TA/TL/2025/2049

JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Efektivitas Biosorben Biji Durian (Durio zibethinus) dalam Penyerapan Kandungan Logam Kadmium (Cd) dalam Air

Aisyah Nuryaca
21513150

Dosen Pembimbing:
Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Effectiveness of Durian Seed (Durio zibethinus) Biosorbent in the Sorption of Cadmium (Cd) Metal Content in Water

Aisyah Nuryaca
21513150

Supervisor:
Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Civil Engineering and Planning
Universitas Islam Indonesia
2025

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

Efektivitas Biosorben Biji Durian (Durio zibethinus) dalam Penyerapan Kandungan Logam Kadmium (Cd) dalam Air

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Aisyah Nuryaca
21513150

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 15 September 2025 dan disetujui oleh:

23/9 '25

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

23/9 2025

Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U. (Pembimbing 2)

22/9/2025

Ir. Hudori, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

26/9-25

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan *(artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
   a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
   b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.

   Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Aisyah Nuryaca

21513150

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul "Efektivitas Biosorben Biji Durian (Durio zibethinus) dalam Penyerapan Kandungan Logam Kadmium (Cd) dalam air" dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan.

Penelitian ini merupakan perjalanan yang didalamnya terdapat evaluasi kemampuan akademik dan juga pelajaran hidup yang mendesak kita menjadi pribadi yang tekun, sabar dan memiliki daya juang yang stabil. Dalam penyusunan skripsi ini, tentu saja penulis memperoleh dukungan, bantuan, serta do'a dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan rasa syukur yang tulus kepada:

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan hamba-Nya dengan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Kedua orang tua saya, Bapak Camang dan Ibu Sumiati yang selalu menjadi sumber penyemangat dan senantiasa memberikan do'a, dukungan dan kasih sayang tanpa batas;
3. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. I.P.U. selaku Dosen Pembimbing II penulis yang telah membimbing serta memberi arahan dan motivasi selama proses penelitian tugas akhir;
4. Seluruh jajaran dosen dan staff Program Studi Teknik Lingkungan UII atas ilmu dan bantuannya selama masa perkuliahan;
5. Saudara penulis, Muhammad Abiyaca Al-Maarij yang memberikan semangat, mendoakan dan menuruti keinginan penulis saat sedang lelah;
6. Teman dekat penulis semasa kuliah Winda, Putrie, Nailun, Indah, Ziqta, Laili, Baywafa, Rangga, Rizal, Galih, Surya yang selalu

saling mendukung dan menghibur dalam menjalani masa perkuliahan ini;

7. Teman dekat penulis sejak semasa SMA hingga kuliah Rania, Ulul, Ita, Tiara, Fany, Arin, dan Lita yang selalu saling medukung tanpa kenal jarak dan waktu;
8. Rekan tugas akhir penulis Nazla, Isti, dan Sahrul yang selalu saling memberi semangat dan dorongan untuk maju bersama-sama melewati perjalanan tugas akhir ini;
9. Teman-teman angkatan 2021 yang telah memberikan kebersamaan dan membantu selama masa perkuliahan, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu, yang telah mendukung penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Sleman, 15 September 2025

Aisyah Nuryaca

Efektivitas Biosorben Biji Durian (Durio zibethinus) dalam Penyerapan Kandungan Logam Kadmium (Cd) dalam Air

Mahasiswa	: Aisyah Nuryaca
NIM	: 21513150
Program Studi	: Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing 1	: Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Pembimbing 2	: Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Abstrak

Limbah cair oleh kegiatan industri dan domestik mengandung logam berat yang berbahaya bagi makhluk hidup di sekitarnya. Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat berbahaya karena memiliki risiko tinggi terhadap pembuluh darah. Metode yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar logam berat dalam air adalah dengan proses adsorpsi. Adsorben dengan biaya rendah berasal dari limbah pertanian atau bahan alami, salah satunya adalah biji durian dan asam humat. Biji durian dipilih sebagai adsorben karena memiliki gugus fungsi hidroksil, karbonil dan karboksilat. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan tujuan mengetahui efektivitas proses adsorpsi dengan adsorben biji durian, serta pengaruh penambahan asam humat pada adsorpsi logam Cd. Analisis adsorben biji durian dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Pengujian kondisi optimum proses adsorpsi dilakukan pada variabel pH, waktu kontak, konsentrasi, dan penambahan asam humat. Kondisi optimum proses adsorpsi pada kondisi pH 7, waktu kontak 240 menit, konsentrasi 5 ppm, dan penambahan konsentrasi asam humat yang semakin besar menurunkan efisiensi proses adsorpsi logam Cd oleh adsorben biji durian.

Kata kunci: Adsorpsi, asam humat, biji durian, logam berat kadmium (Cd)

Effectiveness of Durian Seed (Durio zibethinus) Biosorbent in the Sorption of Cadmium (Cd) Metal Content in Water

Student	: Aisyah Nuryaca
Student Number	: 21513150
Study Program	: Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor 1	: Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Supervisor 2	: Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Abstract

Liquid waste from industrial and domestic activities contains heavy metals that are harmful to living organisms in the surroundings area. Cadmium (Cd) is one type of heavy metal that is harmful because it poses a high risk to blood vessels. One method that can be used to reduce heavy metal levels in water is through the adsorption process. Low-cost adsorbents can be obtained from agricultural waste or natural materials, one of which is durian seeds and humic acid. Durian seeds were chosen as adsorbents because they contain hydroxyl, carbonyl, and carboxyl functional groups. The study was conducted on a laboratory scale to determine the effectiveness of the adsorption process using durian seeds as adsorbents, as well as the effect of adding humic acid on Cd metal adsorption. Analysis of durian seed adsorbents was performed using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared (FTIR). Optimum adsorption process conditions were tested for variables including pH, contact time, concentration, and humic acid addition. Optimum adsorption process conditions were found at pH 7, contact time 240 minutes, concentration 5 ppm, and increasing humic acid concentration reduced the efficiency of Cd metal adsorption by durian seed adsorbent.

Key words: Adsorpstion, durian seed, humic acid, heavy metal cadmium (Cd)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN iii
PRAKATA v
ABSTRAK vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Ruang Lingkup 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Logam Berat Kadmium (Cd) 6
2.2 Adsorpsi 7
2.3 Biji Durian 8
2.4 Asam Humat 8
2.5 *Scanning Electron Microscope* (SEM) 9
2.6 *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 10
2.7 *Atomic Adsorption Spectrophotometry* (AAS) 10
2.8 Penelitian Terdahulu 11
BAB III METODE PENELITIAN 15
3.1 Waktu dan Lokasi 15
3.2 Alat dan Bahan 15
3.3 Tahapan Penelitian 15

3.4 Persiapan Penelitian 16
3.4.1 Preparasi Adsorben 16
3.4.2 Karakterisasi Adsorben 16
3.5 Proses Adsorpsi 17
3.5.1 Variabel pH 17
3.5.2 Variabel Waktu Kontak 17
3.5.3 Variabel Konsentrasi Kadmium 17
3.5.4 Pengaruh Penambahan Asam Humat 18
3.6 Prosedur Analisis Data 18
3.6.1 Analisis Persentase dan Kapasitas Adsorpsi 18
3.6.2 Analisis Isoterm Adsorpsi 19
3.6.3 Analisis Kinetika Adsorpsi 20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 22
4.1 Karakterisasi Adsorben 22
4.1.1 *Scanning Electron Microscope* (SEM) 22
4.1.2 *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 23
4.2 Hasil Pengujian Adsorpsi 24
4.2.1 Hasil Uji pH Optimum 24
4.2.2 Hasil Uji Waktu Kontak Optimum 26
4.2.3 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Optimum 27
4.2.4 Hasil Uji Variasi Penambahan Asam Humat 30
4.3 Hasil Analisis Data 32
4.3.1 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi 32
4.3.2 Kinetika Adsorpsi 36
BAB V PENUTUP 39
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 39
DAFTAR PUSTAKA 41
LAMPIRAN 45
RIWAYAT HIDUP 55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 11
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Variasi pH..... 25
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Variasi Konsentrasi 28
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Variasi Asam Humat 30
Tabel 4. 4 Perhitungan Model Isoterm Langmuir..... 32
Tabel 4. 5 Perhitungan Model Isoterm Freundlich 33
Tabel 4. 6 Perbandingan Model Isoterm dengan Penelitian Terdahulu 35
Tabel 4. 7 Perhitungan Qe dan K pseudo orde satu dan dua 37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian 16
Gambar 4. 1 Hasil SEM Adsorben Biji Durian Sebelum Adsorpsi (a), Setelah Adsorpsi (b), dan Setelah Adsorpsi dengan Penambahan Asam Humat (c) 22
Gambar 4. 2 Grafik FTIR Adsorben Biji Durian 23
Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Adsorpsi Variasi pH 25
Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Adsorpsi Variasi Waktu Kontak 26
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Konsetrasi dan Efisiensi Penyisihan 28
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Konsentrasi dan Kapasitas Adsorpsi 29
Gambar 4. 8 Grafik Pengujian Adsorpsi Variasi Asam Humat 31
Gambar 4. 9 Grafik Model Isoterm Langmuir 33
Gambar 4. 10 Grafik Model Isoterm Freundlich 34
Gambar 4. 11 Grafik Kinetika Pseudo Orde Satu 36
Gambar 4. 12 Grafik Kinetika Pseudo Orde Dua 37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan 45
Lampiran 2 Data Karakteristik FTIR 46
Lampiran 3 Data Pengujian Adsorpsi 49
Lampiran 4 Kurva Kalibrasi 51
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian 52

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kesejahteraan hidup manusia berkaitan erat dengan kualitas lingkungan. Sumber daya alam yang berada di lingkungan diperlukan manusia agar keberlangsungan hidup manusia dapat terjadi secara berkelanjutan (Safitri dkk., 2020). Namun, peningkatan kegiatan industri dan domestik yang beragam juga meningkatkan jumlah pembuangan air sisa atau limbah cair. Akumulasi limbah cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri dan domestik tersebut kemudian dapat menjadi masalah pencemaran lingkungan perairan. Limbah cair oleh kegiatan industri dan domestik mengandung logam berat yang berbahaya bagi makhluk hidup di sekitarnya. Logam berat yang sering terkandung dalam pencemaran air dalam bentuk senyawa toksik adalah Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, dan Zn (Connel, 1974; Tarigan & Edward, 2023).

Logam berat kerap kali mengontaminasi lingkungan perairan. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) (2023), terdapat 10.683 kelurahan di Indonesia yang mengalami pencemaran air, dimana 6.160 sumber pencemaran dari aktivitas rumah tangga, 4.496 sumber pencemaran dari pabrik, serta 27 sumber pencemaran lainnya. Dalam penelitian Alisa dkk (2020), kandungan logam berat Pb dan Cd di perairan Pulau Untung Jawa melampaui baku mutu yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Logam berat tersebut berpotensi berbahaya karena termasuk logam yang memiliki toksisitas yang tinggi, salah satunya adalah kadmium (Cd).

Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat berbahaya karena memiliki risiko tinggi terhadap pembuluh darah. Dalam jangka panjang, kadmium dapat memberikan dampak negatif dan dapat terakumulasi pada tubuh, terutama pada organ hati dan ginjal (Palar, 2004; Istarani & Pandebesie,

2014). Logam ini dapat tersebar sangat luas di alam karena terdapat pada industri baterai, cat, plastik, tekstil, dan lain-lain. Perlu pengelolaan khusus untuk mengendalikan pencemaran oleh logam berat di lingkungan perairan agar tidak menjadi ancaman di masa depan bagi kesehatan lingkungan maupun masyarakat.

Proses pengolahan logam berat di dalam air dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya presipitasi kimia, pertukaran ion, pengendapan elektrokimia, filtrasi membran, dan adsorpsi. Metode adsorpsi permukaan merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk mengeliminasi logam berat karena hasilnya yang memuaskan dan kemudahan aplikasinya. Adsorpsi merupakan proses perpindahan massa, dimana suatu zat dipindahkan dari fase cair ke permukaan padatan dan terikat dengan interaksi fisik dan kimia (Mahmudiono, 2022). Kelebihan dari metode adsorpsi ini mencakup efisiensi ekonomi, desain proses sederhana, selektivitas logam, regenerasi, dan efektivitas metode.

Adsorben dengan biaya rendah berasal dari produk sampingan industri, biopolimer yang dimodifikasi, bahan alami, dan limbah pertanian. Salah satu limbah yang dapat digunakan sebagai adsorben adalah biji durian. Biji durian memiliki kandungan selulosa sebesar 6,15%. Karakterisasi biosorben biji durian dengan instrumen FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi hidroksil, karbonil dan karboksilat, dan memiliki nilai efisiensi penyerapan metilen biru 99,62% (Lestari dkk., 2019). Menurut Lestari (2017), Karakterisasi FTIR biosorben SBD-amobilisasi dan non amobilisasi menunjukkan adanya gugus fungsi yang berperan dalam proses penyerapan, yaitu gugus hidroksil, karboksil, karbonil. Dalam efektivitas pengolahan limbah cair dengan adsorben biji durian, dilakukan modifikasi untuk meningkatkan kinerja penghilangan logam berat.

Asam humat merupakan makromolekul polielektrolit yang mengandung gugus fungsional seperti -COOH, -OH fenolat dan -OH alkoholat. Gugus-gugus fungsi tersebut memungkinkan asam humat memiliki kemampuan tinggi dalam berikatan dengan ion logam, karena dapat mengalami

deprotonasi ketika berada pada pH yang relatif tinggi. Karakteristik asam humat diantaranya terdapat gugus karbonil, ikatan hidrogen, ikatan alifatik alkana, gugus karboksilat, cincin aromatik, dan gugus asam karboksilat. Menurut Maimunawaro dkk (2020), setelah proses adsorpsi, terdapat logam timbal (Pb) yang terikat pada serat asam humat. Proses pengikatan tersebut berdampak pada pembesaran luas permukaan asam humat sehingga lebih efektif digunakan sebagai adsorben dengan persen efektivitas mencapai 98,8% dan 97,9%.

Upaya pengolahan limbah cair agar tidak mencemari lingkungan dengan biaya yang rendah dan desain yang sederhana serta efektivitas limbah organik biji durian dan zat organik asam humat sebagai adsorben dalam proses pengolahan adsorpsi logam berat menjadi dasar dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penambahan asam humat dalam proses adsorpsi logam berat kadmium (Cd) menggunakan adsorben biji durian.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian penjelasan dalam latar belakang mengenai masalah logam berat kadmium (Cd) dalam air, berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana efektivitas adsorben biji durian dalam menurunkan logam kadmium (Cd) yang terkandung dalam air?
2. Bagaimana variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) mempengaruhi adsorben biji durian dalam menurunkan logam kadmium (Cd) dalam air?
3. Bagaimana pengaruh penambahan asam humat pada proses adsorpsi dalam menurunkan logam kadmium (Cd) dalam air?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang tersedia, berikut merupakan tujuan penelitian:

1. Mengetahui efektivitas adsorben biji durian dalam menurunkan logam kadmium (Cd) yang terkandung dalam air.
2. Mengetahui pengaruh variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) dalam menurunkan logam berat kadmium (Cd) dalam air.
3. Mengetahui pengaruh penambahan senyawa asam humat pada proses adsorpsi logam kadmium (Cd) di air.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang berkontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan. Berikut merupakan manfaat dari penelitian ini:

1. Menambah pengetahuan terkait manfaat biji durian untuk menangani salah satu masalah lingkungan.
2. Hasil penelitian dapat menjadi pertimbangan dalam memanfaatkan limbah biji durian sebagai alternatif dalam upaya penurunan logam berat kadmium (Cd) dalam air.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Sampel menggunakan larutan sintesis yang mengandung logam berat kadmium (Cd).
3. Metode eliminasi kadmium (Cd) dalam air adalah adsorpsi dengan adsorben biji durian.

4. Variabel yang diamati dalam penelitian yaitu massa adsorben, pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) pada sampel

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat Kadmium (Cd)

Logam berat merupakan logam yang bersifat toksik dan berbahaya apabila memasuki tubuh dalam konsentrasi yang melebihi ambang batas. Logam berat menjadi berbahaya karena adanya proses bioakumulasi yaitu peningkatan konsentrasi unsur kimia di dalam tubuh makhluk hidup. Logam berat dapat terakumulasi oleh makhluk hidup melalui rantai makanan, sehingga semakin tinggi tingkatan suatu organisme, maka akumulasi logam berat di dalam tubuhnya akan semakin besar. Logam berat merupakan unsur logam yang memiliki massa jenis lebih besar dari 5 g/m^3, diantaranya adalah kadmium (Cd), raksa (Hg), timbal (Pb), nikel (Ini), dan seng (Zn) (Ahmad, 2021).

Kadmium adalah logam yang memiliki ciri fisik berwarna putih perak, lunak, mengkilap, mudah bereaksi, tidak larut dalam basa, dan menghasilkan kadmium oksida jika dipanaskan. Selain itu, logam ini juga tahan panas dan tahan korosi. Kadmium (Cd) secara umum terkombinasi dengan klor (Cd Klorida) atau dengan belerang (Cd Sulfit). Nomor atom kimia Cd adalah 40, dengan berat atom 112,4, titik leleh 321°C, titik didih 767°C, dan massa jenis 8,65 g/cm^3 (Istarani & Pandebesie, 2014). Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang berbahaya karena tidak dapat dihancurkan dengan organisme, serta dapat terakumulasi ke lingkungan. Kadmium (Cd) akan terakumulasi di dasar perairan dan membentuk senyawa kompleks dengan bahan organik dan anorganik dengan cara adsorbsi dan kombinasi (Rochyatun & Rozaq, 2007; Haryanti & Martuti, 2020). Kadmium merupakan logam berat yang memiliki sifat racun yang tinggi, dampaknya kepada manusia jika terpapar dalam waktu yang lama dapat menyebabkan gangguan ginjal, penyakit tulang, dan kanker. Dalam teori toksikologi, kadmium memiliki efek kronis saat terakumulasi di dalam tubuh manusia dapat berlangsung sangat lama dan sulit

dikeluarkan oleh tubuh (Setyawan, 2024). Logam berat kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang sering ditemukan dalam lingkungan perairan, yang bahkan dalam konsentrasi rendah pun efek toksisitasnya tetap tinggi (Rumahlatu dkk., 2012).

2.2 Adsorpsi

Upaya untuk mengurangi kadar logam berat dalam limbah cair dapat menggunakan metode adsorpsi. Adsorpsi adalah proses ketika fluida terikat pada padatan dan membentuk lapisan tipis di sebuah permukaan. Secara umum, adsorpsi merupakan proses penyatuan substansi terlarut yang ada dalam larutan oleh permukaan zat atau benda penyerap, pada proses tersebut terjadi ikatan kimia fisika antara substansi dan penyerap. Partikel yang diadsorpsi disebut adsorbat, sedangkan bahan untuk mengadsorpsi disebut adsorben (Larasati dkk., 2016).

Terdapat dua jenis gaya tarik menarik suatu padatan yaitu gaya fisika dan gaya kimia, yang kemudian masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Adsorpsi fisika terjadi karena gaya Van der Waals, dimana gaya tarik menarik antara molekul fluida dengan molekul pada permukaan padatan lebih kecil daripada gaya tarik menarik sehingga gaya tarik menarik relatif lemah. Sedangkan adsorpsi kimia terjadi karena ada ikatan kimia yang terbentuk antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben, ikatan ini berupa ikatan kovalen atau ion. Ikatan kimia yang kuat menyebabkan adsorbat tidak mudah terdesorpsi. Adsorpsi kimia diawali dengan adsorbat yang mendekat ke permukaan adsorben dengan gaya Van der Waals atau ikatan hidrogen yang melekat pada permukaan adsorben dengan membentuk ikatan kimia (kovalen) (Indah & Safnowandi, 2020). Beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan adsorpsi dan kapasitas adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben antara lain adalah karakteristik media adsorben meliputi luas permukaan, ukuran partikel, dan komposisi kimia (Komala dkk., 2021).

2.3 Biji Durian

Durian (*Durio zibethinus*) merupakan tanaman buah asli tropis eksotik yang memiliki rasa dan aroma yang unik. Dari 28 jenis durian, terdapat 18 jenis durian yang ditemukan di Kalimantan dan 7 jenis lainnya ditemukan tersebar di Sumatera (Uji, 2005; Pratiwi dkk., 2018). Menurut Pratiwi, 2018 morfologi buah durian secara umum bervariasi tergantung dari tempat tumbuhnya. Bentuk buah durian diantaranya bulat ujung datar, bulat, bulat telur, lonjong, bulat panjang, ovoid, dan obovoid. Bentuk biji durian yang diidentifikasi diantaranya lonjong, jorong, dan bulat.

Komposisi kimia biji durian serupa dengan biji-biji dari famili *Bombacaceae* yang lain, kandungan yang terdapat dalam biji durian yang dimasak kadar airnya 51,1 gram, kadar lemak 0,2 gram, kadar protein 1,5 gram, dan kadar karbohidrat 46,2 gram. Biji dari famili *Bombacaceae* ini memiliki kandungan pati yang tinggi yaitu sebesar 42,1% (Lestari, 2019). Biji Durian memiliki karakteristik yaitu mengandung holoselulosa 60,5%, selulosa 26,4%. Dan hemiselulosa 13,1% (Lestari, 2017).

2.4 Asam Humat

Asam humat terdiri dari kumpulan bahan organik yang berasal dari hasil dekomposisi tanaman dan hewan. Asam humat merupakan makromolekul dengan struktur kompleks dengan gugus fungsi yang besar, yaitu -COOH, -OH fenolat, -OH alkoholat, enolat dan -C=O. Gugus fungsi tersebut bermanfaat dalam proses pelapisan adsorben padat (Sulistyaningsih, 2021).

Asam humat memiliki komposisi unsur C sebesar 40-80%, N sebesar 2-4%, S sebesar 1-2%, dan P sebesar 0-0,3%. Asam humat mengandung H, C, N, dan S dalam jumlah yang tinggi. Sementara itu, unsur O pada asam humat lebih sedikit dibandingkan dengan asam fulfat (Gaffney dkk., 1996). Asam humat memiliki kemampuan untuk mengikat ion logam maupun senyawa organik. Asam humat memiliki kandungan muatan negatif pada gugusnya yang dapat bereaksi dan berinteraksi dengan ion bermuatan positif (Tan, 2003; Firda dkk., 2016).

Asam humat murni memiliki ikatan hidrogen, ikatan alifatik pada alkana, gugus karboksilat, serta cincin aromatik. Penelitian Maimunawaro dkk (2020), membuktikan pengaplikasian asam humat sebagai adsorben memiliki kapasitas adsorpsi yang efektif terhadap logam berat timbal (Pb), yaitu sebesar 98,8% dan 97,9%.

2.5 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah mikroskop elektron yang menghasilkan gambar spesimen dengan memindainya dengan sinar elektron berenergi tinggi dalam *scan* pola raster. Resolusi elektron mencapai 0,1 – 0,2 nm sehingga SEM ini digunakan untuk melihat struktur mikro spesimen. Cara kerja mikroskop ini adalah dengan elektron yang berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang komposisi, serta topografi permukaan.

Prinsip kerja dari instrumen SEM sebagai berikut:

1. Pistol elektron menghasilkan elektron beam dari filamen dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju permukaan sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai sampel yang diarahkan dengan koil pemindai.
4. Elektron mengenai permukaan sampel dan sampel menghasilkan elektron baru yaitu *Secondary Electron* atau *Back Scattered Electron* yang kemudian diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor CRT.

Penelitian-penelitian adsorpsi menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisis struktur permukaan dan ukuran partikel dari setiap adsorbennya. Analisis komposisi kimia dari permukaan adsorben secara kuantitatif serta kualitatif dilakukan dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) yang terdapat pada alat SEM (Haura dkk., 2017).

2.6 *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah instrumen yang digunakan untuk menganalisis gugus fungsi, campuran dari sampel yang dianalisis tanpa merusak sampel dan mengidentifikasi senyawa, terutama senyawa organik. Spektrum gelombang elektromagnetik pada daerah inframerah memiliki panjang gelombang 14000 cm^{-1} sampai 10^{-1}. Analisis gugus fungsi sampel oleh FTIR dilakukan dengan membandingkan pita absorbsi yang terbentuk pada spektrum inframerah dengan spektrum senyawa pembanding. Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi, sebagai berikut:

1. Inframerah melewati celah menuju sampel, celah ini berfungsi untuk mengontrol jumlah energi yang disampaikan ke sampel.
2. Beberapa inframerah diserap oleh sampel dan beberapa lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel.
3. Sinar inframerah yang mengenai permukaan sampel terdeteksi oleh detektor dan sinyal yang terukur dikirim ke komputer, serta terekam dalam bentuk puncak-puncak.

Metode Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah metode bebas reagen, tidak menggunakan radioaktif, serta dapat mengukur kadar hormon secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif digunakan untuk menentukan konsentrasi analit dalam sampel, sedangkan analisis kualitatif digunakan untuk identifikasi gugus-gugus fungsional dalam senyawa yang dianalisis (Sari dkk., 2018). Dalam penelitian Nurmalasari dkk (2015), FTIR mengidentifikasi gugus fungsi pada adsorben tongkol jagung dan bulu ayam. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan adanya gugus-gugus selulosa yang berarti adsorben tersebut dapat digunakan sebagai adsorben dalam penyerapan ion logam.

2.7 *Atomic Adsorption Spectrophotometry* (AAS)

Atomic Adsorpstion Spectrophotometry (AAS) atau Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah instrumen yang digunakan dalam analisis kimia dengan memanfaatkan prinsip penyerapan energi oleh atom. Instrumen ini

digunakan untuk menganalisis konsentrasi analit dalam suatu sampel. Proses kerja instrumen ini melibatkan eksitasi elektron dalam atom ke tingkat energi yang lebih tinggi dalam waktu yang singkat melalui penyerapan energi berupa radiasi pada panjang gelombang tertentu (Sugito & Setiawan, 2022). AAS digunakan untuk mengidentifikasi kadar logam berat pada sampel. Analisis kuantitatif dilakukan dengan instrumen AAS dengan membandingkan konsentrasi ion logam berat dalam sampel dengan konsentrasi akhir setelah proses adsorpsi dengan adsorben

2.8 Penelitian Terdahulu

Proses studi literatur dilakukan sebagai dasar dalam menyusun penelitian ini. Salah satu studi literatur yaitu menggunakan penelitian terdahulu, pada Tabel 2.1 dapat dilihat penelitian terdahulu terkait pemanfaatan biji durian sebagai adsorben:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Lestari dkk., (2019)	Amobilisasi Biji Durian (*Durio zibethinus*) dalam Ca-Alginat sebagai Biosorben Zat Warna Metilen Biru.	- Kondisi optimum penyerapan metilen biru dengan biosorben biji durian diamobilisasi dengan Ca-alginat pada pH 3, waktu kontak 30 menit, nilai efisiensi 99,62%, massa biosorben 0,5 gram, dan konsentrasi zat warna metilen biru 3 mg/L. - Karakterisasi biosorben biji durian diamobilisasi Ca-alginat dengan instrumen FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi hidroksil, karbonil dan karboksilat.
Hidayat dkk., (2024)	Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Biji Durian Terhadap Penurunan Nilai	- Hasil pengujian karbon aktif biji durian dengan nilai kadar air 4,2%,

	Kadar Air dan Asam Lemak Bebas Pada Minyak Jelantah	kadar abu 7,8%, kadar zat mudah menguap 16,9%, dan kadar karbon 75,3% sudah memenuhi SNI 06-3730-1995.
Lestari (2017)	Studi Kinetika dan Isoterm Adsorbsi Ion-Ion Pb(Ii), Cd(Ii) dan Zn(Ii) Pada Biosorben Biji Durian (Durio Zibethinus) Non Amobilisasi dan Teramobilisasi Dalam Ca-Alginat.	- Karakterisasi FTIR biosorben SBD-amobilisasi dan non amobilisasi menunjukkan adanya gugus fungsi yang berperan dalam proses penyerapan, yaitu gugus hidroksil, karboksil, karbonil - Kondisi pH optimal untuk masing-masing ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi adalah pada pH 4, 5 dan 4, sedangkan pada biosorben SBD-non amobilisasi pada pH 4, 5 dan 5 - Kondisi waktu kontak optimal untuk masing-masing ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi adalah pada 120, 45 dan 75 menit, sedangkan pada biosorben SBD-non amobilisasi pada 75, 45 dan 75 menit. - Kondisi konsentrasi optimal untuk masing-masing ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi diperoleh pada 250 mgL^{-1}, 250

		mgL^{-1}, dan 300 mgL^{-1}, dengan kapasitas serapan maksimum 40,322; 22,423 dan 29,851 mg/g, sedangkan pada biosorben SBD-non amobilisasi pada 200 mgL^{-1}, 250 mgL^{-1}, dan 200 mgL^{-1}, dengan kapasitas serapan maksimum 24,331; 21,413; 23,262 mg/g. - Peningkatan kapasitas serapan diperoleh 39,66% untuk Pb(II), 4,50% untuk Cd(II) dan 22,07% untuk Zn(II)
Ahmad dkk., (2015)	Modified Durian Seed As Adsorbent For The Removal Of Methyl Red Dye From Aqueous Solutions	- Kondisi pH optimum terjadi pada pH 6, dengan tingkat penghilangan zat warna mencapai 92,52%. Adsorpsi lebih efektif pada kondisi asam. - Struktur pori adsorben berkembang baik, dengan luas permukaan BET 980,62 m^2/g, dan volume pori total 0,528 cm^3/g yang meningkatkan proses adsorpsi. - Model isoterm Freundlich sesuai dengan data adsorpsi karena berlangsung secara multilapis di permukaan yang heterogen.

Berdasarkan pada penelitian-penelitian sebelumnya, biji durian telah terbukti memiliki karakteristik sebagai biosorben alami untuk menyerap jenis

kontaminan seperti logam berat dan zat warna. Penelitian Lestari (2017), menunjukkan bahwa biji durian efektif dalam menyerap beberapa ion logam yaitu Pb(II), Cd(II), dan Zn(II) dalam bentuk non-amobilisasi maupun diamobilisasi dalam Ca-alginat. Efektivitas biji durian dalam adsorpsi zat warna metilen biru dan metilen merah mencapai angka 99,62% dan 92,52%, serta didukung dengan karakterisasi gugus fungsi aktif seperti hidroksil dan karboksilat yang teridentifikasi oleh FTIR mendukung proses adsorpsi (Lestari dkk., 2019; Ahmad dkk., 2015). Oleh karena itu, dalam fokus pada efektivitas penyerapan logam Cd di dalam air, penelitian ini melanjutkan dan memperdalam pemanfaatan biji durian sebagai biosorben ramah lingkungan.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

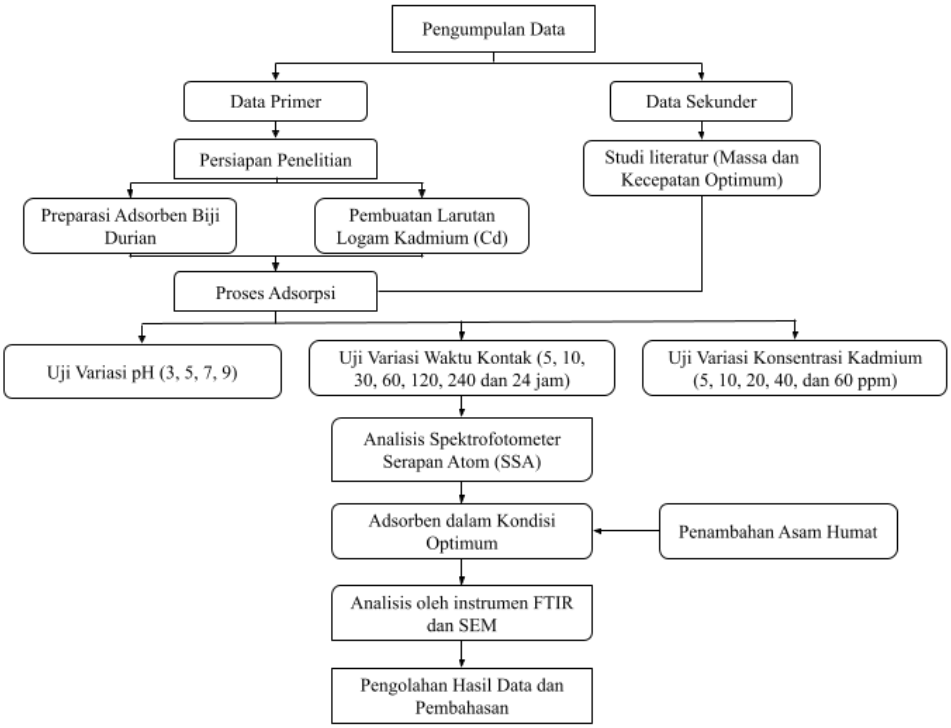
Waktu pelaksanaan kegiatan penelitian ini direncanakan selama 6 bulan, yaitu pada bulan Februari 2025 sampai dengan Juli 2025. Dalam jangka waktu tersebut dilakukan semaksimal mungkin aktivitas kajian literatur, persiapan alat dan bahan, pembuatan adsorben biji durian, uji adsorpsi media limbah cair di laboratorium, pengamatan uji adsorpsi, pencatatan data, analisis data, dan penyusunan laporan akhir penelitian. Kegiatan penelitian ini dilakukan bersentral di Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Metode penelitian ini merupakan eksperimen skala laboratorium pada sampel air buatan yang mengandung logam berat kadmium (Cd).

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu ayakan 50 mesh, batang pengaduk, blender, cawan porselin, corong, desikator, erlenmeyer, furnace, gelas beaker, kertas saring, neraca analitik, pH universal, pipet tetes, pipet ukur, labu ukur, neraca analitik, oven, *shaker*, *Atomic Adsorption Spectrophotometry* (AAS), *Scanning Electron Microscope* (SEM), serta *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Sedangkan bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah aquades, biji durian, larutan asam humat, sampel air yang mengandung logam kadmium (Cd).

3.3 Tahapan Penelitian

Alur tahapan kegiatan penelitian ini ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.4 Persiapan Penelitian

3.4.1 Preparasi Adsorben

Biji durian dari durian lokal berasal dari pedagang yang berada di Yogyakarta. Persiapan adsorben ini diawali dengan pemisahan biji durian dari daging buahnya, kemudian dilakukan pencucian biji durian dengan air bersih. Lalu, biji durian dipotong menjadi kecil-kecil dan dikeringkan dengan cara dijemur dan dioven masing-masing 24 jam. Setelah kering, biji ditumbuk sampai menjadi serbuk dan diayak dengan ayakan 50 mesh. Kemudian dilakukan proses karbonisasi dengan furnace selama 1,5 jam pada suhu 350 °C, dan dibiarkan hingga dingin.

3.4.2 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi dan komponen kimia yang berada dalam adsorben. Pada penelitian ini analisis gugus fungsi adsorben dilakukan dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR),

sedangkan untuk menganalisis komponen kimia penyusun adsorben dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

3.5 Proses Adsorpsi

3.5.1 Variabel pH

Proses pengaruh variasi pH dilakukan dengan memasukkan 20 mL larutan kadmium ke dalam labu erlenmeyer 50 mL. Pengaturan pH dilakukan pada variasi 3, 5, 7, dan 9. Pengaturan tersebut dilakukan dengan menambahkan larutan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Sebanyak 50 mg adsorben dimasukkan ke dalam labu erlenmyer pada setiap variasi pH. Kemudian larutan tersebut diaduk dengan waktu kontak 120 menit dengan kecepatan pengadukan 150 rpm. Setelah selesai pengadukan, larutan disaring untuk memisahkan filtrat menggunakan kertas saring. Konsentrasi Cd yang tersisa di dalam larutan diukur menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

3.5.2 Variabel Waktu Kontak

Proses pengaruh variasi waktu kontak dilakukan dengan memasukkan 100 mL larutan kadmium ke dalam labu erlenmeyer 100 mL. Sebanyak 250 mg adsorben dalam dimasukkan ke dalam labu erlenmyer. Kemudian larutan tersebut diaduk dengan waktu kontak pada variasi 5, 15, 30, 60, 120, 240 dan 24 jam dengan kecepatan pengadukan 150 rpm. Setelah selesai pengadukan pada setiap variasi waktu, larutan disaring untuk memisahkan filtrat menggunakan kertas saring. Konsentrasi Cd yang tersisa di dalam larutan diukur menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

3.5.3 Variabel Konsentrasi Kadmium

Proses pengaruh variasi waktu konsentrasi kadmium dilakukan dengan memasukkan 20 mL larutan kadmium dengan variasi konsentrasi 5, 10, 20, 40, dan 60 ppm ke dalam labu erlenmeyer 50 mL. Kemudian adsorben dengan massa 50 mg dimasukkan ke dalam labu erlenmyer, dan larutan tersebut

diaduk dengan waktu kontak 120 menit dengan kecepatan pengadukan 150 rpm. Setelah selesai pengadukan, larutan disaring untuk memisahkan filtrat menggunakan kertas saring. Konsentrasi Cd yang tersisa di dalam larutan diukur menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

3.5.4 Pengaruh Penambahan Asam Humat

Pada penelitian ini proses adsorpsi dengan adsorben biji durian akan ditambahkan dengan asam humat. Proses penentuan variasi asam humat dilakukan dengan memasukkan 20 mL larutan kadmium dengan konsentrasi 10 ppm ke dalam labu erlenmeyer 50 mL. Kemudian larutan ditambahkan senyawa asam humat dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 20%. Dimasukkan adsorben dengan massa 50 mg. Larutan tersebut diaduk dengan waktu kontak 120 menit dengan kecepatan pengadukan 150 rpm. Setelah selesai pengadukan, larutan disaring untuk memisahkan filtrat menggunakan kertas saring. Larutan yang telah terpisah dari filtrat akan dianalisis menggunakan instrument Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

3.6 Prosedur Analisis Data

3.6.1 Analisis Persentase dan Kapasitas Adsorpsi

Efisiensi adsorpsi ditunjukkan dengan besarnya persen removal. Persen removal merupakan besarnya konsentrasi kadmium yang terserap oleh adsorben biji durian. Kemampuan adsorpsi oleh adsorben biji durian berbanding terbalik dengan banyaknya logam kadmium (Cd) yang dihasilkan pada limbah cair setelah proses adsorpsi. Sehingga untuk penentuan persentase removal dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Penyisihan (\%)} = \frac{Co - Ce}{Co} \times 100$$

Keterangan:

Co = Konsentrasi Cd awal (mg/l)

Ce = Konsentrasi Cd akhir (mg/l)

Kapasitas adsorpsi menunjukkan banyaknya jumlah adsorbat yang dapat diadsorpsi pada setiap gram adsorben (Arif dkk., 2015). Penentuan kapasitas adsorpsi dalam penyerapan logam dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W} x\ V$$

Keterangan:

qe = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

V = Volume sampel (liter)

W = Berat adsorben (gram)

3.6.2 Analisis Isoterm Adsorpsi

Analisis isoterm digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi dan juga dapat memperkirakan daya kapasitas adsorpsi maksimum yang dapat dilakukan oleh adsorben (Ghozali dkk., 2023). Adsorpsi suatu adsorbat dalam keadaan setimbang serta isotermal kerap dinyatakan dengan persamaan empiris Langmuir dan Freundlich sebagai berikut:

a. Model Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir merupakan penyerapan satu lapis terjadi pada permukaan homogen dengan penyerapan yang identik. Persamaan matematis isoterm Langmuir sebagai berikut:

$$\frac{1}{q_e} = \left(\frac{1}{q_{max} k_L}\right) x \left(\frac{1}{C_e}\right) + \frac{1}{q_{max}}$$

Keterangan:

qe (mg/g) = Kapasitas adsorpsi yang diserap pada kesetimbangan

qmax = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

k = Konstanta adsorpsi Langmuir (l/mg)

C = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/l) (Mansoori dkk., 2022)

b. Model Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich merupakan persamaan empiris yang menjelaskan terkait hubungan antara konsentrasi zat terlarut di permukaan adsorben dengan konsentrasi zat terlarut dalam cairan. Persamaan ini tidak memiliki dasar termodinamika untuk adsorbat dalam bentuk gas. Persamaan matematis isoterm Freundlich sebagai berikut:

$$ln\ (q_e) = ln\ (k_F) + \left(\frac{1}{n}\right) In\ (C_e)$$

Keterangan:

K_F & n = Konstanta adsorbat dan adsorben pada suhu tertentu (Mansoori dkk., 2022)

3.6.3 Analisis Kinetika Adsorpsi

Hubungan waktu kontak dalam kemampuannya untuk menurunkan konsentrasi logam berat dapat dievaluasi menggunakan analisis kinetika adsorpsi. Kinetika adsorpsi bertujuan untuk menentukan laju adsorpsi dari adsorben terhadap adsorbat dalam waktu tertentu. Beberapa model kinetika yaitu *Pseudo-first order*, serta *Pseudo-second order*.

a. *Pseudo-first order*

Pseudo-first order merupakan persamaan kinetik berdasarkan kapasitas adsorpsi dari konsentrasi larutan. Lagergren (1898) pertama kali memperkenalkan persamaan laju orde pertama untuk menggambarkan proses kinetika pada adsorpsi fasa padat-cair. Berikut merupakan persamaan laju orde pertama (Afandy & Sawali, 2024):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

Dimana:

q_e = jumlah konsentrasi adsorbat teradsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan (mg/g)

q_t = jumlah konsentrasi adsorbat teradsorpsi per gram adsorben pada saat t (mg/g)

k_1 = konstanta laju orde pertama (min^{-1})

Persamaan tersebut kemudian dilakukan integrasi dengan kondisi batas $q_t = 0$ pada $t = 0$ dan $q_t = t$ pada $t = t$ sehingga menjadi persamaan,

$$\ln \left(\frac{q_e}{q_e - q_t}\right) = k_1 t$$

Kemudian persamaan dapat disederhanakan menjadi,

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

b. *Pseudo-second order*

Model *Pseudo-second order* diperkenalkan oleh Ho (2014) dan dinyatakan dalam persamaan berikut (Afandy & Sawali, 2024):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2$$

Persamaan tersebut kemudian dilakukan integrasi dengan kondisi batas $q_t = 0$ pada $t = 0$ dan $q_t = t$ pada $t = t$ sehingga menjadi persamaan,

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_0 - q_t)^2$$

Kemudian persamaan diubah ke dalam bentuk linear menjadi,

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

Dimana:

k_2 = konstanta laju orde kedua ($g.min^{-1}mg^{-1}$)

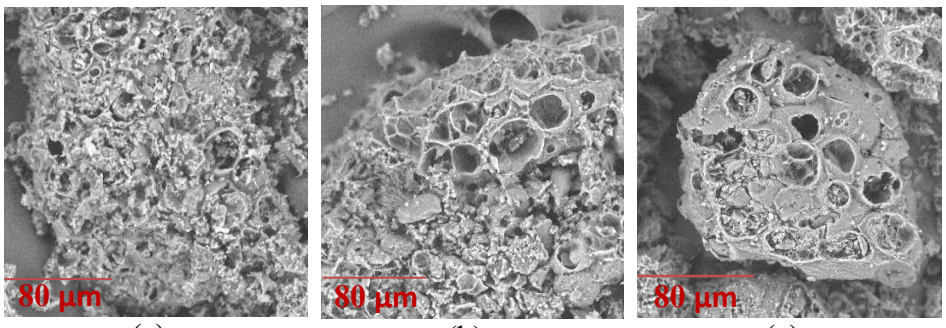
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben biji durian dilakukan dengan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisis bentuk dan struktur permukaan biosorben biji durian. Selain itu, digunakan juga instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk menganalisis gugus fungsi kimia yang terdapat pada permukaan biosorben biji durian.

4.1.1 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Analisis oleh alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan perubahan morfologi permukaan adsorben dari sebelum menyerap logam berat, setelah menyerap logam berat, dan setelah menyerap logam berat dengan penambahan asam humat. Hasil pengujian adsorben biji durian menggunakan SEM dengan perbesaran 1000x ditunjukkan pada Gambar 4.1.



(a) (b) (c)

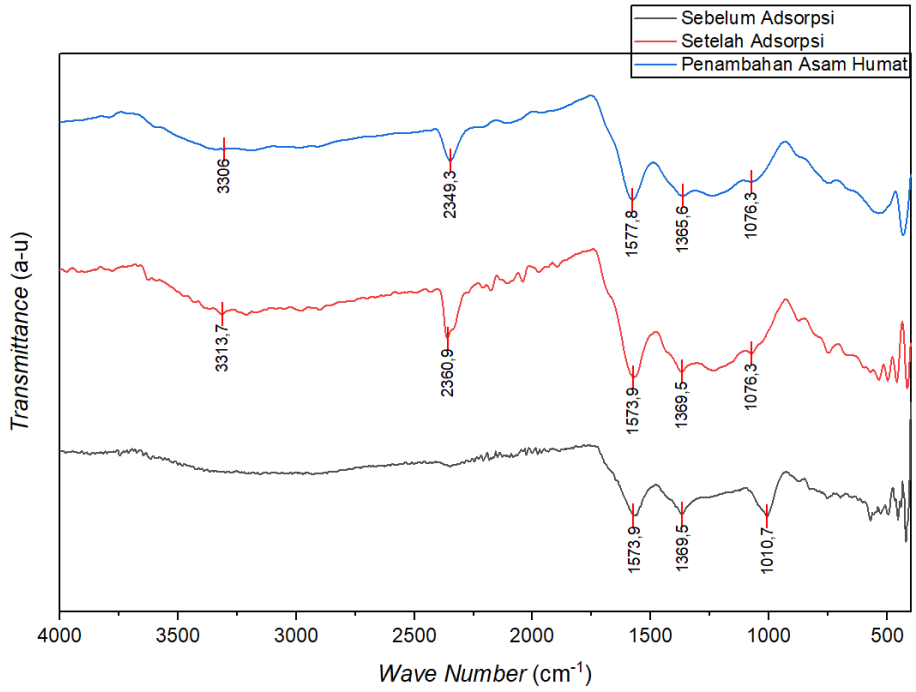
Gambar 4. 1 Hasil SEM Adsorben Biji Durian Sebelum Adsorpsi (a), Setelah Adsorpsi (b), dan Setelah Adsorpsi dengan Penambahan Asam Humat (c)

Hasil analisis SEM terhadap permukaan adsorben biji durian menunjukkan terjadinya perubahan permukaan adsorben sebelum dan setelah proses adsorpsi logam kadmium (Cd). Gambar (a) yang menunjukkan permukaan adsorben sebelum proses adsorpsi tampak permukaan berbentuk granular, tidak beraturan dan terdapat pori yang menunjukkan ketersediaan area aktif untuk penyerapan logam. Kemudian pada Gambar (b) setelah proses adsorpsi logam kadmium (Cd), permukaan adsorben mengalami

perubahan dengan permukaan yang lebih datar, pori-pori terlihat semakin jelas dan terdapat pori-pori telah tertutup serta terlihat beberapa pori lainnya yang terbuka lebar. Dalam penelitian Lestari (2017), menjelaskan bahwa gugus fungsi aktif yang berperan dalam mengikat ion logam berat dengan mekanisme adsorpsi kimia yaitu gugus fungsi hidroksil dan karboksilat. Pada gambar (c), setelah proses adsorpsi dengan penambahan asam humat, permukaan adsorben terlihat semakin datar, padat dan pori-pori terlihat hampir seluruhnya tertutupi.

4.1.2 *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Analisis oleh alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui karakteristik gugus fungsi yang dimiliki adsorben biji durian. Analisis FTIR dilakukan pada adsorben biji durian sebelum adsorpsi, setelah proses adsorpsi, dan setelah adsorpsi dengan penambahan asam humat. Pembacaan FTIR dilakukan dengan melihat puncak spesifik pada spektrum yang terlihat pada grafik. Grafik hasil analisis biosorben biji durian oleh FTIR ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik FTIR Adsorben Biji Durian

Gugus fungsi yang secara umum terlibat dalam proses adsorpsi diantaranya gugus hidroksil, amino, dan karboksil (Lestari dkk., 2022). Gambar 4.2. menunjukkan pada bilangan gelombang 3313,70 cm^{-1} terdapat vibrasi O-H dari gugus fungsi hidroksil yang termasuk pada ikatan hidrogen, gugus ini berperan dalam pembentukan ikatan hidrogen dan ion logam. Ikatan OH dalam gugus asam muncul pada sekitar daerah 2300-3300 cm^{-1}, ikatan tersebut pada rantai dalam filtrat hidrolisis berada di puncak serapan 2349 (Alighiri dkk., 2020). Gugus fungsi C=C yang merupakan senyawa aromatik terlihat pada puncak serapan 1573 cm^{-1}. Puncak serapan 1369,45 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi C-H. Dalam rentang angka gelombang 1023-1154 cm^{-1} ditandai dengan C-O dari alkohol dan asam karboksilat (Lestari, 2017). Nilai puncak serapan 1010,69 cm^{-1} yang ditemukan pada spektrum disebabkan oleh adanya peregangan gugus C-O pada gugus ester, eter, atau fenol dan bending C-H di luar bidang pada turunan benzene, hal ini dibuktikan juga pada penelitian Ahmad (2015).

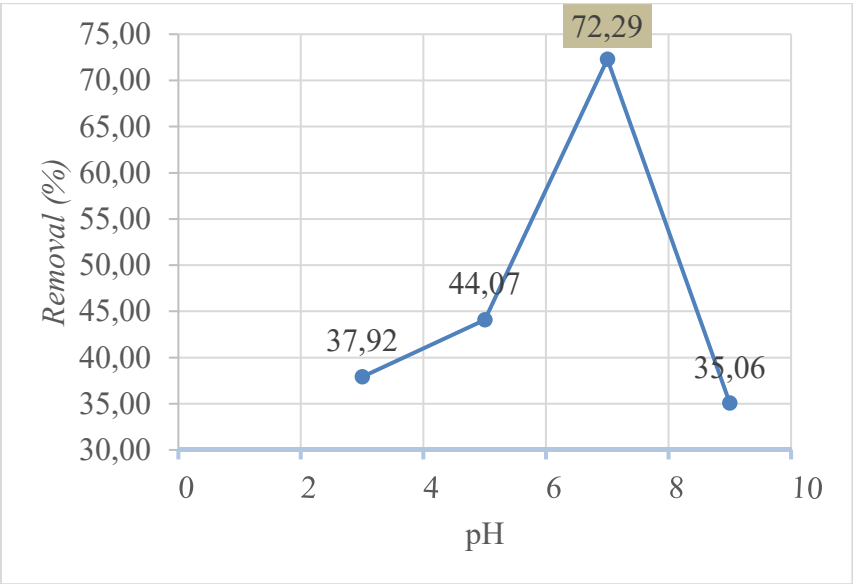
4.2 Hasil Pengujian Adsorpsi

4.2.1 Hasil Uji pH Optimum

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor yang memiliki peran penting dalam proses adsorpsi ion logam berat dalam larutan. Pengujian variasi pH bertujuan untuk mengetahui kondisi pH yang optimum dalam penyerapan logam berat. Pada pengujian ini dilakukan variasi pH 3, 5, 7, dan 9 dengan larutan penyangga yang digunakan untuk mengkondisikan pH yaitu larutan HCl 0,1 M untuk kondisi asam dan NaOH 0,1 M untuk kondisi basa. Selain itu, pada pengujian variasi pH menggunakan konsentrasi larutan Cd 10 ppm, massa adsorben 50 mg, volume 20 mL, dan waktu kontak 120 menit. Hasil uji variasi pH terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.3.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Variasi pH

pH	Efisiensi (%)	Qe (mg/g)
3	37,92	12,28
5	44,07	9,04
7	72,29	14,82
9	35,06	7,19



Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Adsorpsi Variasi pH

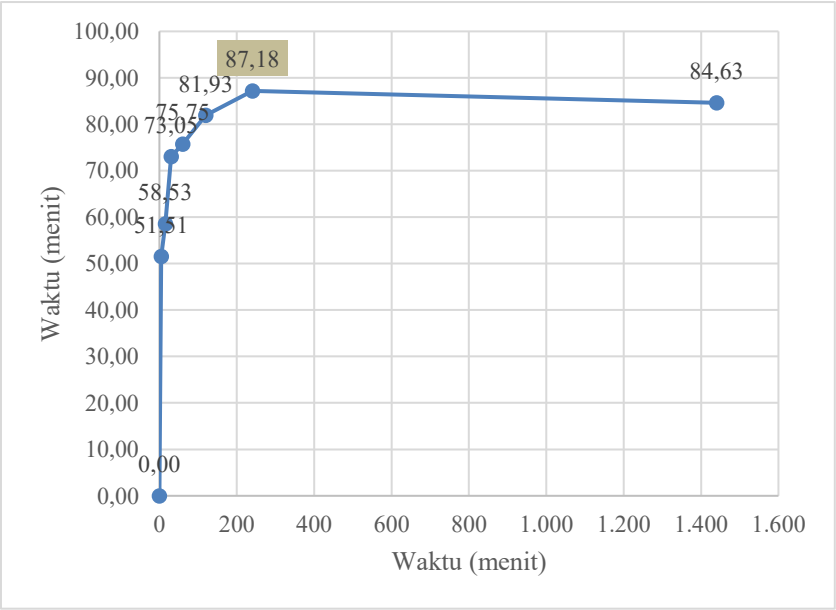
Gambar 4.3. menunjukkan hasil pengujian variasi pH terhadap efisiensi adsorpsi logam berat kadmium (Cd) oleh adsorben biji durian. Pada pH 3, adsorpsi logam terjadi sebesar 37,92% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 12,28 mg/g, kemudian pada pH 5 meningkat menjadi 44,07% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 9,04 mg/g, dan puncak proses adsorpsi terjadi pada pH 7 yaitu sebesar 72,29% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 14,82 mg/g, setelah itu menurun menjadi 35,06% pada pH 9 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 7,19 mg/g. Kecilnya nilai penyerapan ion Cd pada pada pH yang lebih rendah dikarenakan kelompok gugus fungsi bermuatan positif pada permukaan adsorben sehingga ion H^+ akan bersaing dengan ion logam. Hal ini selaras dengan penelitian oleh Wijaya, 2015 yang mengatakan bahwa kecilnya prosentase ion Cd^{2+} yang terserap pada pH asam yaitu pH 4 dan pH 6 disebabkan karena protonasi berlebihan pada permukaan karbon. Hasil

pengujian ini menunjukkan proses adsorpsi mengurangi konsentrasi ion Cd dalam larutan paling banyak pada pH 7, sehingga berdasarkan data tersebut disimpulkan bahwa pH 7 merupakan kondisi optimum untuk adsorpsi ion Cd dengan biosorben biji durian.

Penelitian Lestari (2017), menjelaskan bahwa biji durian memiliki kapasitas adsorpsi Cd maksimal pada kondisi optimum pH 5. Adsorpsi ion Cd^{2+} menggunakan karbon aktif biji trembesi oleh Wijaya 2015, mendokumentasikan bahwa pH 7 merupakan pH optimum dalam penyerapan ion Cd^{2+} oleh karbon aktif biji trembesi.

4.2.2 Hasil Uji Waktu Kontak Optimum

Pengujian waktu kontak optimum bertujuan untuk menentukan durasi waktu optimal yang dibutuhkan adsorben untuk menyerap zat pencemar dalam larutan secara maksimal. Pada pengujian ini dilakukan variasi waktu kontak selama 5, 15, 30, 60, 120, 240 dan 1.440 menit dengan menggunakan konsentrasi larutan Cd 10 ppm, massa adsorben 50 mg, dan volume 20 mL. Hasil pengujian hubungan antara variasi waktu kontak terhadap adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Adsorpsi Variasi Waktu Kontak

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4. hasil yang ditunjukkan adalah efisiensi adsorpsi ion Cd oleh biosorben biji durian mengalami peningkatan yang signifikan pada awal waktu kontak dan mulai mencapai titik kesetimbangannya pada menit ke 240. Dari menit ke 5, 15, 30, 60, hingga 120 terjadi kenaikan efisiensi adsorpsi secara berurutan sebesar 51,51%, 58,53%, 73,05%, 75,75% dan 81,93%. Kemudian pada menit ke 240 efisiensi adsorpsi mencapai puncaknya yaitu sebesar 87,18%. Setelah menit ke 240, pada menit ke 1.440 nilai efisiensi adsorpsi menurun menuju 84,63. Penurunan nilai efisiensi adsorpsi menunjukkan bahwa proses adsorpsi telah mencapai kondisi setimbangnya sehingga jika waktu kontak diperpanjang nilai efisiensi adsorpsi menjadi stabil dan tidak terjadi peningkatan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa waktu kontak optimum terhadap adsorpsi ion Cd oleh biosorben biji durian dalam penelitian ini adalah 240 menit.

Penelitian Lestari (2017), menjelaskan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan untuk ion Cd pada biosorben SBD-non amobilisasi adalah 45 menit, sedangkan untuk biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat adalah 60 menit. Adsorpsi ion Cd^{2+} menggunakan karbon aktif biji trembesi oleh Wijaya 2015, mendokumentasikan bahwa waktu kontak 90 menit merupakan waktu kontak optimum dalam penyerapan ion Cd^{2+} oleh karbon aktif biji trembesi.

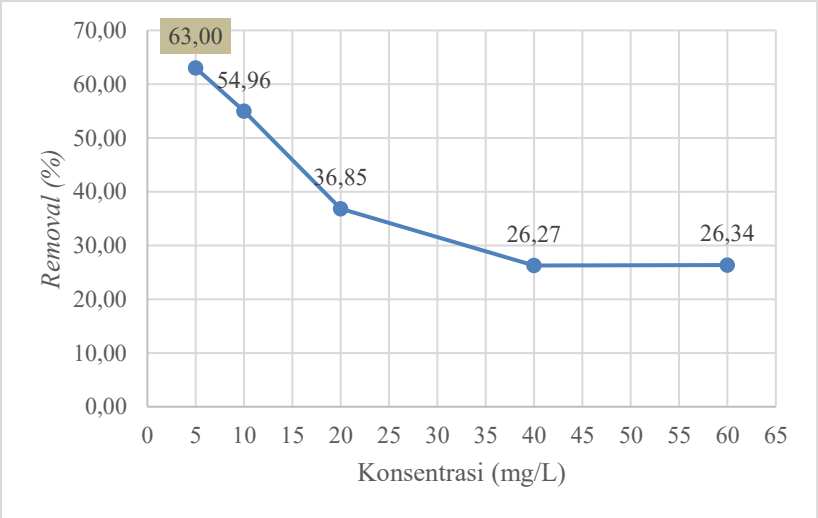
4.2.3 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Optimum

Pengujian variasi konsentrasi bertujuan untuk menentukan kadar konsentrasi kadmium (Cd) optimum yang dapat diserap oleh adsorben. Pada pengujian ini dilakukan variasi konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, dan 60 ppm dengan massa adsorben 50 mg, volume 20 mL, dan waktu kontak 120 menit. Hasil pengujian variasi konsentrasi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

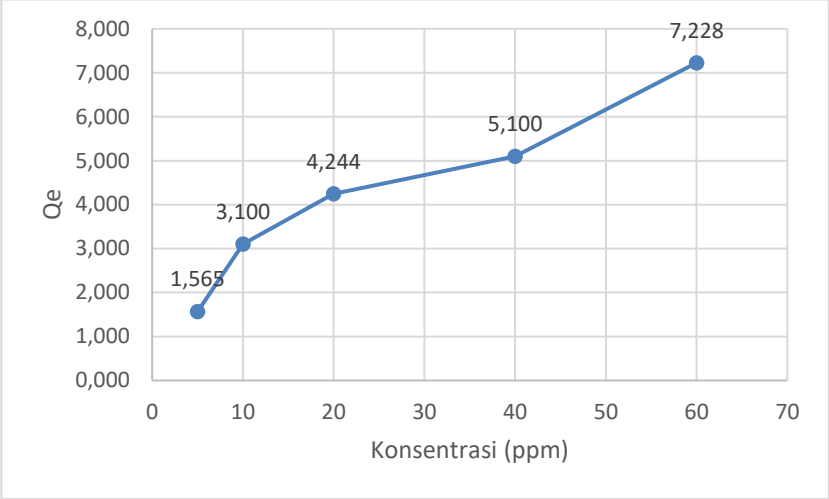
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Variasi Konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Qe
5	6,211	2,298	3,913	63,001	1,565
10	14,100	6,350	7,750	54,965	3,100
20	28,790	18,180	10,610	36,853	4,244
40	48,540	35,790	12,750	26,267	5,100
60	68,590	50,520	18,070	26,345	7,228

Setelah mendapatkan hasil pengujian seperti pada Tabel 4.2, data-data tersebut diplot ke dalam grafik untuk melihat hubungan antara variasi konsentrasi terhadap efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Konsetrasi dan Efisiensi Penyisihan



Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Konsentrasi dan Kapasitas Adsorpsi

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5. hasil yang ditunjukkan adalah efisiensi adsorpsi ion Cd oleh biosorben biji durian mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi logam. Pada konsentrasi 5 ppm, efisiensi adsorpsi mencapai puncaknya yaitu 63,00%, kemudian menurun pada pada konsentrasi 10 ppm, 20 ppm menjadi 54,96% dan 36,85%. Kemudian turun dan menjadi stabil pada konsentrasi 40 ppm dan 60 ppm menjadi sebesar 26,27% dan 26,34%. Penurunan efisiensi adsorpsi dikarenakan kondisi adsorben telah mencapai batas dalam menyerap ion kadmium (Cd). Peningkatan konsentrasi Cd dalam larutan menambah jumlah ion yang bersaing untuk berikatan dengan gugus fungsi aktif pada permukaan adsorben, sehingga menyebabkan beberapa ion tidak dapat teradsorpsi kembali. Pada konsentrasi yang semakin bertambah maka konsentrasi adsorbat yang terserap akan meningkat, berbanding terbalik dengan efisiensi adsorpsi. Peningkatan kapasitas adsorpsi merupakan hasil dari peningkatan gaya dorong (*driving force*), yaitu gradien konsentrasi (Rakesh dkk., 2010). Menurut Rakesh dkk (2010), pada konsentrasi yang lebih rendah, semua ion Cd dapat berinteraksi dengan situs aktif sehingga persentase penurunan adsorpsi semakin tinggi. Sedangkan pada konsentrasi yang tinggi, tidak semua ion Cd berinteraksi dengan situs aktif karena daya tampung yang terbatas sehingga terjadi kejenuhan situs aktif dan penurunan daya adsorpsi.

Pada pengujian ini, konsentrasi optimum dalam adsorpsi ion logam Cd oleh biosorben biji durian adalah 5 ppm dengan efisiensi penyisihan sebesar 63%.

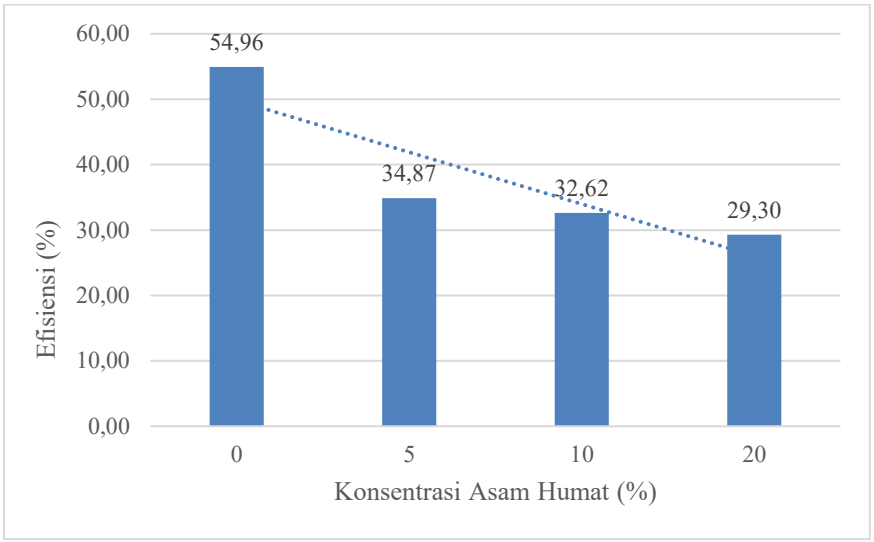
4.2.4 Hasil Uji Variasi Penambahan Asam Humat

Pengujian variasi asam humat bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kadar asam humat sebagai adsorben yang optimum dalam proses adsorpsi ion kadmium (Cd). Pada pengujian ini dilakukan variasi asam humat pada 5%, 10%, dan 20% dari larutan asam humat 99% dengan massa adsorben 50 mg, volume 20 mL, dan waktu kontak 120 menit. Hasil pengujian hubungan antara variasi konsentrasi terhadap adsorpsi ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Variasi Asam Humat

Kons. Asam Humat (%)	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi (%)	Qe (mg/g)
5	12,56	8,18	4,38	34,87	1,75
10	14,04	9,46	4,58	32,62	1,83
20	13,72	9,7	4,02	29,30	1,61

Tabel 4.1. menunjukkan kapasitas adsorpsi pada konsentrasi asam humat 5%, 10%, dan 20% secara berurutan adalah 1,75 mg/g 1,83 mg/g dan 1,61 mg/g. Grafik hubungan konsentrasi asam humat terhadap efisiensi adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 7 Grafik Pengujian Adsorpsi Variasi Asam Humat

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6. hasil yang ditunjukkan adalah efisiensi adsorpsi ion Cd oleh biosorben biji durian mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya penambahan konsentrasi asam humat. Berdasarkan grafik tersebut, kondisi paling optimum berada pada penambahan asam humat dengan konsentrasi 5% yang mencapai nilai efisiensi sebesar 34,87%. Pada konsentrasi asam humat 10% dan 20% efisiensi menurun menjadi 32,62% dan 29,30%. Penurunan efisiensi asam humat pada konsentrasi yang lebih tinggi dapat disebabkan karena molekul asam humat yang membentuk kompleks terlarut dengan ion Cd sehingga tidak ada lagi ion Cd yang dapat berikatan dengan permukaan biosorben. Kecilnya logam yang teradsorpsi disebabkan karena mekanisme pengikatan ion logam pada asam humat bersifat kompleks akibat banyaknya jenis gugus fungsi asam humat yang dapat berikatan dengan ion logam dan terdapat reaktivitas yang berbeda sehingga ikatan ion logam dapat dibentuk melalui interaksi fisika maupun kimia (Jin dkk., 1996; Lasmi, 2016).

4.3 Hasil Analisis Data

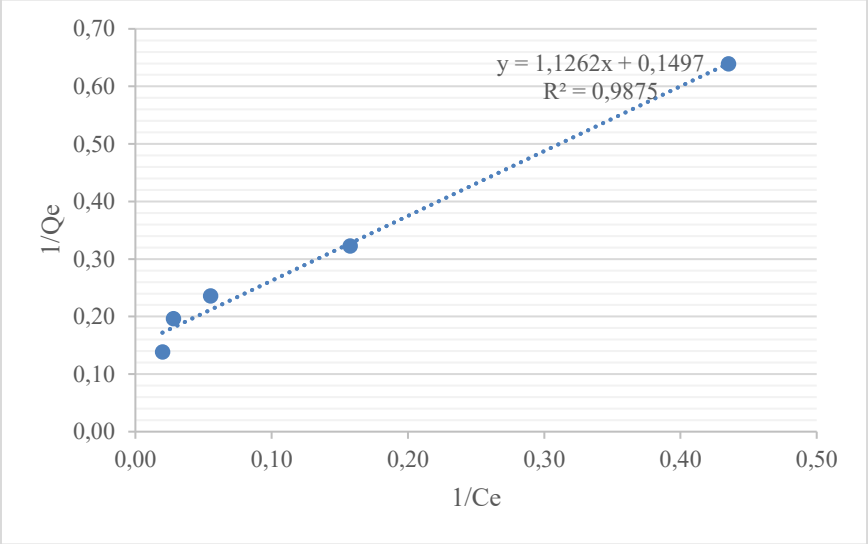
4.3.1 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Penentuan model isoterm adsorpsi bertujuan untuk menentukan karakteristik dan kemampuan biosorben biji durian dalam mengadsorpsi ion Cd. Dalam penelitian ini, analisis isoterm yang digunakan adalah model isoterm Langmuir dan Freundlich. Penentuan model isoterm yang sesuai dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien determinasi (R^2) dari kedua model tersebut. Nilai R^2 menunjukkan kesesuaian model dengan data yang kita miliki, yaitu semakin mendekati 1 berarti model semakin sesuai. Perhitungan nilai adsorpsi dengan model Langmuir ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 4 Perhitungan Model Isoterm Langmuir

Konsentrasi Awal (Co) (mg/L)	Konsentrasi Akhir (Ca) (mg/L)	Efisiensi (%)	Langmuir		
			Qe (mg/g)	1/qe	1/ce
6,211	2,298	63,001	1,565	0,639	0,435
14,100	6,350	54,965	3,100	0,323	0,157
28,790	18,180	36,853	4,244	0,236	0,055
48,540	35,790	26,267	5,100	0,196	0,028
68,590	50,520	26,345	7,228	0,138	0,020

Setelah mendapatkan nilai 1/qe dan 1/ce, data tersebut kemudian diplot ke dalam grafik untuk mendapatkan persamaan isoterm Langmuir. Grafik model isoterm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 4.7.



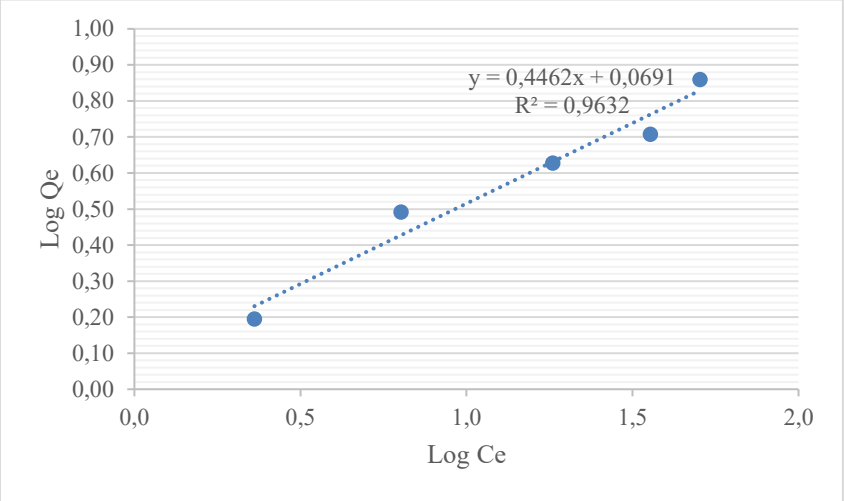
Gambar 4. 8 Grafik Model Isoterm Langmuir

Dari grafik pada Gambar 4.7. ditunjukkan nilai slope sebesar 1,1262 dan nilai intercept sebesar 0,1497. Dari nilai intercept kita mendapatkan nilai kapasitas maksimum (Q_{max}) yaitu sebesar 6,68 yang merupakan nilai representasi zat yang dapat teradsorpsi. Dalam model isoterm Langmuir didapatkan nilai R^2 sebesar 0,9875 yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi sesuai dengan model isoterm Langmuir. Untuk membandingkan isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich pada Tabel 4.3. ditunjukkan perhitungan nilai adsorpsi dengan model isoterm Freundlich.

Tabel 4. 5 Perhitungan Model Isoterm Freundlich

Konsentrasi Awal (Co)	Konsentrasi Akhir (Ca)	Penyisihan (%)	Freundlich		
			Qe (mg/g)	Log Qe	Log Ce
6,21	2,30	63,00	1,57	0,19	0,4
14,10	6,35	54,96	3,10	0,49	0,8
28,79	18,18	36,85	4,24	0,63	1,3
48,54	35,79	26,27	5,10	0,71	1,6
68,59	50,52	26,34	7,23	0,86	1,7

Setelah mendapatkan nilai log Qe dan log Ce, data tersebut kemudian diplot ke dalam grafik untuk mendapatkan persamaan isoterm Freundlich. Grafik model isoterm Freundlich ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 9 Grafik Model Isoterm Freundlich

Dari grafik pada Gambar 4.8. ditunjukkan nilai slope sebesar 0,4462 dan nilai intercept sebesar 0,0691. Dari nilai slope kita mendapatkan nilai konstanta (n) yaitu sebesar 2,24 yang menggambarkan kapasitas adsorpsi dan dari nilai intercept didapatkan nilai konstanta (Kf) sebesar 1,17 yang mewakili intensitas adsorpsi. Dalam model isoterm Freundlich didapatkan nilai R^2 sebesar 0,9632.

Berdasarkan data di atas, nilai R^2 oleh model isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich memiliki nilai yang mendekati angka 1 yaitu 0,9875 dan 0,9632. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa proses adsorpsi ion logam Cd dengan biosorben biji durian sesuai dengan model isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Model isoterm Langmuir menghipotesiskan bahwa proses adsorpsi terjadi secara monolayer dimana ion Cd berikatan pada satu lapis permukaan biosorben dengan situs adsorpsi yang identik. Model isotherm Freundlich adalah persamaan empiris yang berdasarkan pada adsorbsi pada permukaan multilayer (heterogen). Isoterm Freundlich dapat diaplikasikan untuk multilayer adsorbsi. Adsorben biji durian memiliki gugus fungsional yang beragam, sehingga adsorpsi cocok dengan isoterm Freundlich, namun tetap ada kapasitas maksimum atau titik jenuh pada adsorben sehingga cocok dengan isoterm Langmuir. Hasil

pengujian dikuatkan kembali dengan hasil penelitian terdahulu pada Tabel 4.6.

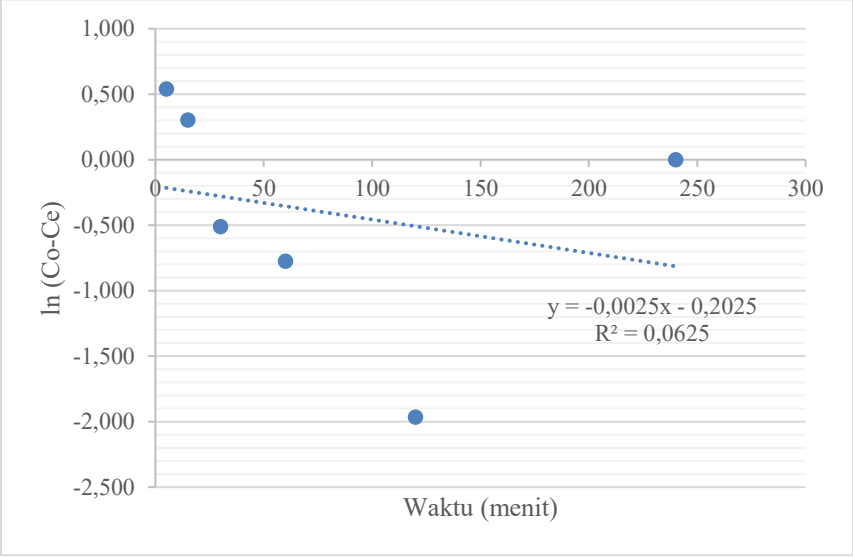
Tabel 4. 6 Perbandingan Model Isoterm dengan Penelitian Terdahulu

Adsorben	Adsorbat	Indikator Isoterm	Nilai	Referensi
Biji Durian	Cd	Isoterm Langmuir (Qm & R^2)	Qm = 6,68 mg/g R^2 = 0,9875	Data Primer, 2025
		Isoterm Freundlich (Kf & R^2)	Kf = 1,172 mg/g R^2 = 0,9632	
Biji Durian	Cd	Isoterm Langmuir (Qm & R^2)	Qm = 21,41 mg/g R^2 = 0,955	Lestari, 2017
		Isoterm Freundlich (Kf & R^2)	Kf = 0,483 mg/g R^2 = 0,930	

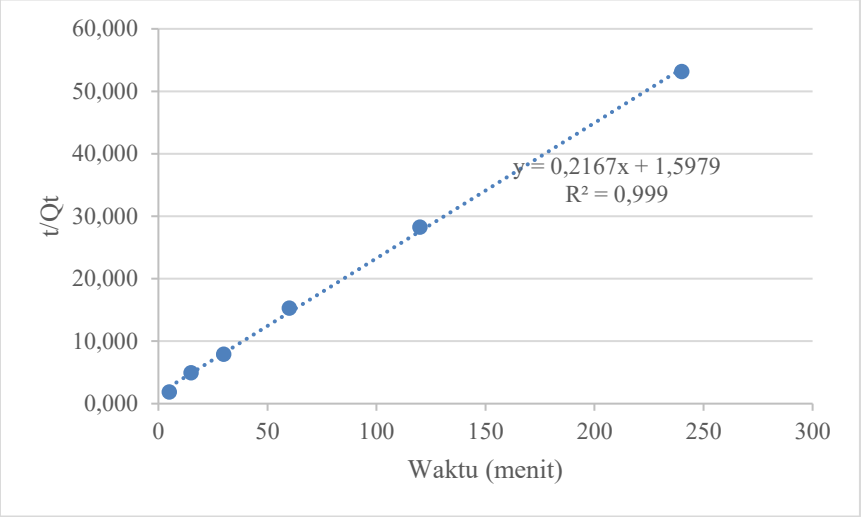
Berdasarkan Tabel 4.6, nilai r^2 dari data primer dan penelitian Lestari, 2017 menunjukkan nilai yang mendekati angka 1 baik pada model isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich, yang berarti kedua model tersebut sesuai dengan model adsorpsi oleh adsorben biji durian. Selain itu, berdasarkan kapasitas maksimum pada isoterm Langmuir, penelitian Lestari (2017), menunjukkan nilai yang lebih besar yaitu 21,41 mg/g dibandingkan dengan data primer yaitu sebesar 6,68 mg/g. Hal tersebut dikarenakan pada penelitian Lestari (2017), serbuk biomassa biji durian di *treatment* dengan HNO_3 0,01M kemudian di *shaker* selama 2 jam dengan kecepatan 100 rpm. Sedangkan pada penelitian ini, Serbuk biji durian digunakan secara langsung setelah proses karbonisasi.

4.3.2 Kinetika Adsorpsi

Analisis kinetika adsorpsi dilakukan dengan tujuan untuk menentukan tingkat kecepatan kemampuan biosorben biji durian dalam mengadsorpsi ion kadmium (Cd) yang dipengaruhi oleh waktu berdasarkan laju adsorpsi dan orde reaksi. Dalam penelitian ini, analisis kinetika adsorpsi yang digunakan adalah model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Penentuan model kinetika adsorpsi yang sesuai dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan jumlah adsorbat yang terserap pada biosorben (Qe) dari kedua model tersebut. Pada penentuan orde reaksi ditentukan dengan pengaruh waktu yaitu dengan variasi waktu 5, 10, 30, 60, 120, dan 240 menit, dengan menggunakan konsentrasi larutan Cd 10 ppm, massa adsorben 50 mg, dan volume 20 mL. Grafik model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua ditunjukkan pada Gambar 4.9. dan Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Grafik Kinetika Pseudo Orde Satu



Gambar 4. 11 Grafik Kinetika Pseudo Orde Dua

Berdasarkan grafik model kinetika adsorpsi pada Gambar 4.9. dan Gambar 4.10. didapatkan persamaan regresi linier yang menunjukkan nilai slope sebesar -0,0025 pada *pseudo* orde satu dan 0,2167 pada *pseudo* orde dua. Selain itu, nilai intercept menunjukkan angka -0,2025 pada *pseudo* orde satu dan 1,5979 *pseudo* orde dua. Dengan data-data tersebut dapat dihitung nilai Qe dan nilai K. Perhitungan nilai Qe dan nilai K model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 7 Perhitungan Qe dan K pseudo orde satu dan dua

Pseudo Orde 1			Pseudo Orde 2		
K1 (min-1)	Qe (mg/g)	R^2	K2 (g/mg.m)	Qe (mg/g)	R^2
0,0025	0,817	0,0625	0,0294	4,615	0,9990

Berdasarkan perhitungan nilai Qe dan nilai K pada Tabel 4.4., dapat disimpulkan bahwa model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi ion Cd oleh biosorben biji durian adalah model *pseudo* orde dua dengan nilai R^2 sebesar 0,999 yang mendekati 1 dan nilai Qe sebesar 4,615 mg/g. Kinetika adsorpsi model *pseudo* orde dua digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi yang memerlukan waktu lebih lama untuk mengisi seluruh

permukaan adsorben. Model ini mengasumsikan bahwa laju adsorpsi dipengaruhi oleh interaksi antara area adsorpsi di permukaan adsorben dengan adsorben selama proses adsorpsi berlangsung.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan mengenai efektivitas biosorben biji durian dalam menyerap logam kadmium (Cd) dalam air, dapat disimpulkan bahwa:

1. Adsorben alami biji durian efisien dalam mengadsorpsi logam kadmium (Cd) dalam air, dan dapat memiliki tingkat persentase removal hingga 87,18% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 4,51 mg/g.
2. Variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam Cd memiliki pengaruh yang signifikan dalam proses adsorpsi logam Cd. Dalam penelitian ini kondisi optimum untuk mengadsorpsi logam Cd berada pada kondisi pH 7, konsentrasi logam Cd rendah yaitu 5 ppm, dan waktu kontak 240 menit.
3. Penambahan asam humat memiliki pengaruh dalam penurunan efisiensi adsorpsi logam Cd oleh adsorben biji durian. Pada konsentrasi logam Cd 10 ppm tanpa penambahan asam humat efisiensi adsorpsi mencapai 54,96%. Namun, setelah penambahan asam humat dengan kapasitas 5%, 10%, dan 20% efisiensi adsorpsi menurun menjadi 34,87%, 32,62%, dan 29,30%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat penulis berikan adalah:

1. Penelitian penggunaan biji durian sebagai adsorben logam berat Cd perlu dilakukan lebih lanjut karena masih sangat jarang dilakukan, dengan metode aktivasi atau modifikasi untuk mengoptimalkan efektivitas.
2. Melakukan optimisasi lanjutan tentang penggunaan asam humat sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd) dengan menggunakan

asam humat alami atau standar laboratorium dan mengkondisikan variasi pH larutan logam berat serta variasi konsentrasi asam humat.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, A. (2021). Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen dan Air di Sungai Jeneberang Kota Makassar. Window of Public Health Journal, 2(5), 844-851.

Ahmad, M. A., Ahmad, N., & Bello, O. S. (2015). Modified durian seed as adsorbent for the removal of methyl red dye from aqueous solutions. *Applied Water Science*, *5*(4), 407-423.

Afandy, M. A., & Sawali, F. D. I. (2024). Adsorpsi Kromium Heksavalen Pada Larutan Aqueous Menggunakan Arang Kayu Teraktivasi Asam: Studi Isotherm Dan Kinetika. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 8(1), 1-14.

Alighiri, D., Dwijananti, P., Widodo, R. D., & Putri, S. (2020). Bioethanol synthesis from durian seeds using Saccharomyces cerevisiae in aerobic fermenter and bioethanol enrichment by batch vacuum distillation. *J Bahan Alam Terbarukan*, *9*(1), 36-46.

Alisa, C. A. G., & Faizal, I. (2020). Kandungan timbal dan kadmium pada air dan sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. Akuatika Indonesia, 5(1), 21-26.

Arif, A. R., Saleh, A., & Saokani, J. (2015). Adsorpsi karbon aktif dari tempurung kluwak (Pangium edule) terhadap penurunan fenol. Al-Kimia, 3(1), 34-47.

Gaffney, J.S., Marley, N.A., and Clarck, S.B. (1996). Humic and Fulvic Acids : Isolation, Structure and Environmental Rol. American Chemical Society. Washington, DC.

Ghozali, A. A., Sohra, L. A., & Eviane, D. (2023). Efektivitas dan Model Isoterm Adsorpsi Fe dan Mn Oleh Mata Lele (Lemna Minor). Jurnal Rekayasa Lingkungan, 23(2), 11-21.

Haryanti, E., & Tri Martuti, N. (2020). Analisis Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Daging Ikan Kakap Merah (Lutjanus sp.) Di TPI Kluwut Brebes. Life Science, 9(2), 149-160.

Haura, U., Razi, F., & Meilina, H. (2017). Karakterisasi adsorben dari kulit manggis dan kinerjanya pada adsorpsi logam Pb (II) dan Cr (VI)-(adsorbent characterization from mangosteen peel and its adsorption performance on Pb (II) and Cr (VI)). Biopropal Industri, 8(1), 47-54.

Indah, D. R., & Safnowandi, S. (2020). Karakterisasi Karbon Baggase Teraktivasi dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Logam Tembaga. Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia, 7(2), 46-54.

Istarani, F., & Pandebesie, E. S. (2014). Studi Dampak Arsen (as) Dan Kadmium (Cd) Terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan. Jurnal Teknik ITS, vol. 3, no. 1.

Komala, R., Dewi, D. S., & Pandiyah, N. (2021). Proses Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Kacang Tanah Terhadap Penurunan Kadar Cod dan Bod Limbah Cair Industri Tahu. Jurnal Redoks, 6(2), 139–148.

Lasmi, L. Competitive Adsorption Study Of Ag (I) And Cr (Iii) On Humic Acid. *Orbital: Jurnal Ilmu dan Terapan Kimia*, *1*(2).

Larasati, A. I., Susanawati, L. D., & Suharto, B. (2016). Efektivitas adsorpsi logam berat pada air lindi menggunakan media karbon aktif, zeolit, dan silika gel di TPA Tlekung, Batu. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan, 2(1), 44-48.

Lestari, I. (2017). Studi Kinetika dan Isoterm Adorbsi Ion-Ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada Biosorben Biji Durian (Durio zibethinus) Non Amobilisasi dan Teramobilisasi Dalam Ca- Alginat. Disertasi. Universitas Andalas.

Lestari, I. (2019). Amobilisasi Biji Durian (Durio zibethinus) dalam Ca-Alginat sebagai biosorben zat warna Metilen Biru. Chempublish Journal, 4(1), 19-29.

Lestari, I., Putri, S. D. E. P., Rahayu, M. A., & Gusti, D. R. (2022). The Adsorption of Mercury from Aqueous Solution on Durian (Durio zibethinus) Seed Immobilized Alginate. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, *23*(01), 30-41.

Mahmudiono, T., Bokov, D., Widjaja, G., Konstantinov, I. S., Setiyawan, K., Abdelbasset, W. K., ... & Bansal, K. (2022). Removal of heavy metals

using food industry waste as a cheap adsorbent. Food Science and Technology, 42, e111721.

Maimunawaro, M., Rahman, S. K., & Irawan, C. (2020). Pemanfaatan Asam Humat Dari Sampah Organik Sebagai Adsorben Pada Limbah Cair Sintesis Timbal (Pb). Jurnal Teknik Kimia Indonesia, 19(1), 26-32.

Mansoori, S. A. A., Reza, Z., Mohammad, H., Mohammad, M. S., Abolfazl, J., Sadegh, S., & Akbar, E. (2022). HSS anions reduction combined with the analytical test of aqueous MDEA in South Pars gas complex. *Natural Gas Industry B*, *9*(3), 318-324.

Nurmalasari, D., Hastuti, R., & Widodo, D. S. (2015). Pengaruh Penambahan Polivinil Alkohol Pada Biomassa Tongkol Jagung-Bulu Ayam Sebagai Adsorben Campuran Ion Logam Tembaga Dan Kromium. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, 18(1), 18-23.

Pratiwi, N., Hanafiah, D. S., & Siregar, L. A. M. (2018). Identifikasi Karakter Morfologis Durian (Durio Zibethinus Murr) Di Kecamatan Tigalingga Dan Pegagan Hilir Kabupaten Dairi Sumatera Utara: Identification Of Morphological Characteristic Of Durian (Durio Zibethinusmurr.) In Tigalingga And Pegagan Hilir Districtsdairi Regency North Sumatra. Jurnal Agroteknologi, 6(2), 200-208.

Rakesh, N., Kalpana, P., Rao, L. N., Naidu, T. V. R., & Rao, M. V. (2010). Removal of zinc ions from aqueous solution by Ficus Benghalensis L.: equilibrium and kinetic studies. *International Journal of Engineering Studies*, *2*(1), 15-28.

Rumahlatu, D., Corebima, A.D., Amin, M., Rachman, F. (2012). Kadmium dan Efeknya terhadap Ekspresi Protein Metallothionein pada Deadema Setosum (Echinoidea; Echinodermata). Journal of Fisheries and Marine Research, vol. 1, no. 1, pp. 26-35.

Safitri, D., Putra, Z.E.F.F., & Marini, A. (2020). Ekolabel Dan Pendidikan Lingkungan Hidup. PT Pustaka Mandiri.

Sari, N. W., Fajri, M. Y., & Wilapangga, A. (2018). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi Dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (MUSA

ACUMINATE (L)). Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity, 2(1).

Setyawan, A. C. (2024). Analisis Cemaran Logam Berat (Hg, Pb, Cd, As) Pada Ikan Asap Tongkol (Euthynnus Affinis) Berdasarkan Bahan Bakar Pengasap. Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran (JRPP), 7(4), 16181-16186.

Sugito, S., & Setiawan, A. K. R. (2022). Uji Performa AAS Thermo Ice 3000 Terhadap Logam Cu Menggunakan CRM 500 dan CRM 697 Di UPT Laboratorium Terpadu UNS. Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan, 4(1), 1-6.

Sulistyaningsih, T. (2021). Modifikasi Magnetit Menggunakan Asam Humat Guna Meningkatkan Kemampuan Adsorpsi Terhadap Zat Warna Malachite Green. Inovasi Sains Dan Kesehatan, 1-1.

Tarigan, Z. and Edward, Edward. (2023). Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni Dalam Air Laut dan Sedimen Di Muara Sungai Membramo, Papua Dalam Kaitannya Dengan Kepentingan Budidaya Perikanan. Makara Journal of Science: Vol. 7: Iss. 3, Article 4.

Wijaya, V. C., & Ulfin, I. (2015). Adsorpsi Ion Cd2+ Dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Trembesi (Samanea Saman): Optimasi Ph dan Waktu Kontak. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, *4*(2).

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan

1. Preparasi Larutan Induk Cd 1 L
   - Mr $Cd(NO_3)_2$ = 308,47 g/mol
   - Ar Cd = 112,41 g/mol

$$\frac{\text{Mr } Cd(NO_3)_2}{\text{Ar Cd}} = \frac{308{,}47 \text{ g/mol}}{112{,}41 \text{ g/mol}} \; x \; 300 \; mL$$

Massa = 2,7441 x 300

= 823,24 mg

= 0,8232 g

Jadi, 0,82 gram $Cd(NO_3)_2$ dilarutkan dalam 100 ml aquades untuk menjadi larutan induk Cd 500 mg/L.

2. Pembuatan Larutan Standar 100 ppm

   500 ppm → 100 ppm

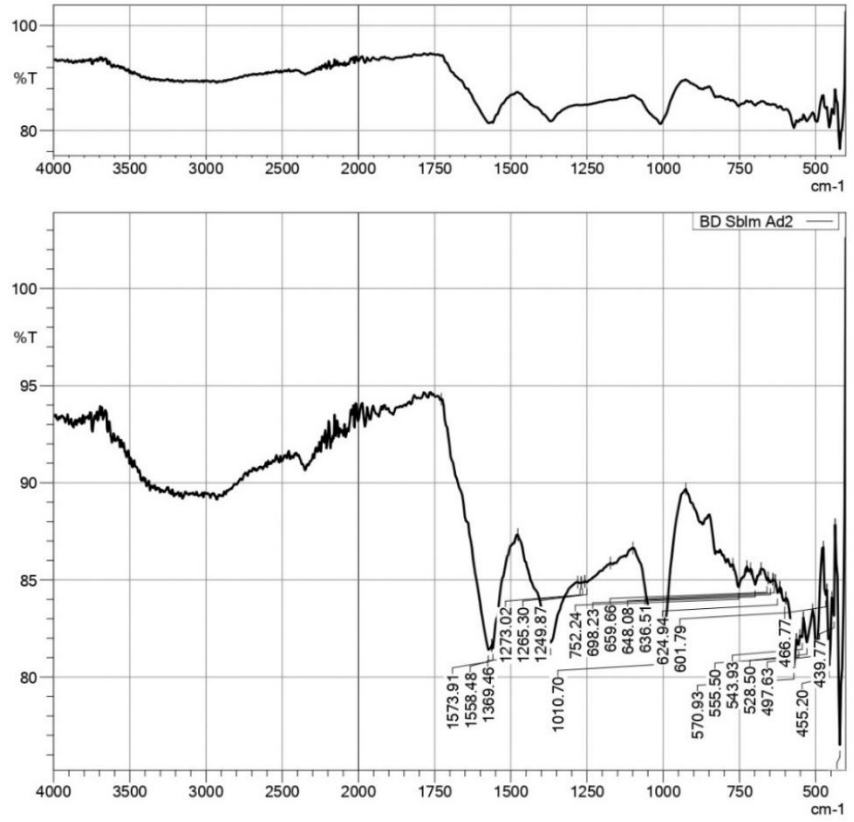
   $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

   500 ppm x V_1 = 100 ppm x 250 mL

   V_1 = 250 mL

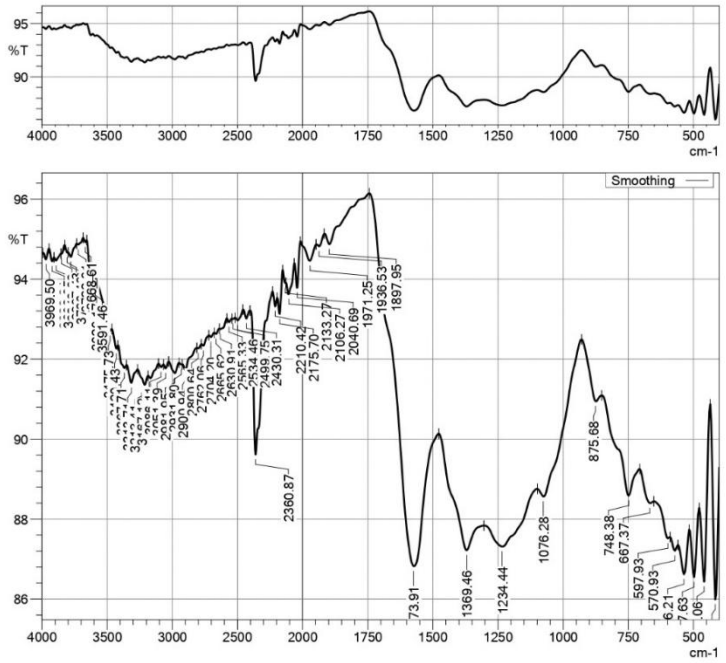
Lampiran 2 Data Karakteristik FTIR

1. Adsorben Biji Durian Sebelum Adsorpsi



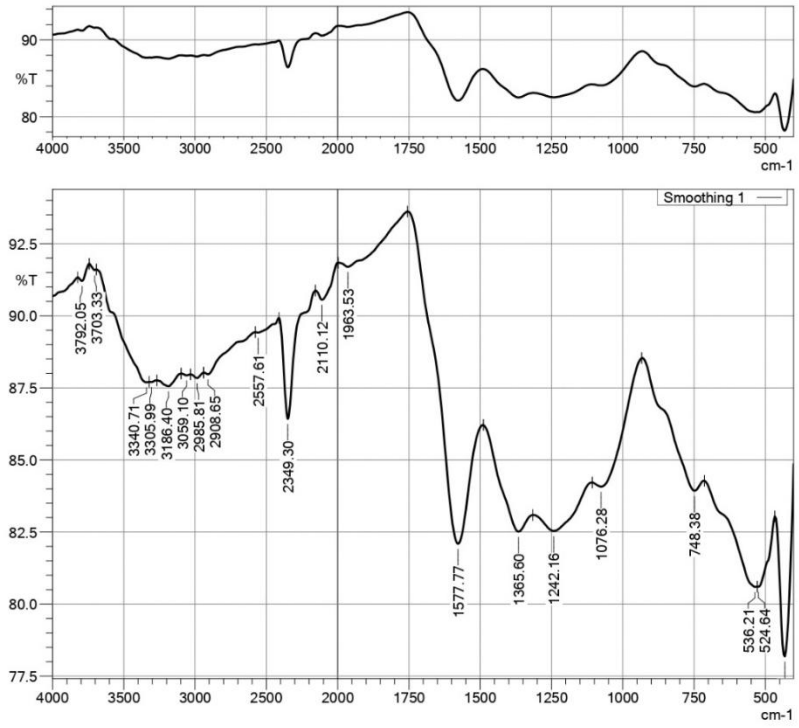
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	420.48	76.51	17.89	435.91	401.19	559.940	393.893	
2	439.77	83.16	3.43	447.49	435.91	181.899	19.400	
3	455.20	80.61	3.67	462.92	447.49	274.181	31.643	
4	466.77	84.23	0.99	474.49	462.92	176.118	9.279	
5	497.63	81.72	2.81	509.21	474.49	565.600	47.255	
6	528.50	81.79	1.41	540.07	509.21	538.977	22.180	
7	543.93	82.06	0.69	551.64	540.07	205.486	4.051	
8	555.50	81.66	0.41	563.21	551.64	210.592	2.654	
9	570.93	80.52	1.89	597.93	563.21	610.088	19.798	
10	601.79	83.93	0.25	617.22	597.93	305.189	3.228	
11	624.94	84.34	0.45	632.65	617.22	238.157	3.498	
12	636.51	84.95	0.04	640.37	632.65	115.936	0.166	
13	648.08	84.86	0.20	655.80	640.37	232.072	1.611	
14	659.66	84.98	0.20	678.94	655.80	339.304	-0.034	
15	698.23	84.76	0.82	713.66	678.94	513.748	13.043	
16	752.24	84.64	1.11	771.53	725.23	685.837	25.780	
17	1010.70	81.27	6.92	1099.43	925.83	2576.393	521.268	
18	1249.87	84.88	0.13	1257.59	1172.72	1244.738	5.241	
19	1265.30	84.86	0.02	1269.16	1257.59	175.017	0.140	
20	1273.02	84.84	0.02	1280.73	1269.16	175.269	0.185	
21	1369.46	81.78	4.21	1477.47	1280.73	3099.398	366.242	
22	1558.48	81.49	0.41	1562.34	1477.47	1263.573	-53.340	
23	1573.91	81.41	1.11	1728.22	1562.34	2047.634	51.703	

2. Adsorben Biji Durian Setelah Adsorpsi



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	416.62	85.99	4.00	435.91	401.19	417.973	73.476	
2	459.06	86.44	3.02	478.35	435.91	503.402	60.976	
3	497.63	86.55	1.46	516.92	478.35	490.051	27.413	
4	536.21	86.62	0.94	559.36	516.92	549.575	21.056	
5	570.93	87.21	0.22	590.22	559.36	390.576	3.372	
6	597.93	87.52	0.15	651.94	590.22	738.607	-2.139	
7	667.37	88.40	0.28	705.95	651.94	612.251	9.974	
8	748.38	88.59	1.20	852.54	705.95	1516.838	76.318	
9	875.68	90.95	0.57	929.69	852.54	652.229	19.150	
10	1076.28	88.56	0.70	1099.43	929.69	1675.236	84.058	
11	1234.44	87.31	0.84	1303.88	1099.43	2489.582	97.024	
12	1369.46	87.22	1.48	1477.47	1303.88	2042.655	131.041	
13	1573.91	86.82	5.49	1743.65	1477.47	2496.092	670.540	
14	1897.95	94.87	0.37	1917.24	1743.65	767.979	11.120	
15	1936.53	94.82	0.15	1948.10	1917.24	156.815	2.515	
16	1971.25	94.46	0.43	2017.54	1948.10	367.062	13.179	
17	2040.69	93.79	0.88	2063.83	2017.54	265.963	19.015	
18	2106.27	93.63	0.45	2129.41	2063.83	402.394	18.732	
19	2133.27	93.90	0.06	2152.56	2129.41	138.217	0.934	
20	2175.70	93.13	0.72	2194.99	2152.56	275.051	15.398	
21	2210.42	93.32	0.28	2229.71	2194.99	226.567	4.789	
22	2360.87	89.62	3.71	2403.30	2229.71	1381.570	244.810	
23	2430.31	93.02	0.21	2457.31	2403.30	370.909	5.022	
24	2499.75	92.97	0.13	2519.03	2457.31	428.850	5.154	
25	2534.46	93.00	0.02	2542.18	2519.03	161.748	0.234	
26	2565.33	92.93	0.09	2580.76	2542.18	271.201	1.669	
27	2630.91	92.75	0.04	2638.62	2580.76	414.740	3.198	
28	2665.62	92.63	0.06	2677.20	2638.62	282.317	1.060	
29	2704.20	92.55	0.06	2719.63	2677.20	314.137	1.258	
30	2762.06	92.34	0.09	2777.50	2719.63	436.797	1.860	
31	2800.64	92.27	0.04	2812.21	2777.50	267.277	0.888	
32	2900.94	91.72	0.23	2924.09	2812.21	894.478	8.031	
33	2931.80	91.86	0.02	2947.23	2924.09	187.958	0.218	
34	2981.95	91.65	0.27	3028.24	2947.23	665.537	11.304	
35	3051.39	91.77	0.12	3066.82	3028.24	314.760	2.418	
36	3086.11	91.80	0.08	3105.39	3066.82	314.820	1.447	
37	3167.12	91.52	0.13	3186.40	3105.39	674.581	5.108	
38	3213.41	91.36	0.28	3267.41	3186.40	686.301	11.006	
39	3313.71	91.41	0.39	3352.28	3267.41	710.828	14.634	
40	3367.71	91.78	0.18	3417.86	3352.28	527.734	9.350	
41	3429.43	92.26	0.18	3464.15	3417.86	349.132	4.127	
42	3475.73	92.71	0.16	3579.88	3464.15	776.234	3.719	
43	3591.46	93.85	0.10	3610.74	3579.88	188.142	1.706	
44	3626.17	93.90	0.44	3657.04	3610.74	264.890	10.201	
45	3668.61	94.92	0.08	3684.04	3657.04	135.957	1.049	
46	3722.61	94.86	0.06	3734.19	3684.04	255.012	2.294	
47	3780.48	94.56	0.17	3799.77	3734.19	347.526	5.089	
48	3807.48	94.66	0.06	3826.77	3799.77	142.326	0.856	
49	3849.92	94.63	0.04	3853.77	3826.77	142.626	0.695	
50	3892.35	94.46	0.11	3907.78	3853.77	294.893	2.644	
51	3923.21	94.45	0.18	3946.36	3907.78	209.726	3.466	
52	3969.50	94.49	0.22	3992.65	3946.36	249.564	4.677	

3. Adsorben Biji Durian Setelah Penambahan Asam Humat



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	432.05	78.18	5.82	466.77	401.19	1270.714	217.928	
2	524.64	80.60	0.16	528.50	466.77	1144.485	22.635	
3	536.21	80.60	0.16	713.66	528.50	3256.096	5.074	
4	748.38	83.93	1.02	933.55	713.66	3104.692	115.546	
5	1076.28	84.07	0.91	1107.14	933.55	2482.138	117.178	
6	1242.16	82.54	0.95	1315.45	1107.14	3519.317	114.456	
7	1365.60	82.51	1.48	1489.05	1315.45	2807.113	142.538	
8	1577.77	82.09	6.59	1755.22	1489.05	3430.665	745.950	
9	1963.53	91.70	0.39	1998.25	1755.22	1843.150	75.894	
10	2110.12	90.56	0.60	2156.42	1998.25	1425.599	58.617	
11	2349.30	86.43	3.73	2411.02	2156.42	2750.209	306.011	
12	2557.61	89.42	0.07	2576.90	2411.02	1727.203	15.055	
13	2908.65	87.97	0.17	2939.52	2576.90	4073.591	-13.307	
14	2985.81	87.84	0.16	3032.10	2939.52	1118.271	6.947	
15	3059.10	87.93	0.05	3097.68	3032.10	789.593	1.397	
16	3186.40	87.56	0.32	3267.41	3097.68	2083.724	26.305	
17	3305.99	87.70	0.02	3321.42	3267.41	662.837	0.400	
18	3340.71	87.69	0.22	3691.75	3321.42	3946.901	117.061	
19	3703.33	91.59	0.07	3741.90	3691.75	418.006	2.090	
20	3792.05	91.21	0.30	3822.91	3741.90	695.161	12.061	

Lampiran 3 Data Pengujian Adsorpsi

1. Data Hasil Uji Adsorpsi Variasi pH

Volume larutan (L)	**Massa Adsorben (g)**	**pH**	**Co (mg/ L)**	**Ce (mg/ L)**	**C terserap (mg/L)**	**Efisiensi (%)**	**Qe (mg/ g)**
0,02	0,05	3	12,95	8,04	4,91	37,92	12,28
0,02	0,05	5	8,2	4,586	3,614	44,07	9,04
0,02	0,05	7	8,2	2,272	5,928	72,29	14,82
0,02	0,05	9	8,2	5,325	2,875	35,06	7,19

2. Data Hasil Uji Adsorpsi Variasi Waktu Kontak

Volume (L)	Variasi Waktu (Menit)	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi (%)	Qe
0,02	5	12,95	6,28	6,67	51,51	2,668
0,02	15	12,95	5,37	7,58	58,53	3,032
0,02	30	12,95	3,49	9,46	73,05	3,784
0,02	60	12,95	3,14	9,81	75,75	3,924
0,02	120	12,95	2,34	10,61	81,93	4,244
0,02	240	12,95	1,66	11,29	87,18	4,516
0,02	1.440	12,95	1,99	10,96	84,63	4,384

3. Data Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi

Volume Larutan (L)	Massa Adsorben (g)	Konsentrasi (ppm)	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi (%)	Qe
0,02	0,05	5	6,211	2,298	3,913	63,00	1,565
0,02	0,05	10	14,100	6,35	7,75	54,96	3,100
0,02	0,05	20	28,790	18,18	10,61	36,85	4,244
0,02	0,05	40	48,540	35,79	12,75	26,27	5,100
0,02	0,05	60	68,590	50,52	18,07	26,34	7,228

4. Data Hasil Uji Penambahan Asam Humat

Kons. Asam Humat (%)	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi (%)	Qe (mg/g)
5	12,56	8,18	4,38	34,87	1,75
10	14,04	9,46	4,58	32,62	1,83
20	13,72	9,7	4,02	29,30	1,61

5. Perhitungan Model Isoterm

a) Isoterm Langmuir

Langmuir								
Qe (mg/g)	1/qe	1/ce	Slope	Intercept	qmaks	KL	RL	R2
1,565	0,639	0,435	1,1262	0,1497	6,680	0,133	0,548	0,9875
3,100	0,323	0,157					0,348	
4,244	0,236	0,055					0,207	
5,100	0,196	0,028					0,134	
7,228	0,138	0,020					0,099	

b) Isoterm Freundlich

Freundlich							
Qe (mg/g)	Log Qe	Log Ce	Slope	Intercept	1/n	Kf	R2
1,57	0,19	0,4	0,4462	0,0691	2,241	1,000	0,9632
3,10	0,49	0,8					
4,24	0,63	1,3					
5,10	0,71	1,6					
7,23	0,86	1,7					

6. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

a) Pseudo orde satu

Pseudo Orde 1												
Co(Awal)	Ca (Akhir)	% Adsorpsi	Qe	Qt	Qe-Qt	ln(Qe-Qt)	Slope	Intercept	K1 (menit-1)	Qe (mg/g)	R2	Log Qe
12,95	6,28	51,51	4,38	2,67	1,72	0,540	-0,0025	-0,2025	0,0025	0,817	0,0625	-0,09
12,95	5,37	58,53	4,38	3,03	1,35	0,302						
12,95	3,49	73,05	4,38	3,78	0,60	-0,511						
12,95	3,14	75,75	4,38	3,92	0,46	-0,777						
12,95	2,34	81,93	4,38	4,24	0,14	-1,966						
12,95	1,66	87,18	4,38	4,52	-0,13	#NUM!						
12,95	1,99	84,63	4,38	4,38	0,00	#NUM!						

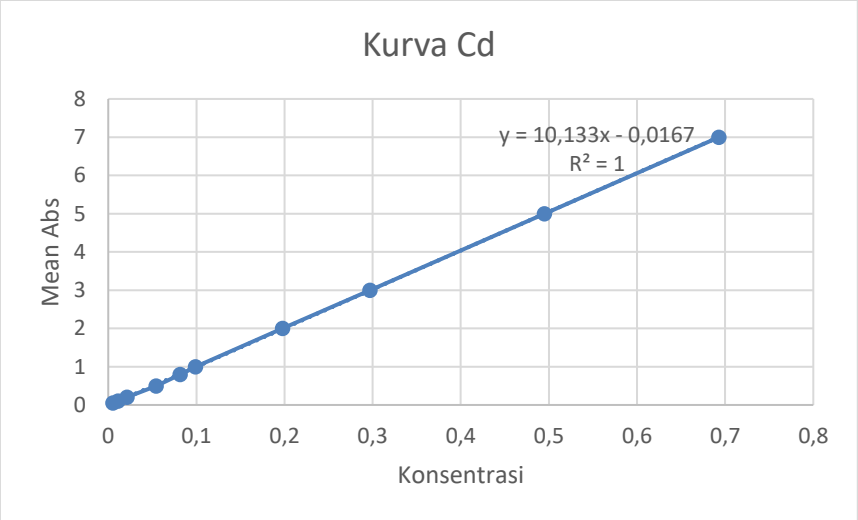
b) Pseudo orde dua

Pseudo Orde 2										
Co(Awal)	Ca (Akhir)	% Adsorpsi	Co-Ce	Qt (mg/g)	t/Qt	Slope	Intercept	K2 (g/mg.m)	Qe (mg/g)	R2	Qe^2
12,95	6,28	51,51	6,67	2,67	1,874	0,2167	1,5979	0,0294	4,615	0,9990	21,30
12,95	5,37	58,53	7,58	3,03	4,947						

Pseudo Orde 2											
12,95	3,49	73,05	9,46	3,78	7,928						
12,95	3,14	75,75	9,81	3,92	15,291						
12,95	2,34	81,93	10,61	4,24	28,275						
12,95	1,66	87,18	11,29	4,52	53,144						
12,95	1,99	84,63	10,96	4,38	328,467						

Lampiran 4 Kurva Kalibrasi

Sample Label	Konsentrasi	Mean Abs
S1	0,05	0,0052
S2	0,1	0,0113
S3	0,2	0,0214
S4	0,5	0,0543
S5	0,8	0,0816
S6	1	0,099
S7	2	0,198
S8	3	0,297
S9	5	0,495
S10	7	0,693
koef kolerasi		0,99998
slope (m)		0,098687
intersep ©		0,0016596
Sy/x		0,001480655
LOD		0,045010537
LOQ		0,150035124



Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian



Persiapan Adsorben; pembersihan biji durian dari kotoran



Persiapan Adsorben; pemotongan biji durian menjadi kecil



Persiapan Adsorben; pengeringan biji durian dengan dijemur selama satu hari



Persiapan Adsorben; pengeringan biji durian dengan oven selama 1 hari



Persiapan Adsorben; Biji durian setelah dihaluskan



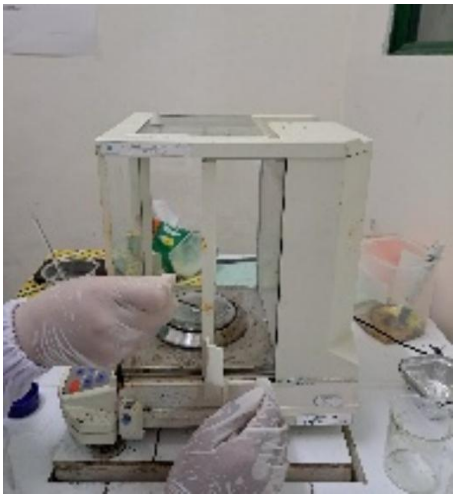
Pengayakan Adsorben Biji Durian dengan No. 50 mesh



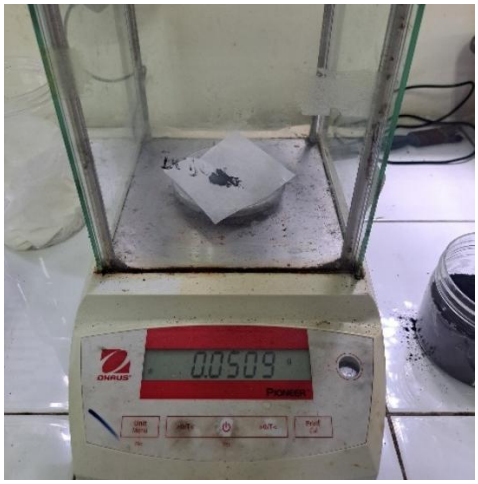
Proses karbonisasi adsorben dengan furnace



Padatan Logam kadmium (Cd)



Penimbangan padatan logam Cd untuk pembuatan larutan



Penimbangan adsorben untuk setiap pengujian variasi



Larutan pengujian variasi



Pengujian penambahan asam humat



Analisis pengujian variasi adsorpsi dengan AAS



Analisis pengujian gugus fungsi adsorben dengan FTIR

RIWAYAT HIDUP



Nama penulis adalah Aisyah Nuryaca yang akrab dipanggil Yaca. Penulis lahir di Sumbawa pada hari Selasa tanggal 8 Juli 2003, dan penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Camang dan Ibu Sumiati. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDIT Anak Sholeh Mataram, kemudian melanjutkan pendidikan di sekolah menengah pertama hingga sekolah menengah atas di Thursina IIBS Malang. Setelah lulus sekolah menengah atas, pada tahun 2021 penulis diterima di Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Selama masa perkuliahan, penulis menjaga prestasi akademik dan juga mengikuti berbagai kegiatan dengan tujuan pengembangan diri dalam meningkatkan keterampilan komunikasi dan kerja sama tim. Penulis bergabung dalam Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia Regional 3 yang aktif dalam bidang kepedulian lingkungan di daerah Jawa Tengah. Selain itu, penulis juga aktif dalam kepanitiaan jurusan yaitu *Enviro Champions* dan Lintas Lingkungan 2022. Dengan pengalaman-pengalaman tersebut, penulis mendapatkan pelajaran baru dan menjadi pribadi yang terus mengembangkan diri serta bermanfaat bagi orang lain.