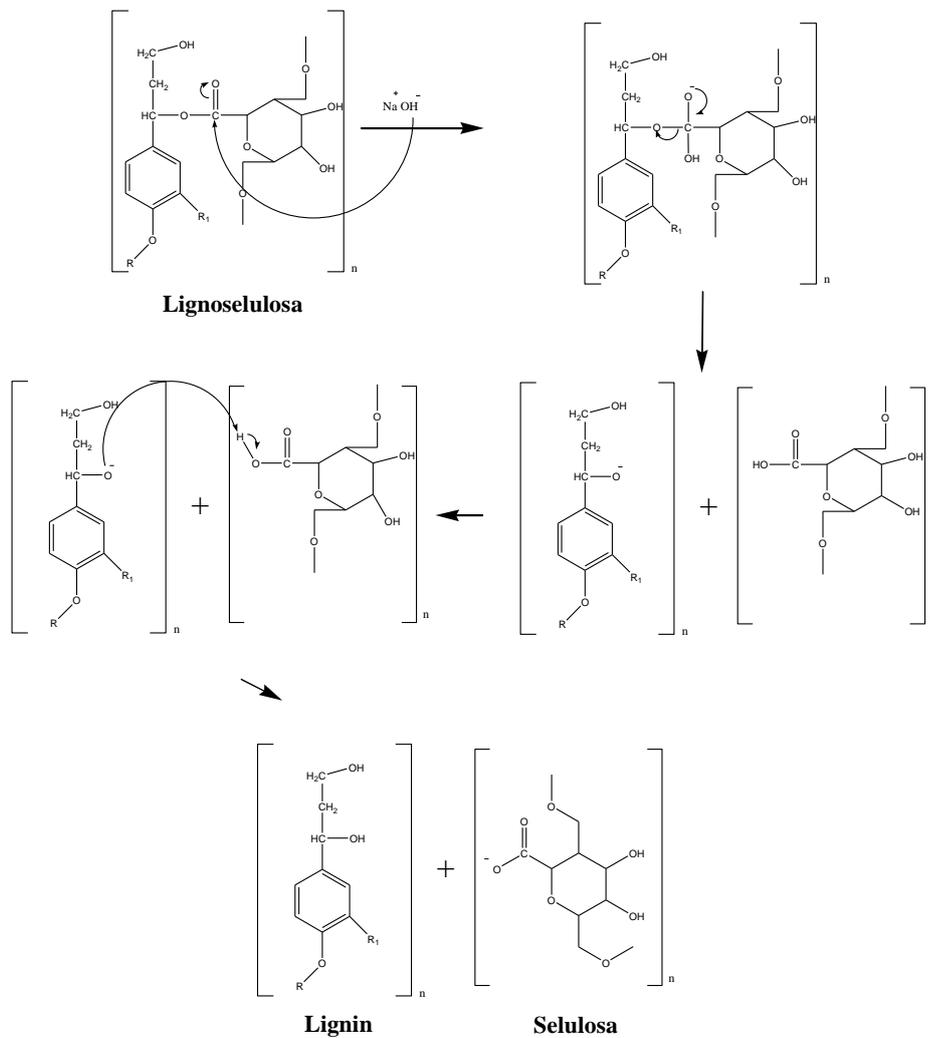
Gambar 4.2 Perbandingan warna lerak a) sebelum aktivasi b) setelah aktivasi

Sampel direaksikan di atas stirrer dengan kecepatan 150 rpm selama 24 jam dengan tujuan sampel akan teraktivasi oleh NaOH secara menyeluruh dan

delignifikasi maksimal. Proses aktivasi akan menghasilkan filtrat berwarna gelap yang menandakan NaOH telah melarutkan lignin seperti pada Gambar 4.2. Serbuk yang telah direaksikan kemudian dicuci dengan aquades sampai pH menjadi 7. Penetralan perlu dilakukan supaya NaOH berlebih yang tersisa tidak mengganggu kerja sampel dan mempengaruhi adsorbat karena mempengaruhi pH saat pengontakan. Sampel yang telah netral selanjutnya disaring dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 3 jam. Serbuk lerak yang telah berhasil terdelignifikasi ditandai dengan terjadinya penurunan massa dan warna serbuk yang semakin pucat seperti pada Gambar 4.2. Hal ini disebabkan karena lignin dalam serbuk lerak telah terputus dari struktur selulosa dalam lerak sebagaimana mekanisme pada Gambar 4.3. Berat sampel menyusut sebanyak 87,03% setelah penetralan dengan berat awal sampel sebesar 25 gram menjadi 3,24 gram. Penyusutan massa sampel terjadi akibat penetralan yang membutuhkan waktu cukup lama yaitu 2 minggu sehingga banyak sampel yang terbawa aquades karena sifat asli selulosa dalam lerak yang higroskopis (Nisa & Putri, 2014).

Selulosa di alam bebas banyak berikatan dengan lignin, aktivasi menggunakan NaOH mampu menyebabkan luas permukaan selulosa meningkat sehingga lebih mudah dalam mengikat adsorbat yaitu logam timbal (Pb) dengan terputusnya lignin. Mekanisme yang terjadi sebagaimana Gambar 4.3 adalah dimulai PEB (Pasangan Elektron bebas) O milik NaOH yang telah mengion menjadi Na^+ dan OH^- menghidrolisis ikatan ester C karbonil milik lignoselulosa karena bermuatan parsial positif, kemudian keadaannya menjadi intermediet tidak stabil dengan melepas satu ikatan dari rangkap $\text{C}=\text{O}$ menjadi $\text{C}-\text{O}$, selanjutnya intermediet tetrahedral dengan cepat berubah karena O^- menyumbangkan PEB

untuk membentuk karboksilat dan memutuskan alkoksi (-OR). Dengan reaksi yang sangat cepat alkoksi yang bertindak sebagai basa mendeponasi asam karboksilat menghasilkan lignoselulosa yang terpisah menjadi lignin dan selulosa (Modenbach & Nokes, 2014).



Gambar 4.3 Mekanisme pelepasan lignin dari selulosa oleh NaOH

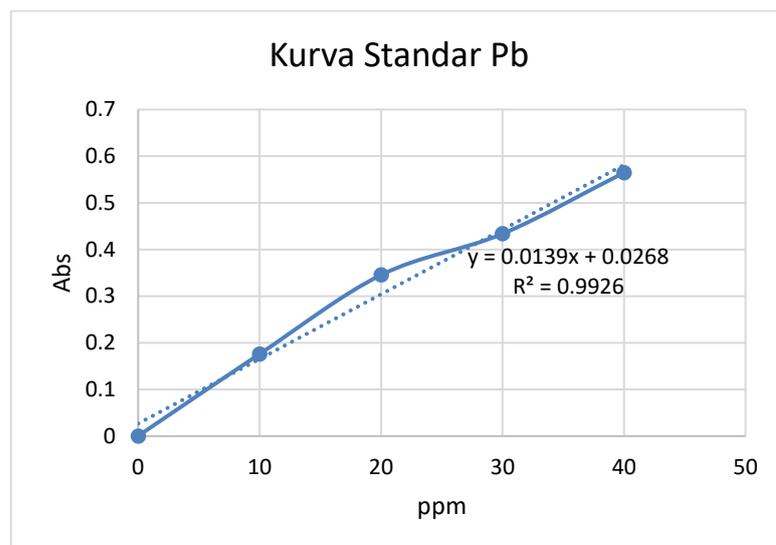
Biosoreben yang diperoleh, selanjutnya perlu dilakukan pengecekan pH lanjutan untuk memastikan adsorben benar netral dan tidak mengubah larutan adsorbat saat dikontakkan. Hal ini karena perubahan pH adsorbat mampu

menghambat proses adsorpsi ataupun mengendapkan adsorbat. Pengecekan dilakukan dengan cara sejumlah kecil sampel biosorben teraktivasi direndam kembali dengan aquades selama 24 jam dan dicek pH untuk memastikan serbuk biosorben telah benar netral dan tidak merubah pH larutan saat pengontakan, diperoleh pH kontrol akhir sebesar 7,1 yang berarti serbuk biosorben telah benar netral.

4.3 Kurva Standar Timbal (Pb)

Kurva standar digunakan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dari sampel dengan nilai absorbansinya. Dari kurva standar tersebut dapat diketahui konsentrasi logam yang kita analisis dari nilai absorbansinya. Pada pembuatan kurva standar sendiri didasarkan pada hukum Lambert-Beer, dimana rumusnya adalah $A = a \cdot b \cdot c$ dimana (A) merupakan nilai absorbansi, kemudian a adalah nilai Absorptivitas, lalu b adalah nilai tebal nyala, dan c adalah nilai konsentrasi dari sampel.

Kurva standar dalam penelitian ini didapatkan dengan cara membuat larutan timbal dengan konsentrasi 10, 20, 30, dan 40 ppm dalam volume 10 mL yang kemudian dibaca pada instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) pada panjang gelombang 283,3 nm.



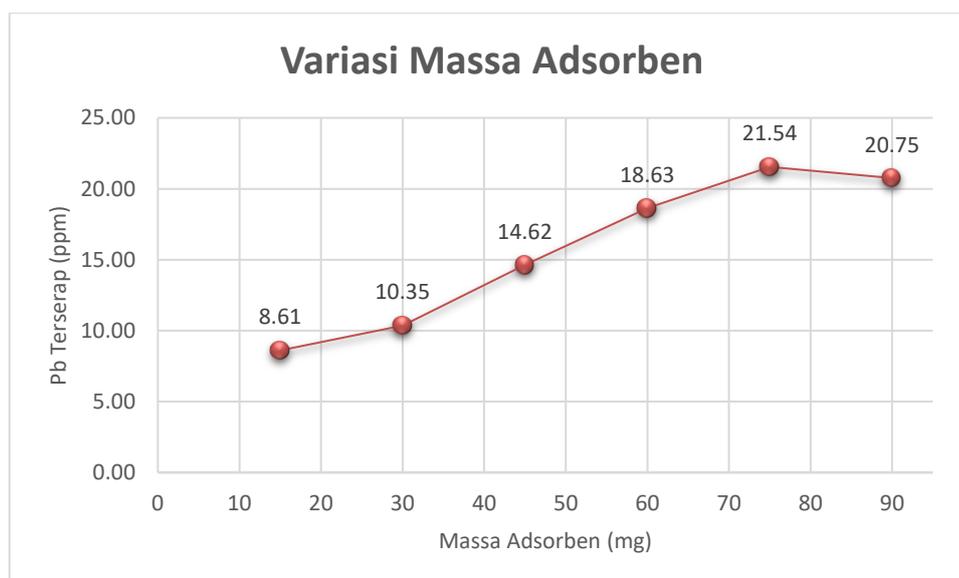
Gambar 4.4 Kurva Standar Timbal (Pb)

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai konsentrasi logam Pb yang dianalisis maka didapatkan nilai absorbansinya akan semakin tinggi juga, hal tersebut didasarkan pada garis lurus yang didapatkan dari perbandingan antara sumbu x dan sumbu y. Persamaan regresi linier yang didapatkan yakni $y=ax+b$ dengan $Y = 0,01390x + 0,0268$ dengan nilai R^2 (Koefisien korelasi) sebesar 0,9926, hal tersebut menunjukkan bahwasanya persamaan yang didapatkan cukup baik karena mendekati nilai 1. Kurva standar disini dapat digunakan untuk pembacaan kembali konsentrasi Pb sebagai adsorbat setelah proses adsorpsi oleh adsorben lerak.

4.4 Uji Adsorben dengan Variasi Massa

Pengujian adsorben dilakukan dengan variasi massa adsorben untuk mengetahui pengaruh perbedaan massa terhadap kemampuan adsorpsi biosorben lerak dan juga untuk mengetahui massa optimum adsorpsi. Penentuan massa optimum adsorben dilakukan dengan kondisi larutan Pb sebanyak 20 ml dengan

konsentrasi 20 ppm dimasukkan kedalam erlenmeyer berukuran 100 ml. Adsorben kemudian dimasukkan dengan variasi massa yaitu 15; 30; 45; 60; 75; 90 mg. Larutan dishaker dengan kecepatan 150 rpm menggunakan shaker selama 60 menit yang bertujuan supaya proses adsorpsi lebih maksimal dan merata karena shaker memperbesar kemungkinan terjadinya tumbukan. Larutan selanjutnya disaring dengan corong gelas dan kertas saring untuk memisahkan antara larutan timbal yang telah teradsorb dengan residu adsorben yang telah dikontakkan, filtrat yang telah terpisah dianalisis dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) untuk mengetahui banyaknya timbal yang masih tersisa dalam air.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara perubahan massa adsorben dengan jumlah Pb terserap

Hasil uji kemampuan adsorpsi dengan variasi massa didapatkan hasil sebagaimana Gambar 4.5 pada rentang penambahan massa adsorben 15 g sampai 75 g jumlah timbal yang terserap terus meningkat berbanding lurus seiring dengan kenaikan massa adsorben yang ditambahkan ditandai dengan grafik yang terus naik, dengan penyerapan tertinggi sebanyak 21,54 ppm atau 93,95% logam timbal

terserap oleh biosorben lerak. Akan tetapi, pada saat massa adsorben ditambahkan sebanyak 90 g jumlah logam timbal yang terserap turun kembali sebagaimana pada grafik yang turun setelah mencapai puncak pada 75 g menjadi 20,75 ppm.

Tabel 4.1 Hasil uji adsorpsi variasi massa

Massa Adsorben (mg)	Konsentrasi mula-mula (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	% Teradsorpsi
15	22,93	14,32	37,53% ^a
30	22,93	12,58	45,14% ^b
45	22,93	8,31	63,77% ^c
60	22,93	4,58	81,25% ^d
75	22,93	1,39	93,95%^e
90	22,93	2,18	90,51% ^e

Keterangan: a,b,c,d,e = notasi hasil uji BNT

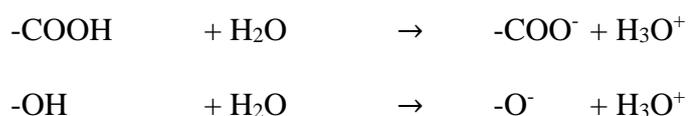
Hasil penelitian ini sesuai dengan Pandia dan Sitorus (2016) yang mana jumlah adsorbat yang terserap akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya massa adsorben yang dikontakkan, hal ini terjadi karena dengan semakin banyak massa adsorben yang dikontakkan menyebabkan situs aktif tempat menempelnya adsorbat yakni Pb^{2+} juga akan bertambah banyak, sehingga memberikan luas permukaan yang lebih besar untuk penyerapan logam timbal. Akan tetapi, pada kondisi massa adsorben ditingkatkan lagi menjadi 90 g terjadi penurunan penyerapan adsorbat akibat massa adsorben yang berlebih dibanding dengan volume adsorbat yang hanya ditambahkan 20 mL sehingga komposisi antara adsorben dan adsorbat yang ditambahkan tidak seimbang. Hal ini diduga mengakibatkan adsorben bisa saling memblokade antar situs aktif dan berebut ion adsorbat Pb^{2+} sehingga luas permukaan penyerapan menjadi menurun (Nadeem *et*

al., 2009). Sehingga didapatkan massa adsorben optimum sebesar 75 mg dengan penyerapan tertinggi sebesar 93,95% seperti pada Gambar 4.5.

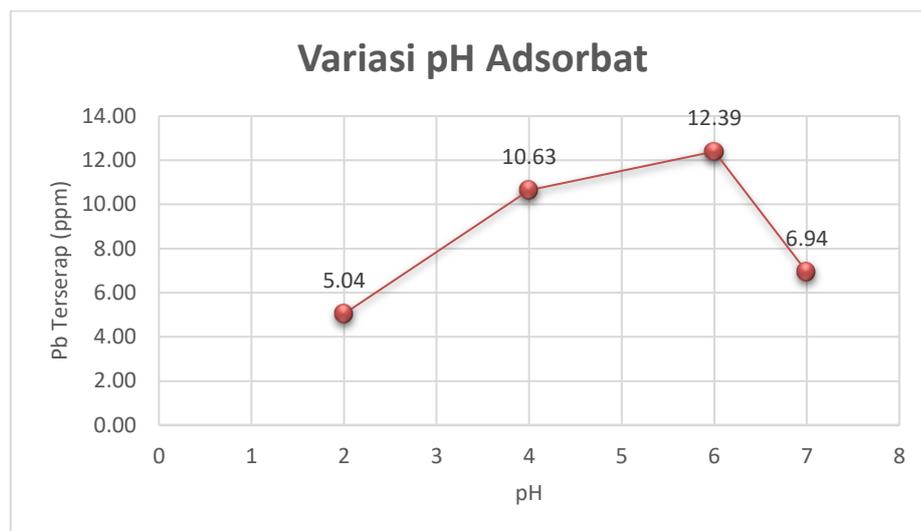
Uji statistika *One-way* ANOVA dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata populasi dari beberapa kelompok. Data yang akan diujikan *One-way* ANOVA memiliki syarat harus terdistribusi normal dan homogen. Hasil uji adsorpsi variasi massa adsorbat didapatkan data uji normalitas (Lampiran L.3.6) dengan sig. (0,200) > 0,05 sehingga H₀ diterima dan data variasi massa terdistribusi secara normal. Uji homogenitas diperoleh nilai sig (0,202) > 0,05 sehingga H₀ diterima dan data terdistribusi secara homogen, yang artinya selisih pada tiap pengulangan tidak menghasilkan perbedaan yang besar, dan data lebih akurat. Selanjutnya uji anova didapatkan sig (0,000) < 0,05 sehingga H₀ ditolak dan H₁ diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan dua atau lebih massa adsorben yang ditambahkan memberikan perbedaan yang signifikan terhadap konsentrasi Pb yang terserap. Untuk mengetahui signifikansi perbedaan yang diakibatkan oleh tiap variasi massa, dilakukan uji *post-hoc Tukey* dan *Duncan* dan diperoleh sebagaimana Tabel 4.1 bahwa semua kelompok variasi massa memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap konsentrasi Pb yang diadsorb dinyatakan dengan masing-masing notasi yang berbeda, kecuali pada kelompok massa 75 mg dan 90 mg memunculkan notasi sama yang berarti tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap jumlah Pb yang diserap. Sehingga diperoleh bahwa massa adsorben optimum sebesar 75 mg dimana mampu menyerap hingga 93,95% logam timbal yang dikontakkan.

4.5 Uji Adsorben dengan Variasi pH

Penentuan pH optimum dalam proses adsorpsi merupakan hal yang penting, karena pH merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi proses adsorpsi ion logam dalam larutan karena selulosa yang memiliki gugus -COOH dan -OH akan terhidrolisis sehingga memiliki muatan negatif yang nantinya sangat reaktif untuk mengikat kation logam sebagaimana persamaan di bawah ini:



Analisis pengaruh variasi pH dilakukan dengan pengkondisian serbuk lerak diambil dan ditimbang sesuai dengan hasil massa optimum yakni 75 g. Kemudian ditambahkan 20 mL larutan Pb 20 ppm yang sebelumnya telah disesuaikan dengan penambahan larutan buffer asam dan basa untuk dikondisikan pH pada 2; 4; 6; 7. Larutan yang telah ditambahkan dengan biosorben lerak selanjutnya *dishaker* selama 60 menit yang bertujuan supaya proses adsorpsi lebih maksimal dan merata karena shaker memperbesar kemungkinan terjadinya tumbukan antara gugus fungsi dan juga ion Pb²⁺. Setelah pengontakan, larutan disaring dengan kertas saring dan diambil filtratnya. Filtrat yang telah terpisah dengan biosorben lerak kemudian dimasukkan dalam beaker gelas, untuk dianalisis dengan AAS pada panjang gelombang 283,3 nm. (Fajriah, 2018).



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara perubahan pH dengan jumlah Pb terserap

Sebagaimana hasil uji adsorben dengan variasi pH pada Gambar 4.6 didapatkan bahwa penyerapan logam Pb akan meningkat sampai mencapai pH optimum yang pada penelitian ini terjadi pada pH 6, sehingga dari pH 2 sampai 6 terjadi kenaikan penyerapan logam timbal, dan turun kembali setelah melewati pH optimum yakni pada pH 7.

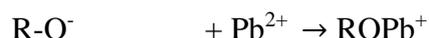
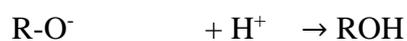
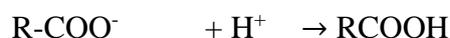
Tabel 4.2 Hasil uji adsorbsi variasi pH

pH	Konsentrasi mula-mula (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	% Teradsorbsi
2	22,93	17,89	21,99 ^a
4	22,93	12,30	46,37 ^b
6	22,93	10,54	54,05^c
7	22,93	15,99	30,27 ^d

Keterangan: a,b,c,d,e = notasi hasil uji BNT

Hasil penelitian ini sesuai dengan Mukhtar *et al.* (2017) bahwa pada pH rendah adsorbsi yang terjadi juga rendah karena suasana asam menyebabkan tingginya konsentrasi H^+ yang bersaing dengan Pb^{2+} untuk berikatan dengan gugus-

gugus -OH dan -COOH yang cenderung terprotonasi, sebagaimana persamaan di bawah ini:



Kondisi adsorpsi terprotonasi pada pH rendah mengakibatkan hanya sedikit Pb^{2+} yang terserap akibat adanya gaya tolak menolak secara elektrostatik antara Pb^{2+} yang bermuatan positif dengan konsentrasi H^+ tinggi (Wulandari *et al.*, 2014). Seiring dengan pH yang dinaikkan menjadi pH 4 dan pH 6, konsentrasi H^+ dalam larutan menurun dan berpengaruh terhadap meningkatnya jumlah Pb^{2+} yang terserap, karena kecenderungan gugus fungsi untuk terprotonasi menjadi rendah lalu kompetisi Pb^{2+} dan H^+ berkurang sehingga Pb^{2+} semakin mudah terikat pada gugus fungsi terdeprotonasi yang meningkat.

Pada pH 7 terjadi penurunan kemampuan penyerapan karena diprediksikan pada pH 7 konsentrasi OH^- dan H^+ dalam larutan cenderung netral, gugus fungsi stabil tidak terprotonasi maupun terdeprotonasi, sehingga gugus Pb^{2+} yang berupa kation tidak tertarik kuat pada situs aktif. Hasil perlakuan variasi pH diperoleh kondisi optimum tercapai pada pH 6 dengan 12,39 ppm logam timbal terserap atau sebesar 54% dari jumlah konsentrasi awal timbal yang ditambahkan.

Uji statistika *One-way* ANOVA dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata populasi dari beberapa kelompok. Data yang akan diujikan *One-way* ANOVA memiliki syarat harus terdistribusi normal dan homogen. Hasil uji adsorpsi variasi massa adsorbat didapatkan data uji

normalitas (Lampiran L.3.6) dengan sig. (0,051) > 0,050 sehingga H_0 diterima dan data variasi massa terdistribusi secara normal. Uji homogenitas diperoleh nilai sig (0,216) > 0,05 sehingga H_0 diterima dan data terdistribusi secara homogen, yang artinya selisih pada tiap pengulangan tidak menghasilkan perbedaan yang besar, dan data lebih akurat. Selanjutnya uji anova didapatkan sig (0,000) < 0,05 sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan dua atau lebih kelompok pH adsorben yang dikondisikan memberikan perbedaan yang signifikan terhadap konsentrasi Pb yang terserap. Untuk mengetahui signifikansi perbedaan yang diakibatkan oleh tiap variasi massa, dilakukan uji *post-hoc Tukey* dan Duncan dan diperoleh sebagaimana Tabel 4.2 yang menunjukkan notasi berbeda pada tiap kelompok perlakuan. Sehingga disimpulkan bahwa semua kelompok pH memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap konsentrasi Pb yang diadsorb dan diperoleh pH 6 merupakan pH optimum pengontakan.

4.6 Uji Adsorben dengan Variasi Waktu

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kontak terhadap kemampuan adsorpsi biosorben lerak serta untuk mengetahui waktu kontak optimum biosorben lerak teraktivasi NaOH. Parameter uji adsorben dikondisikan larutan logam timbal diambil sebanyak 20 mL lalu dimasukkan kedalam gelas beaker. Selanjutnya ditambahkan serbuk adsorben 75 mg sesuai dengan massa adsorben optimum yang telah diperoleh. pH pengontakan dikondisikan pada pH 6 juga sesuai dengan pH optimum yang telah didapat pada perlakuan sebelumnya. Larutan setelah itu dishaker selama 10; 20; 30; 40; 60; 90; dan 120 menit dengan kecepatan 150 rpm untuk memaksimalkan pengontakan

karena dengan gerakan shaker bisa meningkatkan kemungkinan tumbukan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Larutan kemudian disaring dengan kertas saring untuk memisahkan larutan filtrat dan biosorben. Sampel yang telah terpisah kemudian dimasukkan dalam beaker gelas dan dianalisis dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) pada panjang gelombang 283,3 nm (Fajriah, 2018).

Adapun hasil uji adsorben dengan variasi waktu didapatkan seperti pada Gambar 4.7 bahwa semakin lama waktu pengontakan maka akan semakin banyak logam timbal yang terserap, sampai biosorben mencapai titik kesetimbangan dimana tidak lagi mampu menyerap ion logam timbal dalam larutan. Sebagaimana grafik yang polanya terus naik seiring lamanya waktu pengontakan dari 10 menit sampai 120 menit dan mencapai penyerapan tertinggi pada 120 menit sebanyak 24,92 ppm Pb terserap, atau 99,72% dari jumlah Pb awal yang ditambahkan.



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara waktu pengontakan dengan jumlah Pb terserap

Hasil penelitian ini sesuai dengan Solika *et al.* (2018) dimana pada rentang pengontakan selama 10 sampai 120 menit terus terjadi kenaikan penyerapan Pb karena sisi aktif adsorben atau gugus-gugus fungsi dalam biosorben masih tersedia kosong dan melimpah belum mengikat logam Pb, sehingga semakin lama waktu pengontakan, tumbukan yang terjadi antara gugus aktif dan kation Pb terjadi secara efektif dan cepat, sehingga kation Pb^{2+} semakin banyak yang terikat pada gugus-gugus fungsi biosorben. Namun pada rentang 90 menit sampai 120 menit kenaikan yang terjadi tidak terlalu signifikan, hal ini terjadi karena gugus-gugus fungsi biosorben sudah dalam keadaan jenuh karena sepenuhnya sudah terikat dengan ion Pb^{2+} , dan biosorben sudah dalam keadaan setimbang. Hasil penelitian ini juga mendapatkan bahwa biosorben lerak teraktivasi NaOH mampu menyerap seluruh logam yang ditambahkan pada menit ke-150 dengan persentase penyerapan 100%.

Tabel 4.3 Hasil uji adsorbsi dengan variasi waktu pengontakan

Waktu Pengontakan	Konsentrasi mula-mula (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	% Teradsorbsi
10	24,99	10,46	58,14 ^a
20	24,99	9,03	63,88 ^b
30	24,99	6,57	73,71 ^c
40	24,99	5,12	78,85 ^d
60	24,99	4,21	82,05 ^e
90	24,99	1,55	93,78^f
120	24,99	0,07	99,72 ^f
150	24,99	0,00	100,0 ^f

Keterangan: a,b,c,d,e,f,g = notasi hasil uji BNT

Uji statistika *One-way* ANOVA dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata populasi dari beberapa kelompok. Data yang akan diujikan *One-way* ANOVA memiliki syarat harus terdistribusi normal dan homogen. Hasil uji adsorpsi variasi massa adsorbat didapatkan data uji normalitas (Lampiran L.3.6) dengan $\text{sig. (0.200)} > 0,050$ sehingga H_0 diterima dan data variasi massa terdistribusi secara normal. Uji homogenitas diperoleh nilai $\text{sig (0,255)} > 0,05$ sehingga H_0 diterima dan data terdistribusi secara homogen, yang artinya selisih pada tiap pengulangan tidak menghasilkan perbedaan yang besar, dan data lebih akurat. Selanjutnya uji anova didapatkan $\text{sig (0,000)} < 0,05$ sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa perubahan dua atau lebih kelompok waktu pengontakan memberikan perbedaan yang signifikan terhadap konsentrasi Pb yang terserap. Untuk mengetahui signifikansi perbedaan yang diakibatkan oleh tiap variasi massa, dilakukan uji *post-hoc Tukey* dan Duncan dan diperoleh sebagaimana Tabel 4.3 yang menunjukkan notasi berbeda pada tiap kelompok perlakuan, kecuali pada waktu 90 dan 120 menit yang menunjukkan notasi yang sama, Sehingga disimpulkan bahwa semua kelompok waktu pengontakan memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap konsentrasi Pb yang diadsorb, kecuali 90 dan 120 menit yang tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap konsentrasi Pb yang diadsorb dan diperoleh 90 menit merupakan waktu pengontakan optimum.

Pengujian adsorpsi dengan variasi waktu juga digunakan dengan tujuan untuk mengetahui kinetika adsorpsi, yaitu proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam satuan waktu. Hasil pengukuran dianalisis dengan menggunakan

persamaan *Lagergren pseudo first order* dan *second order kinetic model* dengan variasi waktu kemudian dimasukkan kedalam persamaan berikut ini:

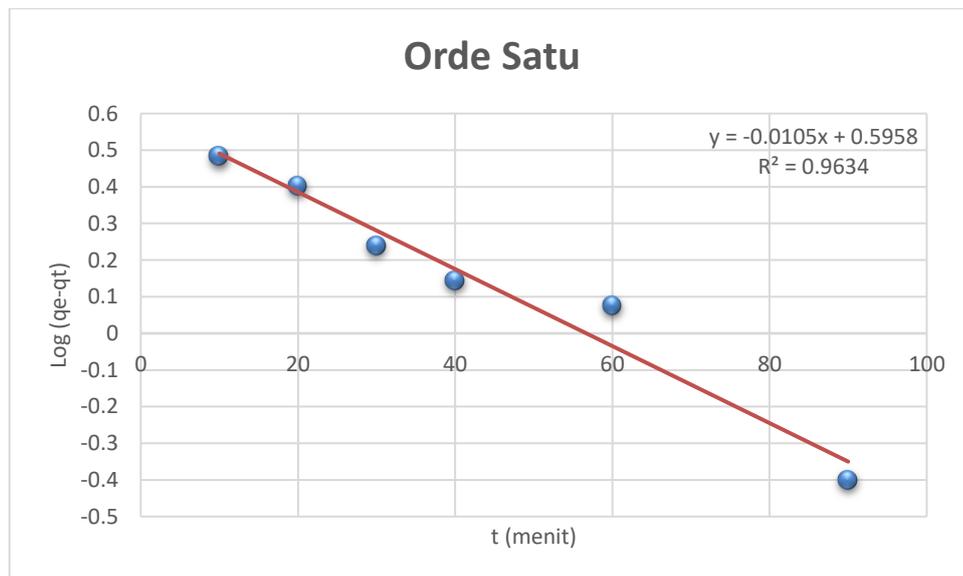
Orde 1:

$$\log(q_e/(q_e - q_t)) = \frac{-k_1 \times t}{2,303}$$

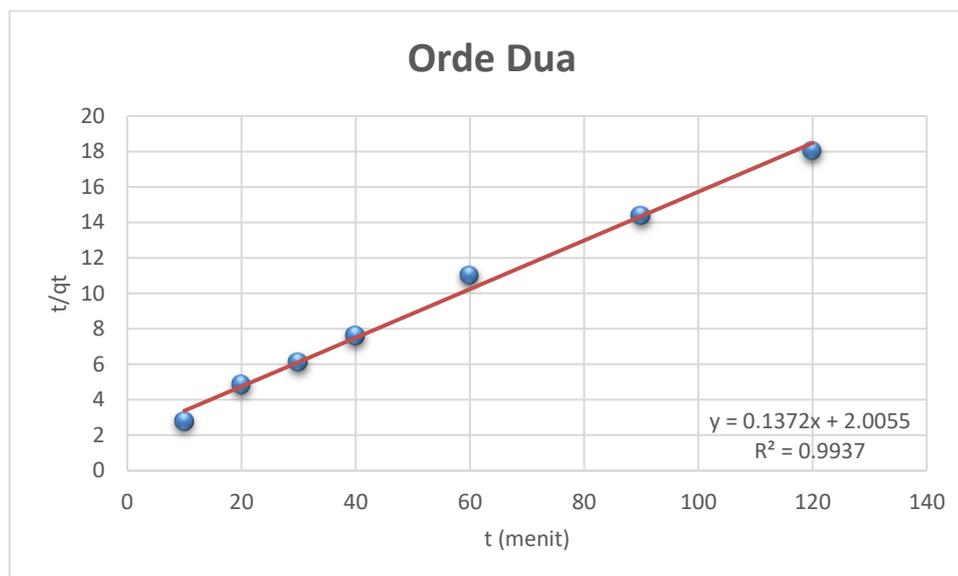
Orde 2:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

Perubahan konsentrasi adsorbat sebagai fungsi waktu mendapatkan data q_t yang selanjutnya dimasukkan dalam persamaan untuk mengetahui q_e . Kemudian diplotkan dalam grafik untuk mendapatkan regresi linear $y = ax + b$ dan mendapatkan nilai K serta R^2 untuk menentukan klasifikasi orde yang diikuti sebagaimana Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Kinetika adsorpsi orde 1



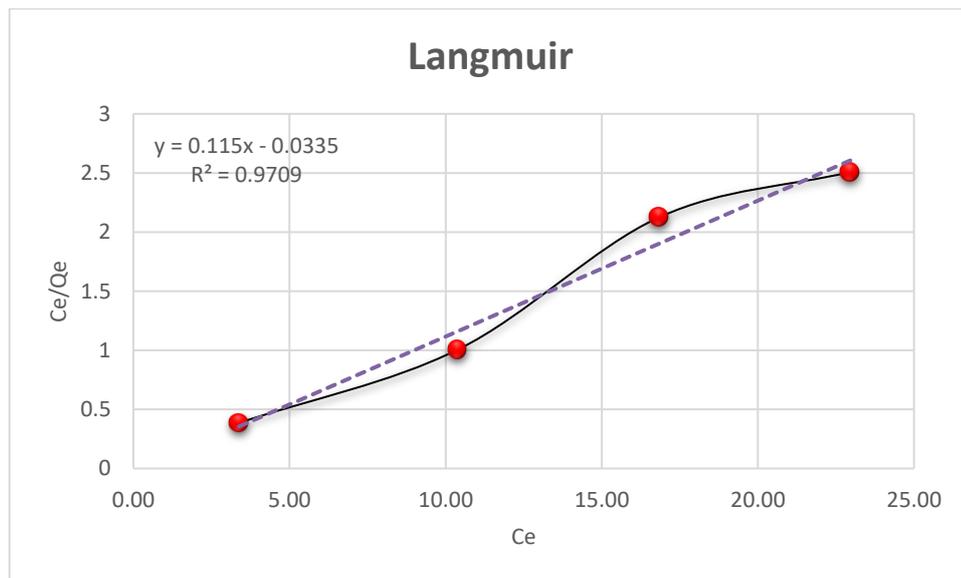
Gambar 4.9 Kinetika adsorpsi orde 2

Berdasarkan Gambar 4.8 dan 4.9 dapat diketahui bahwa adsorpsi logam timbal (Pb) dengan biosorben lerak teraktivasi NaOH menggunakan kinetika adsorpsi orde 2 ditinjau dari R^2 orde dua 0,9937 lebih mendekati 1 dari pada R^2 orde satu yang hanya 0,9634. Hasil perhitungan kinetika adsorpsi dapat mengasumsikan bahwa penyerapan logam Pb oleh biosorben lerak dipengaruhi oleh konsentrasi adsorben yang menentukan banyaknya sisi aktif dan konsentrasi adsorbat yang dikontakkan. Hal ini sesuai dengan persamaan dasar orde dua dimana kinetika dipengaruhi oleh konsentrasi kedua reaktan yang terlibat (Anugrahwati *et al.*, 2021).

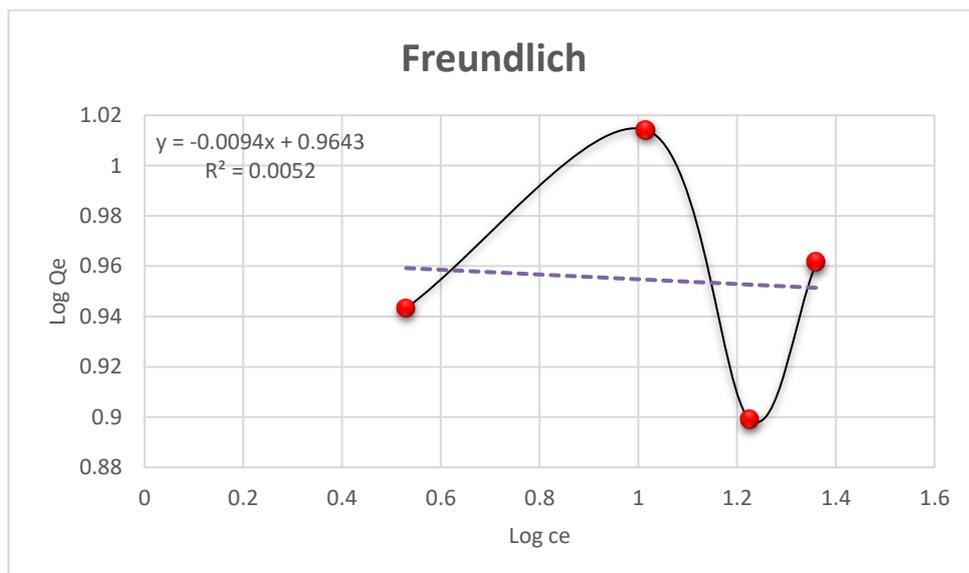
4.7 Penentuan Isoterm Adsorpsi

Isoterm dalam proses adsorpsi perlu ditentukan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi yang terjadi antara biosorben lerak dan adsorbat logam Pb serta mengetahui banyaknya logam Pb yang diserap adsorben. Kondisi permukaan adsorben dan tipe adsorpsi juga bisa diketahui melalui penentuan isotherm adsorpsi.

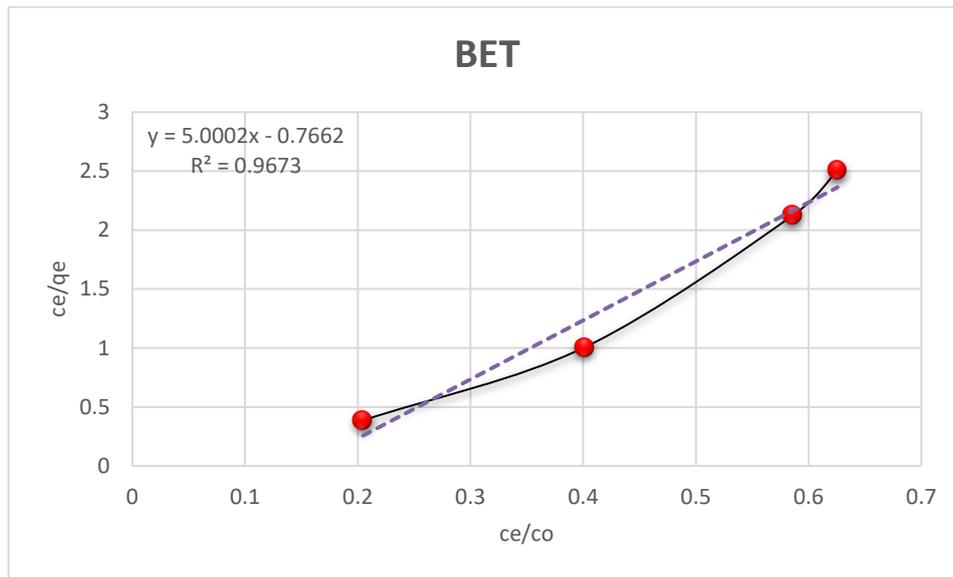
Metode isotherm yang digunakan dalam penelitian ini adalah isotherm Langmuir, Freundlich, Brunauer-Emmett-Teller (BET), dan Temkin dengan cara memplotkan pada kurva kesetimbangan garis lurus dan kemudian menentukan regresi linear. Adapun isotherm dengan R^2 paling mendekati 1 diasumsikan sebagai sistem isotherm yang terjadi pada proses adsorpsi dalam penelitian.



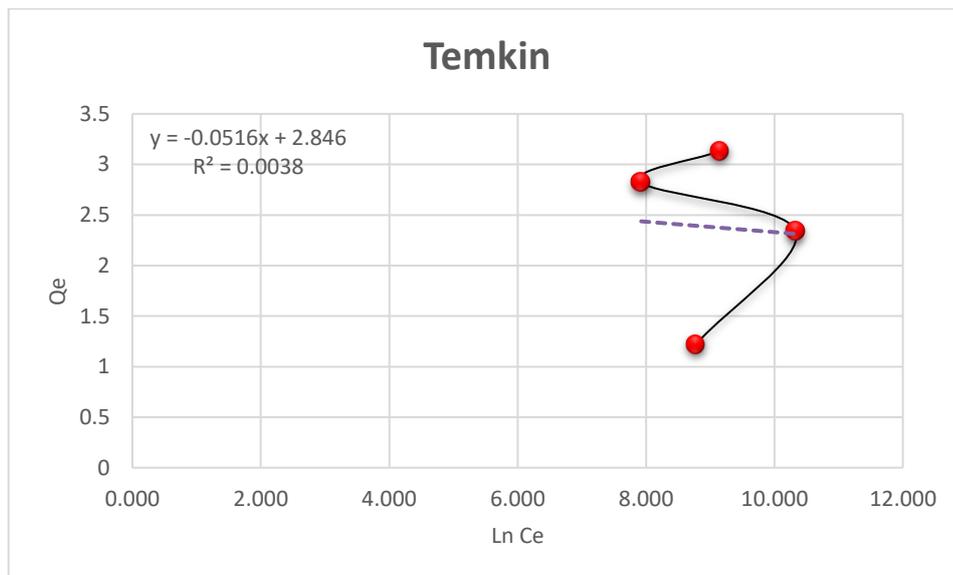
Gambar 4.10 Grafik persamaan isotherm Langmuir



Gambar 4.11 Grafik persamaan isotherm Freundlich



Gambar 4.12 Grafik persamaan isoterm BET



Gambar 4.13 Grafik persamaan isoterm Temkin

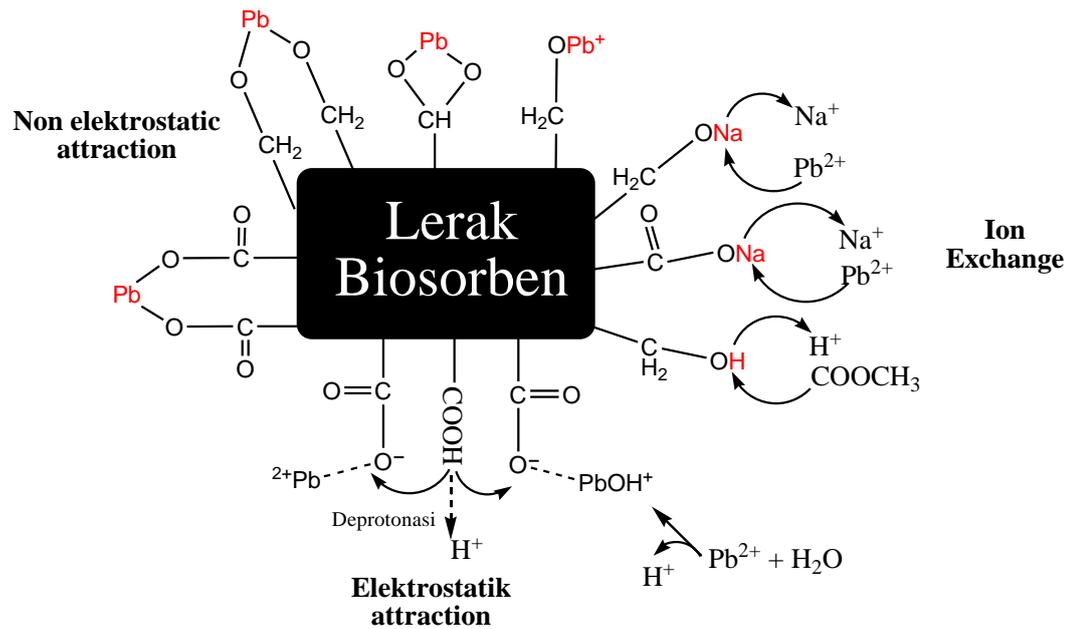
Gambar 4.10 menunjukkan plot isoterm Langmuir yang mengasumsikan bahwa adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan setiap molekul adsorben hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat (*monolayer*). Data penelitian didapatkan hasil isotermis langmuir dengan $y = 0,115x - 0,0335$ Dengan

$R^2 = 0,9709$. Isotermis freundlich ditunjukkan pada Gambar 4.11 yang mengasumsikan permukaan adsorben yang heterogen untuk adsorpsi fisika yaitu membentuk lapisan multilayer. Penelitian ini mendapatkan hasil plotting isoterm Freundlich dengan $R^2 = 0,0052$ dengan persamaan regresi $y = -0,0094x + 0,9643$. Gambar 4.12 memplotkan isotherm BET yang digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik dan distribusi ukuran pori. Persamaan BET mendekati asumsi pada model persamaan Langmuir, namun proses adsorpsi tidak hanya terjadi secara *monolayer* tapi juga multilayer, molekul yang terserap tidak berpindah ke permukaan, untuk memulai pada lapisan yang lain, lapisan sebelumnya tidak harus penuh. Adsorpsi pada lapisan pertama terjadi dengan energi dari persamaan adsorpsi sesuai dengan isoterm Langmuir, sedangkan pada lapisan berikutnya pada melalui kondensasi (Shafirinia *et al.*, 2019). Data penelitian ini didapatkan hasil plotting isotherm BET menghasilkan $R^2 = 0,9673$ dengan persamaan $y = 5,0002x - 0,7662$. Gambar 4.13 menunjukkan plotting dengan metode isoterm Temkin yang dapat menjelaskan proses adsorpsi pada media yang tidak homogen, mekanisme proses adsorpsi yang terjadi adalah secara kimia. Model ini mengasumsikan bahwa panas adsorpsi (fungsi suhu) dari semua molekul di lapisan akan menurun secara linier dengan meningkatnya interaksi adsorben-adsorbat karena tolakan adsorbat-adsorbat dan adsorpsi adsorbat terdistribusi secara seragam di antara lapisan.

Berdasarkan data pemodelan beberapa metode isoterm yang telah dilakukan, didapatkan pada penelitian ini adsorpsi logam Pb oleh biosorben lerak terjadi melalui isotherm Langmuir yang mendapatkan R^2 paling mendekati 1 yaitu 0,9709. Sehingga diasumsikan bahwa mekanisme kemisorpsi terjadi secara dominan dalam penelitian ini melibatkan interaksi antara sisi aktif adsorben pada

gugus-gugus fungsi dengan adsorbat berupa kation Pb^{2+} , Asumsi ini juga didukung dengan data orde reaksi 2 yang dianut dalam sistem adsorpsi ini, dimana berarti proses adsorpsi bergantung pada adsorbat dan adsorben. Adapun beberapa dugaan mekanisme terikatnya Pb^{2+} pada biosorben secara kimia sebagaimana Gambar 4.14.

Pengikatan Pb^{2+} pada Gambar 4.14 diasumsikan melalui beberapa kemungkinan yakni pertukaran ion, interaksi elektrostatis, dan interaksi non elektrostatis atau kompleksasi antara gugus fungsi biosorben lerak dengan Pb^{2+} (Wang *et al.*, 2022). Mekanisme interaksi elektrostatis terjadi akibat gugus karboksilat ($-COOH$) dan hidroksil ($-OH$) yang terdeprotonasi sehingga bermuatan negatif dan menjadi sangat reaktif untuk berikatan dengan Pb^{2+} yang bermuatan positif. Interaksi elektrosatis terjadi karena adanya muatan negatif pada gugus fungsi adsorben yang saling tarik menarik terhadap Pb^{2+} yang bermuatan positif. Mekanisme pertukaran ion terjadi karena adanya ion Na^+ yang melekat pada sisi aktif biosorben akibat aktivasi yang telah dilakukan dengan $NaOH$. Proses pertukaran ion Pb^{2+} terlarut bermuatan positif menggantikan ion yang terikat pada gugus karboksilat ($-COONa$) maupun hidroksil ($-ONa$), kemudian Na^+ akan dilepaskan ke dalam larutan. Kemungkinan lain interaksi Pb^{2+} dan biosorben adalah melalui kompleksasi ion logam Pb^{2+} yang memiliki orbital d kosong yang akan ditempati oleh elektron bebas dari atom oksigen pada gugus $-OH$ maupun $-COOH$ yang berperan sebagai ligan dengan menyumbangkan sepasang elektron bebas pada ion Pb^{2+} membentuk ikatan kovalen koordinasi.



Gambar 4.14 Kemungkinan mekanisme adsorpsi Pb^{2+} oleh biosorben lerak (Tran & Chao, 2018)

4.8 Perbandingan Adsorpsi Logam Pb dengan Biosorben Lerak Teraktivasi dan Tanpa Aktivasi

Perbandingan adsorpsi logam dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak perbedaan kemampuan penyerapan adsorbat yang dihasilkan dari proses adsorpsi, dan untuk mengetahui kemampuan daya adsorpsi biosorben tanpa dilakukan aktivasi dan modifikasi apapun atau disebut sebagai biosorben murni.

Tabel 4.4 Hasil uji perbandingan antara lerak murni dan teraktivasi

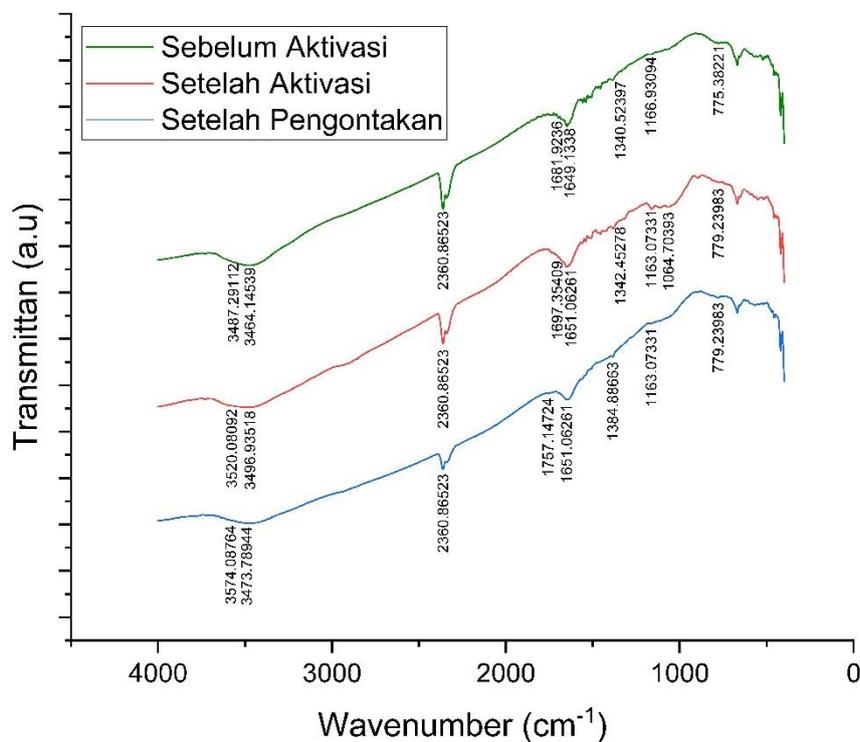
Jenis Biosorben	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	% Adsorpsi
Murni	24,99	13,95	44,17%
Teraktivasi NaOH	24,99	1,53	93,87%

Hasil uji perbandingan yang dilakukan menunjukkan selisih cukup besar antara hasil uji adsorpsi biosorben murni yang hanya mampu menyerap 44,17% dan

biosorben teraktivasi NaOH mampu menyerap hingga 93,87% . Hal ini terjadi karena pada biosorben murni masih terdapat lignin yang menghalangi terserapnya timbal dan juga masih banyaknya pengotor pada biosorben, sedangkan pada biosorben teraktivasi NaOH, lignin sudah hilang dan mengakibatkan selulosa lebih terbuka sehingga penyerapan bisa terjadi lebih maksimal.

4.9 Karakterisasi dengan Spektrofotometer FTIR

Karakterisasi adsorben dengan FTIR perlu dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam biosorben. Spektrum FTIR memberikan data gugus fungsi pada biosorben lerak secara kualitatif berdasarkan karakteristik energi yang diserap dalam gugus tertentu.



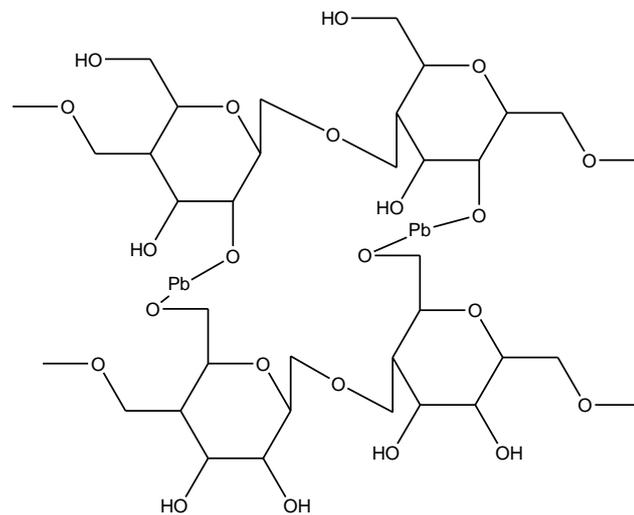
Gambar 4.15 Spektra IR karakterisasi biosorben sebelum aktivasi, setelah aktivasi, dan setelah pengontakan dengan timbal

Tabel 4.5 Bilangan gelombang puncak yang muncul dalam FTIR

zNo	Murni (cm⁻¹)	Delignifikasi (cm⁻¹)	Terkontak (cm⁻¹)	Gugus Fungsi
1.	3487	3520	3574	-OH <i>stretching</i>
2.	3464	3496	3473	-NH <i>stretching</i>
3.	2360	2360	2360	O-C-O Sp
4.	1681	1697	-	N-H <i>bending</i>
5.	1649	1651	1651	C=O <i>stretching</i>
6.	1340	1342	1384	C-N <i>stretching</i>
7.	1166	1163	1163	C-OH sekunder
8.	-	1064	-	C-OH primer
9.	775	779	779	C-H <i>bending</i> <i>rocking</i>

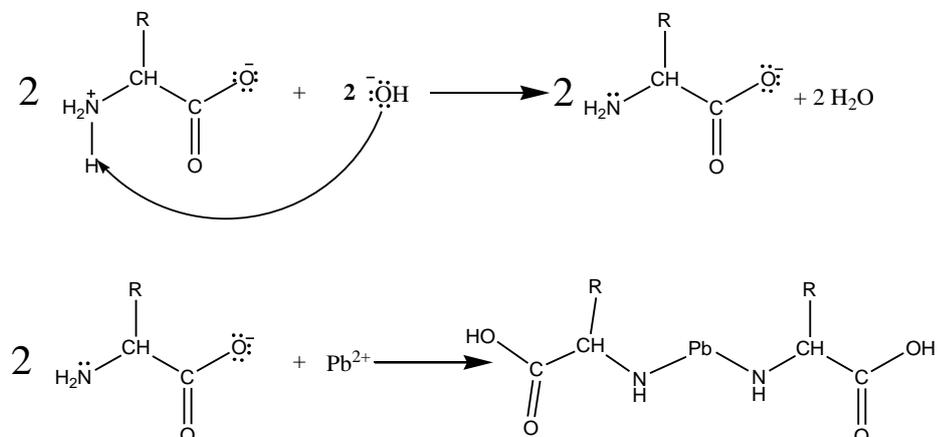
Hasil karakterisasi FTIR antara biosorben murni, teraktivasi, dan terkontak Pb²⁺ didapatkan perubahan berupa pergeseran bilangan gelombang dan perubahan %transmitan (Lampiran L.3.6) pada spektra. Pergeseran bilangan gelombang ini diperkirakan terjadi karena adanya perubahan energi ikatan dan pola ikatan pada gugus fungsi (Schiewer & Balaria, 2009). Spektrum -OH muncul pada daerah 3487 cm⁻¹ pada biosorben murni, dan bergeser ke kiri setelah delignifikasi pada 3520 cm⁻¹ karena dengan hilangnya lignin struktur biosorben lebih terbuka mengakibatkan meningkatnya energi vibrasi karena menurunnya keruahan struktur, kemudian gugus -OH bergeser ke kiri lagi pada 3574 cm⁻¹ setelah dikontakkan dengan logam Pb²⁺ akibat gugus -OH kemungkinan telah mengikat Pb²⁺ yang bisa berikatan hidrogen dan membentuk kompleks. Puncak pada 778 cm⁻¹ dan 776 menunjukkan *bending rocking* C-H. Adanya selulosa juga terdeteksi dengan adanya puncak C-OH *stretching* pada bilangan gelombang 1166 cm⁻¹ 1163 cm⁻¹ pada biosorben murni, teraktivasi, dan setelah pengontakan yang menunjukkan ikatan C dengan alkohol sekunder. Ikatan C-OH pada alkohol primer juga terdeteksi, namun hanya muncul pada spektra biosorben terdelignifikasi saja pada 1064 cm⁻¹

dikarenakan, pada biosorben murni OH kemungkinan masih berikatan dengan lignin dan kemudian terbuka setelah diaktivasi, dan hilang lagi setelah pengontakan karena telah berikatan dengan kation Pb^{2+} sebagaimana pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Ikatan antara gugus OH selulosa dengan Pb

Puncak -NH stretching juga muncul pada 3464 cm^{-1} , 3496 cm^{-1} , dan 3473 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa dalam biosorben lerak memungkinkan adanya protein yang ikut serta dalam proses adsorpsi. Didukung juga dengan puncak *bending* N-H pada 1681 cm^{-1} dan 1697 cm^{-1} yang kemudian hilang setelah proses pengontakan diasumsikan -NH karena gugus fungsi telah mengikat kation Pb^{2+} . Adapun dugaan pengikatan Pb^{2+} oleh protein sebagaimana Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Kemungkinan adanya keterlibatan protein dalam proses adsorpsi

Asumsi kemungkinan pengikatan Pb oleh protein didukung dengan data FTIR sebagaimana Gambar 4.15 dan Tabel 4.5. Adapun mekanismenya adalah ion Pb^{2+} bereaksi dengan gugus peptida pada protein. Gugus peptida memiliki gugus amino ($-NH_2$) dan gugus karboksilat ($-COOH$), yang dapat bereaksi dengan ion Pb^{2+} membentuk ikatan koordinasi dengan ion Pb^{2+} menjadi struktur kompleks timbal-protein (Ibrahim *et al.*, 2019). Pb^{2+} memiliki konfigurasi elektron $[Xe]4f^{14}5d^{10}$ tanpa dua elektron di subkulit 6p. Setelah ion timbal membentuk kompleks dengan gugus fungsional pada protein, elektron yang terlibat dalam ikatan koordinasi akan berada pada orbital hibrida yang terbentuk dari orbital atom timbal dan orbital dari gugus fungsional pada protein. Dalam pembentukan kompleks, orbital 6p pada ion timbal juga akan terlibat dalam ikatan koordinasi untuk membentuk ikatan dengan gugus fungsional pada protein.

4.10 Pembahasan Biosorben Lerak dalam Perspektif Islam

Bahan alam merupakan ciptaan Allah Swt. yang telah banyak diteliti untuk mengungkap banyak manfaat yang belum diketahui akibat keterbatasan pengetahuan manusia. Allah telah menyerukan dalam Al-Quran kepada hambanya untuk *bertadabbur* memperhatikan alam yang mana dalam setiap keindahan, keagungan, dan kebermanfaatannya merupakan salah satu dari tanda-tanda kekuasaan Allah Swt. melalui penelitian, pengkajian, dan pembelajaran ciptaan Allah, terkhusus flora yang dalam penelitian ini adalah lerak, menjadikan kita sebagai hamba Allah mampu lebih mendekatkan diri lagi kepada Allah mengingat tentang segala ciptaannya yang memiliki banyak manfaat dan tidak ada yang sia-sia kecuali karena

keterbatasan pengetahuan manusia itu sendiri, sebagaimana firmanNya dalam Q.S.

Ali ‘Imron ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيٰتٍ لِّاُولٰٓئِ الْاَنْبِيَآءِ (١٩٠) الَّذِيْنَ
يَذْكُرُوْنَ اللّٰهَ قِيَامًا وَقُعُوْدًا وَعَلٰى جُنُوْبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُوْنَ فِيْ خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ
هٰذَا بَاطِلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ (١٩١)

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi serta pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia. Maha Suci Engkau. Lindungilah kami dari azab neraka.” (Q.S. Ali ‘Imron: 190-191)

Ayat di atas memerintahkan manusia untuk *bertadabbur* melihat dan merenungi cara kerja alam, dan mengambil kesimpulan pada tanda-tanda ketuhanan. Penggalan ayat *لَآيٰتٍ لِّاُولٰٓئِ الْاَنْبِيَآءِ* "terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal" dimaksudkan bahwa manusia sebagai ciptaan Allah Swt. yang paling sempurna dengan nafsu dan juga akal yang dikaruniakan kepada seluruh umat manusia, dengan tujuan agar mereka dapat menggunakan akal tersebut merenungi tanda-tanda kekuasaan Allah Swt. (Al-Qurthubi, 2009). Ayat tersebut juga menjelaskan bahwa segala sesuatu yang diciptakan Allah tidak ada yang sia-sia. Allah Swt. menciptakan segala sesuatu dengan manfaat yang terkandung di dalamnya seperti buah lerak yang tidak hanya bermanfaat buahnya saja, bahkan limbah buahnya yang telah dimanfaatkan juga masih memiliki manfaat lain yakni sebagai biosorben limbah timbal karena mengandung selulosa di dalamnya yang bisa mengikat limbah timbal dalam air.

Pemanfaatan biosorben lerak untuk adsorpsi limbah logam timbal, menjadi salah satu jalan manusia sebagai *خليفة في الارض* untuk tidak melampaui batas dengan

membuat kerusakan dan tidak memperbaikinya. Hal ini karena bumi secara tidak langsung telah banyak dirusak dengan pencemaran yang dibuat sendiri oleh manusia, sehingga merupakan tanggung jawab kita untuk meminimalisir pencemaran logam timbal dalam air sebagai bentuk kecil dalam usaha memperbaiki bumi. Oleh karena itu, mengadakan perbaikan atas kerusakan yang telah kita buat adalah suatu keharusan. Sebagaimana dalam Q.S. Asy-Syuara' ayat 151-152:

وَلَا تُطِيعُوا أَمْرَ الْمُسْرِفِينَ ۖ (١٥١) الَّذِينَ يُفْسِدُونَ فِي الْأَرْضِ وَلَا يُصْلِحُونَ (١٥٢)

“Janganlah mengikuti perintah orang-orang yang melampaui batas. (Mereka) yang berbuat kerusakan di bumi dan tidak melakukan perbaikan.” (Q.S. Asy-Syuara': 151-152)

Hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa biosorben lerak mampu menyerap 100% logam timbal sebesar 24,99 ppm dalam waktu 150 menit, dengan kondisi optimum massa adsorben 75 mg dan pH 6, Sehingga dapat disimpulkan bahwa biosorben lerak bisa menjadi salah satu cara untuk mengadakan perbaikan terhadap pencemaran logam timbal dan menjadi bentuk pengamalan kita atas Q.S. Asy-Syuara' ayat 151-152.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan oleh penulis mendapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut:

1. Buah lerak efektif sebagai bioabsorben logam berat dimana pada penelitian ini diketahui bahwa buah lerak mampu mengadsorpsi logam berat timbal (Pb) 24,99 ppm sebanyak 100% dengan kondisi massa adsorben 75 mg, pH 6, dan waktu pengontakan 150 menit.
2. Variasi massa adsorben, pH, waktu kontak, dan konsentrasi adsorbat berpengaruh terhadap kemampuan biosorben lerak menyerap limbah dan diperoleh kondisi optimum pengontakan pada massa adsorben 75 mg, pH 6, waktu kontak 90 menit, dan konsentrasi adsorbat pada 25 ppm.
3. Spektra FTIR menunjukkan perubahan %Transmitan dan juga pergeseran bilangan gelombang yang mengindikasikan telah berhasilnya delignifikasi dan juga pengikatan Pb^{2+} oleh adsorben.
4. Biosorben lerak mampu mengadsorpsi limbah cair timbal sebesar 44.17% sebelum teraktivasi dan 93.87% setelah teraktivasi.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis setelah melakukan penelitian ini adalah perlu dilakukannya penelitian lanjutan untuk mengkaji modifikasi biosorben lerak setelah diaktivasi dengan NaOH. Selain itu, perlu dikaji lebih lanjut terkait prosedur penetralan biosorben yang lebih sederhana dan cepat untuk efektifitas waktu.

Karakterisasi dengan SEM juga disarankan dilakukan untuk mengetahui bentuk pori biosorben.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A., W. (1990). *Physical Chemistry of Surface*. John Willey and Sons.
- Agustina, N. (2011). *Bioakumulasi Logam Berat Pb dan Cd dalam daging dan Insang Ikan Nila di Danau Cikaro*. UNPAD.
- Al-ayubi, M. C., Barroroh, H., & Dewi, D. C. (2012). STUDI KESEIMBANGAN ADSORPSI MERKURI(II) PADA BIOMASSA DAUN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*). *Alchemy*, 1(2), 83–91. <https://doi.org/10.18860/al.v0i0.1675>
- Al-Mahalli, J., & As-Suyuthi, J. (2007). *Tafsir Jalalain*. Terj. Bahrun Abu. Bakar. Sinar Baru Algensindo.
- Al-Qurthubi. (2009). *Tafsir al-Qurthubi*. Pustaka Azzam.
- Alfarisi, M. S., Oktasari, A., & Fitriyani, D. (2022). Biji Kebiul (*Caesalpinia Bonduc L. Roxb*) sebagai Adsorben Logam Besi (Fe). *Sainteks*, 18(2), 107. <https://doi.org/10.30595/sainteks.v18i2.12689>
- Almughty, A. P., Yahya, H., & Febrina, A. (2020). Pemanfaatan Kulit Rambutan (*Nephelium lappaceum*) Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Journal of Environmental Engineering*, 1(1), 1–6.
- Aminzadeh, S., Zhang, L., & Henriksson, G. (2017). A possible explanation for the structural inhomogeneity of lignin in LCC networks. *Wood Science and Technology*, 51(6), 1365–1376. <https://doi.org/10.1007/s00226-017-0941-6>
- Andriani, M., Nahrowi, N., Jayanegara, A., Mutia, R., & Syahniar, T. M. (2020). Antioxidant Quality of Phytochemical Compounds and Chemical Characteristics of Dried Matoa (*Pometia Pinnata*) Peels. *Jurnal Veteriner*, 21(4), 604–610. <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2020.21.4.604>
- Anugrahwati, M., Indah Fajarwati, F., & Awalina Safitri, R. (2021). ADSORPSI Pb(II) DARI AIR DENGAN KARBON AKTIF DARI KULIT SALAK PONDOH : KINETIKA DAN ISOTERM ADSORBSI. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art1>
- Artha, I. W. W., Hendrayana, M. A., & Sukrama, I. D. M. (2022). Uji Daya Hambat Ekstrak Etanol Buah Lerak (*Sapindus rarak*) Terhadap Bakteri *Staphylococcus epidermidis*. *Jurnal Medika Udayana*, 11(5), 14–18. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/eum>
- Astuti, F. A. (2016). Valuasi Ekonomi Limbah Cair Industri Gula dan Spiritus Di Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Propinsi DIY. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 8(1), 21–35. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol8.iss1.art3>

- Badriyah, L., & Putri, M. P. (2017). Kinetika Adsorpsi Cangkang Telur pada Zat Warna Metilen Biru. *ALCHEMY: Journal of Chemistry*, 5(3), 85–91.
- Da Costa, G. F., & Sukartha, I. M. (2020). Perbandingan Reaksi Pasar di AS, China dan Indonesia terhadap Perundingan Perang Dagang AS-China. *E-Jurnal Akuntansi*, 30(9), 2270. <https://doi.org/10.24843/eja.2020.v30.i09.p08>
- Fitriah, H., Mahatmanti, F. W., & Wahyuni, S. (2012). PENGARUH KONSENTRASI PADA PEMBUATAN MEMBRAN KITOSAN TERHADAP SELEKTIVITAS ION Zn(II) DAN Fe(II). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(2), 1110–1115. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Haryanti, D., Budianta, D., & Salni, S. (2013). Potensi Beberapa Jenis Tanaman Hias sebagai Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah. *Jurnal Penelitian Sains*, 16(2), 168122.
- Hasna Nur Fajriah. (2018). *PEMANFAATAN DAUN KETAPANG (Terminalia Catappa L.) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM TIMBAL (Pb) DALAM AIR MENGGUNAKAN AKTIVATOR ASAM SITRAT (C6H8O7)*. UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA.
- Husna, I., & Khaira, S. (2019). PEMBUATAN CAIRAN PEMBERSIH LANTAI DARI BAHAN ALAMI BUAH LERAK (Sapindus rarak DC) AROMA SEREH WANGI. *4th International Conference on Education*, 149–152.
- Ibrahim, F. M., Hammza, R. A., & Fadhil, D. H. (2019). Synthesis and characterization of Trimethoprim metal complexes used as corrosion inhibitors for carbon steel in acid media. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 8(3), 733–742. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2019-8-3-20>
- Isrianto, P. L., & Kristianto, S. (2017). Perbandingan Ekstrak Etanol Buah Lerak dan Abate terhadap Mortalitas Larva Aedes aegypti Instar III. *Prosiding Seminar Nasional SIMBIOSIS II, Madiun, 30 September 2017, September*, 492–500.
- Kurniawan, R. E., Makrifatullah, N. A., Rosar, N., Triana, Y., & Kunci, K. (2022). PEMBUATAN KERTAS DARI LIMBAH KULIT MATOA DAN AMPAS TEH DENGAN PERBEDAAN KONSENTRASI NaOH. *Jurnal Ilmiah Multi Disiplin Indonesia*, 2(1), 163–173. <https://katadata.co.id/berita/2020/01/06/baru-83-peserta-bpjs-kesehatan-per-akhir-2019->
- Maddusa, S. S., Papatungan, M. G., Syarifuddin, A. R., Maambuat, J., & Alla, G. (2017). Al - Sihah : Public Health Science Journal KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb), MERKURI (Hg), ZINK (Zn) DAN ARSEN (As) PADA IKAN DAN AIR SUNGAI TONDANO , SULAWESI UTARA. *Al-Sihah: Public Health Science Journal*, 9(2), 153–159.

- Mariana, M., Mulana, F., Juniar, L., Fathira, D., Safitri, R., Muchtar, S., Bilad, M. R., Shariff, A. H. M., & Huda, N. (2021). Development of Biosorbent Derived from the Endocarp Waste of Gayo Coffee for Lead Removal in Liquid Wastewater—Effects of Chemical Activators. *Sustainability*, 13(6), 3050. <https://doi.org/10.3390/su13063050>
- Megawati, E., Putra, A. O. P., Effendi, N., & Yuniarti, Y. (2021). Optimization of Time in the Esterification Process of Jelantah Oil With Anova Analysis. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 6(2), 184. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v6i2.11331>
- Modenbach, A. A., & Nokes, S. E. (2014). Effects of sodium hydroxide pretreatment on structural components of biomass. *Transactions of the ASABE*, 57(4), 1187–1198. <https://doi.org/10.13031/trans.56.10046>
- Moenandar, S., Widodo, L. U., & Donoriyanto, D. S. (2021). *PELUANG USAHA SABUN RAMAH LINGKUNGAN DARI BUAH LERAK, PANTI ASUHAN LAKSAMANA MOELJADI*. 01(01), 37–42.
- Mukhtar, M., Zainuddin, E. N., & Yaqin, K. (2017). Adsorpsi bahan pencemar logam Pb menggunakan Vermikompos sargassum. *Jurnal Rumpun Laut Indonesia*, 2(1), 12–18.
- Naat, J. N. (2022). Adsorpsi Ion Pb(II) Menggunakan Silika Berbasis Pasir Alam Takari-NTT. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 8(3), 266–279. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16143>
- Nadeem, M., Shabbir, M., Abdullah, M. A., Shah, S. S., & McKay, G. (2009). Sorption of cadmium from aqueous solution by surfactant-modified carbon adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, 148(2–3), 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.09.010>
- Nisa, D., & Putri, W. D. R. (2014). Pemanfaatan Selulosa dari Kulit Buah Kakao (Teobroma cacao L.) sebagai Bahan Baku Pembuatan CMC (Carboxymethyl Cellulose). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 2(3), 34–42.
- Nuban, A. A., Andayani, U., Safitri, A., Matematika, F., & Brawijaya, U. (2021). *Biosorpsi Timbal (Pb) pada Larutan Menggunakan Aspergillus niger Amobil: Teknologi Hijau untuk Penghilangan Logam Berat*. 21–27. <https://doi.org/10.21776/ub.igtj.2021.010.01.03>
- Oktasari, A. (2018). Kulit Kacang Tanah (Arachis hypogaea L.) sebagai Adsorben Ion Pb(II). *ALKIMIA: Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, 2(1), 17–27. <https://doi.org/10.19109/alkimia.v2i1.2258>
- Palar, H. (1994). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta.

- Pandia, S., & Sitorus, R. (2016). PENENTUAN BILANGAN IODIN ADSORBEN KULIT JENGKOL DAN APLIKASINYA DALAM PENYERAPAN LOGAM Pb (II) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI PELAPISAN LOGAM DETERMINATION OF IODINE NUMBER OF NGAPI NUT PEEL ADSORBENT AND ITS APPLICATION IN THE ADSORPTION OF Pb (II). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(4), 8–14.
- Papirio, S., Frunzo, L., Mattei, M. R., Ferraro, A., Race, M., D'Acunto, B., Pirozzi, F., & Esposito, G. (2017). *Heavy Metal Removal from Wastewaters by Biosorption: Mechanisms and Modeling*. In: Rene E., Sahinkaya E., Lewis A., Lens P. (eds) *Sustainable Heavy Metal Remediation*. Springer, Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-58622-9_2
- Permatasari, A. S., Susilowati, D., & Endrawati, S. (2022). Antibacterial Activity Test of Medicines Invention of Salam Leaf Infusion (*Syzygium polyanthum* W.) against *Streptococcus mutans*. *Indonesian Journal on Medical Science*, 9(1), 103–109. <https://doi.org/10.55181/ijms.v9i1.356>
- Purnamawati, F. S., Soeprobowati, T. R., & Izzati, M. (2015). Potential of *Chlorella vulgaris* Beijerinck in Laboratory Scale Cd and Pb Heavy Metal Remediation. *Bioma*, 16(2), 102–113.
- Purwiandono, G., & Haidar, A. S. (2022). Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Menggunakan Adsorben Kulit Rambutan Teraktivasi HNO₃ dan NaOH. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(1), 8–16.
- Quattrocchi, U. (2017). *CRC world dictionary of plant names: common names, scientific names, eponyms, synonyms, and etymology*. Routledge.
- Rahmi, R., & Sajidah. (2017). Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) Untuk Mengurangi Kadar Timbal(Pb) dalam Limbah Cair. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 271–279.
- Schiewer, S., & Balaria, A. (2009). Biosorption of Pb²⁺ by original and protonated citrus peels: Equilibrium, kinetics, and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 146(2), 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.05.034>
- Shafirinia, R., Oktiawan, W., & Wardana, I. W. (2019). Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Khrom (Cr) Dan Tembaga (Cu) Dengan Arang Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam (Elektroplating) Khrom. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Shihab, Q. (2003). *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Lentera Hati.
- Shukla, S. R., & Pai, R. S. (2005). Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on modified jute fibres. *Bioresour Technol.*, 96(13), 1430–1438.

- Siwi, D. Y. (2020). *Penentuan Kinetika Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb) menggunakan Adsorben Biomassa Hydrilla Verticillata termodifikasi Asam Sitrat*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Solika, N., Napitupulu, M., & Gonggo, S. T. (2018). Bioadsorpsi Pb(II) Menggunakan Kulit Jeruk Siam (*Citrus Reticulata*). *Jurnal Akademika Kimia*, 6(3), 160. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2017.v6.i3.9447>
- Suprihatin, & Indrasti, N. S. (2010). PENYISIHAN LOGAM BERAT DARI LIMBAH CAIR LABORATORIUM DENGAN METODE PRESIPITASI DAN ADSORPSI. *Makara Sains*, 14(1), 44–50.
- Supriyantini, E., & Soenardjo, N. (2015). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Akar Dan Buah Mangrove *Avicennia marina* di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(2), 98–106.
- Tran, H. N., & Chao, H. P. (2018). Adsorption and desorption of potentially toxic metals on modified biosorbents through new green grafting process. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(13), 12808–12820. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1295-9>
- Wang, Q., Wang, Y., Tang, J., Yang, Z., Zhang, L., & Huang, X. (2022). New insights into the interactions between Pb(II) and fruit waste biosorbent. *Chemosphere*, 303(P1), 135048. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135048>
- Wulandari, Y., Kurniasari, L., & Riwayati, I. (2014). Adsorpsi Logam Timbal dalam Larutan Menggunakan Kulit Ketela Rambat (*Ipomoea batatas* L). *Prosiding SNST Ke-5*, 75–80.
- Yuan, L., & Liu, Y. (2013). Removal of Pb (II) and Zn (II) from Aqueous Solution by Ceramisite Prepared by Sintering Bentonite, Iron Powder and Activated Carbon. *Chemical Engineering Journal*, 432–439.
- Zaini, H., & Sami, M. (2016). KINETIKA ADSORPSI Pb (II) DALAM AIR LIMBAH LABORATORIUM KIMIA MENGGUNAKAN SISTEM KOLOM DENGAN BIOADSORBEN KULIT KACANG TANAH. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, November 2016*, 2407 – 1846.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir

L.1.1 Preparasi Buah Lerak (*Sapindus rarak* DC)

Buah Lerak *Sapindus rarak* DC

- dipisahkan antara daging buah dan biji
- diambil daging buahnya,
- dicuci dan dibersihkan dari semua kotoran serta zat-zat pengotor yang menempel pada sampel
- dioven dalam suhu 40°C selama 1 minggu
- diserbukkan

Hasil

L.1.2 Aktivasi Biosorben

Serbuk Lerak

- direndam menggunakan NaOH 3% dengan rasio NaOH : serbuk biosorben sebesar 10 mL : 1 gram
- direaksikan di atas stirrer dengan kecepatan 150 rpm selama 24 jam
- dicuci dengan aquades hangat sampai pH 7
- disaring
- dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam.

Hasil

L.1.3 Identifikasi Gugus Fungsi Dengan Spektrofotometer FTIR

Biosorben hasil aktivasi, sebelum diaktivasi, dan setelah pengontakan

- digerus bersama KBr dengan perbandingan (1:10)
- dibentuk menjadi pellet
- diidentifikasi gugus fungsinya pada Panjang gelombang 450-4000 cm⁻¹
- dilakukan interpretasi gugus fungsi

Hasil

L.1.4 Pembuatan Kurva Standar Pb

Standar Pb 100 ppm

- dibuat konsentrasi 0; 10; 20; 30; 40 ppm dalam labu ukur 10 mL
- diuji pada panjang gelombang 283,3 nm.
- dibuat kurva kalibrasi untuk mendapatkan persamaan garis regresi

Hasil

L.1.5 Uji Adsorben dengan Variasi Massa Adsorben

Larutan Pb 20 ppm

- diambil 20 mL dalam Erlenmeyer 100 mL
- dimasukkan adsorben dengan variasi massa yaitu 15; 30; 45; 60; 75 mg
- diaduk dengan kecepatan 150 rpm menggunakan shaker selama 25 menit
- disaring dengan corong gelas
- diambil filtrat
- diukur konsentrasi Pb^{2+} dalam larutan dengan AAS.

Hasil

L.1.6 Uji Adsorben dengan Variasi pH

Serbuk lerak

- diambil dan ditimbang sesuai massa optimum yang didapat.
- ditambahkan 20 mL larutan Pb 20 ppm dalam Erlenmeyer 100 mL
- divariasi kondisi pH 2, 4, 6, dan 7 dengan penambahan larutan NaOH dan HCl
- dishaker selama 90 menit dengan kecepatan 150 rpm
- disaring dengan kertas saring pada corong gelas
- dilakukan analisis menggunakan AAS

Hasil

L.1.7 Uji Adsorben dengan Variasi Waktu Kontak

Larutan Pb 20 ppm

- diambil sebanyak 20 mL
- dimasukkan kedalam gelas erlenmeyer 100 mL
- ditambahkan serbuk adsorben dengan massa dan pH optimum
- dishaker larutan selama 5; 10; 15; 20; 25 menit dengan kecepatan 150 rpm
- disaring dengan corong gelas.
- diambil filtrat dan diukur konsentrasi Pb^{2+} dalam larutan menggunakan AAS

Hasil

L.1.8 Penentuan Isoterm Adsorpsi dan Kapasitas Adsorpsi

Larutan Pb 100 ppm

- diambil sebanyak 5 ; 10 ; 15 ; 20 ; 25 ppm sebanyak 20 mL
- dimasukkan kedalam gelas erlenmeyer 100 mL
- ditambahkan adsorben lerak dengan massa dan pH optimum
- diaduk larutan menggunakan shaker dengan kecepatan 150 rpm dengan waktu sesuai kontak optimum
- dilakukan pengukuran konsentrasi Pb^{2+} dalam filtrat menggunakan AAS

Hasil

Lampiran 2. Perhitungan

L.2.1 Pembuatan NaOH 3% (b/v)

% konsentrasi = b/v

$$\frac{3}{100} \text{ NaOH} = \frac{b}{100 \text{ ml}}$$

$$b = 3 \text{ gram}$$

NaOH 3% dibuat dengan cara memasukkan 3 gram NaOH kedalam labu ukur 100 mL dan kemudian ditandabatkan dengan menambahkan aquades.

L.2.2 Pembuatan Larutan Logam Pb 1000 ppm

Pembuatan larutan Pb 1000 mL dengan konsentrasi 1000 ppm dari serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_3$

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= \frac{\text{ppm} \times v \times \text{Mr } \text{Pb}(\text{NO}_3)_3}{\text{Ar Pb}} \\ &= \frac{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1 \text{ L} \times 331 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{207 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \\ &= 1.59 \text{ gram} \end{aligned}$$

Larutan stok Pb dibuat dengan menimbang padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_3$ sebanyak 1.59 gram kemudian dilarutkan dalam labu takar 1000 mL dengan aquabides dan ditandabatkan.

L.2.3 Pembuatan Larutan Standar 10; 20; 30; 40 ppm dari stok Pb 1000 ppm

Larutan Pb 10 ppm

$$\begin{aligned} M_1 \quad \times V_1 &= M_2 \quad \times V_2 \\ 1000 \text{ ppm} \quad \times V_1 &= 10 \text{ ppm} \quad \times 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 1 \text{ mL} \end{aligned}$$

Larutan Pb 20 ppm

$$\begin{aligned} M_1 \quad \times V_1 &= M_2 \quad \times V_2 \\ 1000 \text{ ppm} \quad \times V_1 &= 20 \text{ ppm} \quad \times 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 2 \text{ mL} \end{aligned}$$

Larutan Pb 30 ppm

$$\begin{aligned}
 M_1 \quad \quad \quad & \times V_1 = M_2 \quad \quad \quad \times V_2 \\
 1000 \text{ ppm} \quad & \times V_1 = 30 \text{ ppm} \quad \times 100 \text{ mL} \\
 & V_1 = 3 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Larutan Pb 40 ppm

$$\begin{aligned}
 M_1 \quad \quad \quad & \times V_1 = M_2 \quad \quad \quad \times V_2 \\
 1000 \text{ ppm} \quad & \times V_1 = 40 \text{ ppm} \quad \times 100 \text{ mL} \\
 & V_1 = 4 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

L.2.4 Pembuatan HCl 0.1 M

$$\text{Densitas} = 1.19 \text{ g/mL atau } 1190 \text{ g/L}$$

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

$$\text{Vol} = 10 \text{ mL}$$

$$\text{Mr HCl} = 36.42 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{p \times 10 \times \%}{Mr} \\
 &= \frac{1.19 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 10 \times 37\%}{36.42 \text{ g/mol}} \\
 &= 12.063 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_1 \quad \quad \quad & \times V_1 = M_2 \quad \quad \quad \times V_2 \\
 12.063 \text{ M} \quad & \times V_1 = 0.1 \text{ M} \quad \times 100 \text{ mL} \\
 & V_1 = 0.82898 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Diambil 0.8 mL HCl kedalam labu ukur 100 mL dan ditanda bataskan

L.2.5 Rendemen Preparasi Sampel

$$\begin{aligned}
 \% \text{Rendemen} &= \frac{\text{Berat serbuk halus}}{\text{Berat buah kasar}} \times 100\% \\
 &= \frac{208 \text{ gram}}{500 \text{ gram}} \times 100\% \\
 &= 41,6\%
 \end{aligned}$$

L.2.6 Rendemen Preparasi Sampel

$$\begin{aligned}\% \text{Rendemen} &= \frac{\text{Berat serbuk teraktivasi}}{\text{Berat serbuk lerak}} \times 100\% \\ &= \frac{3,241 \text{ gram}}{25 \text{ gram}} \times 100\% \\ &= 12,96\%\end{aligned}$$

Lampiran 3. Data Penelitian

L.3.1 Variasi Massa

W (g)	Co (ppm)	C akhir (ppm)	Abs	C Terserap (ppm)	V(L)	Qe (l)	% Terserap
0.015	22.93	14.18	0.2234	8.75	0.02	11.667	37.53
0.015	22.93	14.47	0.2275	8.46	0.02	11.280	
0.015	22.93	14.32	0.2258	8.61	0.02	11.480	
0.030	22.93	12.53	0.2010	10.40	0.02	6.933	45.14
0.030	22.93	13.20	0.2098	9.73	0.02	6.487	
0.030	22.93	12.01	0.1937	10.92	0.02	7.280	
0.045	22.93	8.74	0.1483	14.19	0.02	6.307	63.77
0.045	22.93	8.16	0.1400	14.77	0.02	6.564	
0.045	22.93	8.02	0.1381	14.91	0.02	6.627	
0.060	22.93	4.07	0.0833	18.86	0.02	6.287	81.25
0.060	22.93	4.53	0.0897	18.40	0.02	6.133	
0.060	22.93	5.13	0.0981	17.80	0.02	5.933	
0.075	22.93	1.40	0.0463	21.53	0.02	5.741	93.95
0.075	22.93	1.17	0.0431	21.76	0.02	5.803	
0.075	22.93	1.59	0.0489	21.34	0.02	5.691	
0.090	22.93	1.91	0.0534	21.02	0.02	4.671	90.51
0.090	22.93	1.63	0.0495	21.30	0.02	4.733	
0.090	22.93	2.99	0.0683	19.94	0.02	4.431	

L.3.2 Variasi pH

W (g)	pH	Co (ppm)	C akhir (ppm)	abs	C Terserap	V(L)	Qe	% Terserap
0.075	2.0	22.93	17.00	0.2631	5.93	0.02	1.581	21.99
0.075	2.0	22.93	18.16	0.2792	4.77	0.02	1.272	
0.075	2.0	22.93	18.50	0.2834	4.43	0.02	1.181	
0.075	4.0	22.93	11.76	0.1899	11.17	0.02	2.979	46.37
0.075	4.0	22.93	12.30	0.1974	10.63	0.02	2.835	
0.075	4.0	22.93	12.83	0.2051	10.10	0.02	2.693	
0.075	6.0	22.93	10.27	0.1693	12.66	0.02	3.376	54.05
0.075	6.0	22.93	10.60	0.1736	12.33	0.02	3.288	
0.075	6.0	22.93	10.74	0.1758	12.19	0.02	3.251	
0.075	7.0	22.93	15.62	0.2434	7.31	0.02	1.949	30.27
0.075	7.0	22.93	16.21	0.2515	6.72	0.02	1.792	
0.075	7.0	22.93	16.14	0.2506	6.79	0.02	1.811	

L.3.3 Variasi Waktu kontak

W (g)	t (menit)	Co (ppm)	C akhir (ppm)	Abs	C Terserap	V(L)	Qe	% Terserap
0.075	10	24.99	10.56	0.1732	14.43	0.02	3.848	58.14
0.075	10	24.99	9.81	0.1628	15.18	0.02	4.048	
0.075	10	24.99	11.01	0.1798	13.98	0.02	3.728	
0.075	20	24.99	9.32	0.1563	15.67	0.02	4.179	63.88
0.075	20	24.99	8.26	0.1413	16.73	0.02	4.461	
0.075	20	24.99	9.50	0.1585	15.49	0.02	4.131	
0.075	30	24.99	6.54	0.1176	18.45	0.02	4.920	73.71
0.075	30	24.99	5.87	0.1083	19.12	0.02	5.099	
0.075	30	24.99	7.30	0.1280	17.69	0.02	4.717	
0.075	40	24.99	5.80	0.1073	19.19	0.02	5.117	78.85
0.075	40	24.99	4.77	0.0930	20.22	0.02	5.392	
0.075	40	24.99	4.78	0.0932	20.21	0.02	5.389	
0.075	60	24.99	4.71	0.0923	20.28	0.02	5.408	82.05
0.075	60	24.99	4.26	0.0859	20.73	0.02	5.528	
0.075	60	24.99	3.66	0.0777	21.33	0.02	5.688	
0.075	90	24.99	1.87	0.0527	23.12	0.02	6.165	93.78
0.075	90	24.99	1.53	0.0481	23.46	0.02	6.256	
0.075	90	24.99	1.26	0.0443	23.73	0.02	6.328	
0.075	120	24.99	0.03	0.0273	24.96	0.02	6.656	99.72
0.075	120	24.99	0.10	0.0282	24.89	0.02	6.637	
0.075	120	24.99	0.08	0.0279	24.91	0.02	6.643	
0.075	150	24.99	-0.90	0.0144	25.89	0.02	6.904	103.52
0.075	150	24.99	-0.82	0.0154	25.81	0.02	6.883	
0.075	150	24.99	-0.92	0.0140	25.91	0.02	6.909	
0.075	180	24.99	-1.49	0.0062	26.48	0.02	7.061	105.29
0.075	180	24.99	-1.16	0.0107	26.15	0.02	6.973	
0.075	180	24.99	-1.32	0.0085	26.31	0.02	7.016	

L.3.4 Penentuan Isoterm

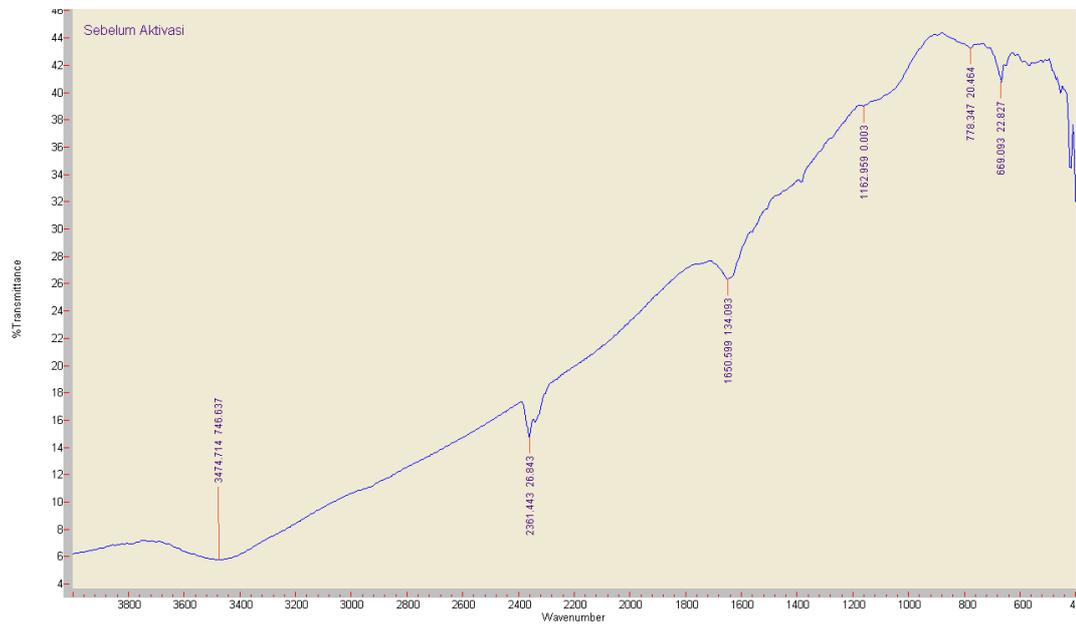
W (g)	Co (ppm)	C akhir (ppm)	Abs	C Terserap	V(L)	Qe	% Terserap
0.075	-0.47	-1.50	0.2234	1.03	0.02	0.275	-219.15
0.075	-0.47	-1.65	0.2275	1.18	0.02	0.315	-251.06
0.075	-0.47	-1.58	0.2258	1.11	0.02	0.296	-236.17
0.075	16.55	3.53	0.2010	13.02	0.02	3.472	78.67
0.075	16.55	3.28	0.2098	13.27	0.02	3.539	80.18
0.075	16.55	3.35	0.1768	13.20	0.02	3.520	79.76
0.075	25.88	11.28	0.1483	14.60	0.02	3.893	56.41
0.075	25.88	10.57	0.1400	15.31	0.02	4.083	59.16
0.075	25.88	9.30	0.1381	16.58	0.02	4.421	64.06
0.075	28.73	16.58	0.0833	12.15	0.02	3.240	42.29
0.075	28.73	16.81	0.0897	11.92	0.02	3.179	41.49
0.075	28.73	17.14	0.0981	11.59	0.02	3.091	40.34
0.075	36.69	23.16	0.0463	13.53	0.02	3.608	36.88
0.075	36.69	22.74	0.0431	13.95	0.02	3.720	38.02
0.075	36.69	22.98	0.0489	13.71	0.02	3.656	37.37

L.3.5 Perbandingan Penyerapan Sebelum dan Setelah Aktivasi

W (g)	pH	Co (ppm)	C akhir (ppm)	abs	C Terserap	V(L)	Qe	Persen Abs
0.075	6.0	24.99	13.95	0.2207	11.04	0.02	2.944	44.178
0.075	6.0	24.99	1.53	0.0481	23.46	0.02	6.256	93.878

L.3.6 Spektra FTIR

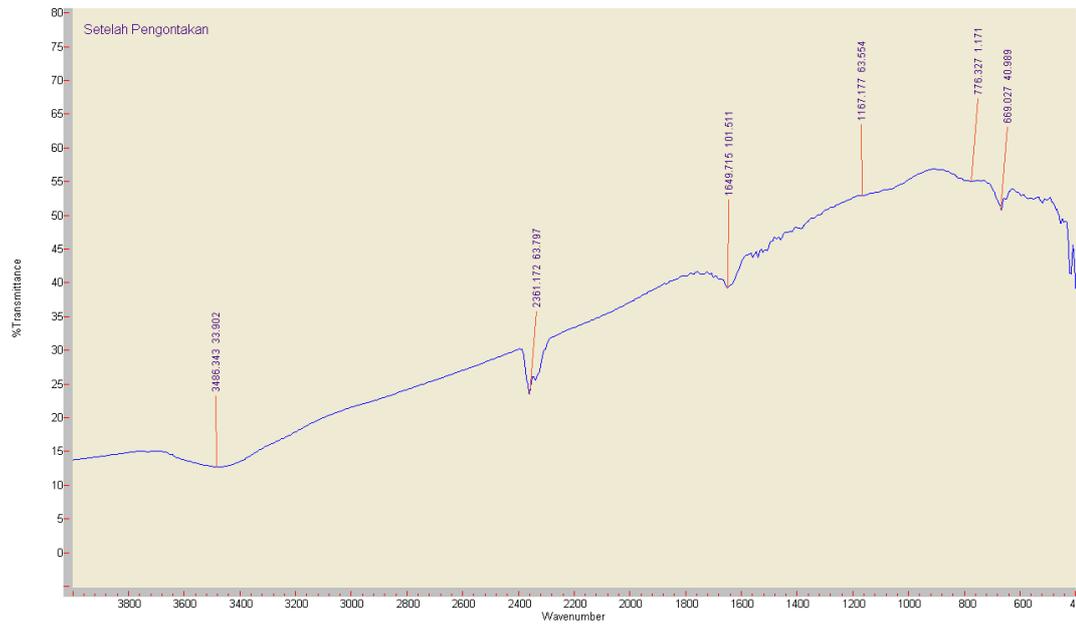
FTIR Lerak sebelum Aktivasi



FTIR Lerak setelah Aktivasi



FTIR Lerak setelah Pengontakan dengan Logam



L.3.7 Uji Statistika

Uji Statistika Variasi Massa

- Uji Normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		18
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,0000000
	Std. Deviation	1,35515941
Most Extreme Differences	Absolute	,108
	Positive	,108
	Negative	-,086
Test Statistic		,108
Asymp. Sig. (2-tailed)		,200 ^{c,d}

- Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Konsentrasi_sisa_pb	Based on Mean	1,732	5	12	,202
	Based on Median	,575	5	12	,718
	Based on Median and with adjusted df	,575	5	6,386	,720
	Based on trimmed mean	1,631	5	12	,226

- Uji Anova

ANOVA

Konsentrasi_sisa_pb					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	440,454	5	88,091	387,165	,000
Within Groups	2,730	12	,228		
Total	443,184	17			

- Uji Tukey dan Duncan

Konsentrasi_sisa_pb

		Subset for alpha = 0.05						
	Massa_adsorben	N	1	2	3	4	5	
Tukey HSD ^a	75,00	3	1,3867					
	90,00	3	2,1767					
	60,00	3		4,5767				
	45,00	3			8,3067			
	30,00	3				12,5800		
	15,00	3					14,3233	
	Sig.			,382	1,000	1,000	1,000	1,000
	Duncan ^a	75,00	3	1,3867				
	90,00	3	2,1767					
	60,00	3		4,5767				
	45,00	3			8,3067			
	30,00	3				12,5800		
	15,00	3					14,3233	
	Sig.			,065	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Uji Statistika Variasi pH

- Uji Normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		12
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,0000000
	Std. Deviation	2,79923718
Most Extreme Differences	Absolute	,242
	Positive	,242
	Negative	-,206
Test Statistic		,242
Asymp. Sig. (2-tailed)		,051 ^c

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

- Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Konsentrasi_Pb_sisa	Based on Mean	1,855	3	8	,216
	Based on Median	,533	3	8	,672
	Based on Median and with adjusted df	,533	3	4,367	,682
	Based on trimmed mean	1,726	3	8	,239

- Uji Anova

ANOVA

Konsentrasi_Pb_sisa

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	101,509	3	33,836	126,858	,000
Within Groups	2,134	8	,267		
Total	103,643	11			

- Uji Tukey dan Duncan

Konsentrasi_Pb_sisa

		Subset for alpha = 0.05				
	pH	N	1	2	3	4
Tukey HSD ^a	6	3	10,5367			
	4	3		12,2967		
	7	3			15,9900	
	2	3				17,8867
	Sig.			1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	6	3	10,5367			
	4	3		12,2967		
	7	3			15,9900	
	2	3				17,8867
	Sig.			1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Uji Statistika Variasi Waktu Pengontakan

- Uji Normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		21
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,0000000
	Std. Deviation	1,03099142
Most Extreme Differences	Absolute	,129
	Positive	,091
	Negative	-,129
Test Statistic		,129
Asymp. Sig. (2-tailed)		,200 ^{c,d}

- a. Test distribution is Normal.
- b. Calculated from data.
- c. Lilliefors Significance Correction.
- d. This is a lower bound of the true significance.

- Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Konsentrasi_Pb	Based on Mean	1,480	6	14	,255
	Based on Median	,449	6	14	,834
	Based on Median and with adjusted df	,449	6	8,744	,828
	Based on trimmed mean	1,386	6	14	,287

- Uji Anova

ANOVA

Konsentrasi_Pb					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	254,212	6	42,369	144,617	,000
Within Groups	4,102	14	,293		
Total	258,314	20			

- Uji Tukey dan Duncan

		Pb_Terserap						
		Subset for alpha = 0.05						
	waktu_kontak	N	1	2	3	4	5	6
Tukey	150,00	3	,0000					
HSD ^a	120,00	3	,0700					
	90,00	3	1,5533					
	60,00	3		4,2100				
	40,00	3		5,1167				
	30,00	3			6,5700			
	20,00	3				9,0267		
	10,00	3					10,4600	
	Sig.		,871	,404	1,000	1,000	1,000	
Duncan ^a	150,00	3	,0000					
	120,00	3	,0700					
	90,00	3	1,5533					
	60,00	3		4,2100				
	40,00	3			5,1167			
	30,00	3				6,5700		
	20,00	3					9,0267	
	10,00	3						10,4600
	Sig.		,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian

L.4.1 Preparasi Sampel



Diambil buah lerak



Diserbukkan



Lerak Kering setelah pencucian

L.4.2 Aktivasi Biosorben



Ditimbang serbuk lerak



Diaktivasi NaOH dengan perbandingan 1:20



Distirer 24 jam



Hari penetralan ke-1



Hari ke-16 penetralan



pH awal



pH akhir



Pengovenan



Biosorben teraktivasi kering

L.4.3 Pengontakan dengan Logam



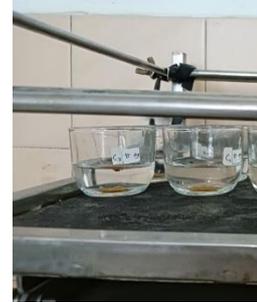
**Ditimbang
biosorben
teraktivasi**



Cek ph larutan



**Ditambahkan
larutan Pb**



Dishaker



Disaring



**Ditampung dalam
vial**



Diuji AAS



Variasi pH 2



Variasi pH 4



Variasi pH 6



Variasi pH 7