



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Penurunan Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) di dalam Air menggunakan Adsorben Kulit Durian

Siskhia Istiqomah

21513076

Dosen Pembimbing I:

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II:

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

Reduction of Cadmium (Cd) Heavy Metal Level in Water using Durian Peel Adsorbent

Siskhia Istiqomah

21513076

Supervisor I:

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Supervisor II:

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**

**Penurunan Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) di dalam Air menggunakan
Adsorben Kulit Durian**

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.

**Siskhia Istiqomah
21513076**

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 9 Oktober 2025 dan disetujui oleh:

 11/11 '2025

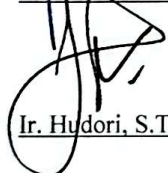
Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 1)

 11/11 2025

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

(Pembimbing 2)

 11/11/2025

Ir. Hudori, S.T., M.T., Ph.D.

(Penguji 1)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



Amr 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 ini 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, 20 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Siskhia Istiqomah

21513076

PRAKATA

Puji Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah swt. atas limpahan rahmat, kekuatan dan kesempatan yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul: **“Penurunan Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) di dalam Air menggunakan Adsorben Kulit Durian”** sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar di program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tugas akhir ini bukan hanya sekadar syarat akademis, melainkan juga gambaran dari perjalanan panjang yang penuh dengan tantangan, keraguan, dan proses transformasi diri. Penulis sepenuhnya menyadari bahwa pencapaian ini tidak dapat terwujud tanpa bantuan orang lain. Oleh karena itu, dengan hati yang tulus, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada orang tua penulis yang sangat penulis sayangi yaitu Bapak Hajrun, S.Pd dan almh Ibu Sasmita, S.Pd.I yang selalu menjadi sumber kekuatan dan penopang dalam setiap langkah hidup penulis. Bukan hanya dalam perjalanan akademik penulis, tetapi juga dalam setiap ujian dan rintangan yang dihadapi. Kalian telah mengajarkan penulis untuk terus berjuang dan untuk selalu percaya sama diri sendiri.
2. 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., IP.U, selaku Dosen Pembimbing II yang telah dengan penuh kesabaran membimbing, mengarahkan dan memberi ruang bagi penulis untuk belajar dari proses hingga hasil yang didapatkan.
3. Bapak Ir. Hudori, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.

4. Saudara-saudara yang tercinta abang Ikhsan Hamit, S.T dan abang Ilhamius Hamit, S.T., M.Eng yang selalu menjadi tempat berbagi suka dan duka, serta memberikan semangat tanpa henti dalam setiap langkah. Dan juga kepada ipar-ipar, kak Apt. Ika Afrianti, S.Farm dan kak Dinda Novira, S.E yang selalu memberikan kekuatan dan perhatian tulus. Serta keluarga besar yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
5. Sahabat-sahabat sedari kecil, kak (Vhany, Thasya, Nadya, Arum), Dina dan Muslimah yang selalu ada di setiap langkah, menjadi tempat bersandar di saat masa terpuruk. Terima kasih sudah selalu bersama hingga saat ini.
6. Sahabat-sahabat sedari SMA Zelika, Annisa K., Dini, Kartika, Cesa, Salsa, Dagu dan Tri yang selalu memberikan dorongan dan juga semangat yang tiada henti.
7. Teman-teman semasa perkuliahan Hana, Annisa N., Rifcha, Fida dan Dyah yang selalu menghibur dan memberikan semangat.
8. Teman-teman sesama topik penelitian Sahrul, Nazla dan Aisyah yang selalu memberikan masukan, dorongan dan semangat tanpa henti hingga akhir penyusunan laporan.
9. Teman-teman Teknik Lingkungan 2021 yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih banyak sudah memberikan pengalaman dan perjalanan yang indah pada masa perkuliahan.
10. Seluruh Dosen, Pengajar/Staff Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, serta fasilitas yang sangat berguna selama menjalani pendidikan di sini.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan ke depannya.

Yogyakarta, 20 Agustus 2025

Siskhia Istiqomah

Penurunan Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) di dalam Air menggunakan Adsorben Kulit Durian

Mahasiswa : Siskhia Istiqomah
NIM : 21513076
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

Kadmium (Cd) merupakan logam berat berbahaya yang tidak dapat terurai secara alami dan cenderung terakumulasi di lingkungan perairan. Salah satu metode yang efektif untuk mengurangi kadar Cd dalam air adalah proses adsorpsi menggunakan karbon aktif, yang bekerja melalui ikatan antara ion logam dan gugus fungsi aktif pada permukaan padat. Kulit durian memiliki potensi sebagai bahan dasar adsorben karena kandungan lignoselulosa dan karbonnya yang tinggi, serta dapat dimodifikasi menjadi karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas dan menentukan kondisi optimum adsorpsi ion Cd^{2+} dalam air menggunakan kulit durian, serta mengevaluasi perubahan karakteristik adsorben setelah dimodifikasi dengan asam humat. Proses adsorpsi dilakukan dengan metode batch melalui variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi larutan. Analisis FTIR menunjukkan terbentuknya gugus fungsi baru akibat perlakuan dengan asam humat, menandakan adanya transformasi kimia pada permukaan adsorben. Sementara itu, hasil SEM menunjukkan rongga dan pori-pori yang bervariasi yang mendukung proses adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas maksimum adsorpsi mencapai 9,30 mg/g pada konsentrasi 60 ppm, dengan kondisi optimum pada pH 5, waktu kontak 240 menit dan konsentrasi awal 10 ppm. Proses adsorpsi mengikuti isotherm langmuir dan kinetika adsorpsi mengikuti kinetika orde dua. Namun, modifikasi dengan asam humat justru menurunkan efisiensi adsorpsi 5% dengan nilai 33,73%.

Kata Kunci: Adsorpsi, Air, Asam Humat, Kadmium, Kulit Durian

Reduction of Cadmium (Cd) Heavy Metal Level in Water using Durian Peel Adsorbent

Student : Siskhia Istiqomah
Student Number : 21513076
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

Cadmium (Cd) is a hazardous heavy metal that cannot be decomposed naturally and tends to accumulate in aquatic environments. One effective method to reduce Cd levels in water is the adsorption process using activated carbon, which works through bond between metal ions and active functional groups on solid surfaces. Durian peel has potential as a base material for adsorbents due to high lignocellulose and carbon content, and can be modified into activated carbon. This study aims to assess the effectiveness and determine the optimum conditions for adsorption of Cd²⁺ ions in water using durian peel, as well as to evaluate changes in adsorbent characteristics after modification with humic acid. The adsorption process was carried out using a batch method through variations in pH, contact time, and solution concentration. FTIR analysis showed the formation of new functional groups due to treatment with humic acid, indicating a chemical transformation on the adsorbent surface. Meanwhile, SEM results showed varying cavities and pores that support the adsorption process. The maximum adsorption capacity reached 9,30 mg/g at a concentration of 60 ppm, with optimum conditions at pH 5, contact time 240 minutes and initial concentration 10 ppm. The adsorption process follows the Langmuir isotherm and the adsorption kinetics follow second-order kinetics. However, modification with humic acid actually reduced the adsorption efficiency by 5% with a value of 33,73%.

Key Words: Adsorption, Cadmium, Durian Peel, Humic Acid, Water

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Metode Adsorpsi	5
2.1.1 Faktor mempengaruhi Proses Adsorpsi.....	5
2.2 Logam Berat Kadmium (Cd)	7
2.3 Kulit Durian sebagai Adsorben.....	8
2.4 Senyawa Asam Humat	9
2.5 Uji Karakteristik Adsorben	9
2.5.1 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	10
2.5.2 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....	10
2.5.3 Spektrofotometer Serapan Atom	11
2.6 Penelitian Terdahulu	12
III METODE PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Lokasi	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.3 Prosedur Penelitian	14
3.4 Persiapan Penelitian	15

3.4.1	Preparasi Adsorben.....	15
3.4.2	Karakteristik Adsorben.....	16
3.5	Proses Adsorpsi.....	17
3.5.1	Penentuan pH optimum.....	17
3.5.2	Penentuan Konsentrasi Optimum.....	17
3.5.3	Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	18
3.5.5	Penambahan Asam Humat	19
3.6	Analisis Data.....	19
3.6.1	Persen Adsorpsi.....	19
3.6.2	Kapasitas Adsorpsi.....	20
3.6.3	Isoterm Adsorpsi	20
3.6.4	Kinetika Adsorpsi.....	22
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1	Karakterisasi Adsorben.....	24
4.1.1	<i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....	24
4.1.2	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	27
4.2	Pengujian Kemampuan Adsorpsi.....	28
4.2.1	Uji Variasi pH Optimum.....	28
4.2.2	Uji Variasi Konsentrasi Optimum.....	31
4.2.3	Uji Variasi Waktu Kontak Optimum.....	34
4.3	Penentuan Model Isoterm Adsorpsi.....	36
4.3.1	Isoterm Langmuir.....	36
4.3.2	Isoterm Freundlich	38
4.4	Perhitungan Kinetika Adsorpsi	39
4.5	Uji Variasi Penambahan Asam Humat	41
BAB V	PENUTUP.....	40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
	DAFTAR PUSTAKA.....	42
	LAMPIRAN	47
	RIWAYAT HIDUP	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	12
Tabel 4. 1 Hasil Interpretasi Spektrum FTIR.....	25
Tabel 4. 2 Hasil Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi.....	25
Tabel 4. 3 Data Hasil Variasi pH Optimum.....	29
Tabel 4. 4 Data Hasil Variasi Konsentrasi Optimum	31
Tabel 4. 5 Data Hasil Variasi Waktu Kontak Optimum	34
Tabel 4. 6 Perhitungan Isoterm Langmuir	37
Tabel 4. 7 Perhitungan Isoterm Freundlich.....	38
Tabel 4. 8 Data Hasil Variasi Asam Humat.....	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Logam Berat Kadmium (Cd)	8
Gambar 2. 2 Limbah Kulit Durian	8
Gambar 2. 3 <i>Scanning Electron Micsroscopy</i> (SEM).....	10
Gambar 2. 4 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	11
Gambar 2. 5 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).....	11
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3. 2 Langkah Preparasi Adsorben	16
Gambar 3. 3 Langkah Penentuan pH Optimum.....	17
Gambar 3. 4 Langkah Penentuan Konsentrasi Optimum.....	18
Gambar 3. 5 Langkah Penentuan Waktu Kontak Optimum	18
Gambar 3. 6 Langkah Penambahan Asam Humat	19
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Uji FTIR	26
Gambar 4. 2 Hasil Uji SEM Adsorben Kulit Durian	28
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Uji Variasi pH	30
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Uji Variasi Konsentrasi	32
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji Variasi Kapasitas Adsorpsi	33
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Uji Variasi Waktu Kontak.....	35
Gambar 4. 7 Grafik Isoterm Langmuir	37
Gambar 4. 8 Grafik Isoterm Freundlich.....	39
Gambar 4. 9 Model Kinetika <i>Pseudo</i> Orde Satu.....	40
Gambar 4. 10 Model Kinetika <i>Pseudo</i> Orde Dua	40
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Uji Variasi Asam Humat	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan.....	47
Lampiran 2	Dokumentasi Penelitian.....	48
Lampiran 3	Kurva Kalibrasi Standar	50
Lampiran 4	Data Pengujian Adsorpsi	51
Lampiran 5	Data Karakteristik FTIR	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lingkungan yang tidak sehat saat ini telah banyak ditemukan, diakibatkan oleh pencemaran lingkungan yang terjadi di mana-mana. Salah satu bentuk pencemaran lingkungan adalah pencemaran air. Air merupakan sumber daya yang sangat penting dan krusial dalam menopang kehidupan di bumi. Meskipun sebagian besar permukaan planet ini tertutup oleh air, hanya sekitar 3% yang berupa air tawar yang layak dikonsumsi manusia. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya pengelolaan air yang berkelanjutan serta praktik daur ulang (Saravanan dkk., 2021). Dalam pemantauan kualitas lingkungan suatu perairan, logam berat menjadi salah satu parameter utama untuk menilai tingkat pencemaran.

Logam berat adalah kontaminan anorganik yang umum dikenal dan didefinisikan sebagai unsur kimia dengan berat serta kepadatan atom yang relatif tinggi. Unsur ini bersifat toksik bahkan dalam konsentrasi rendah (Ali dkk., 2019). Beberapa unsur logam berat, seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg), merupakan zat pencemar yang paling berbahaya. Sebagian besar logam ini memiliki afinitas tinggi terhadap belerang, sehingga dapat merusak ikatan belerang dalam enzim, menyebabkan enzim kehilangan fungsinya. Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang sangat berbahaya karena bersifat *non-degradable*, sehingga tidak dapat diuraikan oleh organisme hidup dan cenderung terakumulasi di lingkungan. Logam ini terutama mengendap di dasar perairan, membentuk senyawa kompleks dengan bahan organik dan anorganik (Apriadi, 2005).

Salah satu teknik yang umum digunakan dalam pengelolaan air saat ini adalah adsorpsi dengan karbon aktif, yang berfungsi untuk menghilangkan polutan. Adsorpsi adalah proses dimana molekul cairan terkontak lalu menempel pada permukaan padatan. Adsorpsi umumnya bergantung pada

interaksi antara ion logam dengan gugus fungsi yang terdapat di permukaan adsorben. Proses ini biasanya terjadi pada material padat yang memiliki banyak gugus fungsi, seperti -NH, -SH, -OH, dan -COOH (Sulistyaningsih dkk, 2021). Metode adsorpsi dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam dalam limbah cair dengan cara menyerap logam-logam tersebut ke dalam permukaan adsorbennya. Salah satu material yang berpotensi sebagai adsorben adalah kulit durian (Santosa dkk., 2003). Kulit durian secara proporsional mengandung lignoselulosa yang terdiri dari 50-60% selulosa, 30,7% hemiselulosa, 13,6% lignin, dan 5% pati (Lubis dkk., 2018). Selulosa dapat dimanfaatkan sebagai pengikat bahan logam (Apriani dkk., 2013). Kulit durian memiliki karbon yang cukup tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif untuk digunakan sebagai adsorben. Salah satu bahan yang digunakan dalam penelitian ini untuk menangani pencemaran adalah asam humat.

Asam humat adalah produk akhir dari senyawa organik yang biasanya ditemukan dalam tanah gambut sebagai senyawa humus. Asam humat dapat berinteraksi dengan lebih dari lima puluh senyawa radioaktif, ion logam berat dan polutan organik (termasuk zat warna) (Ngatijo dkk., 2021). Asam humat dapat meningkatkan efektivitas adsorpsi Cd oleh kulit durian karena kemampuannya berinteraksi dengan kation logam. Interaksi ini terjadi akibat keberadaan gugus fungsional yang mengandung atom oksigen, seperti -COOH, -OH fenolat, -OH alokoholat, enolat dan -C=O (Sulistyaningsih dkk., 2021). Karena sifat heterogen senyawa humat, interaksi antara kation logam dan senyawa ini terjadi pada berbagai sisi aktif dengan afinitas yang berbeda.

Didasarkan pada informasi tersebut, kulit durian sebagai adsorben memiliki potensi dalam penurunan logam berat di air. Pada penelitian yang telah dilakukan Saikaew, W. dan Kaewsarn, P., (2010) menjelaskan bahwa penelitian tersebut melakukan pemanfaatan kulit durian sebagai biosorben untuk menghilangkan ion kadmium dari larutan berair tetapi tidak ada penambahan senyawa lain. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan guna mengetahui bagaimana kinerja adsorben kulit durian dalam penyerapan

logam berat kadmium (Cd) di dalam air baik sebelum dan setelah penambahan asam humat.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini, adalah:

- 1) Bagaimana efektivitas adsorben kulit durian dalam menurunkan kadar logam kadmium (Cd) di air?
- 2) Bagaimana pengaruh dari variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) dengan adsorben kulit durian dalam menurunkan kadar logam kadmium (Cd) di air?
- 3) Bagaimana pengaruh penambahan senyawa asam humat dalam proses adsorpsi logam kadmium (Cd) di air?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari penelitian ini, adalah:

- 1) Mengetahui efektivitas adsorben kulit durian dalam menurunkan kadar logam kadmium (Cd) di air.
- 2) Mengetahui kondisi optimum dari variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) untuk adsorpsi logam kadmium (Cd) di air.
- 3) Mengetahui pengaruh penambahan senyawa asam humat terhadap proses adsorpsi di air.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, adalah:

- 1) Mengetahui bahayanya kadar logam berat di dalam air.
- 2) Memberikan metode alternatif untuk penurunan kadar logam berat kadmium (Cd) dalam air.
- 3) Menambah pengetahuan mengenai efektivitas karbon aktif yang dihasilkan dari kulit durian terhadap penurunan kadar logam kadmium (Cd) pada air.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini, adalah:

- 1) Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- 2) Efektivitas karbon aktif dalam menurunkan kadar kadmium (Cd).
- 3) Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah adsorpsi.
- 4) Adsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif dari limbah kulit durian dengan tambahan senyawa asam humat.
- 5) Terdapat beberapa variasi parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu, pH, konsentrasi logam berat kadmium (Cd), waktu kontak dan asam humat.
- 6) Uji kadmium (Cd) dengan metode spektrofotometri terdapat pada SNI 06-6989.16-2009 bagian 116.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Adsorpsi terjadi pada permukaan zat karena ada gaya tarik antar atom atau molekul zat padat. Terdapat dua jenis proses adsorpsi berdasarkan interaksi antara permukaan adsorben dan adsorbat, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi adalah proses ketika massa berpindah ke permukaan pori-pori dalam butiran adsorben. Energi permukaan dan gaya tarik menarik antar permukaan memungkinkan proses ini terjadi (Asip dkk., 2008). Adsorpsi umumnya adalah penempelan substansi terlarut (*soluble*) dalam larutan oleh permukaan zat atau benda penyerap. Ini terjadi ketika suatu fluida, cairan, atau gas terikat pada suatu padatan atau cairan (zat penyerap, adsorben) dan kemudian membentuk lapisan tipis atau film (zat terserap, adsorbat).

Salah satu teknik yang paling populer untuk menghilangkan zat pencemar adalah adsorpsi (Abate dkk., 2021). Dengan menyerap logam ke dalam permukaan adsorben, metode adsorpsi dapat digunakan untuk menurunkan kadar logam dalam limbah cair. Ini terutama terjadi pada permukaan padatan yang kaya akan gugus fungsional seperti -OH, -NH, -SH, dan -COOH (Nalle dkk., 2019).

2.1.1 Faktor mempengaruhi Proses Adsorpsi

Terdapat beberapa faktor dalam mempengaruhi proses adsorpsi, sebagai berikut :

a. Luas Permukaan Adsorben (Ukuran Partikel)

Proses adsorpsi terjadi di permukaan partikel, sehingga semakin besar luas permukaannya, semakin tinggi pula tingkat adsorpsi yang terjadi. Faktor ukuran partikel karbon memengaruhi kecepatan adsorpsi, di mana partikel karbon berbentuk serbuk

memiliki kecepatan adsorpsi yang tinggi daripada karbon berbentuk granular. Namun, kapasitas total adsorpsi bergantung pada luas permukaan yang tersedia secara keseluruhan.

b. Karakteristik Adsorben

Karakteristik fisik dan kimia adsorben memengaruhi kecepatan dan kapasitas adsorpsi. Faktor yang sangat penting adalah ukuran pori, yang menentukan kapasitas adsorben untuk menyerap molekul adsorbat. Jika ukuran pori lebih besar daripada molekul adsorbat, maka lebih banyak adsorbat yang dapat diserap.

c. Karakteristik Adsorbat

Kelarutan, ukuran molekul, dan polaritas adalah beberapa faktor yang memengaruhi adsorpsi adsorbat. Dalam larutan, tingkat kelarutan zat terlarut merupakan faktor utama keseimbangan adsorpsi. Larutan hidrofilik umumnya lebih sulit diadsorpsi daripada larutan hidrofobik.

d. pH (Tingkat Keasamaan)

pH mempengaruhi proses adsorpsi karena dapat mengubah muatan permukaan adsorben dan adsorbat serta mempengaruhi kelarutan zat yang teradsorpsi. Pada pH rendah (asam), kelebihan ion H^+ dapat bersaing dengan adsorbat untuk menduduki situs aktif pada adsorben, sehingga menurunkan laju adsorpsi. Sebaliknya, pada pH lebih tinggi situs aktif adsorben menjadi lebih tersedia untuk adsorpsi.

e. Temperatur

Temperatur proses adsorpsi dipengaruhi oleh viskositas dan stabilitas thermal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti perubahan warna atau dekomposisi, perlakuan dilakukan pada titik didihnya.

f. Waktu Kontak

Durasi kontak antara adsorben dan adsorbat memengaruhi seberapa efektif proses adsorpsi. Semakin lama waktu kontak, semakin banyak adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben.

g. Agitasi (Pengadukan)

Kecepatan adsorpsi juga dipengaruhi oleh difusi film dan difusi pori. Jika pengadukan dalam sistem rendah, proses adsorpsi hanya akan berlangsung sampai tahap difusi film, sehingga kurang efisien.

2.2 Logam Berat Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang dapat ditemukan baik dalam sedimen maupun di lingkungan perairan dan bersifat toksik (Anazawa dkk., 2004). Kemampuan kadmium (Cd) untuk terakumulasi di lingkungan, terutama ketika mengendap di dasar perairan membuatnya menjadi logam berat yang sangat berbahaya yang tidak dapat dihancurkan oleh makhluk hidup. Selain itu, Cd dapat membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik.

Logam berat Cd sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kanker. Paparan logam ini pada hewan atau manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru, hati dan ginjal serta menghambat sistem reproduksi dengan membunuh sel sperma. Kadmium juga dapat berdampak pada fungsi jantung (Mamoribo dkk., 2019). Setiap makhluk hidup memiliki batas toleransi yang berbeda terhadap logam ini di lingkungannya. Kadmium dapat merusak ekosistem dengan memperlambat pertumbuhan hewan dan mengganggu keseimbangan ekosistem (Patang, 2018). Jika kadmium mencemari tumbuhan dalam jumlah yang berlebihan, itu dapat menghambat fotosintesis dan mengganggu pertumbuhan serta reproduksi tanaman (Andriany dan Fahrudin, 2018). Logam berat kadmium (Cd) dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 Logam Berat Kadmium (Cd)

Sumber: Prodia Occupational Health Indonesia

2.3 Kulit Durian sebagai Adsorben

Diperlukan upaya untuk mengolah kulit durian menjadi berbagai produk yang menguntungkan karena jumlah limbah yang dihasilkan selama musim panen sangat tinggi. Salah satu jenis limbah padat yang dapat dimanfaatkan kembali adalah kulit durian. Minyak atsiri, flavonoid, saponin, serta unsur selulosa dan lignin adalah beberapa senyawa yang ditemukan dalam kulit durian. Pembentukan ikatan kompleks antara selulosa dan logam berat dapat mengurangi kadar logam berat (Riesta dan Prawita, 2004). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Hatta (2007) menemukan bahwa kulit durian memiliki kandungan selulosa yang tinggi, sekitar 50-60%, sehingga dapat digunakan sebagai adsorben dalam proses penyerapan logam berat. Dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2. 2 Limbah Kulit Durian

Sumber: Data Primer, 2025

2.4 Senyawa Asam Humat

Setelah bakteri mempengaruhi tanah dalam kondisi lembab atau berair, biodegradasi lanjutan lignin menghasilkan senyawa asam humat. Asam humat merupakan senyawa makromolekul yang kaya akan gugus -OH, -NH, -Sh, dan -COOH dilapisi pada magnetit Fe₃O₄ untuk membuat adsorben yang mengandung gugus aktif tersebut memiliki luas permukaan yang lebih besar dan sifat magnetik (Ahmad dkk., 2022). Modifikasi yang dilakukan pada sisi aktif magnetit ini mengurangi oksidasi Fe₃O₄. Pelapisan asam humat pada Fe₃O₄ menstabilkan sisi aktif permukaan, meningkatkan kapasitas adsorpsi, dan mencegah penggumpalan pada rentang pH yang lebar. Adanya efek elektrostatik dan interaksi sterik menyebabkan interaksi asam humat dan Fe₃O₄ stabil (Sulistyaningsih dkk., 2021). Menurut Rahmawati (2004), proses biodegradasi lignin selalu diikuti oleh pelepasan CO₂. Pelepasan CO₂ menyebabkan kadar oksigen dan karbon pada senyawa asam humat berkurang.

Senyawa humat yang ditemukan di tanah terbagi menjadi tiga kategori:

- Asam humat yang larut dalam basa
- Asam fulfat yang larut baik dalam kondisi basa maupun asam
- Humin yang tidak larut dalam dan bersifat inert (Tan, 1996)

Karena asam humat mengandung gugus fungsional aktif seperti karboksil, fenol, karbonil, hidroksida, alkohol, amino, kuinon dan metoksil serta bentuknya yang berpori sehingga memiliki luas permukaan yang besar. Asam humat memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan ion logam, oksida dan hidroksida mineral.

2.5 Uji Karakteristik Adsorben

Untuk mengetahui struktur, ukuran pori dan kandungan unsur kimia, uji karakteristik adsorben menggunakan 3 instrumen yaitu, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

2.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Salah satu metode untuk mengetahui karakteristik, zat dengan metode X-ray adalah *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Dengan metode ini, informasi yang diperoleh berupa gambar seperti peta mengenai komposisi unsur permukaan zat. Dalam SEM, partikel elektron diarahkan ke permukaan objek kemudian melalui beberapa lensa elektromagnetik untuk memantul atau menghasilkan partikel elektron sekunder ke berbagai arah. Detektor SEM mengumpulkan partikel elektron ini dan menunjukkan lokasi objek di layar. Dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2. 3 *Scanning Electron Micsroscopy* (SEM)

Sumber: Biologi Media Centre

2.5.2 Fourier Transfrom Infra-Red (FTIR)

Fourier Transform Infra-Red (FTIR) biasanya digunakan sebagai metode kualitatif untuk menganalisis struktur kimia diaktifkan karbon, tetapi juga kadang-kadang digunakan sebagai metode kuantitatif (Bandosz, 2009). Karena umumnya berasal dari gabungan gugus fungsi yang saling berinteraksi dengan tipe sama, teknik ini menghadapi dua masalah yaitu daya tembus karbon dan luas puncak karbon. Tujuan dari penggunaan instrumen FTIR adalah untuk menemukan gugus fungsi adsorben dari limbah kulit durian yang akan digunakan dalam penelitian. Dengan memahami gugus fungsi yang terkandung dalam nilai selulosa dalam adsorben, kita dapat

mengetahui seberapa jauh adsorben berbeda dari sebelum dan setelah proses adsorpsi. Dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2. 4 *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

Sumber: Lab Terpadu ITK

2.5.3 Spektrofotometer Serapan Atom

Metode analisis yang dikenal sebagai Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) bergantung pada bagaimana atom-atom menyerap radiasi dalam keadaan dasar (*ground state*). Penyerapan radiasi ini mengeluarkan elektron dari kulit atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Pengurangan intensitas radiasi sebanding dengan jumlah atom yang menyerap energi tersebut pada tingkat dasar. Prinsip kerja SSA didasarkan bahwa logam dalam sampel diubah menjadi atom bebas saat larutan sampel menguap. Atom-atom ini kemudian menyerap radiasi dari sumber cahaya dari lampu katoda berongga (Darmono, 1995). Dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2. 5 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Sumber: Batavia Lab

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah kulit durian sebagai adsorben untuk penurunan kandungan logam berat kadmium (Cd) telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Beberapa hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul	Hasil
Yusuf, 2016	Pemanfaatan Arang Aktif dari Kulit Durian sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium (Cd)	Arang aktif dibuat melalui proses karbonisasi selama 15 menit pada suhu 400°C. Karakterisasi arang aktif menunjukkan kadar air 6,8793% dan kadar abu 4,5077% (masing-masing memenuhi standar). Namun, kadar zat terbang 26,1417% dan kadar karbon 62,4713% tidak memenuhi standar. pH yang optimum untuk adsorpsi ion Cd adalah pH 4, dengan peningkatan adsorpsi pada pH 1-3 dan penurunan pada pH 5-6. Waktu kontak terbaik adalah 60 menit, dengan konsentrasi ion Cd teradsorpsi tertinggi mencapai 12,908 mg/L. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa kulit durian memiliki potensi besar sebagai sumber arang aktif yang efektif untuk menyerap ion logam berat, terutama kadmium (Cd), dengan kapasitas adsorpsi maksimum 0,4951 mg Cd ²⁺ per gram arang aktif, yang mencapai konsentrasi 40 mg/L.
Ningrum, 2023	Sintesis Karbon Aktif dari Limbah Kulit Durian sebagai Adsorben pada Tumpahan Minyak di Perairan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon yang diaktivasi dengan KOH 35% memiliki kualitas terbaik. Dengan kadar air 5,44%, kadar abu 4,45%, kadar karbon terikat 72,05% dan daya serap iod 896,03 mg/g, karbon aktif ini memenuhi standar SNI 06-3730-1995. Aktivasi dengan KOH meningkatkan jumlah gugus aktif pada spektrum FTIR. Kapasitas adsorpsi kulit durian meningkat di mana diameter pori

Peneliti	Judul	Hasil
		karbon meningkat 1,165 μm menjadi 1,6 μm setelah aktivasi. Dengan waktu optimum 30 menit dan massa adsorben 4 gram, efisiensi adsorpsi tumpahan minyak mencapai 90,182%.
Herlina dkk., 2023	Pengaruh Massa Adsorben pada Biosorpsi Ion Logam Cr(VI) menggunakan Selulosa dari Kulit Durian	Dalam penelitian ini, massa adsorben 0,2 gram memiliki kondisi penyerapan terbaik dengan kapasitas penyerapan maksimum 8,8964 mg/g. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa ion Cr(VI) memiliki panjang gelombang maksimum 543 nm, dan kurva standar menunjukkan hubungan yang sangat baik antara absorbansi dan konsentrasi ion dengan persamaan linear yang kuat ($R^2 = 0,9999$).
Saikaew, W. dan Kaewsarn, P., 2010	Kulit Durian sebagai Biosorben untuk Menghilangkan Ion Kadmium dari Larutan Berair	Dalam penelitian ini, didapatkan hasil isotherm langmuir dengan nilai Q_{max} 0,26 mg/g. Di mana, hasil tersebut kecil dikarenakan pada langkah preparasi adsorben tidak melakukan proses karbonisasi terlebih dahulu.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ada perbedaan antara penelitian yang dilakukan. Penelitian sebelumnya menggunakan arang aktif yang telah diaktivasi dari kulit durian (*durio zibethinus L.*) sebagai adsorben ion logam kadmium (Cd) tanpa adanya penambahan senyawa lain. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja adsorben berbasis kulit durian dalam menyerap logam berat kadmium (Cd), baik sebelum maupun setelah penambahan asam humat tanpa diaktivasi.

III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dengan waktu penelitian selama 4 bulan, terhitung dari bulan Februari hingga Juni 2025.

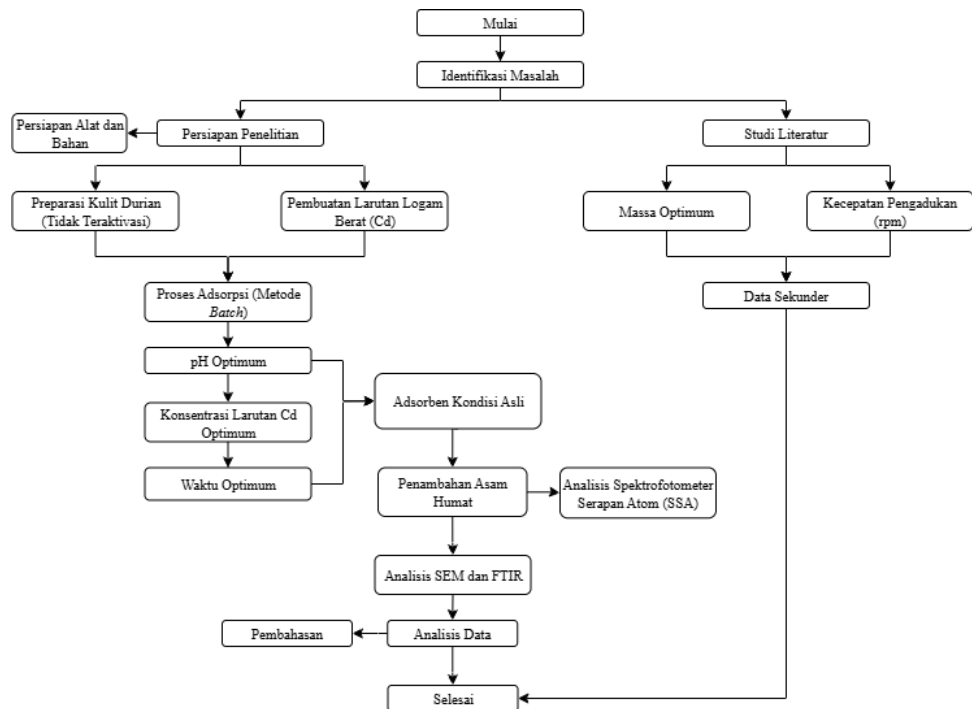
3.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, beberapa alat yang digunakan diantaranya, ayakan 50 mesh, batang pengaduk, blender, cawan porselen, corong gelas, desikator, erlenmeyer (50 dan 100 mL), *furnace*, gelas beaker (100 dan 250 mL), kaca arloji, kertas saring, labu ukur (10, 250, 500 dan 1000 mL), neraca analitik, oven, pH universal, pipet tetes, pipet volume (1, 2, 4 dan 10 mL), sendok, dan *shaker*. Serta beberapa instrumen yang digunakan, seperti: Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Bahan yang digunakan pada penelitian ini di antaranya, kulit durian, akuades, asam humat, dan sampel air yang sudah mengandung logam berat kadmium (Cd) di dalamnya. Alat dan bahan nantinya yang akan digunakan selama penelitian berlangsung.

3.3 Prosedur Penelitian

Diagram alur penelitian berikut menggambarkan berbagai tahapan yang akan dilakukan pada saat penelitian, dimulai dari persiapan, pelaksanaan, hingga penyelesaian. Dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



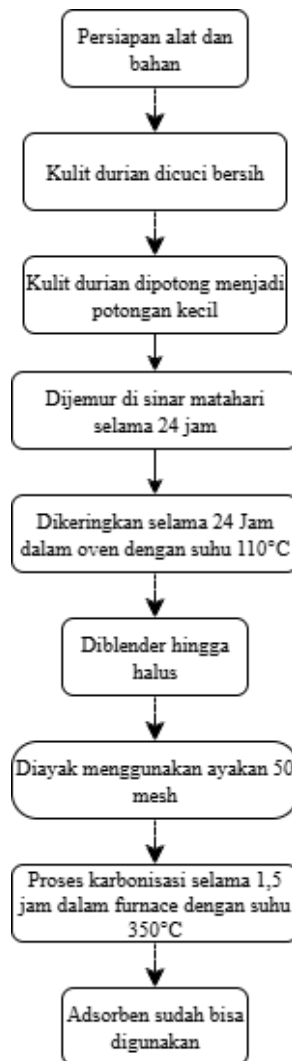
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Persiapan Penelitian

Tahapan persiapan penelitian dimulai dari preparasi adsorben dan karakteristik adsorben.

3.4.1 Preparasi Adsorben

Pada tahapan penelitian ini, limbah kulit durian diperoleh dari salah satu penjual Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) yang berada di sekitaran Jalan Kaliurang, Yogyakarta. Kulit durian yang digunakan yaitu yang telah dibuang oleh penjual tetapi masih segar. Langkah-langkah preparasi adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3. 2 Langkah Preparasi Adsorben

3.4.2 Karakteristik Adsorben

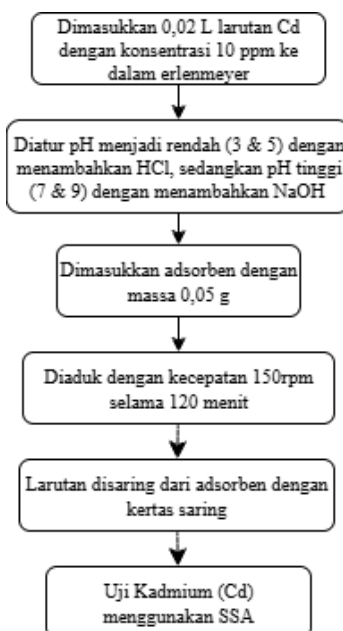
Dua metode analisis, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), akan digunakan untuk menggambarkan adsorben limbah kulit durian. Teknik SEM mengamati struktur pori/ permukaan adsorben, sedangkan FTIR mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada adsorben.

3.5 Proses Adsorpsi

Dalam proses ini, dilakukan pengujian terhadap beberapa variabel untuk menentukan kapasitas serta kondisi optimum dari proses adsorpsi. Variabel yang diuji meliputi pH, konsentrasi, waktu kontak, dan asam humat.

3.5.1 Penentuan pH optimum

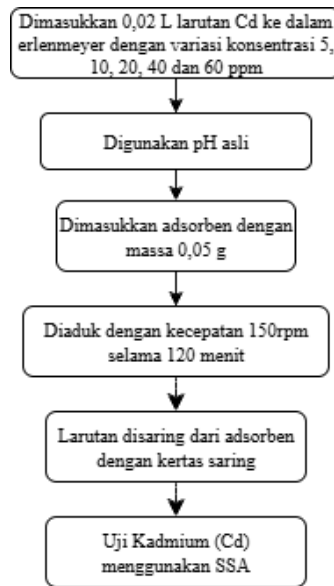
Pada proses adsorpsi, penentuan pH optimum bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi penyerapan zat pencemar oleh adsorben. Langkah-langkah dalam menentukan pH optimum dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3. 3 Langkah Penentuan pH Optimum

3.5.2 Penentuan Konsentrasi Optimum

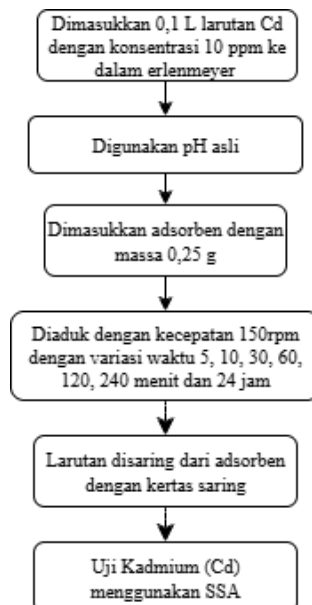
Setelah pH optimum diperoleh, langkah berikutnya adalah menentukan konsentrasi larutan. Ini dilakukan untuk mengetahui tingkat zat pencemar yang memungkinkan adsorben memaksimalkan efisiensi penyerapannya. Langkah penentuan konsentrasi larutan Cd dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3. 4 Langkah Penentuan Konsentrasi Optimum

3.5.3 Penentuan Waktu Kontak Optimum

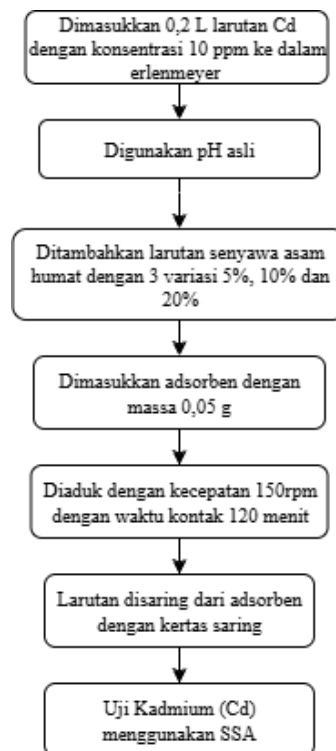
Setelah mendapatkan pH optimum dan konsentrasi optimum, langkah berikutnya adalah menghitung waktu adsorpsi. Ini dilakukan untuk mengetahui waktu optimal yang diperlukan agar adsorben dapat menyerap zat pencemar sebanyak mungkin dalam larutan. Langkah penentuan waktu kontak optimum dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3. 5 Langkah Penentuan Waktu Kontak Optimum

3.5.5 Penambahan Asam Humat

Setelah mendapatkan kondisi optimum dari masing-masing parameter, selanjutnya adalah menambahkan asam humat untuk melihat reaksi apa yang terjadi pada larutan Cd di dalam air tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3. 6 Langkah Penambahan Asam Humat

3.6 Analisis Data

Hasil penelitian ditentukan melalui analisis data yaitu persen adsorpsi, kapasitas adsorpsi dan isoterm adsorpsi.

3.6.1 Persen Adsorpsi

Perhitungan efisiensi penyisihan logam Cd dari limbah kulit durian dan analisis kemampuan adsorben untuk menyerap logam Cd, yaitu pada persamaan (3.1)

$$\text{Efisiensi removal \%} = \frac{C_0 - C_a}{C_0} \times 100 \dots (3.1)$$

Keterangan:

Co : Konsentrasi Cd sebelum adsorpsi (mg/L)

Ca : Konsentrasi Cd setelah adsorpsi (mg/L)

3.6.2 Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi meningkat dengan variasi konsentrasi ini. Namun, setelah kondisi kesetimbangan tercapai adsorben tidak lagi mampu menyerap adsorbat tambahan karena sebagian besar adsorbat telah terserap (Arif dan Mawardi, 2020). Terlihat pada persamaan (3.2).

$$Q_e = \frac{C_o - C_a}{M} \times V \dots (3.2)$$

Keterangan:

Qe : Konsentrasi kesetimbangan banyaknya adsorben yang terserap (mg/g)

Co : Konsentrasi awal larutan (mg/L)

Ca : Konsentrasi larutan setelah adsorpsi (mg/L)

M : Massa adsorben (g)

V : Volume sampel (L)

3.6.3 Isoterm Adsorpsi

Kesetimbangan adsorpsi adalah penjabaran matematis kondisi isothermal khusus untuk setiap sorbat/sorben. Oleh karena itu, kesetimbangan adsorpsi untuk setiap adsorbat dan penyerap berbeda, dengan jumlah zat yang diserap bergantung pada konsentrasi temperatur tetap (Husin dan Rosnelly, 2007). Model yang paling umum untuk menentukan kesetimbangan adsorpsi adalah isothermal adsorpsi.

Isoterm adsorpsi merupakan hubungan antara jumlah zat yang teradsorpsi dengan konsentrasi pada kondisi temperatur yang tetap. Selama proses adsorpsi, isoterm ini menunjukkan bagaimana adsorbat tersebar antara fase cair dan fase padat. Suatu persamaan menunjukkan hubungan ini. Isoterm Langmuir dan Freundlich adalah dua model isoterm adsorpsi yang paling umum digunakan (Nwabanne, 2008).

A. Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir menunjukkan bahwa pada permukaan adsorben terbentuk satu lapisan adsorbat atau monolayer, yang memiliki kapasitas adsorpsi tertinggi. Model ini menganggap bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan yang homogen, di mana setiap situs adsorpsi hanya dapat menampung satu molekul adsorbat. Dapat dilihat pada persamaan (3.4) di bawah ini.

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{ob}} + \frac{C_e}{Q_o} \dots (3.4)$$

Keterangan:

C_e : Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

Q_e : Jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/gr)

Q_o : Kapasitas adsorpsi (mg/gr)

b : Interaksi adsorpsi (L/mg)

B. Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich merupakan proses terjadinya adsorpsi dalam beberapa lapisan (multilayer) dengan ikatan yang relatif lemah. Persamaan berikut menggambarkan model isoterm freundlich dan digunakan untuk menentukan konstanta k dan n yang menunjukkan kapasitas dan intensitas adsorpsi. Dapat dilihat pada persamaan (3.3) di bawah ini.

$$\log \frac{X_m}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \dots (3.3)$$

Keterangan:

X : Jumlah zat terlarut yang diserap (mg)

M : Gram adsorben yang digunakan (g)

C_e : Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

K : Kapasitas adsorpsi (mg/g)

n : Intensitas adsorpsi (L/g)

3.6.4 Kinetika Adsorpsi

Perhitungan kinetika adsorpsi bertujuan untuk mengetahui kecepatan penyerapan zat terlarut (adsorbat) ke permukaan bahan penyerap (adsorben), lalu dihitung melalui konstanta laju (K) atau kemiringan pada grafik kinetika. Besarnya konstanta laju ini dipengaruhi oleh kecepatan adsorpsi, yaitu jumlah adsorbat yang terserap pada adsorben dalam kurun waktu tertentu (Haryanto dkk., 2016). Penentuan kinetika adsorpsi didasarkan pada model reaksi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Uji kedua model dilakukan dengan membuat kurva berdasarkan data hasil percobaan, kemudian membandingkan tingkat kelinerannya melalui nilai koefisien determinasi (R^2). Model yang menunjukkan nilai R^2 paling mendekati 1 dianggap sebagai model kinetika yang paling tepat untuk menggambarkan proses adsorpsi.

A. Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Satu

Kinetika adsorpsi orde pertama diasumsikan bahwa proses penyerapan ion logam oleh biomassa bersifat dapat balik (reversible) dan mengikuti mekanism. Persamaan kinetika adsorpsi model *pseudo* orde satu dapat dilihat pada persamaan (3.4) di bawah ini:

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_t}\right) = k_1 t \dots (3.4)$$

Keterangan:

C_i : Konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_t : Konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi pada waktu t (mg/L)

k_1 : Konstanta laju persamaan *pseudo* orde satu (menit^{-1})

t : Waktu (menit)

B. Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Dua

Kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua menggunakan persamaan laju adsorpsi yang bergantung pada konstanta laju (k) dan kapasitas adsorpsi pada kondisi setimbang (q_e). Umumnya, model ini

digunakan untuk menjelaskan proses adsorpsi yang melibatkan permukaan berpori (Ulayya K, 2024). Persamaan kinetika adsorpsi model pseudo orde dua dapat dilihat pada persamaan (3.5) di bawah ini.

$$\left(\frac{dq_t}{dt}\right) = k_2(q_e - q_t)^2 \dots (3.5)$$

Keterangan :

q_t : Banyaknya adsorbat yang diserap adsorben pada waktu t
(mg/g)

t : Waktu (menit)

q_e : Banyaknya adsorbat yang diserap adsorben saat setimbang
(mg/L)

k_2 : Konstanta laju persamaan *pseudo* orde dua (g/mg.min)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah pembuatan adsorben dari kulit durian. Kulit durian terlebih dahulu dipotong menjadi ukuran kecil, kemudian dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam untuk mengurangi kadar air. Setelah itu, kulit durian yang telah kering diblender/dihaluskan dan diayak menggunakan saringan berukuran 50 mesh. Selanjutnya, proses karbonisasi dilakukan menggunakan furnace dengan suhu 350°C selama 1,5 jam. Setelah proses karbonisasi selesai, dilanjutkan dengan proses adsorpsi dimulai dari variasi pH, konsentrasi logam, waktu kontak dan penambahan asam humat.

4.1 Karakterisasi Adsorben

4.1.1 *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

Pada penelitian ini, karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben kulit durian. Dengan memahami jenis gugus fungsi yang berkaitan dengan kandungan selulosa pada adsorben, kita dapat mengevaluasi perubahan kimia yang terjadi pada proses adsorpsi baik sebelum dan sesudah penambahan asam humat. Perbandingan spektrum FTIR memungkinkan kita untuk mengidentifikasi gugus aktif yang berperan dalam mekanisme adsorpsi logam berat Cd.

Analisis hasil uji FTIR dilakukan berdasarkan grafik dengan sumbu-x menunjukkan gelombang (λ , cm^{-1}) dan sumbu-y menunjukkan persen transmitansi (%). Identifikasi gugus fungsi dilakukan dengan mengamati puncak-puncak spesifik pada bilangan gelombang tertentu, yang mengindikasikan keberadaan gugus fungsi tertentu dalam sampel. Perubahan intensitas atau pergeseran posisi puncak setelah adsorpsi menunjukkan

interaksi antara adsorben dan adsorbat. Hasil interpretasi spektrum FTIR dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4. 1 Hasil Interpretasi Spektrum FTIR

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah Frekuensi (cm ⁻¹)	Intensitas
C - H	Alkana	2850 – 2970 1340 - 1470	Kuat Kuat
C - H	Alkena	3010 – 3095 675 - 995	Sedang Kuat
C - H	Alkana	3300	Kuat
C - H	Cincin Aromatik	3010 – 3100 690 - 900	Sedang Kuat
O - H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol Monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3590 – 3650 3200 – 3600 3500 – 3650 2500 -2700	Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar Sedang Melebar
N - H	Amina, Amida	3300 - 3500	Sedang
C = C	Alkena	1610 - 1680	Berubah-ubah
C = C	Cincin Aromatik	1500 - 1600	Berubah-ubah
C ≡ C	Alkana	2100 - 2260	Berubah-ubah
C - N	Amina, Amida	1180 - 1360	Kuat
C ≡ N	Nitril	2210 - 2280	Kuat
C - O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	1050 - 1300	Kuat
C = O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690 - 1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1500 – 1570 1300 - 1370	Kuat Kuat

Sumber: Skoog, dkk., 1998.

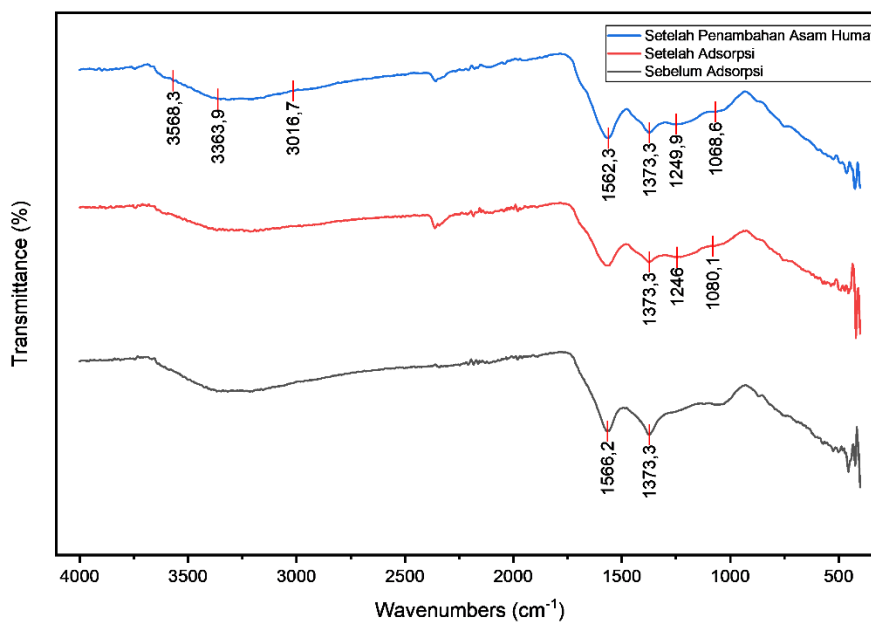
Hasil pembacaan bilangan dan gugus fungsi adsorben kulit durian dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1 di bawah ini.

Tabel 4. 2 Hasil Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi

Adsorben Kulit Durian	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Gugus Fungsi	Intensitas Pita
	Teori	Hasil		
Sebelum Adsorpsi	1340 - 1470	1373,3	C - H	69,03%
	1500 - 1600	1566,2	C = C	70,13%
	1050 - 1300	1080,1	C - O	83,18%

Adsorben	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Gugus Fungsi	Intensitas Pita	
	Teori	Hasil			
Kulit Durian					
	Setelah Adsorpsi	1050 - 1300	1246	C - O	79,99%
		1340 - 1470	1373,3	C - H	78,53%
Setelah Asam Humat		1050 - 1300	1068,6	C - O	76,47%
		1050 - 1300	1249,9	C - O	73,10%
		1340 - 1470	1373,3	C - H	70,85%
		1500 - 1600	1562,1	C = C	69,38%
		3010 - 3100	3016,7	C - H	82,04%
		3300 - 3500	3363	N - H	79,87%
	3500 - 3650	3568	O - H	84,75%	

Sumber: Data Primer, 2025



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Uji FTIR

Sumber: Data Primer, 2025

Hasil analisis FTIR, menunjukkan keberadaan berbagai gugus fungsi aktif pada adsorben kulit durian sebelum dan sesudah proses adsorpsi, serta setelah perlakuan penambahan asam humat. Hasil sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi menunjukkan adanya pergeseran serta perubahan intensitas

pita serapan. Terdapat pita serapan pada bilangan gelombang $1373,3 \text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan gugus C – H yaitu berasal dari senyawa lignoselulosa seperti selulosa dan hemiselulosa, mengalami perubahan intensitas dari 69,08% menjadi 78,53% menandakan adanya keterlibatan gugus tersebut dalam interaksi adsorpsi. Sementara itu, pita C = C aromatik pada $1566,2 \text{ cm}^{-1}$ yang kemungkinan berasal dari struktur lignin (Hatta, 2007), terdeteksi sebelum adsorpsi dengan intensitas 70,13% tidak lagi muncul setelah proses berlangsung, sehingga mengindikasikan melemahnya bahkan hilangnya ikatan rangkap akibat interaksi dengan ion logam. Selain itu, muncul pita baru pada rentang $1050\text{-}1300 \text{ cm}^{-1}$ yang dihubungkan dengan gugus C-O ($1080,1 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 83,18% dan 1246 cm^{-1} dengan intensitas 79,99%). Hal ini mengisyaratkan bahwa gugus beroksigen seperti hidroksil, karboksil berperan penting dalam proses pengikatan adsorbat.

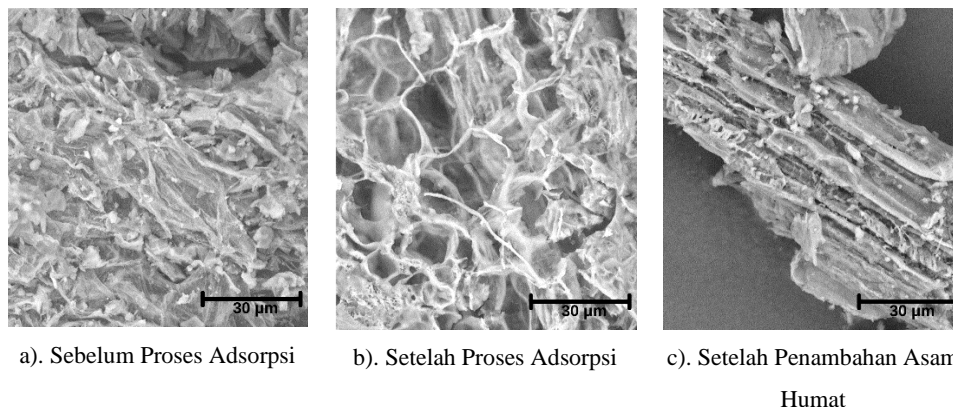
Perlakuan dengan asam humat menimbulkan sejumlah gugus fungsi baru, seperti C – O ($1068,6 \text{ cm}^{-1}$), C - O ($1249,9 \text{ cm}^{-1}$), C – H ($3016,7 \text{ cm}^{-1}$), N – H (3363 cm^{-1}), dan O – H (3568 cm^{-1}). Kehadiran gugus-gugus tersebut menandakan terjadinya transformasi kimia pada permukaan adsorben akibat interaksi dengan asam humat, yang memperkaya struktur permukaan dengan gugus aktif yang berperan dalam proses adsorpsi. Secara keseluruhan, perubahan dan penambahan gugus fungsi ini mendukung bahwa kulit durian memiliki potensi sebagai adsorben alami.

Menurut Tan (1993), semakin tinggi konsentrasi asam humat, maka semakin besar pula kontribusi gugus fungsional seperti karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH) dalam proses adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah situs aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan ion logam.

4.1.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

Analisis morfologi permukaan dilakukan menggunakan uji SEM dengan perbesaran 2000x untuk membandingkan struktur adsorben kulit

durian sebelum dan sesudah penambahan asam humat. Hasil pengujian adsorben dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4. 2 Hasil Uji SEM Adsorben Kulit Durian

Sumber: Data Primer, 2025

Pada Gambar 4.2 menunjukkan permukaan morfologi bioadsorben kulit durian dengan struktur permukaan yang berbeda serta pori-pori yang beragam. Rongga dan pori-pori pada permukaan adsorben memainkan peran penting dalam proses adsorpsi, karena memungkinkan larutan menyebar dan mengisi ruang-ruang kosong tersebut. Hal ini mendukung terjadinya interaksi antara dinding sel adsorben dengan molekul-molekul dalam larutan, sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung secara lebih efektif (Ariyani, S.B., 2019). Pada proses sebelum adsorpsi struktur terbuka yang menunjukkan sifat alami adsorben yang masih bersih dengan banyak area aktif yang bisa menyerap ion logam. Pada proses setelah adsorpsi, pori-pori mulai tertutup, disini menunjukkan bahwa ion Cd^{2+} telah melekat di permukaan bahan adsorben. Setelah penambahan asam humat, permukaan terlihat lebih halus dan ada lapisan tipis yang menutupi permukaan. Penambahan asam humat kemungkinan besar membentuk lapisan kompleks di permukaan adsorben.

4.2 Pengujian Kemampuan Adsorpsi

4.2.1 Uji Variasi pH Optimum

Pengujian variasi pH dilakukan untuk menentukan kondisi optimum dalam proses adsorpsi ion kadmium (Cd). Sampel yang digunakan berupa 0,02 L larutan awal dengan konsentrasi Cd sebesar 10 ppm dan 0,05 g

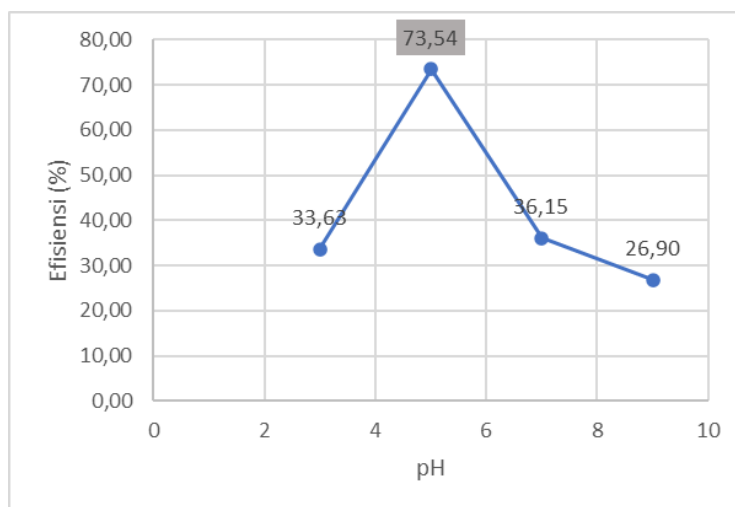
adsorben. Rentang pH yang diuji meliputi pH 3, 5, 7 dan 9. pH diatur dengan penambahan larutan Asam Klorida (HCl) 0,1 M untuk penurunan pH dan larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 0,1 M untuk peningkatan pH. Penyesuaian ini bertujuan untuk menjaga kestabilan nilai pH selama proses adsorpsi berlangsung. Data hasil variasi pH optimum dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3 Data Hasil Variasi pH Optimum

pH	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi (%)	Qe (mg/g)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
3	8,2	5,44	33,63	1,10
5	8,2	2,17	73,54	2,41
7	8,2	5,24	36,15	1,19
9	8,2	5,99	26,90	0,88

Sumber: Data Primer, 2025

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kenaikan dan penurunan setelah proses adsorpsi ion logam berat kadmium (Cd). Penggunaan adsorben kulit durian terbukti meningkatkan efisiensi penyerapan logam berat, terutama pada kondisi pH tertentu. Pada pH 3, konsentrasi awal Cd sebesar 8,2 mg/L menurun menjadi 5,44 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 33,63% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,10 mg/g. Pada pH 5, konsentrasi awal Cd sebesar 8,2 mg/L menurun menjadi 2,17 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 73,54% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,41 mg/g. Pada pH 7, konsentrasi awal Cd sebesar 8,2 mg/L menurun menjadi 5,24 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 36,15% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,19 mg/g. Pada pH 9, konsentrasi awal Cd sebesar 8,2 mg/L menurun menjadi 5,99 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 26,90% dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,88 mg/g. Grafik hasil uji variasi pH dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Uji Variasi pH

Sumber: Data Primer, 2025

Gambar 4.3 menyajikan grafik hasil pengujian variasi pH terhadap efektivitas proses adsorpsi. Berdasarkan data tersebut, pH 5 menunjukkan pH yang paling optimum dengan efisiensi penyisihan mencapai 73,45% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,41 mg/g. Pada kondisi asam yang lebih kuat, yaitu pada pH 3, kemampuan adsorpsi menurun karena jumlah ion H^+ yang tinggi bersaing dengan ion Cd^{2+} untuk mengikat tempat aktif di permukaan biosorben (Nasra, E., & Kurniawati, D, 2017). Penentuan pH dalam proses adsorpsi berkaitan erat dengan mekanisme protonasi dan deprotonasi yang terjadi pada permukaan adsorben. Pada kondisi asam, jumlah ion H^+ dalam larutan meningkat yang menyebabkan terjadinya protonasi pada gugus fungsional di permukaan adsorben, sehingga permukaan menjadi bermuatan positif. Muatan positif ini akan sulit menarik ion logam yang juga bermuatan positif (kation) karena terjadi tolakan elektrostatis. Sebaliknya, pada kondisi basa ion OH^- mendominasi dan menyebabkan deprotonasi pada gugus fungsional adsorben, menghasilkan muatan negative yang lebih mudah berinteraksi dengan ion logam kationik seperti Cd^{2+} (Tangio, 2013).

Penelitian ini menggunakan adsorben kulit durian yang mengandung selulosa dan hemiselulosa kaya akan gugus hidroksil serta karboksil. Sebagian gugus fungsi akan mengalami deprotonasi, di mana gugus ini

nantinya mampu berinteraksi secara elektrostatik dengan ion logam yang bermuatan positif seperti Cd. Lignin juga memiliki struktur aromatik dengan gugus metoksi dan fenolik yang dapat melepaskan proton dan berubah menjadi bentuk bermuatan negatif. Oleh karena itu, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa pH 5 merupakan kondisi optimum untuk memaksimalkan efisiensi adsorpsi ion kadmium (Cd) menggunakan adsorben dari kulit durian.

4.2.2 Uji Variasi Konsentrasi Optimum

Pengujian variasi konsentrasi dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas maksimum adsorpsi adsorben kulit durian dalam menyerap ion logam berat kadmium (Cd). Percobaan dilakukan dengan menggunakan larutan Cd pada berbagai konsentrasi awal, yaitu 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, dan 60 ppm. Setiap pengujian dilakukan menggunakan massa adsorben sebesar 0,05 g, pH yang digunakan 5 dengan volume larutan 0,02 L. Hasil variasi konsentrasi optimum dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

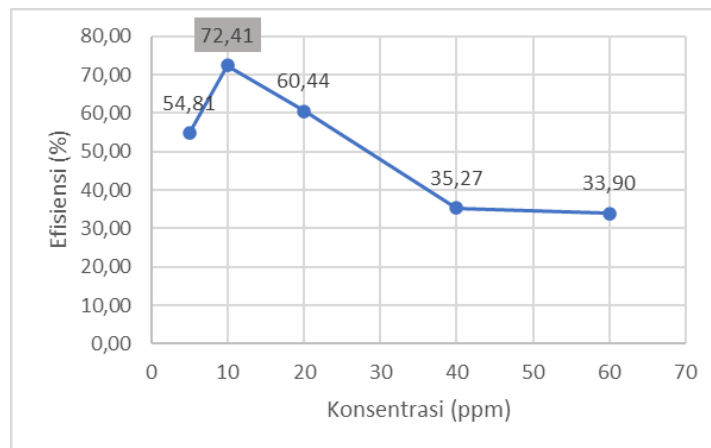
Tabel 4. 4 Data Hasil Variasi Konsentrasi Optimum

Konsentrasi (ppm)	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi (%)	Qe (mg/g)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
5	6,21	2,81	54,81	1,36
10	14,10	3,89	72,41	4,08
20	28,79	11,39	60,44	6,96
40	48,54	31,42	35,27	6,85
60	68,59	45,34	33,90	9,30

Sumber: Data Primer, 2025

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kenaikan dan penurunan setelah proses adsorpsi ion logam berat kadmium (Cd). Pada konsentrasi 6,21 mg/L menurun menjadi 2,81 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 54,81% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,36 mg/g. Pada konsentrasi 14,10 mg/L menurun menjadi 3,89 mg/L dengan efisiensi

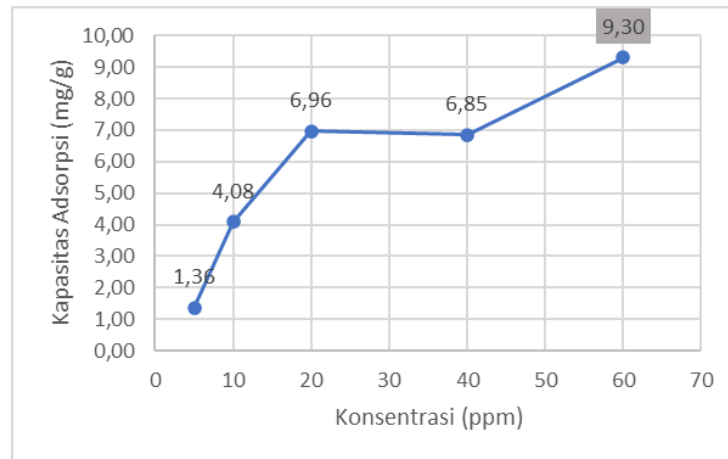
penyisihan sebesar 72,41% dan kapasitas adsorpsi sebesar 4,08 mg/g. Pada konsentrasi 28,79 mg/L menurun menjadi 11,39 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 60,44% dan kapasitas adsorpsi sebesar 6,96 mg/g. Pada konsentrasi 48,54 mg/L menurun menjadi 31,42 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 35,27% dan kapasitas adsorpsi sebesar 6,85 mg/g. Pada konsentrasi 68,59 mg/L menurun menjadi 45,34 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 33,90% dan kapasitas adsorpsi sebesar 9,30 mg/g. Grafik hasil uji variasi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Uji Variasi Konsentrasi

Gambar 4.4 menyajikan grafik hasil pengujian variasi konsentrasi terhadap efektivitas proses adsorpsi. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion kadmium dalam larutan, semakin besar pula kapasitas adsorpsi yang dicapai. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan ion Cd^{2+} dalam jumlah lebih banyak memberikan dorongan yang lebih besar untuk berinteraksi dengan situs aktif pada permukaan adsorben. Fenomena ini sejalan dengan temuan (Putri dkk., 2020) yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi ion kadmium dalam larutan menyebabkan peningkatan kapasitas adsorpsi hingga titik kejenuhan permukaan tercapai. Ketika konsentrasi meningkat, ketersediaan ion Cd yang dapat berikatan dengan gugus fungsional pada permukaan adsorben seperti hidroksil,

karboksil dan amida, semakin besar sehingga kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan yang signifikan (Saikaew, W. dan Kaewsarn, P., 2010).



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji Variasi Kapasitas Adsorpsi

Sumber: Data Primer, 2025

Gambar 4.5 menyajikan grafik hasil pengujian variasi konsentrasi terhadap kapasitas proses adsorpsi. Secara umum, peningkatan kapasitas adsorpsi dengan bertambahnya konsentrasi awal Cd dipengaruhi oleh semakin besarnya gaya dorong konsentrasi yang mempercepat difusi ion menuju permukaan adsorben. Pada konsentrasi rendah, jumlah ion yang ada belum mampu memenuhi situs aktif, sehingga kapasitas adsorpsi masih rendah. Grafik juga menunjukkan bahwa pada rentang konsentrasi 20 dan 40 ppm, peningkatan kapasitas adsorpsi melambat yang mengindikasikan bahwa sebagian besar situs aktif telah terisi. Namun, pada konsentrasi 60 ppm, kapasitas adsorpsi kembali meningkat secara signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh terjadinya adsorpsi multilayer atau interaksi tambahan antara ion Cd^{2+} dengan pori-pori internal adsorben. Penjelasan ini diperkuat oleh (Fauziah dkk., 2022) yang menyatakan bahwa pada konsentrasi tinggi, adsorpsi logam berat dapat melibatkan mekanisme tambahan seperti presipitasi lokal atau pembentukan kompleks pada lapisan kedua.

4.2.3 Uji Variasi Waktu Kontak Optimum

Pengujian variasi waktu kontak untuk mengidentifikasi durasi optimum yang dibutuhkan dalam menurunkan konsentrasi ion kadmium (Cd) hingga mencapai keadaan kesetimbangan. Dalam pengujian variasi ini dilakukan menggunakan massa adsorben sebesar 0,25 g, pH yang digunakan 5 dengan volume larutan 0,1 L. Variasi waktu kontak yang diuji meliputi 5, 10, 30, 60, 120, 240 dan 1440 menit. Hasil variasi konsentrasi waktu kontak optimum dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

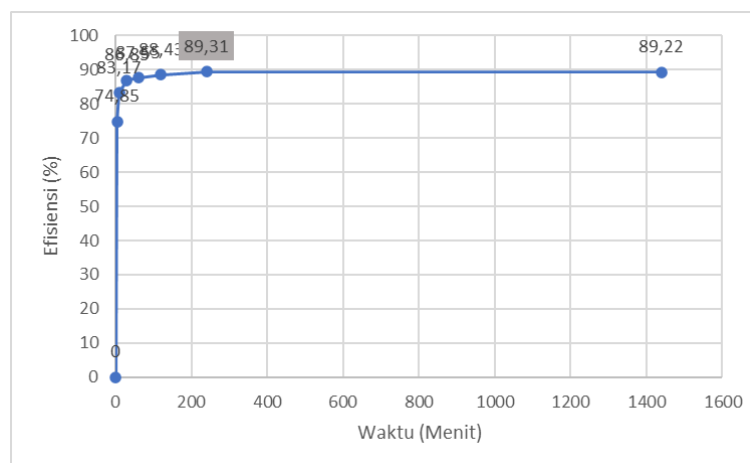
Tabel 4. 5 Data Hasil Variasi Waktu Kontak Optimum

Waktu (Menit)	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi (%)	Qe (mg/g)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
5	11,41	2,87	74,85	3,42
10	11,41	1,92	83,17	3,80
30	11,41	1,50	86,85	3,96
60	11,41	1,42	87,55	4,00
120	11,41	1,32	88,43	4,04
240	11,41	1,22	89,31	4,08
1440	11,41	1,23	89,22	4,07

Sumber: Data Primer, 2025

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas adsorpsi ion kadmium (Cd). Secara umum, terdapat hubungan positif antara durasi kontak dan efisiensi adsorpsi. Semakin lama waktu kontak, semakin besar kemampuan adsorben dalam menurunkan konsentrasi ion Cd dalam larutan. Pada waktu 5 menit, konsentrasi awal Cd sebesar 11,41 mg/L menurun menjadi 2,87 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 74,85% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,42 mg/g. Pada waktu 10 menit, konsentrasi awal Cd sebesar 11,41 mg/L menurun menjadi 1,92 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 83,17% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,80 mg/g. Pada waktu 30 menit, konsentrasi awal Cd sebesar 11,41 mg/L menurun menjadi 1,50 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 86,85% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,96 mg/g. Pada waktu 60 menit, konsentrasi awal

Cd sebesar 11,41 mg/L menurun menjadi 1,42 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 87,55% dan kapasitas adsorpsi sebesar 4,00 mg/g. Pada waktu 120 menit, konsentrasi awal Cd sebesar 11,41 mg/L menurun menjadi 1,32 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 88,43% dan kapasitas adsorpsi sebesar 4,04 mg/g. Pada waktu 240 menit, konsentrasi awal Cd sebesar 11,41 mg/L menurun menjadi 1,22 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 89,31% dan kapasitas adsorpsi sebesar 4,08 mg/g. Pada waktu 1440 menit, konsentrasi awal Cd sebesar 11,41 mg/L menurun menjadi 1,23 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 89,22% dan kapasitas adsorpsi sebesar 4,07 mg/g. Grafik hasil uji variasi waktu kontak dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Uji Variasi Waktu Kontak

Sumber: Data Primer, 2025

Gambar 4.6 menyajikan grafik hasil pengujian variasi waktu kontak terhadap efektivitas proses adsorpsi. Dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapan meningkat seiring bertambahnya waktu hingga mencapai titik jenuh. Pada tahap awal (0-60 menit), efisiensi meningkat tajam dari 74,85% menjadi 87,55%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa banyaknya situs aktif yang masih tersedia pada permukaan adsorben menyebabkan ion Cd^{2+} mudah berinteraksi dan terikat, sehingga laju adsorpsi berlangsung cepat. Setelah melewati 60 menit, laju peningkatan mulai melambat dan efisiensi maksimum tercapai pada menit ke-240 sebesar 89,31%. Selanjutnya, hingga menit ke-

1440, efisiensi relatif konstan pada 89,22% menandakan bahwa sistem telah mencapai kesetimbangan adsorpsi, di mana sebagian besar tempat aktif telah terisi dan tidak ada lagi peningkatan signifikan.

Fenomena melambatnya laju adsorpsi setelah waktu tertentu umum terjadi dalam proses penyerapan ion logam berat, karena kemampuan permukaan adsorben menurun setelah jenuh oleh ion logam. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh (Sudaryanto dkk., 2006) dalam *Bioresource Technology*, yang melaporkan bahwa limbah biomassa seperti kulit buah memiliki potensi besar sebagai biosorben logam berat, berkat kandungan lignoselulosa dan keberadaan gugus fungsi aktif seperti hidroksil, karboksil dan fenolik yang mampu berikatan dengan ion logam.

4.3 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk menentukan model isoterm adsorpsi. Analisis ini dilakukan berdasarkan kondisi optimum yang telah diperoleh dari parameter sebelumnya, yaitu konsentrasi ion Cd terbaik selama proses adsorpsi berlangsung. Isoterm yang digunakan pada analisis ini yaitu langmuir dan freundlich. Pemilihan model isoterm adsorpsi didasarkan pada nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1 dianggap paling sesuai menggambarkan proses adsorpsi yang terjadi.

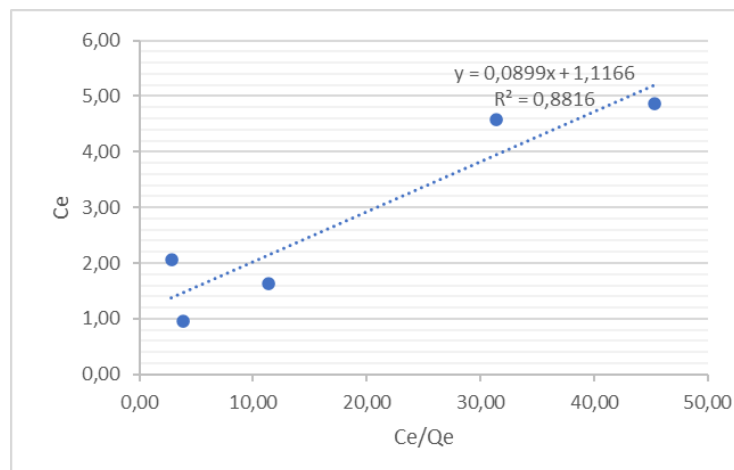
4.3.1 Isoterm Langmuir

Dalam model langmuir, analisis dilakukan dengan cara memplot $1/Q_e$ (kebalikan dari kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan) terhadap $1/C_e$ (kebalikan dari konsentrasi larutan pada kesetimbangan). Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh parameter-parameter model langmuir seperti kapasitas maksimum adsorpsi (Q_{max}) dan konstanta langmuir (KL). Data hasil perhitungan model langmuir dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan grafik nya pada Gambar 4.7 di bawah ini.

Tabel 4. 6 Perhitungan Isoterm Langmuir

Perhitungan	Hasil
<i>Qo/Slope</i>	0,0899
<i>Intercept</i>	1,1166
Qmax (mg/g)	0,896
KL	12,420
R ²	0,8816

Sumber: Data Primer, 2025



Gambar 4. 7 Grafik Isoterm Langmuir

Sumber: Data Primer, 2025

Berdasarkan Tabel 4.6 dan Gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa nilai slope 0,0899 dengan intercept 1,1166 dan R² 0,8816 (atau 88,16%) menunjukkan proses ini masih cukup baik dalam menjelaskan data. Diketahui bahwa proses adsorpsi ion kadmium berlangsung pada permukaan adsorben yang bersifat seragam (homogen). Di mana setiap situs aktif memiliki tingkat energi yang setara. Adsorpsi ini terjadi dalam bentuk satu lapisan (monolayer) yang berarti ion-ion cadmium hanya melekat pada satu permukaan tanpa adanya interaksi antar ion yang telah teradsorpsi (Saikaew, W. dan Kaewsarn, P., 2010).

Berdasarkan penelitian Saikaew, W. dan Kaewsarn, P., (2010) didapatkan nilai Qmax dengan adsorben kulit durian untuk penurunan logam

kadmium yaitu 0,26 mg/g yang mana lebih rendah dibandingkan dengan penelitian ini yaitu 0,896 mg/g. Perbedaan nilai dipengaruhi oleh faktor durasi waktu kontak serta langkah preparasi adsorben. Pada penelitian ini menggunakan waktu kontak 120 menit dilakukan proses karbonisasi selama 1,5 jam. Karbonisasi tersebut menghasilkan adsorben dengan porositas lebih berkembang, luas permukaan lebih besar, dan ketersediaan gugus aktif yang lebih tinggi, sehingga proses adsorpsi berlangsung lebih efektif dan kapasitas maksimum meningkat. Sebaliknya pada penelitian Saikaew, W. dan Kaewsarn, P., (2010), struktur adsorben tidak optimal, pelepasan senyawa organik dan sebagian ion Cd^{2+} terlepas kembali (desorpsi), sehingga kapasitas adsorpsi menurun. Dengan demikian, perbedaan nilai Q_{max} menegaskan bahwa perlakuan karbonisasi serta pemilihan waktu kontak berperan penting dalam meningkatkan kinerja adsorpsi kulit durian terhadap ion Cd^{2+} .

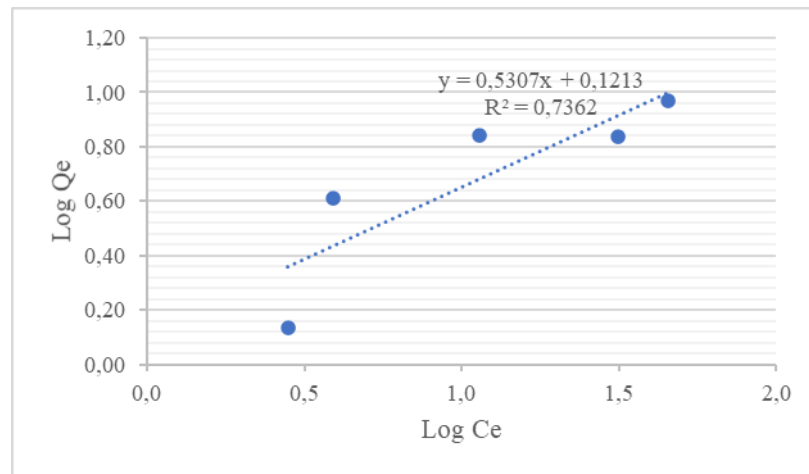
4.3.2 Isoterm Freundlich

Selanjutnya, model freundlich, analisis dilakukan dengan cara memplot $\log Q_e$ terhadap $\log C_e$, di mana hubungan linear antara keduanya digunakan untuk menentukan konstanta freundlich (KF) dan eksponen heterogenitas (n). Perhitungan isoterm freundlich dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.8.

Tabel 4. 7 Perhitungan Isoterm Freundlich

Perhitungan	Hasil
<i>Qo/Slope</i>	0,5307
<i>Intercept</i>	0,1213
1/n	1,884
Kf	1,322
R ²	0,7362

Sumber: Data Primer, 2025



Gambar 4. 8 Grafik Isoterm Freundlich

Sumber: Data Primer, 2025

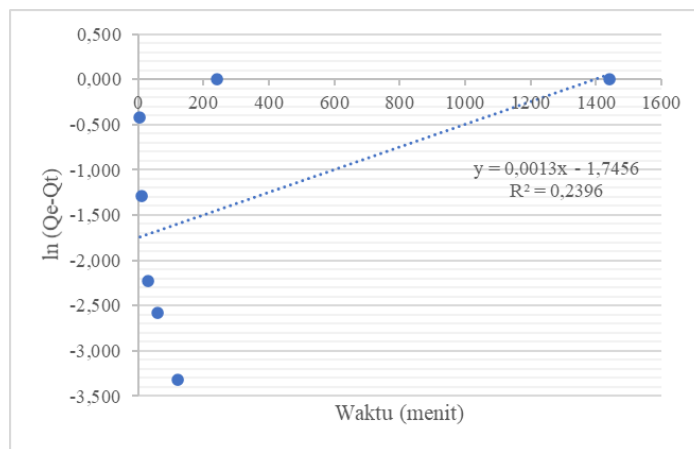
Berdasarkan Tabel 4.7 dan Gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa nilai slope 0,5307 dengan intercept 0,1213 dan R^2 0,7362 (atau 73,62%) menunjukkan bahwasanya model ini juga cukup baik dalam menjelaskan data, tetapi lebih sedikit rendah dari langmuir. Nilai n yang diperoleh menunjukkan adsorpsi tidak menguntungkan dan nilai Kf sebesar 1,32 menyatakan kapasitas adsorpsi relative rendah. Model Freundlich mengasumsikan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen, sehingga secara teoritis lebih sesuai untuk material alami seperti kulit durian. Namun berdasarkan nilai R^2 , model ini kurang mampu mempresentasikan data adsorpsi dibandingkan model langmuir.

4.4 Perhitungan Kinetika Adsorpsi

Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk menentukan model kinetika adsorpsi, Kinetika adsorpsi berfokus pada analisis dan prediksi laju penyerapan antara adsorben dan adsorbat. Dalam penelitian ini, model kinetika yang digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi adalah model *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua (Ulayya K, 2024).

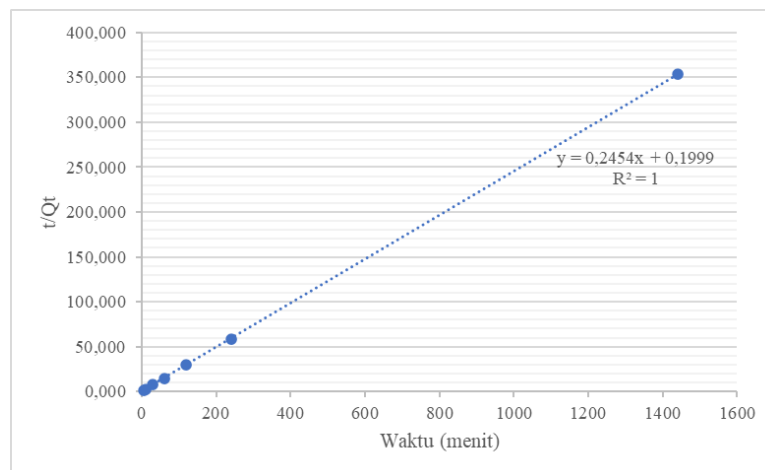
Model kinetika *pseudo* orde satu atau dikenal sebagai persamaan lagergren mengasumsikan bahwa proses adsorpsi berlangsung melalui mekanisme fisik (Liu dkk., 2010). Dalam model ini, laju biosorpsi dianggap

proporsional terhadap jumlah situs aktif yang masih kosong pada permukaan biosorben (Ozdemir dkk., 2003). Model kinetika pseudo orde dua mengansumsikan bahwa mekanisme adsorpsi berlangsung melalui interaksi kimia (Liu dkk., 2010). Dalam model ini, laju adsorpsi dipengaruhi oleh kuadrat selisih antara kapasitas adsorpsi saat ini dan kapasitas pada kondisi setimbang yang menjadi pendorong utama proses adsorpsi. Grafik model kinetika *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10 di bawah ini.



Gambar 4. 9 Model Kinetika *Pseudo* Orde Satu

Sumber: Data Primer, 2025



Gambar 4. 10 Model Kinetika *Pseudo* Orde Dua

Sumber: Data Primer, 2025

Berdasarkan hasil penelitian, dapat dilihat pada Gambar 4.9 bahwa nilai koefisien korelasi (R^2) *pseudo* orde satu adalah 0,2396, sedangkan pada Gambar 4.9 dapat dilihat nilai koefisien korelasi (R^2) *pseudo* orde dua adalah 1. Hal ini dibuktikan bahwa *pseudo* orde satu lebih rendah dibandingkan *pseudo* orde dua. Dimana, nilai *pseudo* orde dua yaitu 1. Nilai R^2 ini mencerminkan kekuatan hubungan antara data dan model yang digunakan (Ulayya K, 2024). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi batch ini menggunakan *pseudo* orde dua.

4.5 Uji Variasi Penambahan Asam Humat

Pengujian variasi penambahan asam humat dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses adsorpsi ion logam Cd pada adsorben kulit durian. Dalam pengujian variasi ini dilakukan menggunakan massa adsorben sebesar 20 mg, pH yang digunakan 5, waktu yang digunakan 120 menit dengan volume larutan 20 mL. Variasi asam humat yang diuji meliputi 5%, 10% dan 20%. Hasil variasi penambahan asam humat dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

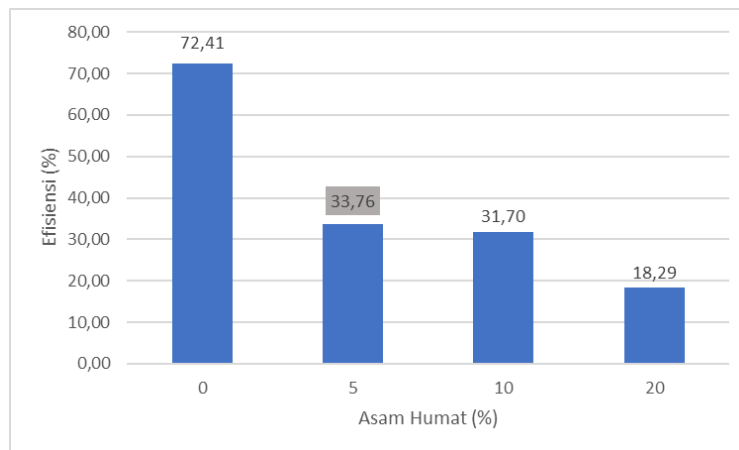
Tabel 4. 8 Data Hasil Variasi Asam Humat

Variasi Asam Humat (%)	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (Q_e) (mg/g)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
0	14,10	3,89	72,41	4,08
5	12,56	8,32	33,76	1,70
10	14,04	9,59	31,70	1,78
20	13,72	11,21	18,29	1,00

Sumber: Data Primer, 2025

Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penyerapan adsorben terhadap asam humat tersebut menurun dan stabil. Pada variasi 5% konsentrasi awal sebesar 12,56 mg/L menurun menjadi 8,32 mg/L, dengan efisiensi penyisihan sebesar 33,76% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,70 mg/g. pada variasi 10%

konsentrasi awal sebesar 14,04 mg/L menurun menjadi 9,59 mg/L, dengan efisiensi penyisihan sebesar 31,70% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,78 mg/g. Pada variasi 20% konsentrasi awal sebesar 13,72 mg/L menurun menjadi 11,21 mg/L, dengan efisiensi penyisihan sebesar 18,29% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,00 mg/g. Grafik hasil uji variasi asam humat dapat dilihat pada Gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4. 11 Grafik Hasil Uji Variasi Asam Humat

Sumber: Data Primer, 2025

Gambar 4.11 menyajikan grafik hasil pengujian variasi asam humat terhadap efektivitas proses adsorpsi dengan pembandingan grafik uji variasi konsentrasi 10 ppm. Dapat disimpulkan bahwa persentase adsorpsi Cd mengalami penurunan yang signifikan, di mana semakin besar persen asam humat yang dipakai semakin besar juga penyerapan terhadap ion Cd oleh adsorbennya.

Asam humat memiliki kelompok fungsi aktif seperti karboksil dan fenolik yang bisa berinteraksi dengan ion logam berat. Namun, dalam kondisi tertentu asam humat justru mengurangi kemampuan adsorben berbasis selulosa dalam menyerap logam berat seperti kadmium (Cd). Salah satu alasan utamanya adalah terbentuknya kompleks larut antara asam humat dan ion logam di dalam larutan (Wang Y, dkk., 2019). Pembentukan kompleks ini menyebabkan berkurangnya jumlah ion logam bebas yang tersedia untuk ditangkap oleh adsorben. Di samping itu, asam humat juga dapat

berkompetisi secara langsung dengan ion logam dalam mengisi situs aktif pada permukaan adsorben. Ketika situs aktif tersebut sudah ditempati oleh molekul asam humat, maka ion logam tidak dapat lagi teradsorpsi sehingga menurunkan efektivitas proses adsorpsi (Song, C., 2025).

Berdasarkan penelitian Muzakky, D. B dan Muhadi, A. W, (2020) menjelaskan bahwa asam humat yang berasal dari tanah gambut berfungsi positif karena bertindak sebagai pengkelat yang stabil terhadap logam, sehingga memperkuat kemampuan meningkat ion Cd^{2+} , sedangkan pada penelitian ini menggunakan asam humat bebas yang ditambahkan secara langsung ke dalam larutan Cd^{2+} adsorben kulit durian berperilaku kurang menguntungkan terhadap proses adsorpsi. Struktur makromolekul asam humat yang kompleks cenderung menempel pada permukaan adsorben, menyebabkan penutupan pori (*pore blocking*) dan mengurangi jumlah situs aktif yang tersedia terhadap ion Cd^{2+} .

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kulit durian memiliki efektivitas cukup baik dalam mengurangi kandungan logam berat kadmium di dalam air. Hal ini terbukti dari peningkatan kapasitas adsorpsi seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal kadmium, dengan nilai tertinggi mencapai 9,30 mg/g pada konsentrasi 60 ppm.
2. Proses adsorpsi kadmium menggunakan kulit durian menunjukkan hasil optimal pada pH 5 dengan efisiensi removal yaitu 73,54%, waktu kontak 240 menit dengan efisiensi removal yaitu 89,31%, dan konsentrasi awal 10 ppm dengan efisiensi removal 72,41%. Hasil ini menunjukkan bahwa kulit durian efektif sebagai adsorben dalam menurunkan kadar kadmium di air.
3. Penambahan asam humat ke dalam adsorben kulit durian mengakibatkan perubahan sifat adsorben yang berdampak pada penurunan kemampuan dalam menyerap ion kadmium. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya kompleks larut dengan kadmium dan kompetisi asam humat dalam menempati situs aktif adsorben, sehingga menghambat proses adsorpsi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, ini memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Peneliti selanjutnya diharapkan dapat melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan kulit durian sebagai adsorben dalam proses adsorpsi logam berat kadmium, mengingat topik ini masih

sangat jarang dikaji. Selain itu, disarankan agar adsorben dimodifikasi melalui penambahan senyawa tertentu atau dilakukan proses aktivasi terlebih dahulu guna meningkatkan efektivitas dan kapasitas adsorpsinya.

2. Peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan optimasi lanjutan penggunaan asam humat alami dengan mempertimbangkan variasi pH larutan serta konsentrasi asam humat.
3. Untuk penelitian selanjutnya, peneliti disarankan lebih fokus pada penggunaan dalam kulit durian (mesokarp) sebagai adsorben, karena bagian dalam memberikan kontribusi utama terhadap efektivitas adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abate, G.Y., Alene, A.N., Habte, A.T. and Addis, Y.A. 2021. Adsorptive Removal of Basic Green Dye from Aqueous Solution using Humic Acid Modified Magnetite Nanoparticles: Kinetics, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, pp.967-984.
- Ahmad, N., Arsyad, F.S., Royani, I. and Lesbani, A. 2022. Adsorption of Methylene Blue on Magnetite Humic Acid: Kinetic, Isotherm, Thermodynamic, and Regeneration Studies. *Results in Chemistry*, 4, p.100629.
- Ali, H., Khan, E., and Ilahi, I. 2019. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019: 1-14.
- Anazawa, K., Kaida, Y., Shinomura, Y., Tomiyasu, T. and Sakamoto, H. 2004. Heavy-Metal Distribution in River Waters and Sediments Around a “Firefly Village”, Shikoku, Japan: Application of Multivariate Analysis. *Analytical Sciences*, 20(1), pp.79-84.
- Andriany, A. dan Fahrudin, F. 2018. Pengaruh Jenis Bioaktivator terhadap Laju Dekomposisi Seresah Daun Jati *Tectona Grandis* Lf, di Wilayah Kampus Unhas Tamalanrea. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 3(2), pp.31-42.
- Apriadi, D. 2005. Kadar Logam Berat Hg, Pb dan Cr Pada Air, Sedimen dan Kerang Hijau (*Perna Viridis* L) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta (Skripsi). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Apriani, R., Faryuni, I.D. dan Wahyuni, D. 2013. Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kualitas Karbon Aktif Kulit Durian sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut. *Prisma Fisika*, 1(2).

- Arif, M. D., dan Mawardi. 2020. Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan terhadap Penyerapan Ion Logam Cr+6 menggunakan Biomassa Alga Hijau *Mougeotia Sp* yang dimobilisasi dengan Natrium Silika. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, 9(2), 50–54.
- Ariyani, S. B. 2019. Karakteristik Bioadsorben dari Limbah Kulit Durian untuk Penyerapan Logam Berat Fe dan Zn pada Air Sumur. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 4(1), pp.23-28.
- Asip, F., Mardhiah, R., dan Husna, H. 2008. Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2).
- Bandosz, T. J. 2009. Surface Chemistry of Carbon Materials. In *Carbon Materials for Catalysis*. Serp, P., & Figueiredo, J.L. (Eds.). pp. (58-78), Wiley, ISBN 978-0-470-17885-0.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Fauziah, N., Rahayu, W., dan Pratiwi, R. 2022. Isotherm and Kinetics of Cd(II) Adsorption onto Agricultural Waste-Based Adsorbents. *Environmental Research and Technology Journal*, 5(1), 45–52.
- Haryanto, B., Panjaitan, F., Haloho, H., Rawa, R., dan Ridho, M. 2016. Kajian kemampuan Adsorpsi Batang Jagung (*zea mays.*) terhadap Ion Logam Kadmium (Cd^{2+}). *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 2(1).
- Hatta, V. 2007. Manfaat Kulit Durian Selezat Buahnya. *Jurnal. UNLAM*.
- Herlina, R., Nasra, E., Zainul, R. dan Sari, T. K. 2023. Pengaruh Massa Adsorben pada Biosorpsi Ion Logam Cr (VI) menggunakan Selulosa dari Kulit Durian (*Durio zibethinus L.*). *Chemistry Journal of Universitas*, 12(2).
- Husin, H., dan Rosnelly, C. M. 2007. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*, 20(1), pp.1-10.
- Liu, Q. S., Zheng, T., Wang, P., Jiang, J. P., and Li, N. 2010. Adsorption Isotherm, Kinetic and Mechanism Studies of some Substituted

- Phenols on Activated Carbon Fibers. *Chemical Engineering Journal*, 157(2–3), 348–356.
- Lubis, R., Saragih, S.W., Wirjosentono, B. and Eddyanto, E. 2018. Characterization of Durian Rinds Fiber (*Durio Zibenthinus*, murr) from North Sumatera. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2049, No. 1). AIP Publishing.
- Mamoribo, H., Rompas, R. J., dan Kalesaran, O. J. 2019. Determinasi Kandungan Kadmium (Cd) di Perairan Pantai Malalayang sekitar Rumah Sakit Prof. Kandou Manado. *E-journal Budidaya Perairan*; 3(1).
- Muzakky, D. B dan Muhadi, A .W. (2020). Kelatisasi Ion Logam (Cu^{2+} , Cd^{2+} dan Cr^{3+}) dengan Asam Humat Hasil Proses Tanah Gambut.
- Nalle, F. C., Wahid, R., Wulandari, I. O. and Sabarudin, A. 2019. Synthesis and Characterization of Magnetic Fe_3O_4 Nanoparticles using Oleic Acid as Stabilizing Agent. *Rasayan J. Chem*, 12(1), p.14.
- Nasra, E., and Kurniawati, D. 2017. Biosorption of Cadmium and Copper Ions from Aqueous Solution using Banana (*Musa paradisiaca*) Shell as Low-Cost Biosorbent. In *Proceedings of ICoChEA (International Conference On Chemistry And Engineering In Agroindustry)* (Vol. 1, No. 1, pp. 33-36).
- Ngatijo, N., Gusmaini, N., Bemis, R., dan Basuki, R. 2021. Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika. *Chemical Engineering Research Articles*, 4(1), pp.51-64.
- Ningrum, N. A. D. 2023. *Sintesis Karbon Aktif dari Limbah Kulit Durian (*Durio Zibenthinus*) sebagai Adsorben pada Tumpahan Minyak di Perairan* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).
- Nwabanne, J. T., and Igbokwe, P. K. 2008. Kinetics and Equilibrium Modeling of Nikel Adsorption by Cassava Peel. *J. of Engineering and Applied Sciences*, 3 (11): 829-834.

- Ozdemir, G., Ozturk, T., Ceyhan, N., Isler, R., and Cosar, T. 2003. Biosorpsi Logam Berat berdasarkan Biomassa *Ochrobactrum Anthropi* memproduksi Eksopolisakarida dalam Lumpur Aktif. *Bioresour. Technol.* 90, 71–74.
- Patang. 2018. Dampak Logam Berat Kadmium pada Perairan. Badan Penerbit UNM.
- Primaharinastiti, R., dan Prawita. A. 2004. Pemanfaatan Serbuk Kayu Meranti (*Shorea spp.*) untuk Eliminasi Cemaran Logam Berat Beracun Timbal (Pb). Surabaya, Universitas Airlangga.
- Putri, R. N., Susanti, R., and Firmansyah, D. 2020. Adsorption of Cadmium (II) using Activated Carbon from Durian Peel. *Jurnal Kimia VALENSI*, 6(2), 159–166.
- Raditya, B. S., dan Hendiyanto, O. 2016. Pemanfaatan Kulit Durian sebagai Adsorben Logam Berat Pb pada Limbah Cair Elektroplating
- Rahmawati, A. 2004. Studi Adsorpsi Kadmium(II) dan Timbal(II) pada Asam Humat. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Saikaew, W. and Kaewsarn, P. 2010. Durian Peel as Biosorbent for Removal of Cadmium Ions from Aqueous Solution. *Applied Environmental Research*, 32(1), pp.17-30.
- Santosa, S. J., Jumina dan Sri, S. 2003. Sintesis Membran Bio Urai Selulosa Asetat dan Adsorben Super Karboksi Metilselulosa dari Selulosa Ampas Tebu Limbah Pabrik Gula. FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Saravanan, A., Kumar, P. S., Karishma, S., Vo, D. V. N., Jeevanantham, S., Yaashikaa, P. R., and George, C.S. 2021. A Review on Biosynthesis of Metal Nanoparticles and its Environmental Applications. *Chemosphere*, 264, p.128580.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., and Nieman, T. A. 1998. Raman Spectroscopy. *Principles of Instrumental Analysis*, 5, pp.429-444.
- Song, C., Liu, J., Zhang, L., Wang, J., and Shu, X. 2025. Competitive Adsorption of Pb^{2+} from Aqueous Solutions by Multi-Source Lignocellulose-Derived Hydrothermal Humic Acid.

- Sudaryanto, Y., Hartono, S. B., Irawaty, W., Hindarso, H., and Ismadji, S. 2006. High Efficiency Heavy Metal Removal by Low Cost Activated Carbon Prepared from Baste biomass. *Bioresource Technology*, 97(4), 734–739.
- Sulistyaningsih, T., Ariyani, S. and Astuti, W. 2021. Preparation of Magnetite Coated Humic Acid (Fe₃O₄-HA) as Malachite Green Dye Adsorbent. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1918, No. 3, p. 032005). IOP Publishing.
- Tan, K. H. 1993. Principles of Soil Chemistry. New York: CRC Press
- Tan. 1996. Dasar-Dasar Kimia Tanah terjemahan oleh Gunadi, D. H. dan Radjagukguk, B. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Tangio, Julhim S. 2013. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Jurnal Pendidikan Kimia*. FMIPA Universitas Negeri Gorontalo
- Ulayya, K. 2024. *Studi Kinetika Adsorpsi Rhodamin-B Oleh Karbon Aktif Kulit Durian Dan Sabut Pinang* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry Fakultas Tarbiyah dan Keguruan).
- Wang, Y., Li, Y., Zhang, Y., and Wei, W. 2019. Effects of Macromolecular Humic/Fulvic Acid on Cd (II) Adsorption onto Reed-Derived Biochar as Compared with Tannic Acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, pp.43-55.
- Yusuf, B. 2016. Pemanfaatan Arang Aktif dari Kulit Durian (*Durio Zibethinus L.*) sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium (II). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 13(1).

LAMPIRAN

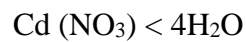
Lampiran 1 Perhitungan

A. Pembuatan Larutan Induk Cd

Diketahui:

$$\text{Cd}^{2+} \text{ 500 mg/L}$$

$$\text{Massa Cd}^{2+} = 250 \text{ mg}$$



$$\text{Mr Cd(NO}_3)_2 = 308,47 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Cd} = 112,41 \text{ g/mol}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Larutan Cd} &= \frac{\text{Mr Cd (NO}_3)_2}{\text{Ar Cd}} \times 250 \text{ mg} \\ &= \frac{308,47}{112,41} \times 250 \text{ mg} \\ &= 2,7442 \times 250 \text{ mg} \\ &= 689,05 \text{ mg/L} \\ &= 0,6861 \text{ g/500 mL} \end{aligned}$$

Jadi, 0,6861 gram Cd(NO₃)₂ yang dilakukan dalam 500 mL larutan aquadest dan menjadi larutan induk Cd sebesar 500 PPM.

B. Pembuatan Larutan Kerja 500 PPM 1000 mL ke 10 PPM

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

$$500 \text{ PPM} \times V_1 = 10 \text{ PPM} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ PPM} \times 1000 \text{ mL}}{500 \text{ PPM}}$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian



a). Pemotongan limbah kulit durian



b). Pencucian limbah kulit durian



c). Menjemur di sinar matahari selama 24 jam



d). Adsorben kulit durian di blender setelah itu diayak dengan 50 mesh



e). Pengeringan kembali dengan suhu oven 110°C



f). Proses karbonisasi dengan suhu 350°C selama 1,5 jam



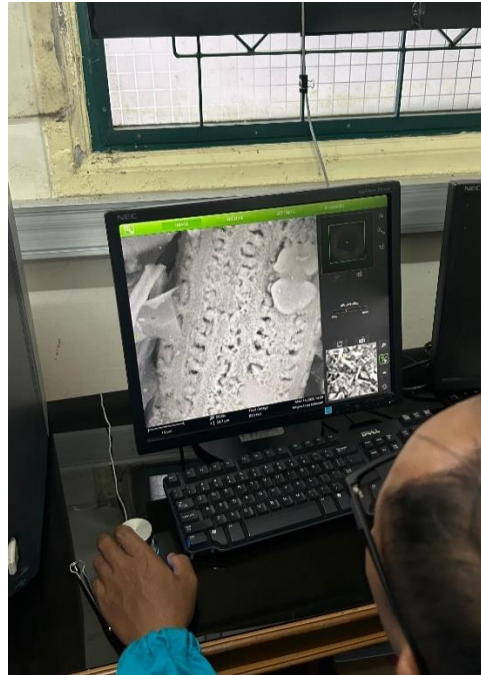
g). Menimbang kebutuhan larutan induk $\text{Cd}(\text{NO}_3)$



h). Pembuatan sampel uji



i). Pembacaan sampel pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

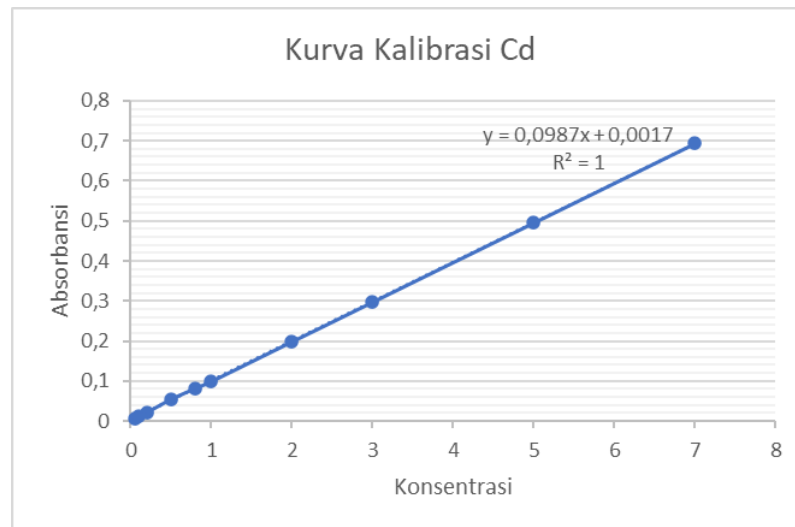


j). Pembacaan karakteristik adsorben menggunakan *Scanning Electron Mikroskop* (SEM)

Lampiran 3 Kurva Kalibrasi Standar

Hasil pengukuran kurva kalibrasi standar dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini.

Sample Label	Konsentrasi	Absorbansi
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		0,99998211
slope (m)		0,098687231
intersep ©		0,001659591
Sy/x		0,001480655
LOD		0,045010537
LOQ		0,150035124



Lampiran 4 Data Pengujian Adsorpsi

A. Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi pH

Volume larutan = 0,02 L

Massa adsorben = 0,05 g

Waktu = 120 menit

Variasi pH 5:

$$\% \text{ Efisiensi } removal = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi } removal = \frac{8,2 - 2,17}{8,2} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi } removal = 73,54 \%$$

B. Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi Konsentrasi

Volume larutan = 0,02 L

Massa adsorben = 0,05 g

Waktu = 120 menit

Variasi konsentrasi 10 ppm:

$$\% \text{ Efisiensi } removal = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi } removal = \frac{14,10 - 3,89}{14,10} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi } removal = 72,41 \%$$

C. Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi Waktu

Volume larutan = 0,02 L

Massa adsorben = 0,05 g

Waktu = 120 menit

Variasi waktu 120 menit:

$$\% \text{ Efisiensi } removal = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi } removal = \frac{11,41 - 1,32}{11,41} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi } removal = 88,43 \%$$

D. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

a. Isoterm Langmuir

Langmuir				
Slope	Intercept	Q max (mg/g)	KL	R2
0,0899	1,1166	0,896	12,420	0,8816

Perhitungan nilai Qmax

$$Q_{max} = \frac{1}{\text{Intercept}}$$

$$Q_{max} = \frac{1}{1,1166}$$

$$Q_{max} = 0,896 \text{ mg/g}$$

Perhitungan K_L

$$K_L = \frac{1}{(\text{Slope} \times Q_{max})}$$

$$K_L = \frac{1}{(0,0899 \times 1,1166)}$$

$$K_L = 12,420$$

b. Isoterm Freundlich

Freundlinch					
Slope	Intercept	1/n	Kf	R2	ln kf
0,5307	0,1213	1,884	1,322	0,7362	0,28

Perhitungan nilai 1/n

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

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{0,5307}$$

$$\frac{1}{n} = 1,884$$

Perhitungan nilai Kf

$$Kf = 10^{\text{intercept}}$$

$$Kf = 10^{0,1213}$$

$$Kf = 1,322$$

E. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

a. Pseudo Orde Satu

Pseudo Orde 1					
Slope	Intercept	K1 (menit-1)	Qe (mg/g)	R2	Log Qe
0,0013	1,7456	-0,0013	5,729	0,2396	0,76

Perhitungan nilai K1

$$K1 = -\text{Slope}$$

$$K1 = -0,0013$$

b. Pseudo Orde Dua

Pseudo Orde 2					
Slope	Intercept	K2 (g/mg.m)	Qe (mg/g)	R2	Qe ²
0,2454	0,1999	0,3013	4,075	1	16,61

Perhitungan nilai K2

$$K2 = \frac{1}{(\text{Intercept} \times (Qe^2))}$$

$$K2 = \frac{1}{(0,1999 \times (4,075^2))}$$

$$K2 = 0,3013 \text{ g/mg.m}$$

F. Perhitungan Penambahan Asam Humat

Terlebih dahulu menghitung kebutuhan larutan asam humat ditiap variasi yaitu 5%, 10% dan 20%.

Contoh:

$$5\% = \frac{5}{100} \times 20 = 1 \text{ mL}$$

Dilanjut perhitungan kemampuan adsorpsi

$$\text{Volume larutan} = 0,02 \text{ L}$$

$$\text{Massa adsorben} = 0,05 \text{ g}$$

$$\text{Waktu} = 120 \text{ menit}$$

Jawab:

Variasi asam humat 5%

$$\% \text{ Efisiensi removal} = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi removal} = \frac{12,56 - 8,32}{12,56} \times 100$$

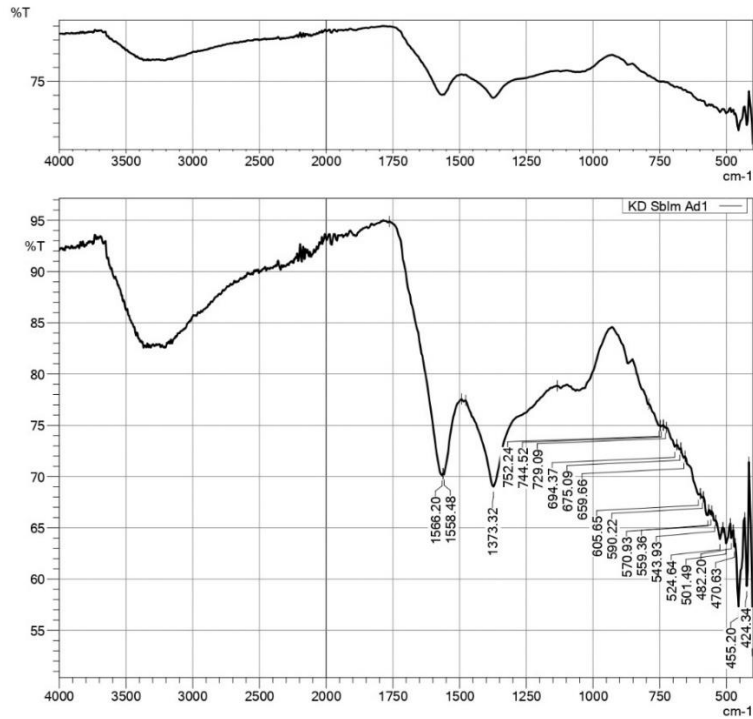
$$\% \text{ Efisiensi removal} = 33,76\%$$

Lampiran 5 Data Karakteristik FTIR

Data karakteristik adsorben kulit durian dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini.

a). Data peak sebelum adsorpsi

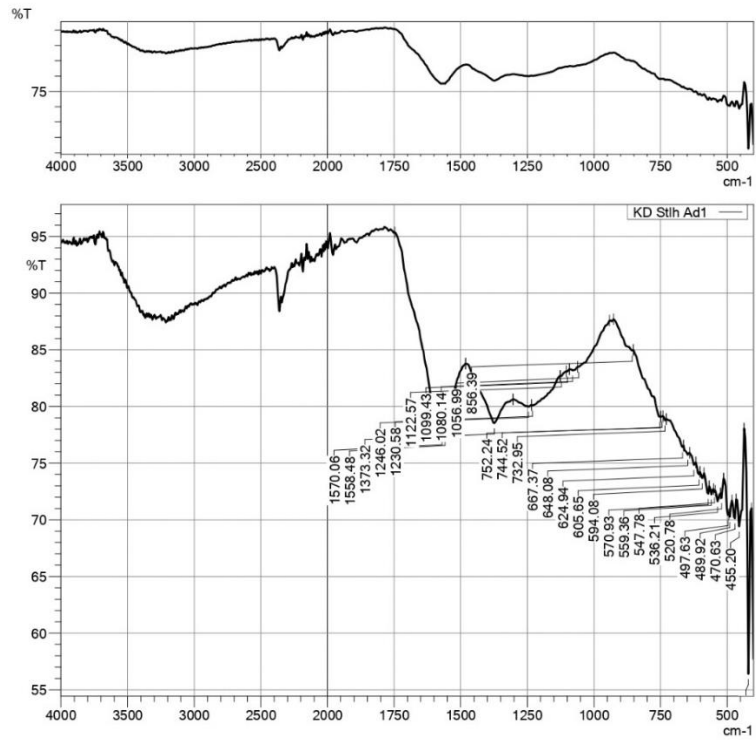
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	424.34	59.31	9.37	432.05	416.62	570.365	87.168	
2	455.20	57.32	6.96	466.77	432.05	1341.079	115.781	
3	470.63	63.16	0.95	474.49	466.77	280.576	3.680	
4	482.20	64.00	1.19	486.06	474.49	410.533	6.449	
5	501.49	63.48	1.70	513.07	486.06	961.428	22.041	
6	524.64	63.90	1.42	540.07	513.07	951.250	16.161	
7	543.93	65.71	0.24	555.50	540.07	524.375	2.392	
8	559.36	66.32	0.34	567.07	555.50	386.837	1.265	
9	570.93	66.23	0.76	586.36	567.07	639.508	10.176	
10	590.22	67.95	0.16	597.93	586.36	369.850	1.447	
11	605.65	68.24	0.58	655.80	597.93	1738.145	10.909	
12	659.66	71.84	0.34	671.23	655.80	429.999	3.803	
13	675.09	72.63	0.24	686.66	671.23	419.316	1.889	
14	694.37	72.92	0.52	725.23	686.66	1012.917	7.914	
15	729.09	74.76	0.10	736.81	725.23	291.083	0.563	
16	744.52	74.90	0.09	748.38	736.81	289.792	0.403	
17	752.24	74.97	0.21	790.81	748.38	1021.502	4.535	
18	1373.32	69.03	8.84	1477.47	1134.14	8521.795	1020.045	
19	1558.48	70.21	0.50	1562.34	1492.90	1765.381	-44.841	
20	1566.20	70.13	0.64	1762.94	1562.34	3208.315	-282.597	



b). Grafik sebelum adsorpsi

c). Data peak setelah adsorpsi

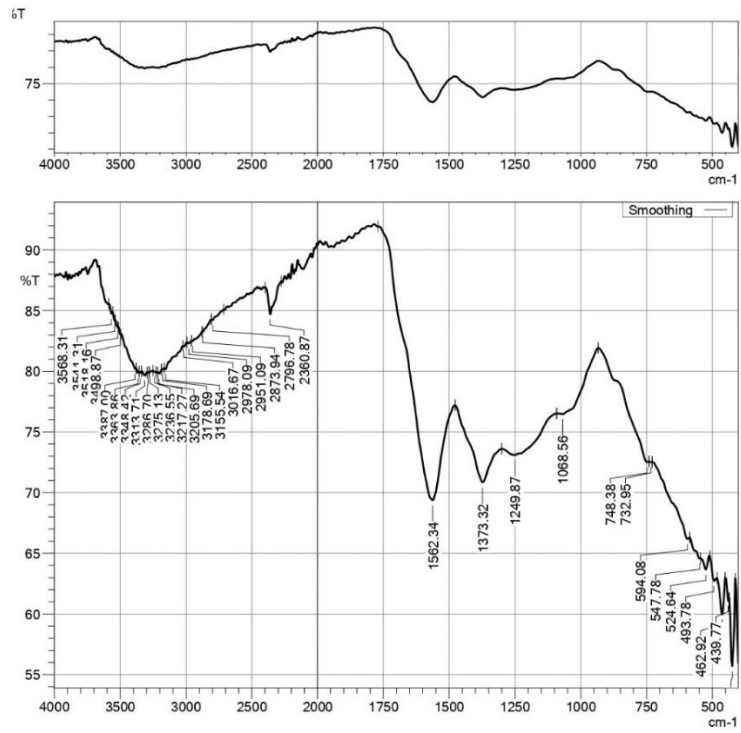
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	420.48	56.41	17.62	435.91	408.91	838.760	150.963	
2	455.20	69.41	4.73	466.77	435.91	875.150	101.378	
3	470.63	70.13	1.64	482.20	466.77	449.595	13.679	
4	489.92	70.26	0.63	493.78	482.20	337.333	2.747	
5	497.63	70.44	0.67	513.07	493.78	540.611	1.583	
6	520.78	71.92	0.84	524.64	513.07	317.075	4.340	
7	536.21	71.62	0.84	543.93	524.64	538.862	7.340	
8	547.78	72.46	0.17	551.64	543.93	211.805	0.655	
9	559.36	72.24	0.59	567.07	551.64	422.532	3.271	
10	570.93	72.29	0.90	586.36	567.07	520.823	10.287	
11	594.08	73.68	0.48	601.79	586.36	402.409	3.747	
12	605.65	74.02	0.42	617.22	601.79	395.573	4.392	
13	624.94	74.85	0.50	640.37	617.22	571.749	4.469	
14	648.08	75.75	0.37	663.51	640.37	555.535	5.281	
15	667.37	76.41	0.27	729.09	663.51	1454.100	-7.551	
16	732.95	78.78	0.18	740.67	729.09	243.634	0.756	
17	744.52	79.11	0.02	748.38	740.67	161.084	0.078	
18	752.24	79.08	0.25	852.54	748.38	1886.776	16.834	
19	856.39	84.94	0.19	925.83	852.54	1021.165	19.448	
20	1056.99	83.49	0.14	1060.85	941.26	1764.455	35.694	
21	1080.14	83.18	0.18	1091.71	1060.85	516.080	3.493	
22	1099.43	83.09	0.07	1103.28	1091.71	194.831	0.357	
23	1122.57	82.68	0.08	1126.43	1103.28	396.120	0.328	
24	1230.58	80.09	0.13	1234.44	1126.43	2043.554	35.851	
25	1246.02	79.99	0.22	1303.88	1234.44	1370.868	8.319	
26	1373.32	78.53	3.32	1481.33	1303.88	3423.913	264.539	
27	1558.48	77.52	0.39	1562.34	1481.33	1529.477	-34.342	
28	1570.06	77.58	0.79	1747.51	1562.34	2579.139	79.076	



d). Grafik setelah adsorpsi

e). Data peak setelah penambahan asam humat

Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment	
1	424.34	55.72	6.40	435.91	412.77	964.764	87.961	
2	439.77	61.10	0.63	451.34	435.91	586.076	1.927	
3	462.92	59.98	2.99	482.20	451.34	1190.469	47.802	
4	493.78	62.74	1.01	509.21	482.20	990.679	15.303	
5	524.64	63.68	1.02	543.93	509.21	1241.473	15.504	
6	547.78	64.57	0.17	586.36	543.93	1474.383	8.219	
7	594.08	66.18	0.47	729.09	586.36	4360.490	-4.054	
8	732.95	72.52	0.02	740.67	729.09	317.882	0.196	
9	748.38	72.51	0.43	933.55	740.67	4340.348	-49.025	
10	1068.56	76.47	0.84	1091.71	933.55	3420.546	134.397	
11	1249.87	73.10	1.21	1300.02	1091.71	5354.915	161.850	
12	1373.32	70.85	4.25	1477.47	1300.02	4713.220	350.131	
13	1562.34	69.38	12.10	1770.65	1477.47	6099.573	1578.521	
14	2360.87	84.70	2.37	2399.45	2276.00	1711.067	126.520	
15	2796.78	84.21	0.16	2808.36	2711.92	1481.394	4.678	
16	2873.94	83.25	0.06	2877.79	2808.36	1130.987	3.660	
17	2951.09	82.49	0.09	2958.80	2877.79	1394.385	7.765	
18	2978.09	82.29	0.16	2993.52	2958.80	611.803	2.651	
19	3016.67	82.04	0.12	3024.38	2993.52	549.917	1.830	
20	3155.54	80.18	0.18	3163.26	3024.38	2619.451	4.145	
21	3178.69	80.13	0.06	3186.40	3163.26	458.733	0.537	
22	3205.69	79.82	0.15	3213.41	3186.40	541.828	2.597	
23	3217.27	79.90	0.02	3228.84	3213.41	309.933	0.202	
24	3236.55	79.94	0.04	3251.98	3228.84	463.438	0.467	
25	3275.13	79.94	0.02	3278.99	3251.98	540.241	0.167	
26	3286.70	79.86	0.07	3294.42	3278.99	310.158	0.491	
27	3313.71	79.67	0.29	3336.85	3294.42	856.627	6.160	
28	3348.42	79.87	0.12	3356.14	3336.85	387.240	1.194	
29	3363.86	79.87	0.19	3379.29	3356.14	462.364	1.971	
30	3387.00	80.21	0.23	3495.01	3379.29	2144.548	21.957	
31	3498.87	83.05	0.14	3514.30	3495.01	322.808	1.843	
32	3518.16	83.62	0.12	3537.45	3514.30	374.079	2.144	
33	3541.31	84.18	0.17	3556.74	3537.45	300.591	2.697	
34	3568.31	84.75	0.40	3587.60	3556.74	459.637	3.893	



f). Grafik setelah penambahan asam humat

RIWAYAT HIDUP



Nama saya Siskhia Istiqomah lahir pada tanggal 03 Juni 2003 di Muara Bungo, Jambi. Saya adalah anak bungsu dari pasangan Bapak Hajrun, S.Pd dan Almh Ibu Sasmita S.Pd.I. Ketika berusia 6 tahun, saya memulai pendidikan di SDN 131 SKB, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 2 Muara Bungo. Pada saat SMP, saya menjadi pengurus Organisasi Siswa Intra Sekolah (OSIS) dan ekstrakurikuler seperti tari. Saya juga pernah mengikuti O2SN matematika mewakili sekolah dan FLS2N tari mewakili sekolah. Setelah lulus dari SMP pada tahun 2018, saya melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Bungo. Di SMA saya mengikuti Rohani Islam (Rohis) dan kegiatan di luar sekolah lainnya seperti Gerakan Seniman Masuk Sekolah (GSMS) dan tari massal untuk pembukaan MTQ pada tahun 2019. Setelah lulus saya berkuliah di jurusan Teknik Lingkungan di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Selama masa perkuliahan, saya aktif terlibat dalam kegiatan kemahasiswaan, baik dalam bentuk kepanitiaan maupun organisasi. Beberapa kepanitiaan yang saya ikuti antara lain *Enviro Champions* dan Lintas Lingkungan. Kemudian, saya mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (UKM HMTL) di departemen minat dan bakat bagian tari. Selain itu, saya melakukan kerja praktik di Petro Jordan Abadi (PJA) di Gresik, Jawa Timur. Dengan pengalaman ini, saya berharap menjadi individu yang bermanfaat bagi orang lain.