TA/TL/2025/2048

JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Penurunan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Menggunakan Adsorben Berbasis Mahkota Nanas

Nazla Zaharani Fatiha
21513090

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) Metal in Water Using Pineapple Crown Based Adsorbent

Nazla Zaharani Fatiha
21513090

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 Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Menggunakan Adsorben Berbasis Mahkota Nanas

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.

Nazla Zaharani Fatiha

21513090

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

23/9 '25

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

23/9 2025

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

22/9/2025

Ir. Hudori, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 1)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

26/5-25

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

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

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

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

Yogyakarta, 15 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Nazla Zaharani Fatiha

21513090

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada *Allah subhanahu wa ta'ala* atas rahmat dan karunia-Nya dalam setiap detik perjalanan hidup penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Penurunan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Menggunakan Adsorben Berbasis Mahkota Nanas".

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat akademik untuk kelulusan Progam Pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Selain itu, penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk menambah wawasan kepada penulis maupun pembaca tentang pemanfaatan adsorben mahkota nanas untuk menurunkan logam kadmium (Cd) di air.

Seluruh proses penyusunan tugas akhir ini tentunya tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang turut andil dalam penyusunan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. *Allah subhanahu wa ta'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kemampuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Yeyen Firdayanti, S.E. dan Bapak Rudiyansah, S.P. serta Kakak Tiara Nur Kemala Yansah, S.T., selaku keluarga yang menjadi sumber kekuatan penulis, tempat berlabuh di kala ombak kencang, dan senantiasa menerangi penulis di setiap perjalanan. Doa-doa yang tak terputus hadir menjadi peluk yang mengiringi penulis untuk tetap melangkah dan menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan arahan, masukan, dan dukungan dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing, memberikan arahan, masukan, dan dukungan dalam proses penyusunan tugas akhir ini.

5. Bapak Ir. Hudori, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama proses perkuliahan kepada penulis.
7. Reza Mella S., Fida Tsamara H., Rifcha Ayu D.P., selaku sahabat penulis yang telah membersamai perjalanan penulis dari awal masa perkuliahan hingga saat ini yang menjelma menjadi kekuatan dan memberikan keindahan yang tak lekang oleh waktu.
8. Laurencia Y., Masya N.F., Osyifa A.S., Valencia L., Nur A., selaku sahabat penulis yang telah bersama sedari bangku SMA menjadi tempat berbagi dan bersandar, membersamai penulis dalam gelak tawa maupun kesunyian, memberikan warna yang abadi dalam lembaran perjalanan penulis.
9. Sahrul, Siskhia, dan Aisyah selaku teman-teman dengan topik yang sama yang telah membantu dalam pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang hadir dan membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini memiliki kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik.

Dengan kerendahan hati dan rasa hormat, penulis meminta maaf kepada seluruh pihak yang dirugikan melalui sikap, tindakan, maupun kata-kata yang kurang berkenan. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 15 September 2025

Nazla Zaharani Fatiha

Penurunan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Menggunakan Adsorben Berbasis Mahkota Nanas

Mahasiswa	: Nazla Zaharani Fatiha
NIM	: 21513090
Program Studi	: Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing I	: Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Pembimbing II	: Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U

Abstrak

NAZLA ZAHARANI FATIHA. "Penurunan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Menggunakan Adsorben Berbasis Mahkota Nanas". Dibimbing oleh Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Logam berat kadmium (Cd) merupakan logam yang memiliki dampak buruk pada lingkungan dan manusia walaupun kadarnya yang rendah. Kadar kadmium yang tinggi dapat menimbulkan gangguan pada rantai makanan serta gangguan kesehatan seperti gangguan ginjal. Metode adsorpsi menggunakan adsorben untuk menurunkan kadar kadmium di air menjadi alternatif karena efektif, efisien, dan biayanya yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas adsorben mahkota nanas. Metode adsorpsi yang digunakan adalah metode *batch* menggunakan adsorben mahkota nanas yang tidak teraktivasi dan dilakukan variasi pH, variasi konsentrasi kadmium, dan variasi waktu kontak untuk mengetahui kondisi optimum dalam adsorpsi kadmium. Selain itu dilakukan penambahan asam humat yang divariasikan konsentrasinya untuk mengetahui pengaruhnya terhadap proses adsorpsi. Pengujian adsorben mahkota nanas menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan sampel diuji menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara optimum pada pH 7, konsentrasi kadmium 10 ppm, dan waktu kontak 120 menit. Proses adsorpsi mengikuti isoterm langmuir dan kinetika adsorpsi mengikuti kinetika orde dua. Penambahan asam humat optimum pada konsentrasi 5% tetapi tidak terlalu memberi pengaruh signifikan terhadap proses adsorpsi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa adsorben mahkota nanas efektif dalam mengadsorpsi logam kadmium dengan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 88,77%.

Kata kunci: Adsorpsi, Kadmium, Mahkota Nanas, Asam Humat

Reduction of Cadmium (Cd) Metal in Water Using Pineapple Crown Based Adsorbent

Student	: Nazla Zaharani Fatiha
Student Number	: 21513090
Study Program	: *Environmental Engineering – Bachelor Program*
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

Abstract

NAZLA ZAHARANI FATIHA. *"Reduction of Cadmium (Cd) Metal in Water Using Pineapple Crown-Based Adsorbent". Supervised by* Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. *and* Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Cadmium (Cd) is a heavy metal known to have adverse effect on both the environment and human health, even at low concentrations. High level of cadmium can cause disrupt on food chains and cause serious health problems such as kidney disorders. The adsorption methods was using adsorbents to reduce cadmium in water for an effective, efficient, and low-cost alternative. This study aims to analyze the effectiveness of pinapple crown-based as adsorbent to reduce cadmium. The adsorption method was using batch system with unactivated pineapple crown-based adsorbent with the variations in pH, variations in cadmium concentration, and variation in contact time to determine the optimum conditions for cadmium adsorption. Additionally, humic acid was added in varying concentrations to analyze its effect on the adsorption process. The adsorbent was characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM) while the samples were analyzed using Atomic Absorption Spectrometry (AAS). The results showed the optimum adsorption condition occured at pH 7, 10 ppm cadmium concentration, and 120 minutes of contact time. The adsorption process followed the Langmuir Isotherm model and the pseudo second order kinetic model. While the most favorable outcome from humic acid addition were at 5% concentration, although its overall effect on the adsorption efficiency was not significant. This study concludes that the pineapple crown-based adsorbent is effective for cadmium removal with the highest removal efficiency of 88,77%.

Key words: Adsorption, Cadmium, Pineapple Crown, Humic Acid

DAFTAR ISI

PRAKATA iii
Abstrak v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN xi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Adsorpsi 4
2.1.1 Jenis Adsorpsi 4
2.1.2 Metode Adsorpsi 4
2.1.3 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi 5
2.2 Logam Berat Kadmium (Cd) 6
2.3 Nanas 7
2.3.1 Jenis Nanas 7
2.3.2 Mahkota Nanas 8
2.4 Senyawa Asam Humat 9
2.5 Instrumen Karakterisasi Adsorben 9
2.5.1 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 9
2.5.2 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) 10
2.5.3 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) 10
2.6 Penelitian Terdahulu 10
BAB III METODE PENELITIAN 14
3.1 Waktu dan Lokasi 14

3.2 Alat dan Bahan 14
3.3 Variabel Penelitian 14
3.4 Tahapan Penelitian 15
3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan 15
3.4.2 Pengujian Adsorpsi 17
3.5 Prosedur Analisis Data 19
3.5.1 Persen Adsorpsi 19
3.5.2 Kapasitas Adsorpsi 19
3.5.3 Isoterm Adsorpsi 19
3.5.4 Model Kinetika Adsorpsi 20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 22
4.1 Karakterisasi Adsorben Mahkota Nanas 22
4.1.1 Karakterisasi Adsorben Mahkota Nanas menggunakan FTIR 22
4.1.2 Karakterisasi Adsorben Mahkota Nanas menggunakan SEM 25
4.2 Uji Variasi Adsorpsi 26
4.2.1 Variasi pH 26
4.2.2 Variasi Konsentrasi Kadmium 28
4.2.3 Variasi Waktu Kontak 30
4.3 Model Isoterm Adsorpsi 32
4.3.1 Isoterm Langmuir 32
4.3.2 Isoterm Freundlich 33
4.3.3 Penentuan Isoterm Adsorpsi 33
4.4 Kinetika Adsorpsi 35
4.5 Variasi Asam Humat 36
BAB V PENUTUP 39
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 39
DAFTAR PUSTAKA 40
LAMPIRAN 45
RIWAYAT HIDUP 61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu 10
Tabel 4.1 Daerah Gugus Fungsi Berdasarkan Daerah Serapan Pada FTIR.....22
Tabel 4.2 Hasil Interpretasi Gugus Fungsi Dari Pita Serapan Adsorben.....24
Tabel 4.3 Hasil Uji Mahkota Nanas Variasi pH.....27
Tabel 4.4 Hasil Uji Mahkota Nanas Variasi Konsentrasi Kadmium.....28
Tabel 4.5 Hasil Uji Mahkota Nanas Variasi Waktu Kontak.....30
Tabel 4.6 Hasil Perbandingan Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich.....34
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Qmaks. Langmuir Dengan Penelitian Terdahulu...34
Tabel 4.8 Hasil Perbandingan Kinetika Orde Satu dan Orde Dua.....36
Tabel 4.9 Hasil Uji Mahkota Nanas Variasi Asam Humat.....37
Tabel Lampiran 1.1 Kurva Kalibrasi.....45
Tabel Lampiran 1.2 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 47
Tabel Lampiran 1.3 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 48
Tabel Lampiran 1.4 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 49
Tabel Lampiran 1.5 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 50
Tabel Lampiran 1.6 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 50
Tabel Lampiran 1.7 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 51
Tabel Lampiran 1.8 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 51
Tabel Lampiran 1.9 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 52
Tabel Lampiran 1.10 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 53
Tabel Lampiran 1.11 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 53
Tabel Lampiran 1.12 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH..... 54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian.....15
Gambar 3.2. Diagram Alir Preparasi Adsorben.....16
Gambar 3.3. Diagram Alir Uji Variasi pH.....17
Gambar 3.4. Diagram Alir Uji Variasi Konsentrasi Cd.....17
Gambar 3.5. Diagram Alir Uji Variasi Waktu Kontak.....18
Gambar 3.6 Diagram Alir Uji Variasi Senyawa Asam Humat.....18
Gambar 4.1 Gabungan Hasil Uji FTIR Adsorben Mahkota Nanas.....23
Gambar 4.2 Hasil Uji SEM Adsorben Mahkota Nanas..... 26
Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi pH..... 27
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi Konsentrasi Cd29
Gambar 4.5 Grafik Kapasitas Adsorpsi Mahkota Nanas Variasi Konsentrasi Cd 29
Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi Waktu Kontak 31
Gambar 4.7 Grafik Model Isoterm Langmuir..... 32
Gambar 4.8 Grafik Model Isoterm Freundlich..... 33
Gambar 4.9 Grafik Kurva Kinetika Orde Satu..... 35
Gambar 4.10 Grafik Kurva Kinetika Orde Dua..... 36
Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Penyisihan Variasi Penambahan Asam Humat..... 37
Gambar Lampiran 1.1 Grafik Kurva Kalibrasi..... 46
Gambar Lampiran 2.1 FTIR Adsorben Mahkota Nanas Sebelum Adsorpsi.....56
Gambar Lampiran 2.2 FTIR Adsorben Mahkota Nanas Setelah Adsorpsi..... 57
Gambar Lampiran 2.3 FTIR Adsorben Mahkota Nanas Setelah Penambahan Asam Humat..... 58
Gambar Lampiran 3.1 Dokumentasi Pembuatan Adsorben..... 59
Gambar Lampiran 3.2 Dokumentasi Variasi pH..... 59
Gambar Lampiran 3.3 Dokumentasi Variasi Konsentrasi Kadmium..... 60
Gambar Lampiran 3.4 Dokumentasi Variasi Waktu Kontak..... 60
Gambar Lampiran 3.5 Dokumentasi Variasi Asam Humat..... 60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan 45
Lampiran 2 Data Karakterisasi FTIR 56
Lampiran 3 Dokumentasi 59

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air bersih adalah salah satu bagian dari kebutuhan makhluk hidup dan termasuk sebagai sumber daya terbatas yang harus dikelola agar terciptanya keseimbangan kebutuhan dan ketersediaan air bersih (UU RI No. 17 Tahun 2019). Kualitas air baku yang belum dikelola banyak yang belum memenuhi baku mutu air bersih sehingga harus dikelola terlebih dahulu. Tidak sedikit air yang dikonsumsi masyarakat telah terkontaminasi logam berat seperti Kadmium (Cd) (Khatimah *et al.,* 2024).

Sumber logam berat kadmium dapat berasal dari sumber alami seperti pelapukan batuan maupun sumber antropogenik seperti pabrik besi, industri pertambangan, dan sumber lainnya (Rahmadani dan Diniariwisan, 2023). Kontaminasi ini walaupun kadarnya relatif rendah tentunya dapat berdampak buruk pada lingkungan maupun kesehatan manusia. Kadar kadmium yang tinggi dapat menimbulkan gangguan pada rantai makanan serta gangguan kesehatan seperti gangguan ginjal karena tidak dapat ditoleransi tubuh (Ramidi, 2024).

Berdasarkan Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, ambang batas logam kadmium di perairan adalah 0,01 mg/L. Standar kualitas air ini wajib ditaati sehingga kualitas perairan harus dikelola untuk mencegah pencemaran air (Ramidi, 2024). Adapun salah satu metode pengolahan untuk menurunkan kadar kadmium dalam air adalah metode adsorpsi. Metode adsorpsi adalah metode untuk menurunkan adsorbat (zat pencemar) menggunakan adsorben sebagai zat penyerap (Silalahi, 2022). Metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang umum di masyarakat karena metode ini efektif, efisien, dan membutuhkan biaya yang rendah karena memanfaatkan biomassa sebagai adsorben (Putra *et al.,* 2022).

Limbah yang berasal dari bahan organik seperti limbah tanaman nanas dapat menjadi bioadsorben. Diketahui bagian nanas yang memiliki kandungan selulosa tinggi adalah bagian daun mahkota nanas dengan struktur yang berserat,

permukaan dan porositas yang besar (Mkilima *et al.,* 2024). Unsur-unsur karbon menyusun struktur senyawa selulosa sehingga bagian mahkota nanas ini cocok untuk dijadikan adsorben karbon aktif (Sirajuddin *et al.,* 2019).

Pada penelitian ini, efektivitas adsorben mahkota nanas kemungkinan dapat ditingkatkan dengan menambah senyawa organik yang memiliki kemampuan untuk menyerap polutan seperti senyawa asam humat. Asam humat merupakan senyawa organik dengan gugus fungsional -COOH, -OH fenolat, dan -OH alkoholat yang mampu mengikat logam (Setyowati dan Ulfin, 2007). Gugus-gugus fungsional ini memiliki sifat penting dalam mempengaruhi kemampuan adsorpsi melalui keasamannya, pertukaran ion, koloid, dan sifat yang kompleks. Hal ini yang menjadikan asam humat dapat memurnikan air dari logam berat dan meningkatkan kualitas air (Amutenya *et al.,* 2022).

Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis penurunan logam kadmium (Cd) di air menggunakan adsorben mahkota nanas. Selain itu, dilakukan penambahan senyawa asam humat untuk meningkatkan efektivitas adsorben mahkota nanas dalam melakukan adsorpsi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pengetahuan tambahan dalam pemanfaatan mahkota nanas sebagai adsorben untuk penurunan logam kadmium di air.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Bagaimana efektivitas adsorben limbah mahkota nanas dalam menurunkan logam kadmium (Cd) di air?
2) Bagaimana pengaruh variasi parameter pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) terhadap adsorben limbah mahkota nanas tanpa aktivasi pada penurunan logam kadmium (Cd) di air?
3) Bagaimana pengaruh penambahan senyawa asam humat terhadap proses adsorpsi kadmium di air?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Menganalisis efektivitas adsorben limbah mahkota nanas dalam menurunkan logam kadmium (Cd) di air.

2) Menganalisis pengaruh variasi parameter pH, waktu kontak, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) terhadap adsorben limbah mahkota nanas tanpa aktivasi pada penurunan logam kadmium (Cd) di air.
3) Mengetahui pengaruh penambahan senyawa asam humat terhadap proses adsorpsi kadmium di air.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Memberikan pengalaman serta pengetahuan kepada peneliti terkait adsorben mahkota nanas dengan tambahan asam humat untuk penurunan logam kadmium (Cd) di air.
2) Memberikan solusi alternatif dalam penelitian terkait adsorben mahkota nanas dengan tambahan asam humat untuk penurunan logam kadmium (Cd) di air.
3) Dapat menjadi referensi tambahan dalam pengolahan air tercemar logam kadmium (Cd) menggunakan adsorben limbah mahkota nanas dengan tambahan asam humat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII.
2) Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode adsorpsi.
3) Adsorben yang digunakan adalah adsorben limbah mahkota nanas tidak teraktivasi yang kemudian dilakukan penambahan senyawa asam humat.
4) Variasi parameter yang digunakan adalah pH, konsentrasi kadmium (Cd), variasi waktu, dan konsentrasi asam humat.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

Adsorpsi adalah metode fisik untuk menghilangkan ion logam berat tertentu. Metode adsorpsi banyak digunakan sebagai metode pengolahan air karena mudah dilaksanakan. Selain itu, metode ini memiliki efek yang stabil, pengoperasian yang mudah, dan adsorbennya dapat di daur ulang (Lan *et al.,* 2025).

2.1.1 Jenis Adsorpsi

Pada proses adsorpsi, terdapat 2 jenis adsorpsi yaitu:

1. Adsorpsi fisika (Van der Waals)

   Pada jenis fisika, adsorpsi terjadi dengan adanya interaksi antara adsorben dan adsorbat. Saat interaksi ini terjadi gaya tarik menarik antara adsorben dan adsorbat atau yang biasa disebut dengan gaya Van der Waals (Mirandha, 2016). Interaksi antara adsorben dan adsorbat terjadi dengan cara zat adsorbat menempel pada permukaan adsorben tanpa terjadinya perubahan kimia (Dewanti, 2024).

2. Adsorpsi kimia

   Adsorpsi kimia merupakan proses adsorpsi yang terjadi reaksi kimia antara adsorben dan adsorbat. Saat interaksi antara adsorben dan adsorbat terjadi reaksi kimia pada permukaan karbon yaitu terbentuk ikatan kovalen atau ionik (Dewanti, 2024). Ikatan yang terbentuk pada reaksi kimia ini bersifat lebih kuat dibanding dengan adsorpsi fisika (Rielsa, 2023).

2.1.2 Metode Adsorpsi

Adapun 2 metode dalam adsorpsi yang dapat dilakukan dengan cara statis (*batch*) dan dinamis (kolom). Berikut merupakan cara atau metode adsorpsi:

1. Metode statis (*batch)*

   Metode *batch* dilakukan dengan cara memasukkan larutan yang mengandung zat adsorbat ke wadah berisi adsorben lalu diaduk dengan waktu yang sudah ditentukan. Larutan ini kemudian disaring agar terpisah dari adsorben kemudian dilakukan pengujian (Rielsa, 2023).

2. Metode dinamis (kolom)

Metode kolom dilakukan dengan cara mengalirkan larutan yang mengandung zat adsorbat ke dalam kolom yang berisi adsorben. Larutan ini kemudian ditampung tanpa disaring lalu dilakukan pengujian (Rielsa, 2023).

Metode kolom memiliki kapasitas pengolahan yang lebih besar dibandingkan dengan metode *batch,* sehingga metode kolom lebih cocok untuk pengolahan air skala besar (Bahriana *et al.,* 2023).

2.1.3 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat terpengaruh oleh beberapa kondisi faktor seperti massa adsorben dan waktu kontak (Anwar *et al.,* 2022). Selain itu, faktor-faktor yang dapat mempengaruhi adsorpsi adalah massa adsorben, pH, waktu kontak adsorben dengan adsorbat, dan konsentrasi logam. Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi:

1. Massa adsorben

   Faktor massa adsorben dapat mempengaruhi proses adsorpsi dengan cara menambah luas permukaan kontak adsorben dengan adsorbat. Semakin bertambah massa adsorben yang digunakan maka massa ion logam yang diserap pun akan semakin bertambah mengakibatkan efisiensi penyisihan meningkat pula. Akan tetapi, massa adsorben yang terus bertambah di dalam larutan akan mengakibatkan kapasitas adsorpsi menurun. Hal ini dikarenakan terdapat sisi-sisi dari adsorben yang tidak mengikat adsorbat dan menjadi tidak efisien (Daud *et al.,* 2017).

2. Derajat keasaman (*Power of Hydrogen* /pH)

   Parameter pH dapat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Parameter pH ini dapat mempengaruhi ionisasi karena ion hidrogen memiliki kekuatan untuk menyerap. Umumnya, larutan yang bersifat asam akan lebih mudah untuk dijerap pada pH rendah dan kebalikannya (Purba, 2023).

3. Waktu kontak adsorben dengan adsorbat

   Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi adalah waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat. Umumnya di awal waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat terjadi reaksi penjerapan ion logam. Setelah reaksi pengikatan ini terjadi, maka penjerapan akan

konstan atau bahkan akan terjadi penurunan. Hal ini dikarenakan semakin lama permukaan adsorben mengalami kontak dengan adsorbat, semakin sedikit pula permukaan adsorben yang tersisa (Farida *et al.,* 2019).

4. Konsentrasi logam kadmium (Cd)

   Faktor konsentrasi logam kadmium dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Pengaruh yang diberikan hampir sama dengan faktor massa adsorben. Semakin tinggi konsentrasi logam kadmium (Cd), maka semakin banyak pula kebutuhan massa adsorben untuk menjerap adsorbat.

2.2 Logam Berat Kadmium (Cd)

Logam berat kadmium (Cd) termasuk ke dalam golongan logam berat yaitu golongan II B dengan nomor atom 48. Sebutan logam berat pada logam kadmium adalah karena umumnya logam tersebut memiliki berat jenis lebih dari 5 g/cm^3. Sifat fisik dari logam kadmium adalah mudah dibentuk karena sifatnya lunak, dengan warna putih kebiruan dan mengkilap. Akan tetapi, kilau logam ini dapat hilang apabila bereaksi dengan udara lembab dan terdegradasi apabila berinteraksi dengan uap amoniak (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2). Sifat kimia dari logam kadmium ini adalah tidak dapat larut dalam keadaan basa dan saat dipanaskan akan menghasilkan kadmium oksida (CdO) (Rielsa, 2023).

Pencemaran logam kadmium ke air dapat bersumber dari endapan sampah, pupuk fosfat, tumpahan solar, industri tekstil, dan sumber lainnya yang mengandung logam kadmium. Logam kadmium yang tercemar ini akan mengencer dan terdispersi ke dalam air (Emilia *et al.,* 2013). Logam berat kadmium (Cd) merupakan golongan logam berat yang memiliki dampak tinggi terhadap lingkungan dan makhluk hidup terutama manusia.

Adapun beberapa dampak pencemaran logam kadmium terhadap lingkungan di sekitar perairan adalah terserapnya logam kadmium ke dalam tanah hingga ke lahan pertanian dan akumulasi kadmium pada berbagai organisme air seperti ikan. Kontaminasi kadmium ke lahan pertanian merupakan dampak fatal karena tanaman konsumsi dapat menyerap kadmium (Jais *et al.,* 2020). Apabila tanaman dan ikan yang terkontaminasi logam kadmium ini dikonsumsi manusia maka dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang akut dan kronis seperti itai-itai,

hipertensi, atrofi testis, gagal ginjal, hingga gagal paru (Yousif dan Mosawi, 2022).

2.3 Nanas

Nanas merupakan buah yang tumbuh di lingkungan tropis dan subtropis dengan nama ilmiah yaitu *Ananas Comosus L. Merr.* Kedudukan taksonomi nanas termasuk ke dalam famili Bromeliaceae. Menurut Akrinisa *et al.,* (2019), klasifikasi taksonomi dari tanaman nanas sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyte
Kelas : Angiospermae
Sub Kelas : Monocotyledonae
Ordo : Farinosae
Famili : Bromoliaceae
Genus : *Ananas*
Spesies : *Ananas Comosus (L.) Merr.*

Menurut Subagyo (2024), tanaman nanas memiliki tinggi sekitar 0,75 m – 1,5 m tanpa daun. Apabila diukur dengan daunnya, tanaman nanas memiliki tinggi sekitar 0,9 m – 1,8 m. Bagian tengah batang tanaman nanas memiliki kuncup bunga yang nantinya akan membentuk buah. Buah nanas memiliki kulit bersisik dan daun berwarna hijau ke merah dengan susunan spiral di sekitar pangkal tunggal (Subagyo, 2024).

Tanaman nanas tidak hanya menghasilkan satu buah tetapi menghasilkan banyak buah pada satu tanaman. Buah nanas memiliki bentuk bulat lonjong, dengan warna kuning, hijau, atau coklat, dan kulit luar bersisik seperti duri. Selain itu, buah nanas memiliki daun berwarna hijau menyerupai mahkota di bagian atas buah dengan duri-duri di pinggir daunnya. Daging buah nanas memiliki warna kuning dengan rasa dominan manis dan asam (Hikal *et al.,* 2021).

2.3.1 Jenis Nanas

Tanaman nanas memiliki pembagian kategori jenis atau varietas tanaman. Varietas tanaman nanas dibagi menjadi empat jenis berdasarkan bentuk daun dan buahnya. Empat jenis tanaman nanas tersebut adalah jenis *Cayenne, Queen, Spanish,* dan *Abacaxi.*

1. Jenis *Cayenne*

   Buah nanas jenis *Cayenne* memiliki ciri-ciri ukurannya yang besar dibandingkan dengan jenis *Queen,* tidak memiliki duri, dan daunnya yang halus (Yuwono, 2015). Di Indonesia, nanas jenis *Cayenne* atau yang biasa dikenal dengan nanas madu ini paling banyak dijumpai. Hal ini dikarenakan tanah di Indonesia yang memiliki kandungan kapur rendah merupakan kondisi ideal untuk menanam nanas jenis ini (Putri *et al.,* 2017).

2. Jenis *Queen*

   Buah nanas jenis *Queen* memiliki ciri-ciri bentuk yang lonjong, memiliki duri yang halus hingga yang kasar, dan daunnya yang panjang dengan ukuran kecil (Yuwono, 2015). Selain nanas jenis *Cayenne,* jenis *Queen* juga banyak dijumpai di Indonesia. Suhu lingkungan di Indonesia dengan rata-rata 30°C merupakan lingkungan yang ideal untuk ditanami nanas jenis *Queen* (Putri *et al.,* 2017).

3. Jenis *Spanish*

   Buah nanas jenis *Spanish* memiliki ciri-ciri bentuk yang bulat, memiliki duri yang halus hingga yang kasar, dan daunnya yang panjang dengan ukuran kecil. Buah nanas jenis *Spanish* umumnya tumbuh di Puerto Rico, Meksiko, Malaysia, dan negara lain (Yuwono, 2015).

4. Jenis *Abacaxi*

   Buah nanas jenis *Abacaxi* memiliki ciri-ciri bentuk yang silindris, memiliki daun yang panjang dengan duri-duri yang kasar (Yuwono, 2015). Buah nanas jenis *Abacaxi* umumnya tumbuh di Amerika Selatan, khususnya Brasil.

2.3.2 Mahkota Nanas

Morfologi buah nanas tersusun dari akar, batang, daun, bunga, dan buah. Pada buah nanas terdapat daun mahkota yang terletak di bagian atas buahnya. Karena mahkota nanas tidak dapat dikonsumsi, maka bagian ini menjadi limbah petani nanas maupun konsumen nanas dan sering tidak dikelola. Masa panen tanaman nanas dilakukan 2 hingga 3 kali sebelum diganti dengan tanaman baru

sehingga limbah mahkota nanas termasuk ke pencemaran lingkungan (Silalahi, 2022).

Mahkota nanas memiliki kandungan selulosa yang tinggi sehingga dapat digunakan menjadi adsorben. Menurut Sirajuddin *et al* (2019), mahkota nanas memiliki kandungan selulosa sebesar 69,5%-71,5%, kandungan lignin sebesar 4,4%-4,7%, kandungan pentosan 17%-17,8%, dan kandungan-kandungan lainnya. Unsur-unsur karbon menyusun struktur senyawa selulosa sehingga bagian mahkota nanas ini cocok untuk dijadikan adsorben karbon aktif (Sirajuddin *et al.,* 2019). Kandungan selulosa yang tinggi pada mahkota nanas ini merupakan terobosan baru untuk menyerap logam kadmium dalam air.

2.4 Senyawa Asam Humat

Asam humat merupakan senyawa yang banyak ditemukan pada tanah gambut dan merupakan senyawa organik dengan gugus fungsional -COOH, -OH fenolat, dan -OH alkoholat yang mampu mengikat logam (Setyowati dan Ulfin, 2007). Gugus-gugus fungsional ini memiliki sifat penting dalam mempengaruhi kemampuan adsorpsi melalui keasamannya, pertukaran ion, koloid, dan sifat yang kompleks. Hal ini yang menjadikan asam humat dapat memurnikan air dari logam berat dan meningkatkan kualitas air (Amutenya *et al.,* 2022). Gugus fungsional -COOH, -OH fenolat, dan -OH alkoholat ini mengadsorpsi bahan organik apabila terjadi kontak. Selain itu, tingkat keasaman asam humat yang tinggi juga dapat meningkatkan kemampuan dalam mengadsorpsi (Mukhtar *et al.,* 2024).

2.5 Instrumen Karakterisasi Adsorben

2.5.1 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan sebuah instrumen untuk mengetahui permukaan dari suatu adsorben. Instrumen ini bertujuan untuk membandingkan morfologi adsorben sebelum digunakan dan setelah digunakan untuk proses adsorpsi (Hammaam, 2024). SEM menggunakan sinar elektron untuk mendokumentasi permukaan adsorben sehingga nanti akan didapatkan beberapa informasi seperti topografi, morfologi, komposisi, informasi kristalografi (Karim, 2023).

2.5.2 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) merupakan sebuah instrumen untuk mengetahui komposisi kimia dari suatu senyawa organik. FTIR menggunakan spektrum inframerah untuk mengetahui karakteristik gugus fungsi (Karim, 2023). Hampir mirip dengan SEM, FTIR bertujuan untuk membandingkan perubahan pada gugus fungsi adsorben sebelum digunakan dan setelah digunakan untuk proses adsorpsi (Hammaam, 2024).

2.5.3 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merupakan suatu instrumen untuk mengetahui kandungan logam berat dalam suatu larutan. SSA bekerja dengan cara mengukur konsentrasi unsur dalam suatu larutan sampel. Konsentrasi ini dapat ditentukan dengan cara mengukur transmisi intensitas radiasi yang diserap sampel (Dewanti, 2024).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai atau yang berkaitan dengan adsorpi logam berat kadmium (Cd) menggunakan adsorben mahkota nanas telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Berikut merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan pada penelitian terdahulu untuk menjadi acuan pembahasan penelitian ini yang dapat dilihat pada **Tabel 2.1.**

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti, Tahun	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Silalahi, 2022.	Menguji efektivitas adsorben mahkota nanas teraktivasi KOH dalam menyerap pencemar parameter BOD, COD, dan amonia dengan pengaruh variasi dari kecepatan pengadukan dan massa adsorben untuk mengetahui efisiensi penyerapan dan isoterm adsorpsi.	Efisiensi penyerapan parameter BOD dengan massa 0,5 gr dan kecepatan pengadukan 100 rpm sebesar 94,35%, parameter COD dengan variasi yang sama sebesar 95,19%, dan parameter amonia dengan massa 1 gr dan kecepatan pengadukan 50 rpm sebesar 97,87%.
2.	Purba, 2023.	Menguji kemampuan adsorpsi kadmium menggunakan adsorben	1. Efisiensi penyerapan dengan variasi massa adsorben berkisar

		biomassa nanas murni dan biomassa nanas teraktivasi menggunakan SSA dan SEM dengan pengaruh variasi waktu kontak dan dosis adsorben untuk mengetahui kapasitas adsorpsi, isoterm adsorpsi, dan kinetika adsorpsi.	98,65% - 98,87% sedangkan kapasitas penyerapan dengan variasi massa adsorben berkisar 98,65% - 98,83% dengan waktu optimum 30 menit.
3.	Farida *et al.,* 2019.	Menganalisis menggunakan uji FTIR dan SSA terhadap efisiensi adsorben dari limbah kulit jagung yang diaktivasi dengan variasi HCl-NaOH, NaOH, HNO_3, NaOH-HNO_3 untuk mengetahui aktivasi optimal dalam menyerap logam kadmium dalam larutan sintesis dengan pengaruh variasi dari pH dan waktu kontak.	1. Aktivasi optimum adalah NaOH-HNO_3. 2. Kondisi pH yang optimum untuk adsorpsi Cd dengan adsorben limbah kulit jagung adalah pH 8 dan waktu kontak 40 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 88,31% dan kapasitas adsorpsi mencapai 0,8135 mg/g.

Pada studi yang dilakukan Silalahi (2022), penelitiannya fokus pada efektivitas adsorpsi *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan amonia (NH3) dalam air limbah industri karet menggunakan mahkota nanas. Adsorben mahkota nanas yang digunakan dalam penelitian Silalahi (2022) diaktivasi menggunakan basa kuat KOH. Selain itu, studi milik Silalahi (2022) ini menggunakan pengaruh variasi massa adsorben dan variasi kecepatan pengadukan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Silalahi (2022), diketahui tingkat efisiensi tertinggi adsorben nanas dalam mengadsorpsi parameter BOD adalah 94,35% pada massa adsorben 0,5 gram dan kecepatan pengadukan 100 rpm. Sedangkan pada parameter COD tingkat efisiensinya sebesar 95,19% pada massa adsorben 0,5 gram dan kecepatan pengadukan 100 rpm serta pada parameter amonia tingkat efisiensi seberat 97,87% dengan massa adsorben 1 gram dan kecepatan pengadukan 50 rpm. Pada penelitian ini digunakan penentuan isoterm adsorpsi metode Langmuir dan Freundlich. Isoterm Langmuir dan Freundlich parameter BOD menunjukkan koefisien korelasi yang

sangat kuat. Hasil isoterm adsorpsi ini menunjukkan bahwa kedua isoterm dapat diaplikasikan pada adsorpsi parameter BOD menggunakan adsorben mahkota nanas. Pada parameter COD, mekanisme adsorpsi lebih menerapkan isoterm Freundlich yang berarti ada lebih dari satu lapisan yang teradsorpsi (multilayer). Pada parameter amonia, isoterm yang dapat diterapkan hanya isoterm Langmuir sehingga adsorben hanya bisa mengadsorpsi 1 molekul saja.

Pada studi Purba (2023), penelitiannya fokus pada efektivitas adsorpsi limbah artifisial kadmium menggunakan biomassa nanas. Adsorben biomassa nanas yang digunakan pada studi Purba (2023) menggunakan biomassa murni tanpa aktivasi dan biomassa yang diaktivasi menggunakan NaOH 10% serta menggunakan pengaruh variasi massa adsorben dan variasi kecepatan pengadukan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Purba (2023), diketahui tingkat efisiensi penyerapan oleh biomassa nanas murni tertinggi adalah sebesar 98,87% pada massa 4 gram. Sedangkan kapasitas penyerapan tertinggi oleh biomassa nanas teraktivasi adalah sebesar 98,83% dengan massa 8 gram. Pada penelitian Purba (2023), biomassa nanas murni dapat diterapkan isoterm Freundlich dan isoterm Langmuir. Sedangkan pada adsorben nanas teraktivasi hanya dapat diterapkan isoterm Langmuir saja. Selain itu, penelitian Purba (2023), menggunakan uji kinetika reaksi orde satu dan orde dua yang dimana adsorben nanas murni lebih mengikuti alur orde satu sedangkan adsorben nanas teraktivasi lebih mengikuti alur orde dua. Orde satu berarti besaran laju penyerapan tidak terpengaruh oleh perubahan konsentrasi adsorben sedangkan orde dua merupakan kebalikannya.

Pada studi yang dilakukan oleh Farida *et al.,* (2019), penelitiannya fokus untuk mengetahui kondisi optimum adsorben limbah kulit jagung dalam menurunkan kadar kadmium pada limbah sintesis. Dalam studi Farida *et al.,* (2019), digunakan beberapa pengaruh variasi seperti variasi aktivasi menggunakan beberapa senyawa aktif yaitu HCl-NaOH, NaOH, HNO_3, dan NaOH-HNO_3 untuk mengetahui senyawa mana yang dapat memberikan hasil maksimal pada kapasitas adsorpsi. Selain itu, pada studi Farida *et al.,* (2019) digunakan pengaruh variasi pH dan variasi waktu kontak. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Farida *et al.,* (2019), diketahui bahwa senyawa aktif yang maksimal untuk menyokong kemampuan adsorben kulit jagung dalam menyerap

kadmium adalah NaOH-HNO_3. Selain itu, kondisi optimum untuk proses adsorpsi pada penelitian ini adalah pH 8 dengan waktu kontak yaitu 40 menit yang dimana tingkat efisiensi penyerapan sebesar 88,31%.

Dari ketiga penelitian terdahulu ini terdapat beberapa kemiripan yaitu variasi yang digunakan seperti variasi pH, variasi massa adsorben, variasi waktu kontak, dan variasi kecepatan pengadukan. Selain itu, untuk mengolah data penelitian juga beberapa melakukan perhitungan menggunakan kapasitas dan persen adsorpsi serta isoterm Langmuir dan Freundlich. Dalam penelitian ini variasi yang direncanakan akan dilakukan adalah variasi pH, variasi konsentrasi kadmium, variasi waktu kontak, dan variasi asam humat. Variasi-variasi ini tentunya akan menambah wawasan baru karena belum dilakukan sebelumnya. Pada penelitian ini juga akan dilakukan uji FTIR dan uji SEM yang dimana hanya pada penelitian Farida *et al.,* (2019) yang pernah melakukan uji FTIR. Selain itu, perhitungan olah data yang akan dilakukan adalah menggunakan perhitungan kapasitas dan persen adsorpsi, model isoterm Langmuir dan Freundlich, dan kinetika adsorpsi orde satu dan dua.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini direncanakan akan dilaksanakan selama 4 bulan terhitung pada bulan Februari 2025 hingga bulan Juni 2025. Lokasi pelaksanaan penelitian ini direncanakan akan dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

3.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini direncanakan akan menggunakan alat dan bahan sebagai berikut.

A. Alat

Alat yang digunakan adalah ayakan 50 mesh, blender, cawan porselen, corong, erlenmeyer, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *furnace*, gelas beker, gelas ukur, kaca arloji, karet penghisap, kertas saring, labu ukur, oven, pH universal, pipet tetes, pipet ukur, *Scanning Electron Microscope* (SEM), *shaker*, dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

B. Bahan

Bahan yang digunakan adalah asam humat, aquades, daun mahkota nanas, larutan kadmium.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga variabel yaitu variabel kontrol, variabel bebas, dan variabel terikat. Berikut merupakan variabel-variabel tersebut.

A. Variabel kontrol:

1. Konsentrasi Kadmium (Cd) 10 ppm
2. Massa adsorben 50 mg
3. Volume larutan 20 mL
4. Waktu kontak 120 menit
5. Kecepatan pengadukan 150 rpm

B. Variabel bebas:

1. Variasi pH 3, 5, 7, dan 9 agar dapat diketahui pH yang optimum.

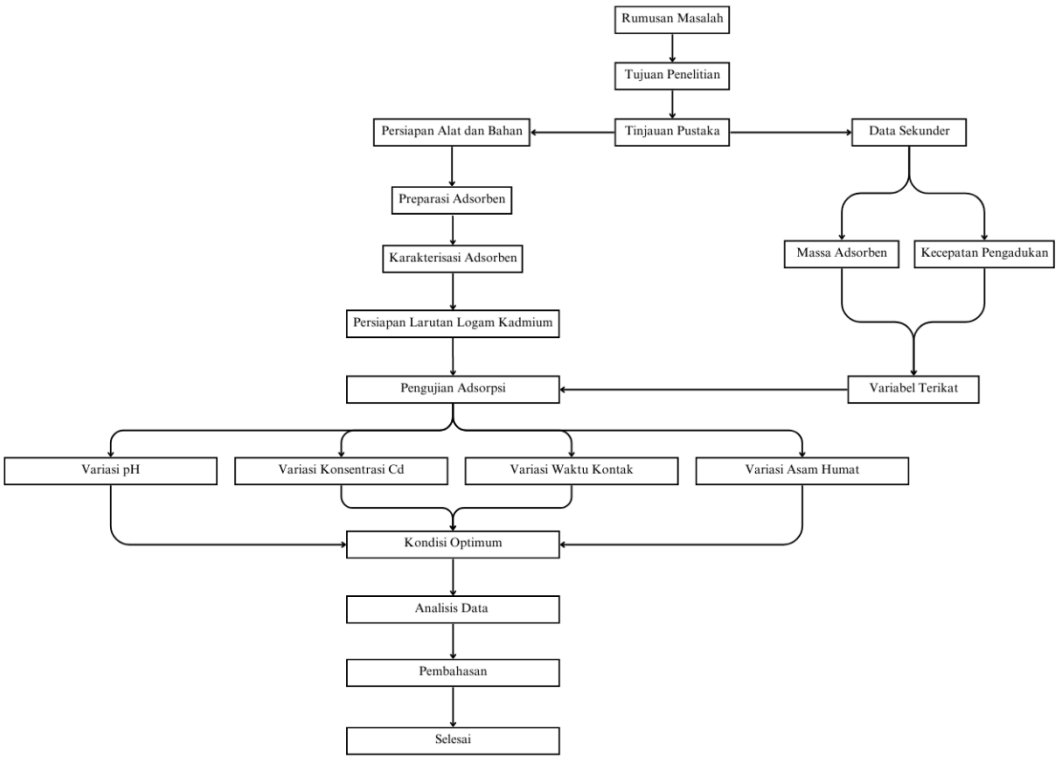
2. Variasi konsentrasi Cd adalah 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, dan 60 ppm.
3. Variasi waktu kontak adalah 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit, 120 menit, 240 menit, dan 1.440 menit agar dapat diketahui waktu kontak yang optimum.
4. Variasi senyawa asam humat adalah 5%, 10%, dan 20%.

C. Variabel terikat:

1. Efisiensi Penyisihan Kadmium (%)
2. Kapasitas Adsorpsi (mg/g)

3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini memiliki rencana diagram alir tahapan penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut dapat dilihat pada **Gambar 3.1.**



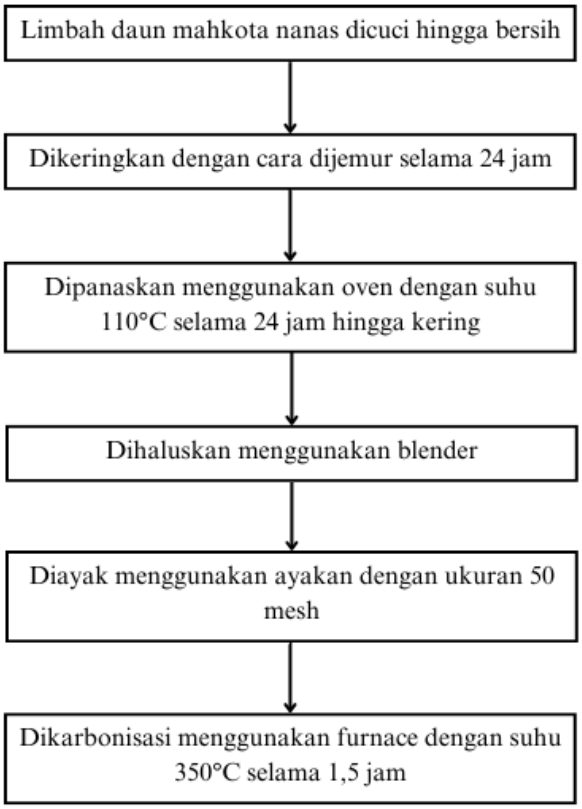
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

3.4.1.1 Preparasi Adsorben

Persiapan adsorben pada penelitian ini menggunakan limbah daun mahkota nanas. Limbah daun mahkota nanas ini didapatkan dari toko buah

terdekat. Berikut merupakan langkah-langkah dalam preparasi adsorben dari limbah daun mahkota nanas dapat dilihat pada **Gambar 3.2.**



Gambar 3.2 Diagram Alir Preparasi Adsorben

3.4.1.2 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben merupakan tahapan untuk melihat gugus fungsi dari adsorben yang akan digunakan sehingga diketahui karakteristik dari adsorben. Pada tahapan karakterisasi adsorben ini menggunakan dua metode analisis, yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Metode SEM bertujuan untuk mengetahui apabila terjadi perubahan struktur adsorben. Sedangkan metode FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi molekul adsorben mahkota nanas.

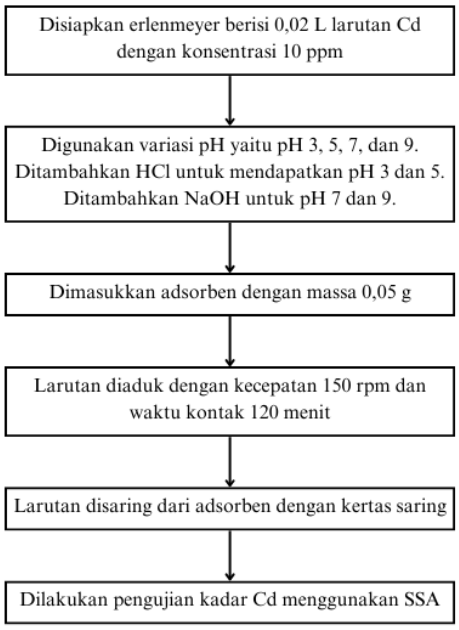
3.4.1.3 Persiapan Larutan Logam Kadmium

Pada tahapan ini, persiapan larutan logam kadmium dilakukan dengan mengacu pada referensi dari SNI 06-6989.16-2009, Air dan Air Limbah – Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala.

3.4.2 Pengujian Adsorpsi

3.4.2.1 Variasi pH

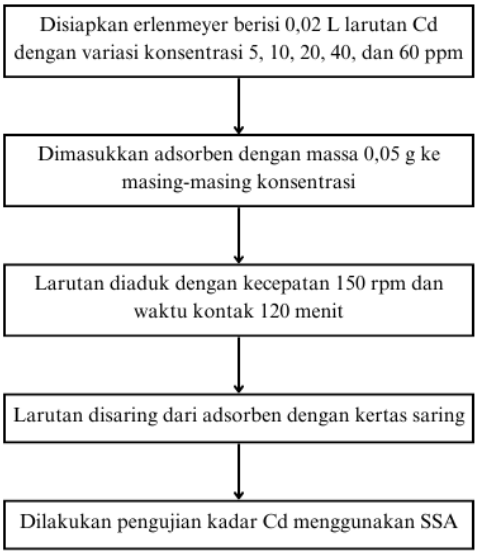
Berikut merupakan langkah-langkah pengujian variasi pH yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3.**



Gambar 3.3 Diagram Alir Uji Variasi pH

3.4.2.2 Variasi Konsentrasi Cd

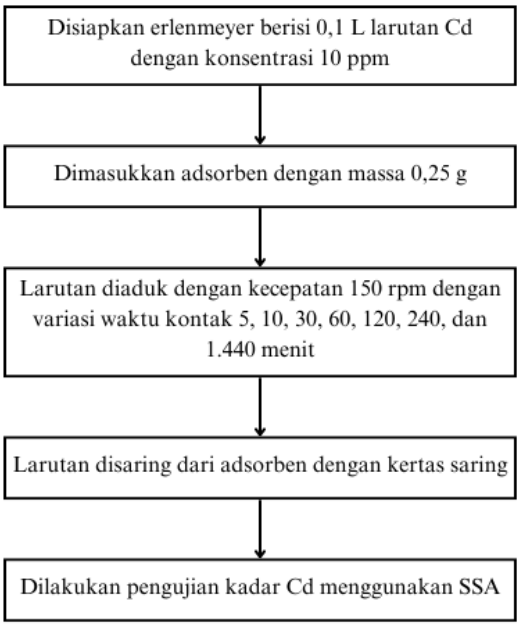
Berikut merupakan langkah-langkah pengujian variasi konsentrasi Cd yang dapat dilihat pada **Gambar 3.4.**



Gambar 3.4 Diagram Alir Uji Variasi Konsentrasi Cd

3.4.2.3 Variasi Waktu Kontak

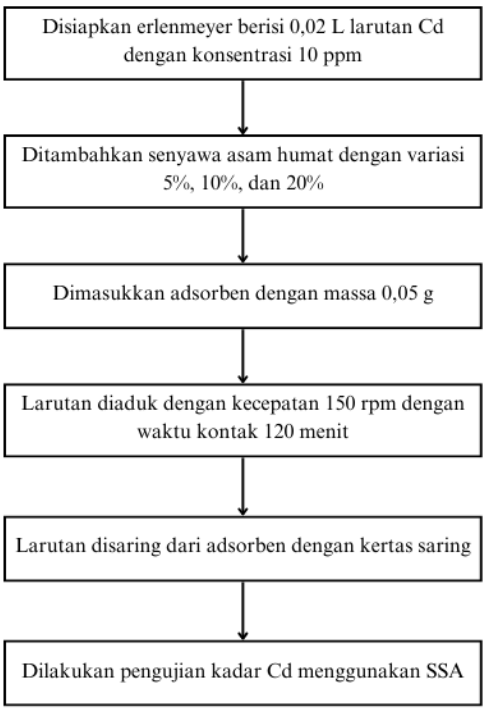
Berikut merupakan langkah-langkah pengujian variasi waktu kontak yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5.**



Gambar 3.5 Diagram Alir Uji Variasi Waktu Kontak

3.4.2.4 Variasi Senyawa Asam Humat

Berikut merupakan langkah-langkah pengujian variasi waktu kontak yang dapat dilihat pada **Gambar 3.6.**



Gambar 3.6 Diagram Alir Uji Variasi Senyawa Asam Humat

3.5 Prosedur Analisis Data

3.5.1 Persen Adsorpsi

Pada prosedur analisis data, salah satu analisis yang akan dilakukan adalah menghitung kemampuan atau efektivitas penyerapan kadmium oleh adsorben. Penyisihan adsorpsi dapat diketahui apabila sudah diperoleh data konsentrasi awal sebelum diuji dan konsentrasi akhir logam kadmium setelah dilakukan adsorpsi. Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kemampuan penyisihan adsorpsi dapat dilihat pada Persamaan 3.1.

$$EP\ (\%) = \frac{Co-Ca}{Co}\ x\ 100\% \quad \text{.....(3.1)}$$

Keterangan:

EP : Efisiensi Penyisihan (%)

C_o : Konsentrasi awal kadmium (mg/L)

C_a : Konsentrasi kadmium setelah di adsorpsi (mg/L)

3.5.2 Kapasitas Adsorpsi

Pada prosedur analisis data, salah satu analisis yang akan dilakukan adalah menghitung kapasitas adsorben dalam menyerap adsorbat. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa banyak adsorben yang mencapai kesetimbangan sehingga adsorben tidak dapat menyerap lebih banyak adsorbat lagi. Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada Persamaan 3.2.

$$Qe = \frac{(C0-Ca)}{M}\ .V \quad \text{.....(3.2)}$$

Keterangan:

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

C_o : Konsentrasi awal kadmium (mg/L)

C_a : Konsentrasi kadmium setelah di adsorpsi (mg/L)

M : Massa adsorben (g)

V : Volume sampel (L)

3.5.3 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan penjelasan dari proses adsorpsi dengan kondisi temperatur konstan (Anggriani *et al.,* 2021). Pada isoterm adsorpsi, terdapat dua model yang dapat digunakan. Model isoterm tersebut adalah isoterm Langmuir dan Freundlich. Model persamaan isoterm Langmuir dapat dilihat pada Persamaan

3.3 dan model persamaan isoterm Freundlich dapat dilihat pada Persamaan 3.4 berikut.

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{qm}.Ce.\frac{1}{kL.qm} \quad \text{.....(3.3)}$$

Keterangan:

qe : Jumlah zat yang teradsorpsi (mg/g)

Ce : Konsentrasi setelah teradsorpsi (ppm)

qm : Kapasitas adsorpsi maksimum

kL : Konstanta kesetimbangan

$$qe = kf.Ce^{\frac{1}{n}} \quad \text{.....(3.4)}$$

Keterangan:

qe : Jumlah zat yang teradsorpsi (mg/g)

Ce : Konsentrasi setelah teradsorpsi (ppm)

kf : Konstanta Freundlich

n : Konstanta

Nilai kf dan nilai n dapat didapatkan menggunakan Persamaan 3.5 yang dapat dilihat berikut.

$$\log(qe) = \log kf + \frac{1}{n}\log(ce) \quad \text{.....(3.5)}$$

Keterangan:

qe : Jumlah zat yang teradsorpsi (mg/g)

Ce : Konsentrasi setelah teradsorpsi (ppm)

kf : Konstanta Freundlich

n : Konstanta

3.5.4 Model Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi merupakan penjelasan hubungan bagaimana waktu kontak adsorben dengan adsorbat mempengaruhi kapasitas penyerapan dalam proses adsorpsi. Dari kinetika adsorpsi dapat diketahui karakteristik penyerapan pada proses adsorpsi (Anggriani *et al.,* 2021). Pada kinetika adsorpsi, terdapat dua model yang dapat digunakan. Model kinetika tersebut adalah *pseudo first order* (orde satu) dan *pseudo second order* (orde dua). Model persamaan kinetika orde satu dapat dilihat pada Persamaan 3.6 dan model persamaan kinetika orde dua dapat dilihat pada Persamaan 3.7 berikut.

$Ln(Qe-Qt) = Ln\ Qe - k_1 t$ ……..(3.6)

(Mkilima *et al*., 2024)

Keterangan:

Qe : Kapasitas adsorpsi setimbang (mg/g)

Qt : Jumlah adsorbat yang terserap pada waktu t (mg/g)

K_1 : Konstanta laju adsorpsi orde satu ($menit^{-1}$)

$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{t}{Qe}$ ……..……...……..……..(3.7)

(Mkilima *et al*., 2024)

Keterangan:

K_2 : Konstanta laju adsorpsi orde dua (g/mg.menit)

Qe : Kapasitas adsorpsi setimbang (mg/g)

Qt : Jumlah adsorbat yang terserap pada waktu t (mg/g)

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Adsorben Mahkota Nanas

Karakterisasi adsorben bertujuan untuk melihat gugus fungsi dari adsorben yang akan digunakan sehingga diketahui karakteristik dari adsorben. Pada karakterisasi adsorben ini menggunakan dua metode analisis, yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

4.1.1 Karakterisasi Adsorben Mahkota Nanas menggunakan FTIR

Instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia atau gugus fungsi dari suatu senyawa organik. Penggunaan FTIR pada adsorben mahkota nanas ini dapat menentukan perbandingan perubahan pada gugus fungsi adsorben sebelum terjadi proses adsorpsi dan setelah digunakan untuk proses adsorpsi. Selain itu, hasil karakterisasi adsorben menggunakan FTIR ini juga dapat digunakan untuk membandingkan apakah terjadinya perubahan gugus fungsi setelah ditambahkan asam humat. Berikut merupakan tabel daerah gugus fungsi berdasarkan daerah serapan pada FTIR yang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

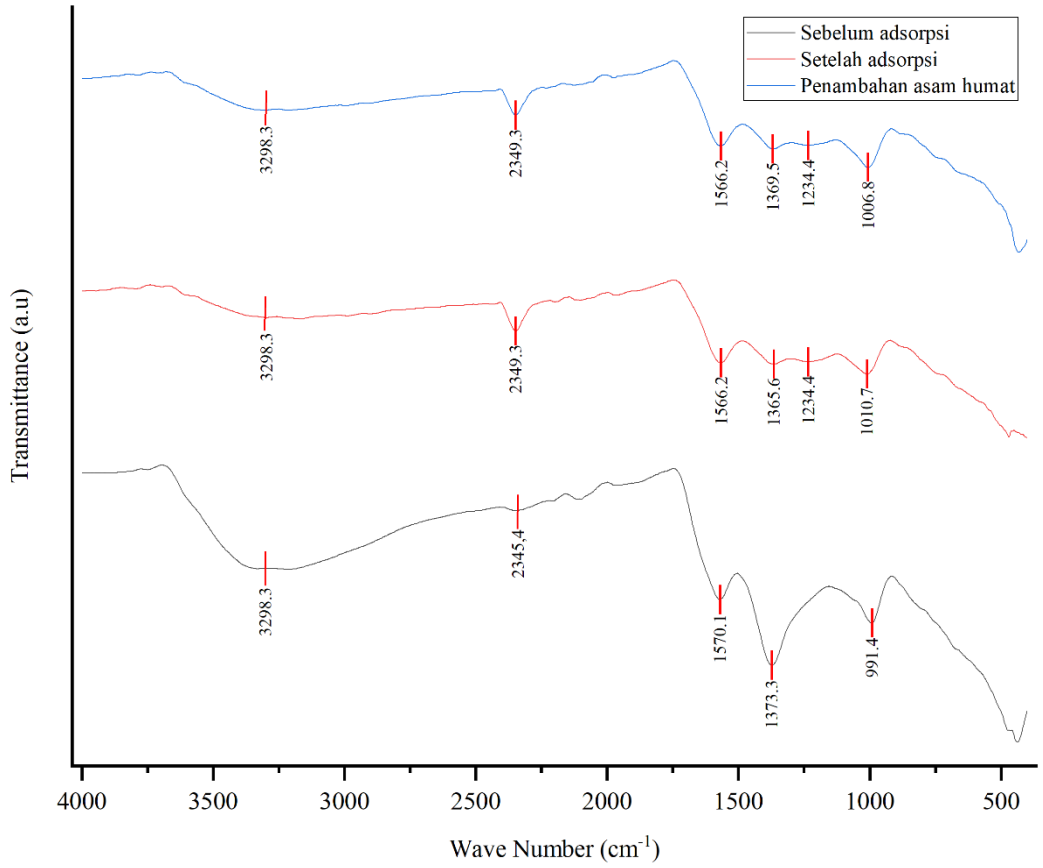
Tabel 4.1 Daerah Gugus Fungsi Berdasarkan Daerah Serapan Pada FTIR

Gugus Fungsi	Jenis Senyawa	Rumus Kimia	Daerah Serapan (cm^{-1})
C-H	Alkana	C_nH_{2n+2}	2850-2960, 1350-1470
C-H	Alkena	C_2H_4	3020-3080, 650-1000
C-H	Aromatik	C_6H_6	3010-3100, 675-870
C-H	Alkuna	C_nH_{2n-2}	3300
C=C	Alkena	C_2H_4	1640-1680
C=C	Aromatik (cincin)	C_6H_6	1500-1600
C-O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	C_2H_5OH, $(C_2H_5)2O$, C_nH_{2n+1}, $C_nH_{2n}O_2$	1080-1300
C=O	Aldehida, keton, asam karboksilat, ester	C_2H_4O, $C_nH_{2n}O$, C_nH_{2n+1}, $C_nH_{2n}O_2$	1690-1760

O-H	Alkohol, fenol (monomer)	C_2H_5OH, C_6H_6O	3610-3640
O-H	Alkohol, fenol (ikatan H)	C_2H_5OH, C_6H_6OH	2000-3600 (lebar)
O-H	Asam Karboksilat	C_nH_{2n+1}	3000-3600 (lebar)
N-H	Amina	RNH_2	3310-3500
C-N	Amina	RNH_2	1180-1360
NO_2	Nitro	NO_2	1515-1560, 1345-1385

(Sumber: Karim, 2023 & Meilia, 2019)

Berikut merupakan grafik hasil karakterisasi adsorben mahkota nanas menggunakan instrumen FTIR sebelum dilakukan proses adsorpsi, setelah terjadi proses adsorpsi, setelah dilakukan adsorpsi dengan penambahan asam humat yang telah digabung yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Gabungan Hasil Uji FTIR Adsorben Mahkota Nanas

Berikut merupakan hasil interpretasi gugus fungsi dari pita serapan mahkota nanas yang dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Hasil Interpretasi Gugus Fungsi Dari Pita Serapan Adsorben

Adsorben Mahkota Nanas	Panjang Gelombang (cm^{-1})		Gugus Fungsi	Intensitas (%)
	Teori	Hasil		
Sebelum adsorpsi	650-1000	991,4	C-H	62,62
	1350-1470	1373,3	C-H	55,92
	1500-1600	1570,1	C=C	66,32
	2000-3600	3298,3	O-H	71,19
Setelah adsorpsi	650-1000	1010,7	C-H	77,79
	1080-1300	1234,4	C-O	79,70
	1350-1470	1365,6	C-H	79,32
	1500-1600	1566,2	C=C	79,57
	2000-3600	3298,3	O-H	86,66
Penambahan asam humat	650-1000	1006,8	C-H	73,69
	1080-1300	1234,4	C-O	77,12
	1350-1470	1369,5	C-H	76,61
	1500-1600	1566,2	C=C	77,06
	2000-3600	3298,3	O-H	82,70

(Sumber: Data Primer, 2025)

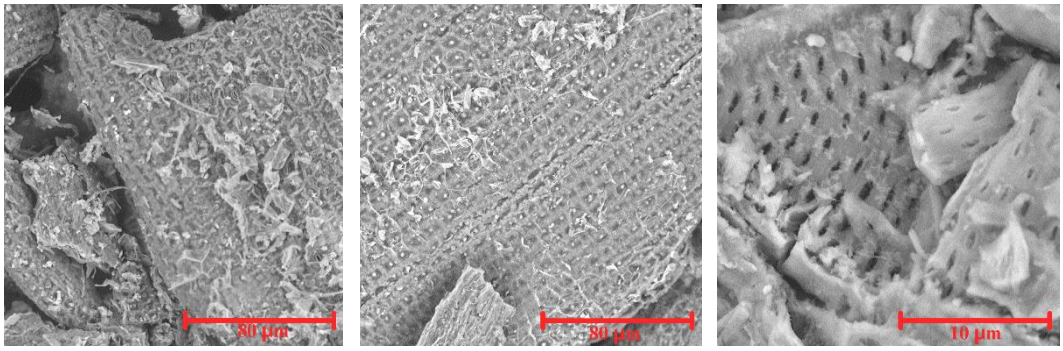
Berdasarkan hasil interpretasi gugus fungsi dari adsorben mahkota nanas pada Tabel 4.3, terdapat gugus fungsi C-H *bending* pada rentang gelombang 650-1000 cm^{-1} dan rentang 1350-1470 cm^{-1}. Gugus fungsi C-H ini menunjukkan bahwa adanya senyawa organik yang mengandung gugus metil (Pryadi, 2023). Pergeseran gugus C-H dapat disebabkan karena interaksi tidak langsung dengan ion Cd^{2+} dan dengan gugus pada asam humat sehingga terjadi perubahan lingkungan kimia. Munculnya gugus fungsi C-O *stretching* yang sebelumnya tidak ada pada panjang gelombang 1080-1300 cm^{-1} dapat terjadi karena terbentuknya ikatan baru setelah adanya interaksi langsung dengan ion Cd^{2+} membentuk senyawa kompleks. Kemudian teridentifikasi adanya gugus C=C *stretching* aromatik yang menandakan terjadinya kenaikan kadar karbon dalam adsorben dan mengindikasikan adanya lignin (Dewanti, 2024). Pergeseran pada gugus fungsi C=C ini dapat terjadi akibat adanya perubahan lingkungan oleh proses adsorpsi. Data FTIR adsorben mahkota nanas ini juga menunjukkan adanya puncak gugus fungsi O-H pada panjang gelombang 2000-3640 cm^{-1}.

Gugus fungsi O-H ini menunjukkan gugus ini merupakan gugus hidroksil yang dimana atom oksigen berikatan dengan atom hidrogen (Susmanto *et al*., 2023). Pada Gambar 4.1 muncul puncak dengan rentang 2345-2349 cm^{-1}, rentang tersebut tidak umum hadir dalam adsorben mahkota nanas sehingga kemunculan pada rentang ini dapat disebabkan oleh kontaminasi gas CO_2 yang berasal dari fluktuasi pembersih dan dapat dikesampingkan saja (Kirchner *et al*, 2000). Selain itu, dilihat dari nilai intensitas pada gugus O-H dan C-H, terjadi peningkatan intensitas yang signifikan setelah adsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa gugus ini merupakan gugus fungsi pada adsorben mahkota nanas yang banyak berinteraksi dengan logam kadmium. Akan tetapi setelah penambahan asam humat, sebagian intensitas gugus fungsi mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa gugus fungsi adsorben sedikit berkurang karena adanya asam humat.

Hasil FTIR ini menunjukkan bahwa pada adsorben mahkota nanas terdapat asam karboksilat, senyawa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang sesuai dengan keberadaannya dalam struktur mahkota nanas sehingga adsorben mahkota nanas ini cocok untuk dijadikan adsorben (Susmanto *et al*., 2023).

4.1.2 Karakterisasi Adsorben Mahkota Nanas menggunakan SEM

Instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bertujuan untuk mengetahui pola hingga ukuran permukaan dari suatu adsorben. Penggunaan SEM pada adsorben mahkota nanas ini dapat menentukan perbandingan pada permukaan adsorben sebelum dilakukan proses adsorpsi dan setelah dilakukan proses adsorpsi. Dalam pengujian adsorben mahkota nanas menggunakan instrumen SEM ini, dilakukan perbesaran 1000x, 3000x, dan 5000x. Berikut merupakan hasil SEM dari adsorben mahkota nanas dengan perbesaran 1000x sebelum dilakukan proses adsorpsi, perbesaran 1000x setelah terjadi proses adsorpsi, dan perbesaran 5000x setelah dilakukan adsorpsi dengan penambahan asam humat yang dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



(a) (b) (c)

Gambar 4.2 Hasil Uji SEM Adsorben Mahkota Nanas (a) Sebelum Adsorpsi (b) Setelah Adsorpsi (c) Setelah Penambahan Asam Humat

Pada **Gambar 4.2**, dapat dilihat pori-pori adsorben mahkota nanas sebelum adsorpsi memiliki pori-pori yang banyak, seragam, dan terbuka. Kemudian terlihat sedikit perbedaan dibandingkan dengan setelah dilakukan adsorpsi yaitu banyak pori-pori yang terlihat sedikit tertutup dan pori-pori masih seragam. Hal ini dapat terjadi karena pori-pori adsorben tersebut telah menjerap logam kadmium dalam sampel pada saat dilakukan kontak. Pada gambar (c) dapat dilihat bahwa warna pori-pori sedikit menggelap dibandingkan dengan gambar (a) dan (b) dan seperti tertutup. Pori-pori masih seragam tetapi jumlah pori-pori tidak sebanyak pada gambar (a) dan (b). Hal ini dapat terjadi karena pori-pori adsorben tersebut menjerap logam kadmium dan asam humat dalam sampel pada saat dilakukan kontak.

4.2 Uji Variasi Adsorpsi

4.2.1 Variasi pH

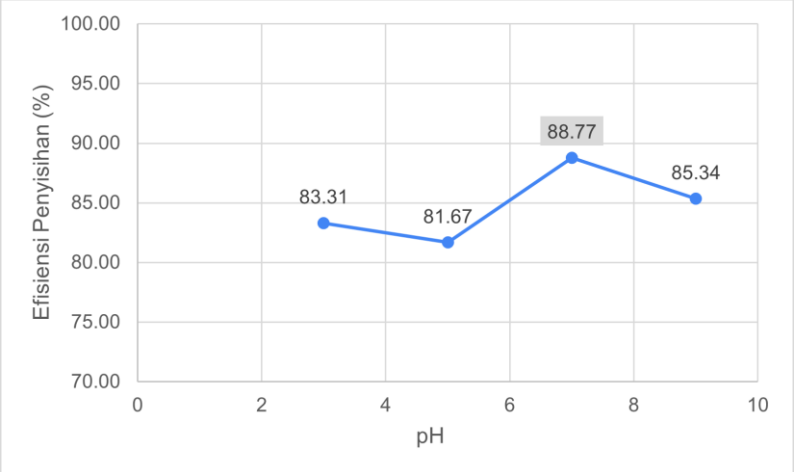
Pengujian adsorpsi variasi pH ini dilakukan untuk mendapatkan keadaan pH yang optimum dalam penyerapan logam kadmium. Konsentrasi sampel larutan kadmium yang digunakan pada variasi pH ini adalah 10 ppm dengan volume larutan 0,02 L dan pH asli dari sampel adalah pH 5. Selain itu, digunakan larutan HCl 0,1 M untuk mengubah pH larutan menjadi pH 3 sedangkan untuk mengubah pH menjadi pH 7 & 9 digunakan larutan NaOH 0,1 M. Penggunaan adsorben mahkota nanas pada variasi ini masing-masing sebanyak 0,05 g adsorben dengan waktu kontak selama 120 menit dan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm. Berikut merupakan hasil dari uji variasi pH yang dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil Uji Mahkota Nanas Variasi pH

pH	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
3	8,023	1,339	83,31	2,674
5		1,471	81,67	2,621
7		0,901	88,77	2,849
9		1,176	85,34	2,739

(Sumber: Data Primer, 2025)

Berikut merupakan grafik efisiensi penyisihan berdasarkan hasil dari uji variasi pH yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi pH

Berdasarkan hasil uji pada variasi pH ini, diketahui bahwa terjadi penurunan kadar logam kadmium setelah proses adsorpsi. Konsentrasi awal pada pengujian variasi pH adalah sebesar 8,023 mg/L. Pada kondisi pH 3, konsentrasi menurun dengan efisiensi penyisihan sebesar 83,31% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,674 mg/g. Pada kondisi pH 5, konsentrasi menurun dengan efisiensi penyisihan sebesar 81,67% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,621 mg/g. Pada kondisi pH 7, konsentrasi menurun dengan efisiensi penyisihan sebesar 88,77% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,849 mg/g. Pada kondisi pH 9, konsentrasi menurun dengan efisiensi penyisihan sebesar 85,34% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,739 mg/g.

Berdasarkan hasil pengujian variasi pH yang telah dilakukan, kondisi pH yang optimum dalam proses penyerapan logam kadmium adalah pH 7. Hal ini mengindikasikan bahwa ion pada adsorben dapat mengadsorpsi ion Cd^{2+} lebih

optimum pada kondisi pH netral yang dimana mulai terjadinya deprotonasi ion H^+. Pada pH 9 terjadi penurunan efisiensi penyisihan dibandingkan dengan pH 7. Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya hidrolisis yang mengubah ion Cd^{2+} menjadi $CdOH^+$ (Suhud *et al*, 2012). Kondisi pH basa dapat menyebabkan gugus fungsi yang terdapat pada adsorben mengalami deprotonasi sehingga adsorben akan memiliki ion OH-. Ion bermuatan negatif ini yang kemudian berikatan dengan ion Cd^{2+} menyebabkan penyisihan logam kadmium. Ion OH- yang terlalu banyak akan menyebabkan ion tersebut mengikat logam kadmium membentuk endapan. Sedangkan pada pH 3 dan 5, hasil efisiensi penyisihan yang relatif rendah. Hal ini dikarenakan pada kondisi pH asam, gugus fungsi pada adsorben akan mengalami protonasi yang meningkatkan ion H^+. Peningkatan ion H^+ ini akan menyebabkan persaingan antara ion H^+ dengan ion Cd^{2+} sehingga permukaan adsorben mahkota nanas akan berkurang karena adsorben berikatan dengan ion H^+ (Farida *et al*., 2019).

4.2.2 Variasi Konsentrasi Kadmium

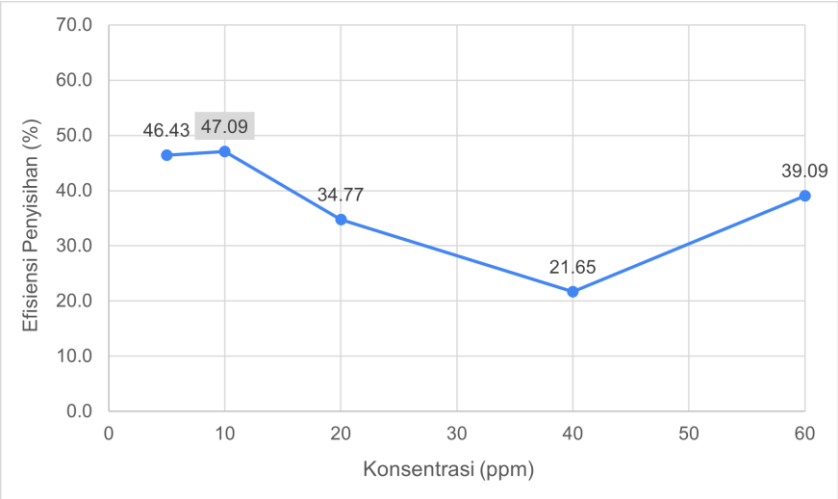
Pengujian adsorpsi variasi konsentrasi kadmium ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi kadmium yang maksimum dalam kapasitas adsorpsi adsorben mahkota nanas pada proses adsorpsi kadmium. Volume larutan yang digunakan dalam uji variasi konsentrasi ini masing-masing adalah 0,02 L dan pH asli dari sampel adalah pH 5. Penggunaan adsorben mahkota nanas pada variasi ini masing-masing sebanyak 0,05 g adsorben dengan waktu kontak selama 120 menit dan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm. Berikut merupakan hasil dari uji variasi konsentrasi kadmium yang dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Hasil Uji Mahkota Nanas Variasi Konsentrasi Kadmium

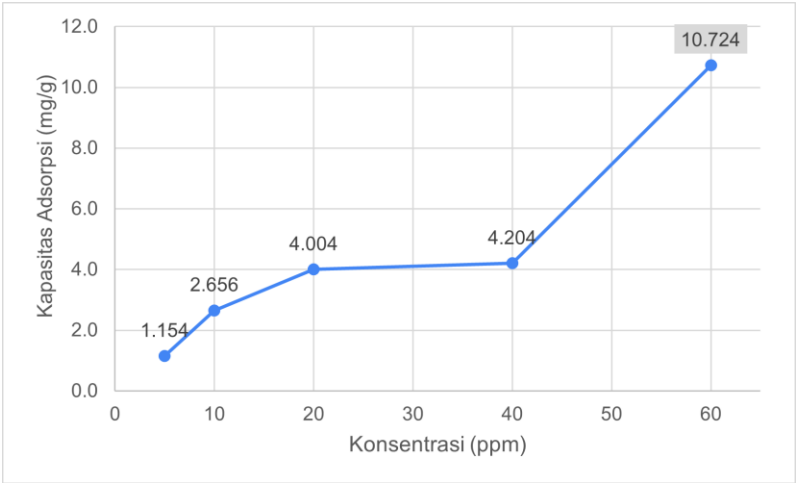
Konsentrasi Rencana (ppm)	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
5	6,211	3,327	46,43	1,154
10	14,1	7,460	47,09	2,656
20	28,79	18,78	34,77	4,004
40	48,54	38,03	21,65	4,204
60	68,59	41,78	39,09	10,724

(Sumber : Data Primer, 2025)

Berikut merupakan grafik efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi berdasarkan hasil dari uji variasi konsentrasi Cd yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**.



Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi Konsentrasi Cd



Gambar 4.5 Grafik Kapasitas Adsorpsi Mahkota Nanas Variasi Konsentrasi Cd

Berdasarkan hasil uji pada variasi konsentrasi kadmium ini, diketahui bahwa terjadi penurunan kadar logam kadmium setelah proses adsorpsi. Pada konsentrasi 5 ppm efisiensi penyisihan sebesar 46,43% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,154 mg/g. Pada konsentrasi 10 ppm efisiensi penyisihan sebesar 47,09% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,656 mg/g. Pada konsentrasi 20 ppm efisiensi penyisihan sebesar 34,77% dan kapasitas adsorpsi sebesar 4,004 mg/g. Pada konsentrasi 40 ppm efisiensi penyisihan sebesar 21,65% dan kapasitas adsorpsi sebesar 4,204 mg/g. Pada konsentrasi 60 ppm efisiensi penyisihan sebesar 39,09% dan kapasitas sebesar 10,724 mg/g.

Berdasarkan hasil pengujian variasi konsentrasi kadmium yang telah dilakukan, konsentrasi kadmium yang optimum dalam proses adsorpsi adalah konsentrasi 10 ppm. Pada konsentrasi 20, 40, dan 60 ppm terjadi penurunan efisiensi penyisihan yang berbanding terbalik dengan kapasitas adsorpsi yang mengalami kenaikan. Peningkatan kapasitas adsorpsi dapat disebabkan karena masih adanya kekosongan pada situs aktif adsorben sehingga penyerapan kadmium masih dapat ditampung. Sedangkan penurunan efisiensi penyisihan dapat disebabkan karena jumlah adsorbat yang terserap tidak sebanding dengan jumlah situs aktif yang tersedia sehingga efisiensi penyerapan menurun tetapi adsorbat yang terserap naik (Domiruddin *et al*, 2018). Akan tetapi pada konsentrasi 60 ppm, efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan. Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi kadmium yang sangat besar sehingga meningkatkan *driving force* yang menyebabkan ion kadmium bergerak menuju permukaan adsorben. Semakin besar konsentrasi di sekeliling adsorben, maka semakin besar pula *driving force* yang terjadi (Lei *et al*, 2019).

4.2.3 Variasi Waktu Kontak

Pengujian adsorpsi variasi waktu kontak ini dilakukan untuk mengetahui waktu optimum dari kapasitas adsorpsi adsorben mahkota nanas hingga mencapai titik jenuh atau kesetimbangan. Konsentrasi sampel larutan kadmium yang digunakan pada variasi waktu kontak ini adalah 10 ppm dengan volume larutan 0,1 L dan pH asli dari sampel adalah pH 5. Penggunaan adsorben mahkota nanas pada variasi ini masing-masing sebanyak 0,25 g adsorben dengan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm. Berikut merupakan hasil dari uji variasi waktu kontak yang dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

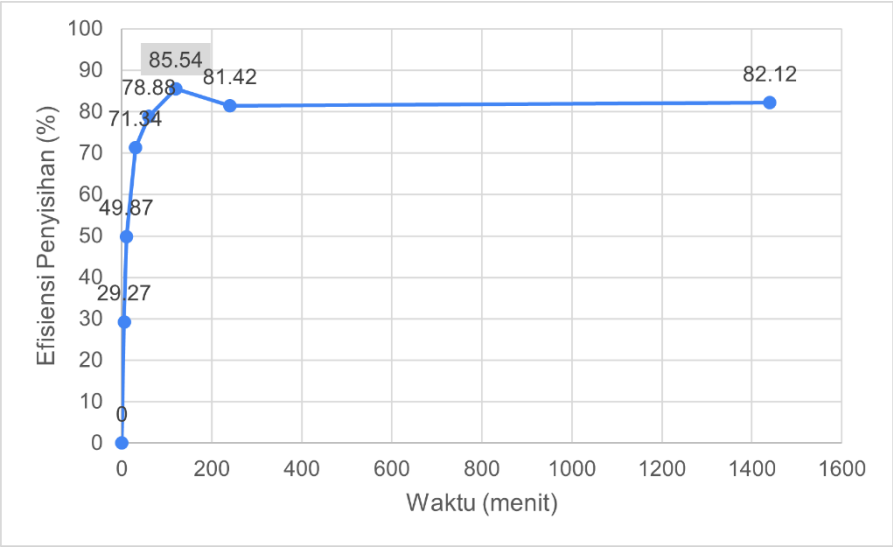
Tabel 4.5 Hasil Uji Mahkota Nanas Variasi Waktu Kontak

Waktu (menit)	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
5	11,41	8,07	29,27	1,336
10		5,72	49,87	2,276
30		3,27	71,34	3,256
60		2,41	78,88	3,600

120		1,65	85,54	3,904
240		2,12	81,42	3,716
1.440		2,04	82,12	3,748

(Sumber : Data Primer, 2025)

Berikut merupakan grafik berdasarkan hasil dari uji variasi waktu kontak yang dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Penyisihan Mahkota Nanas Variasi Waktu Kontak

Berdasarkan hasil uji pada variasi waktu kontak Cd ini, diketahui bahwa terjadi penurunan kadar logam kadmium setelah proses adsorpsi. Pada kondisi waktu 5 menit efisiensi penyisihan sebesar 29,27% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,336 mg/g. Pada kondisi waktu 10 menit efisiensi penyisihan sebesar 49,87% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,276 mg/g. Pada kondisi waktu 30 menit efisiensi penyisihan sebesar 71,34% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,256 mg/g. Pada kondisi waktu 60 menit efisiensi penyisihan sebesar 78,88% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,600 mg/g. Pada kondisi waktu 120 menit efisiensi penyisihan sebesar 85,54% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,904 mg/g. Pada kondisi waktu 240 menit efisiensi penyisihan sebesar 81,42% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,716 mg/g. Pada kondisi waktu 1.440 menit efisiensi penyisihan sebesar 82,12% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,748 mg/g.

Berdasarkan hasil pengujian variasi waktu kontak yang telah dilakukan, waktu kontak yang optimum dalam proses adsorpsi adalah waktu 120 menit. Pada waktu 5 menit hingga 120 menit terjadi kenaikan efisiensi penyisihan sehingga

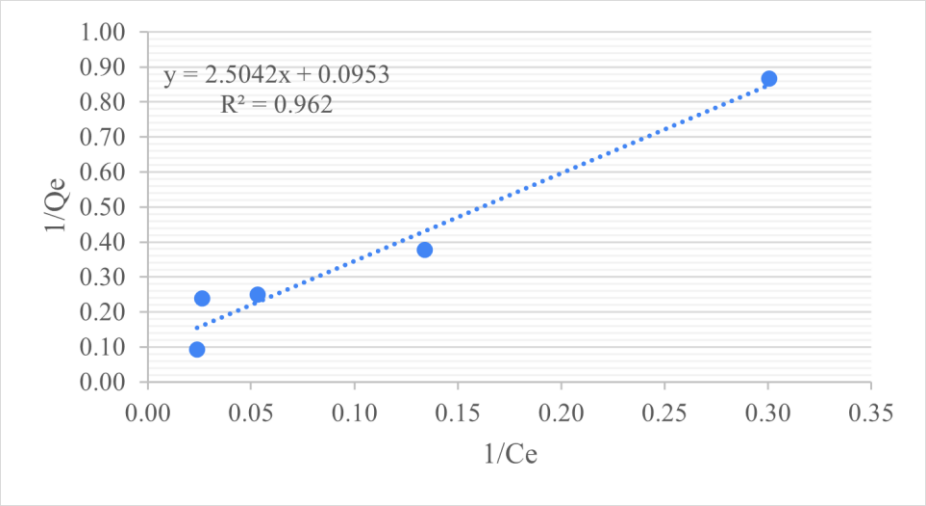
waktu-waktu tersebut efektif dalam menyisihkan Cd. Akan tetapi pada waktu 240 menit hingga 24 jam terjadi penurunan efisiensi penyisihan. Hal ini dapat disebabkan oleh jenuhnya gugus aktif pada adsorben setelah waktu optimum atau keadaan setimbang sehingga penambahan waktu setelah waktu optimum tidak akan mempengaruhi penyerapan kadmium (Purba, 2023).

4.3 Model Isoterm Adsorpsi

4.3.1 Isoterm Langmuir

Model isoterm langmuir akan menghasilkan kesimpulan apakah proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi tunggal atau *monolayer* yang berarti proses maksimum dari adsorpsi yang terjadi ini dikarenakan adsorbat yang diserap hanya pada lapisan tunggal dari permukaan adsorben. Isoterm langmuir akan menghasilkan kesimpulan apakah proses adsorpsi yang dilakukan merupakan proses dengan ikatan kimia (Raziah *et al*., 2017).

Untuk melakukan perhitungan menggunakan metode isoterm langmuir, data yang digunakan merupakan data yang dihasilkan dari uji variasi konsentrasi. Setelah didapatkan nilai 1/ce dan 1/qe, nilai tersebut diplot ke grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



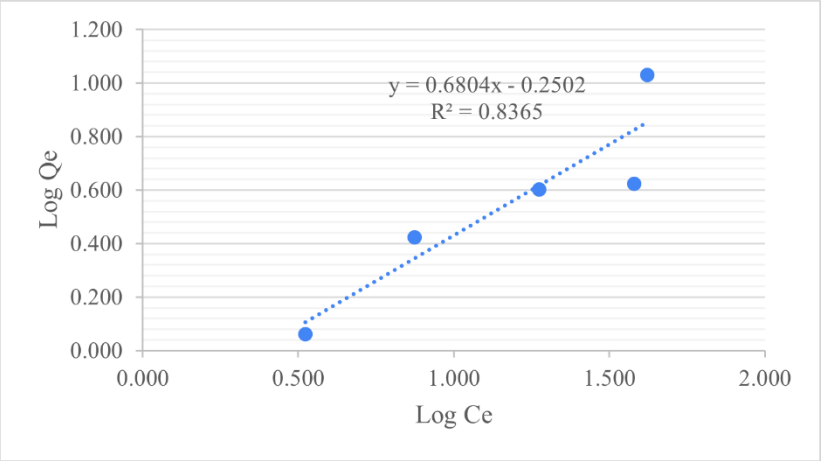
Gambar 4.7 Grafik Model Isoterm Langmuir

Berdasarkan grafik yang telah dibuat, didapatkan data y dan R^2. Nilai y yang diperoleh adalah y = 2,5042x + 0,0953 dan nilai R^2 yang diperoleh adalah 0,962. Hasil persamaan yang diperoleh ini dapat digunakan untuk menghitung nilai qm dan kL. Didapatkan nilai Qmax adalah 10,493 mg/g dengan kL adalah 0,038.

4.3.2 Isoterm Freundlich

Model isoterm freundlich akan menghasilkan kesimpulan apakah proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi bertingkat atau *multilayer*. Adsorpsi *multilayer* berarti proses maksimum dari adsorpsi yang terjadi ini dikarenakan adsorbat yang diserap oleh beberapa lapisan dari permukaan adsorben dengan sifat heterogen akibat perbedaan energi yang mengikat. Isoterm freundlich akan menghasilkan kesimpulan apakah proses adsorpsi yang dilakukan merupakan proses dengan ikatan fisika (Raziah *et al*., 2017).

Untuk melakukan perhitungan menggunakan metode isoterm freundlich, data yang digunakan merupakan data yang dihasilkan dari uji variasi konsentrasi. Setelah didapatkan nilai log ce dan log qe, nilai tersebut diplot ke grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Grafik Model Isoterm Freundlich

Berdasarkan grafik yang telah dibuat, didapatkan data y dan R^2. Nilai y yang diperoleh adalah y = 0,6804x - 0,2502 dan nilai R^2 yang diperoleh adalah 0,8365. Hasil persamaan yang diperoleh ini dapat digunakan untuk menghitung nilai n dan kf. Didapatkan nilai kekuatan interaksi (n) adalah 1,470 dengan kF adalah 0,562 mg/g.

4.3.3 Penentuan Isoterm Adsorpsi

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada model isoterm langmuir dan freundlich, dilakukan perbandingan hasil dari data tersebut. Berikut merupakan perbandingan kedua data model isoterm yang dapat dilihat pada **Tabel 4.6.**

Tabel 4.6 Hasil Perbandingan Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich

Model Isoterm	Indikator	Nilai
Langmuir	*Slope*	2,5042
	Intercept	0,0953
	Qm (mg/g)	10,493
	kL	0,038
	R^2	0,962
Freundlich	*Slope*	0,6804
	Intercept	-0,2502
	1/n	0,6804
	n	1,470
	kF (mg/g)	0,562
	R^2	0,8365

(Sumber : Data Primer, 2025)

Hasil dari kedua isoterm yang telah didapatkan diketahui bahwa nilai R^2 isoterm langmuir lebih mendekati nilai 1 dengan nilai 0,962. Sedangkan nilai R^2 isoterm freundlich memiliki nilai 0,8365. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi logam kadmium menggunakan adsorben mahkota nanas ini lebih kuat korelasinya dengan isoterm langmuir. Isoterm langmuir ini menunjukkan bahwa pada proses adsorpsi yang terjadi adsorben mahkota nanas menyerap logam kadmium secara monolayer dengan sifat heterogen dan terjadi ikatan kimia (Raziah *et al*., 2017).

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Qmaks. Langmuir Dengan Penelitian Terdahulu

Sumber Data	Jenis Adsorben	Indikator Langmuir	Nilai
Data Primer, 2025	Mahkota nanas	Qm (mg/g)	10,493
Purba, 2023	Biomassa nanas murni		9,597

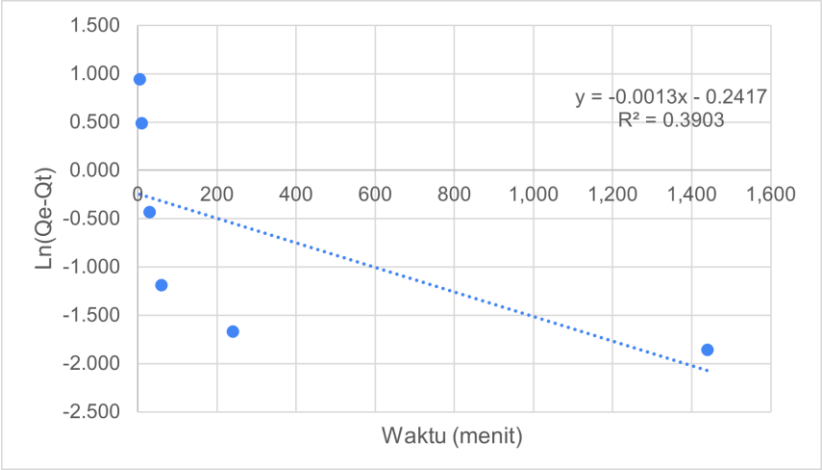
Kemudian dilakukan perbandingan antara hasil penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang melakukan penelitian adsorpsi kadmium menggunakan biomassa nanas murni untuk mengevaluasi perbedaan kapasitas adsorpsi maksimum yang dihasilkan. Berdasarkan perbandingan pada **Tabel 4.7**, nilai Qm dari adsorben mahkota nanas penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa nanas murni pada penelitian Purba (2023). Hal ini menunjukkan bahwa

adsorben mahkota nanas memiliki potensi adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa nanas murni.

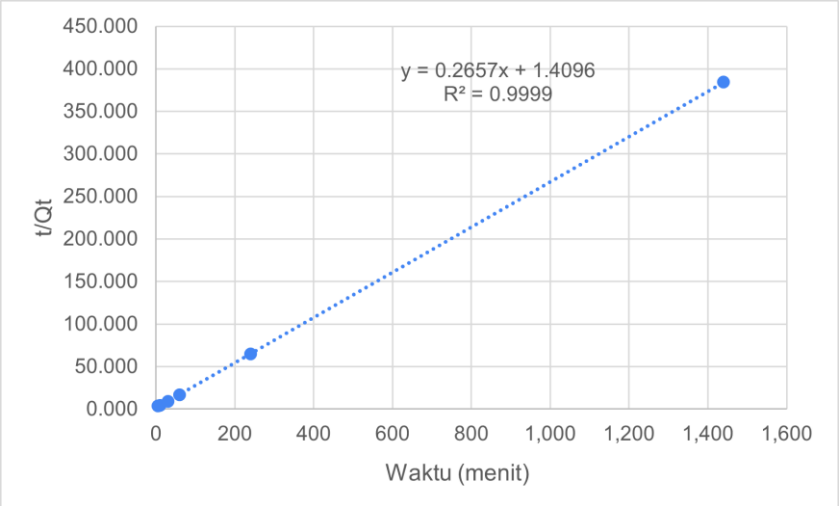
4.4 Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi merupakan penjelasan hubungan bagaimana waktu kontak adsorben dengan adsorbat mempengaruhi kapasitas penyerapan dalam proses adsorpsi. Dari kinetika adsorpsi dapat diketahui karakteristik penyerapan pada proses adsorpsi (Anggriani *et al.,* 2021). Kinetika orde satu akan menghasilkan kesimpulan bahwa jumlah situs pori adsorben yang tersedia akan sebanding dengan laju adsorpsinya, sedangkan kinetika orde dua akan menghasilkan kesimpulan bahwa laju adsorpsi terjadi secara atau dipengaruhi oleh kemisorpsi yang merupakan proses reaksi kimia melibatkan terbentuknya atau terputusnya ikatan ionik (Mkilima *et al*., 2024).

Perhitungan model kinetika adsorpsi ini menggunakan data variasi waktu kontak. Berdasarkan nilai Qe dan Qt yang dihitung pada kondisi setimbang, nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai Ln (Qe-Qt) pada orde satu dan untuk mendapatkan nilai t/Qt pada orde dua. Berikut merupakan grafik kurva kinetika orde satu dan orde dua yang dapat dilihat pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10**.



Gambar 4.9 Grafik Kurva Kinetika Orde Satu



Gambar 4.10 Grafik Kurva Kinetika Orde Dua

Setelah mendapatkan kurva kinetika berdasarkan nilai Ln (Qe-Qt) pada orde satu dan nilai t/Qt pada orde dua, nilai *slope* dan *intercept* digunakan untuk mendapatkan nilai konstanta laju reaksi orde satu dan orde dua. Berikut merupakan perbandingan terhadap kedua data model kinetika adsorpsi yang dapat dilihat pada **Tabel 4.8.**

Tabel 4.8 Hasil Perbandingan Kinetika Orde Satu dan Orde Dua

Kinetika Reaksi	Qe (mg/g)	K_1 (menit^{-1})/K_2 (g/mg.menit)	R^2
Orde satu	0,785	0,0013	0,3903
Orde dua	3,764	0,0501	0,9999

(Sumber : Data Primer, 2025)

Hasil dari perhitungan kedua orde yang telah didapatkan diketahui bahwa nilai R^2 orde dua lebih mendekati nilai 1 dengan nilai 0,9999, sedangkan nilai R^2 orde satu memiliki nilai 0,3903. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi logam kadmium menggunakan adsorben mahkota nanas ini lebih kuat korelasinya dengan kinetika orde dua. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa laju penyerapan logam kadmium oleh adsorben mahkota nanas terjadi secara kimia. Adapun nilai zat yang teradsorpsi berdasarkan kinetika orde dua sebesar 3,764 mg/g dan konstanta laju reaksi orde dua sebesar 0,0501 (g/mg.menit).

4.5 Variasi Asam Humat

Pengujian adsorpsi variasi asam humat ini dilakukan untuk mengetahui kadar optimum dalam penambahan asam humat terhadap kapasitas adsorpsi adsorben mahkota nanas hingga mencapai titik jenuh atau kesetimbangan.

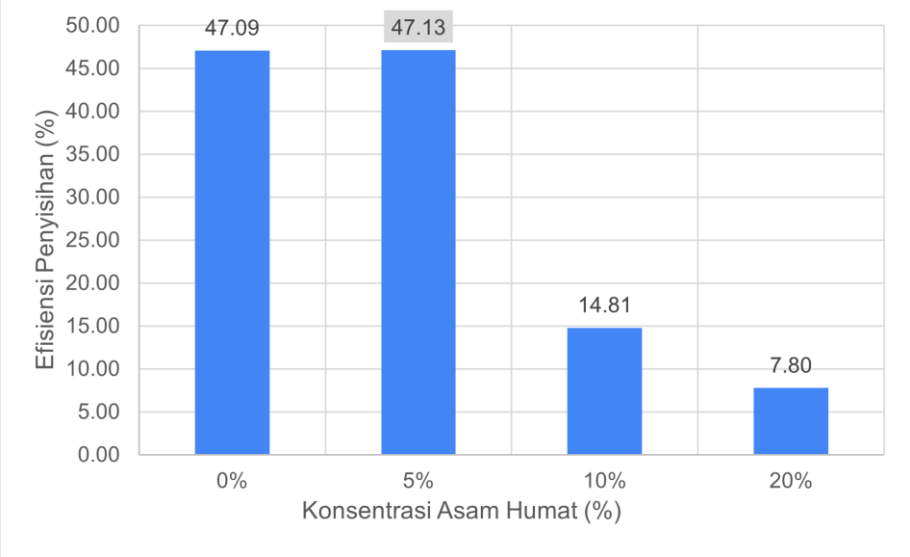
Konsentrasi sampel larutan kadmium yang digunakan pada variasi asam humat ini adalah 10 ppm dengan volume larutan 0,02 L dan pH dari sampel adalah pH 5. Penggunaan adsorben mahkota nanas pada variasi ini masing-masing sebanyak 0,05 g adsorben dengan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm. Berikut merupakan hasil dari uji variasi asam humat yang dapat dilihat pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Hasil Uji Mahkota Nanas Variasi Asam Humat

Variasi Asam Humat	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
5%	12,56	6,64	47,13	2,368
10%	14,04	11,96	14,81	0,832
20%	13,72	12,65	7,80	0,428

(Sumber : Data Primer, 2025)

Berikut merupakan grafik berdasarkan hasil dari uji variasi waktu kontak yang dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Penyisihan Variasi Penambahan Asam Humat

Berdasarkan hasil uji pada variasi asam humat ini, diketahui bahwa terjadi penurunan kadar logam kadmium setelah proses adsorpsi. Pada kondisi kadar asam humat 5% efisiensi penyisihan sebesar 47,13% dan kapasitas adsorpsi sebesar 2,368 mg/g. Pada kondisi kadar asam humat 10% efisiensi penyisihan sebesar 14,81% dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,832 mg/g. Pada kondisi kadar

asam humat 20% efisiensi penyisihan sebesar 7,80% dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,428 mg/g.

Berdasarkan hasil pengujian variasi asam humat yang telah dilakukan, kadar asam humat yang optimum dalam proses adsorpsi adalah kadar 5%. Namun apabila hasil efisiensi penyisihan pada kadar 5% dibandingkan dengan kadar 0%, penambahan asam humat menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan pada adsorpsi kadmium. Hal ini juga dapat dilihat pada kadar 10% dan 20% yang dimana efisiensi penyisihan pada kadar tersebut mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan efisiensi penyisihan logam kadmium ini dapat disebabkan karena konsentrasi asam humat yang ditambahkan telah melebihi kapasitas untuk adsorpsi kadmium. Selain itu menurut penelitian Zhang *et al* (2024), asam humat dapat menyebabkan retardasi difusi atau terjadinya perlambatan terhadap proses pergerakan terhadap ion Cd^{2+} dikarenakan bentuknya yang bebas sehingga terjadinya persaingan antara adsorben mahkota nanas dengan asam humat. Selain itu, diketahui bahwa Cd^{2+} memiliki afinitas ikatan atau tingkat kecenderungan untuk berinteraksi yang lebih kuat dengan asam humat dibandingkan dengan logam berat lain. Nilai afinitas komponen seperti asam humat berasal dari kompos berkisar 4,89-5,09 dimana nilai ini lebih besar dibanding dengan senyawa humat lain (Liu *et al*, 2020). Nilai ini menjadikan asam humat bebas rumit untuk dikontrol terhadap Cd^{2+}. Ikatan ini yang menyebabkan Cd^{2+} menempel di asam humat bebas dan membentuk *cluster* di larutan serta menempel di adsorben yang kemudian memblokade situs aktif adsorben mahkota nanas (Zhang *et al*, 2024).

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada peneli.tian yang telah dilakukan, berikut merupakan kesimpulan yang dapat ditarik:

1. Limbah mahkota nanas sebagai adsorben untuk menurunkan logam kadmium di air dapat disimpulkan efektif karena berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan kapasitas adsorpsi tertinggi adalah sebesar 10,724 mg/g.
2. Variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi kadmium memberikan pengaruh terhadap penurunan logam kadmium di air. Hal ini dapat disimpulkan berdasarkan uji variasi pH memiliki efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 88,77% pada pH 7, uji variasi konsentrasi kadmium memiliki efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 46,43% pada konsentrasi 10 ppm, variasi waktu kontak memiliki efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 85,54% pada waktu 120 menit.
3. Penambahan asam humat terhadap proses adsorpsi kadmium di air tidak memberikan pengaruh signifikan dalam penurunan kadmium karena hasil penyisihan yang relatif kecil berdasarkan pengujian efisiensi penyisihan kadmium tertinggi pada penambahan asam humat adalah pada konsentrasi asam humat 5% dengan efisiensi penyisihan sebesar 47,13% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,368 mg/g.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut merupakan beberapa saran yang dapat diberikan oleh peneliti.

1. Disarankan untuk melakukan penambahan bahan lain atau aktivasi adsorben agar efektivitas dan kapasitas adsorpsi meningkat.
2. Disarankan untuk menggunakan asam humat alami yang di ekstrak dari bahan organik agar dapat menjadi perbandingan efektivitas dengan penelitian ini yang menggunakan asam humat komersial.

DAFTAR PUSTAKA

Akrinisa, J. A. M., MP, S., & Arpah, M. (2019). Keragaman Morfologi Tanaman Nanas (Ananas comosus (L) Merr) di Kabupaten Indragiri Hilir. *Jurnal Agro Indragiri*, *4*(1), 34-38.

Al Mukhtar, A. M., Sudyana, I. N., & Rosmainar, L. (2024). Sintesis Asam Humat-Fe3O4 dari Gambut Kalimantan Tengah sebagai Adsorben Magnetik Limbah Zat Warna Congo Red: Sintesis Asam Humat-Fe3O4 dari Gambut Kalimantan Tengah sebagai Adsorben Magnetik Limbah Zat Warna Congo Red. *Bohr: Jurnal Cendekia Kimia*, *2*(02), 82-93.

Amutenya, E. L., Zhou, F., Liu, J., Long, W., Ma, L., Liu, M., & Lv, G. (2022). Preparation of Humic Acid-Bentonite Polymer Composite: A Heavy Metal Ion Adsorbent. *Heliyon*, *8*(6).

Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Kinetika*, *12*(2), 29-37.

Anwar, N. A. F., Meicahayanti, I., & Rahayu, D. E. (2022). Pengaruh Variasi Waktu Kontak dan Massa Adsorben Kulit Jeruk Siam (Citrus Nobilis) terhadap Penyisihan Kadmium (Cd) dan Merkuri (Hg). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *6*(1), 44-52.

Bahriana, S. N., Yusuf, B., & Wirawan, T. (2023). Adsorpsi Ion Kadmium (Cd^{2+}) Menggunakan Adsorben dari Ampas Teh dengan Metode Kolom. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL KIMIA* (Vol. 1, No. 2, pp. 87-93).

Daud, S., & Yenti, S. R. (2017). *Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Daun Nanas terhadap Efisiensi Penyisihan Fe pada Air Gambut* (Doctoral dissertation, Riau University).

Dewanti, A. A., (2024). *Efektivitas Serabut Kelapa Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Air* (Bachelor thesis, Universitas Islam Indonesia).

Domiruddin, W. R., & Shofiyani, A. (2018). Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd (II) pada Bioarang Daun Ketapang (Terminalia catappa linn). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, *7*(4).

Emilia, I., Suheryanto, S., & Hanafiah, Z. (2013). Distribusi Logam Kadmium dalam Air dan Sedimen di Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal penelitian sains*, *16*(2).

Farida, A., Ariyani, S., Sulistyaningsih, N. E., & Kurniasari, L. (2019). Pemanfaatan Limbah Kulit Jagung (Zea mays L.) Sebagai Adsorben Logam Kadmium dalam Larutan. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, *4*(2).

Hammaam, L. (2024). *Sekam Padi Sebagai Natural Fiber Asdorbent Untuk Penyerap Kandungan Pb (II) dalam Air* (Bachelor thesis, Universitas Islam Indonesia).

Hikal, W. M., Mahmoud, A. A., Said-Al Ahl, H. A., Bratovcic, A., Tkachenko, K. G., Kačániová, M., & Rodriguez, R. M. (2021). Pineapple (Ananas comosus L. Merr.), Waste streams, Characterisation and Valorisation: An Overview. *Open Journal of Ecology*, *11*(9), 610-634.

Indonesia. (2019). *Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air*. Lembaran Negara RI Tahun 2019 Nomor 190, Tambahan Lembaran RI Nomor 6405. Sekretariat Negara. Jakarta.

Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.* Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 32, Tambahan Lembaran RI Nomor 6634. Jakarta.

Jais, N., Ikhtiar, M., Gafur, A., & Abbas, H. H. (2020). Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) yang Terdapat dalam Air dan Ikan di Sungai Tallo Makassar. *Window of Public Health Journal*, 261-273.

Karim, J. A. (2023). *Analisis Gugus Fungsi dan Porositas Batuan menggunakan metode Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Scanning Electron Microscope (SEM) di Toraja, Sulawesi Selatan.* (Bachelor thesis, Universitas Hasanuddin).

Khatimah, A. H., Az-Zahra, A. K. K., Erniwati, E., & Hasnah, H. (2024). Kombinasi Ekstrak Biji Kelor (Moringa oleifera) dan Kulit Pisang Kepok (Musa acuminata X Balbiana) sebagai Bioadsorben Air yang Mengandung Larutan Pb dan Larutan Cd. In *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian* (Vol. 5, No. 1, pp. 736-747).

Kirchner, U., Scheer, V., & Vogt, R. (2000). FTIR Spectroscopic Investigation of The Mechanism and Kinetics of The Heterogeneous Reactions of NO2 and HNO3 with Soot. *The Journal of Physical Chemistry A*, *104*(39), 8908-8915.

Lan, Y., Xu, S., Fu, Y., Jin, L., Han, Y., He, X., Wang, Q., Lv, Y., & Cui, H. (2025). The Selective Adsorption Mechanism of Heteroatom-Doped Carbon Nanotubes For Heavy Metals in Wastewater. A DFT study. *Diamond and Related Materials*, *152*, 111875.

Lei, T., Li, S.J., Jiang, F., Ren, Z.X., Wang, L.L., Yang, X.J., Tang, L.H. & Wang, S.X., (2019). Adsorption of cadmium ions from an aqueous solution on a highly stable dopamine-modified magnetic nano-adsorbent. *Nanoscale research letters*, *14*(1), p.352.

Liu, M., Tang, Z., Lin, Z., Guo, H., Yu, Z., Liu, X., & Fang, K. (2020). Insight into the cadmium and zinc binding potential of humic acids derived from composts by EEM spectra combined with PARAFAC analysis. *Open Chemistry*, *18*(1), 58-68.

Meilia, N. (2019). *Penetapan Kadar Asam Mefenamat dalam Tablet dengan Metode Spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared) Kombinasi Kemometrik.* (Bachelor thesis, Universitas Muhammadiyah Purwokerto).

Mirandha, A. (2016). *Efektivitas Limbah Media Tumbuh Jamur (Baglog) dengan Enkapsulasi Alginate Gel dalam Mengadsorpsi Ion Logam Kadmium* (Bachelor thesis, Universitas Islam Indonesia).

Mkilima, T., Saspugayeva, G., Kaliyeva, G., Samatova, I., Rakhimova, B., Tuleuova, G., Tauyekel, A., Batyayeva, Y., Karibzhanova, R., & Cherkeshova, S. (2024). Enhanced Adsorption of Emerging Contaminants from Pharmaceutical Wastewater Using Alkaline-Treated Pineapple Leaf Fiber Integrated with UV-LED Technology. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *10*, 101000.

Pryadi, M.I. (2023). Penyisihan Logam Berat Cd (II) dalam Air Menggunakan Limbah Kulit Buah Naga Merah (Hylocereus Polyrhizus) dan Aplikasi di Limbah Batik. (Bachelor thesis, Universitas Islam Indonesia).

Purba, C. S. (2023). *Kinetika Adsorpsi Kadmium dengan Limbah Nanas.* (Bachelor thesis, Universitas Batanghari Jambi).

Putra, A., Fauzia, S., Arief, S., & Zein, R. (2022). Preparation, Characterization, and Adsorption Performance of Activated Rice Straw as A Bioadsorbent For Cr (VI) Removal From Aqueous Solution Using A Batch Method. *Desalination and Water Treatment*, *264*, 121-132.

Putri, N. D., Sutanto, A., & Noor, R. (2017). Perbandingan Hasil Pertumbuhan Nanas Queen dan Nanas Madu (Cayenne) Sebagai Sumber Belajar Biologi Berupa Panduan Praktikum materi Pertumbuhan dan Perkembangan. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan* (pp. 117-122).

Rahmadani, T. B. C., & Diniariwisan, D. (2023). Pencemaran Logam Berat jenis Kadmium (Cd) di Perairan dan Dampak terhadap Ikan. *Ganec Swara*, *17*(2), 440-445.

Ramidi, H. S. (2024). *Sebaran Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) Pada Air Sumur Di Daerah Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan, Bantul, Yogyakarta* (Bachelor thesis, Universitas Islam Indonesia).

Raziah, C., Putri, Z., Lubis, A. R., & Mulyati, S. (2017). Penurunan Kadar Logam Kadmium Menggunakan Adsorben Nano Zeolit Alam Aceh. *Jurnal Teknik Kimia USU*, *6*(1), 1-6.

Rielsa. (2023). *Pemanfaatan Limbah Sumpit Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair Dengan Metode Kontinu* (Bachelor thesis, Universitas Islam Indonesia).

Setyowati, D., & Ulfin, I. (2007). Optimasi Kondisi Penyerapan Ion Aluminium Oleh Asam Humat. *Akta Kimindo*, *2*(2), 85-92.

Sirajuddin, S., Harjanto, H., & Trijuniarti, P. (2019). Karakteristik Arang Aktif Dari Limbah Mahkota Nanas (Anenas comosus (L) Merr) Menggunakan Aktivator Kimia H3PO4. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (Vol. 4, No. 1, pp. 22-27).

Silalahi, S. A. (2022). *Efektivitas Mahkota Nanas Sebagai Adsorben Menggunakan Aktivator KOH Untuk Penyisihan Air Limbah Industri Karet.* (Bachelor thesis, Universitas Batanghari).

Suhud, I., Tiwow, V. M., & Hamzah, B. (2012). Adsorpsi Ion Kadmium (II) Dari Larutannya Menggunakan Biomassa Akar Dan Batang Kangkung Air (Ipomoea aquatica Forks). *Jurnal Akademika Kimia*, *1*(4), 224182.

Susmanto, P., Yandriani, Y., Midelin, P., Khoirunnisa, S., Maharani, S. V. S., & Armelia, E. (2023). Pembuatan Superabsorben dari Akrilamida dan Selulosa Serat Daun Mahkota Nanas Dengan Inisiator Amonium Persulfat. *Jurnal Integrasi Proses*, *12*(2), 66-72.

Yousif, S. A., & Al-Mosawi, S. (2022). Adsorptive Separation of Dissolved Cadmium From Aqueous Solution Using (Ziziphus Spina-Christi) Leaves As an Adsorbent. *South African Journal of Chemical Engineering*, *42*(1), 12-22

Subagyo, A., (2024). Serat Daun Nanas Budidaya, Proses Hijau, Karakteristik dan Aplikasi. Diakses pada 16 Februari 2025 dari https://digital-library.uii.ac.id/index.php?p=fstream&fid=9518&bid=10828#flipbook-pdf_collections/1/

Yuwono, S. S., (2015). Jenis-Jenis Nanas. Diakses pada 16 Februari 2025 dari http://darsatop.lecture.ub.ac.id/2015/05/jenis-jenis-nanas/

Zhang, T., Xing, Y., Zhang, J., & Li, X. (2024). The Competition of Humic Acid Aggregation and Adsorption on Clay Particles and Its Role in Retarding Heavy Metal Ions. *Science of The Total Environment*, *954*, 176459.

LAMPIRAN

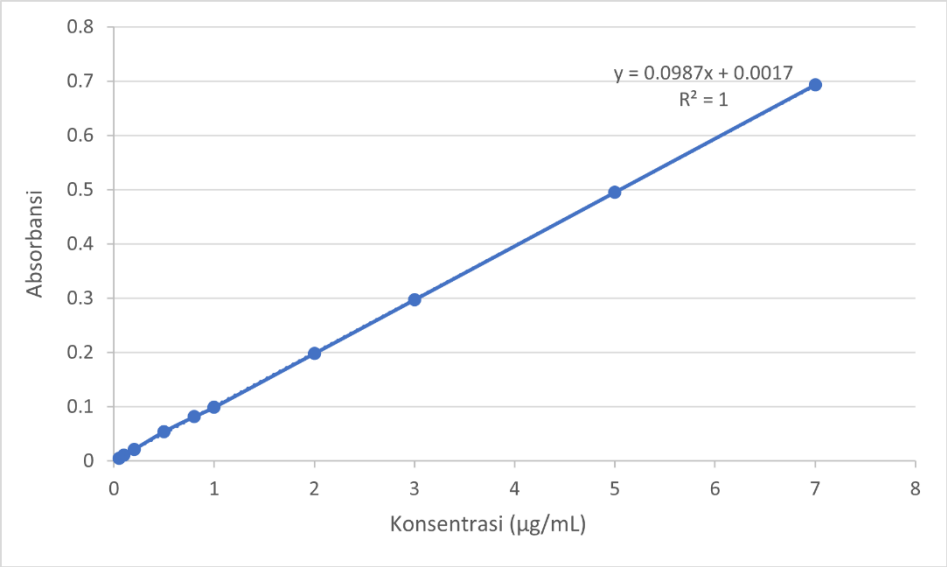
Lampiran 1 Perhitungan

1. Kurva Kalibrasi

Pada instrumen SSA, digunakan kurva kalibrasi untuk pengukuran kadar logam berat kadmium dalam larutan. Berikut merupakan hasil kurva kalibrasi yang dapat dilihat pada Tabel dan Grafik di bawah ini.

Tabel Lampiran 1.1 Kurva Kalibrasi

Label Sampel	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
Koefisien Korelasi		0.99998211
Slope (m)		0.098687231
Intercept		0,001659591
Sy/x		0,001480655
LOD		0,045010537
LOQ		0,150035124



Gambar Lampiran 1.1 Grafik Kurva Kalibrasi

2. Perhitungan Pembuatan Larutan Kadmium 500 ppm

Pembuatan larutan induk kadmium dari $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ 500 ppm 500 mL.

Mr $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ = 308,47 g/mol

Ar $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ = 112,41 g/mol

Massa $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ $= \frac{Mr}{Ar}\ x\ volume\ x\ konsentrasi$

$= \frac{308,47}{112,41}\ x\ 0,5\ L\ x\ 500\ ppm$

= 686.038 mg/L

= 0,686038 g/mL

3. Perhitungan Pengenceran Larutan Kadmium

a. Larutan kerja 100 ppm 500 mL dari 500 ppm:

$M_1.V_1 = M_2.\ V_2$

500 ppm . V_1 = 100 ppm . 500 mL

$V_1 = \frac{100\ ppm\ .\ 500\ mL}{500\ ppm}$

V_1 = 100 mL

b. Larutan kerja 60 ppm 250 mL dari 100 ppm:

$M_1.V_1 = M_2.\ V_2$

100 ppm . V_1 = 60 ppm . 250 mL

$V_1 = \frac{60\ ppm\ .\ 250\ mL}{100\ ppm}$

V_1 = 150 mL

c. Larutan kerja 40 ppm 250 mL dari 100 ppm:

$M_1.V_1 = M_2.\ V_2$

100 ppm . V_1 = 40 ppm . 250 mL

$V_1 = \frac{40\ ppm\ .\ 250\ mL}{100\ ppm}$

V_1 = 100 mL

d. Larutan kerja 20 ppm 250 mL dari 100 ppm:

$M_1.V_1 = M_2.\ V_2$

100 ppm . V_1 = 20 ppm . 250 mL

$V_1 = \frac{20\ ppm\ .\ 250\ mL}{100\ ppm}$

V_1 = 50 mL

e. Larutan kerja 10 ppm 1000 mL dari 100 ppm:

$M_1.V_1 = M_2.\ V_2$

100 ppm . V_1 = 10 ppm . 1000 mL

$V_1 = \frac{10\ ppm\ .\ 1000\ mL}{100\ ppm}$

V_1 = 100 mL

f. Larutan kerja 5 ppm 250 mL dari 100 ppm:

$M_1.V_1 = M_2.\ V_2$

100 ppm . V_1 = 5 ppm . 250 mL

$V_1 = \frac{5\ ppm\ .\ 250\ mL}{100\ ppm}$

V_1 = 12,5 mL

4. Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi pH

Konsentrasi = 10 ppm

Massa Adsorben = 50 mg

Volume Larutan = 20 mL

Waktu Kontak = 120 menit

Tabel Lampiran 1.2 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

pH	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (Qe)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
3	8,237	3,494	57,58	1,897
5		5,890	28,49	0,939

7		2,181	73,52	2,422
9		5,700	30,80	1,015

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan pada pH 7:

Efisiensi Penyisihan (%) = $\frac{Co-Ca}{Co}\ x\ 100$

= $\frac{8,237-2,181}{8,237}\ x\ 100$

= 73,52%

Kapasitas Adsorpsi (Qe) = $(Co - Ca)\ x\ \frac{Volume\ Larutan}{Massa\ Adsorben}$

= $(8,237 - 2,181)\ x\ \frac{20\ mL}{50\ mg}$

= 2,422 mg/g

Perhitungan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi pada variasi pH lainnya dihitung dengan cara yang sama.

5. Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Konsentrasi Kadmium

Massa Adsorben = 50 mg

Volume Larutan = 20 mL

Waktu Kontak = 120 menit

Tabel Lampiran 1.3 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Konsentrasi Rencana (ppm)	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (Qe)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
5	6,211	3,327	46,43	1,154
10	14,1	7,460	47,09	2,656
20	28,79	18,78	34,77	4,004
40	48,54	38,03	21,65	4,204
60	68,59	41,78	39,09	10,724

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan pada konsentrasi 10 ppm:

Efisiensi Penyisihan (%) = $\frac{Co-Ca}{Co}\ x\ 100$

= $\frac{14,1-7,460}{14,1}\ x\ 100$

= 47,09%

Kapasitas Adsorpsi (Qe) = $(Co - Ca)\ x\ \frac{Volume\ Larutan}{Massa\ Adsorben}$

$$= (14{,}1 - 7{,}460)\ x\ \frac{20\ mL}{50\ mg}$$

= 2,656 mg/g

Perhitungan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi pada variasi konsentrasi lainnya dihitung dengan cara yang sama.

6. Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Waktu Kontak

Konsentrasi = 10 ppm

Massa Adsorben = 50 mg

Volume Larutan = 20 mL

Tabel Lampiran 1.4 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Variasi Waktu (menit)	Konsentrasi Cd (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (Qe)
	Co (Awal)	Ca (Akhir)		
5	11,41	8,07	29,27	1,336
10		5,72	49,87	2,276
30		3,27	71,34	3,256
60		2,41	78,88	3,600
120		1,65	85,54	3,904
240		2,12	81,42	3,716
1.440		2,04	82,12	3,748

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan pada waktu 120 menit:

Efisiensi Penyisihan (%) = $\frac{Co-Ca}{Co}\ x\ 100$

$= \frac{11{,}41-1{,}65}{11{,}41}\ x\ 100$

= 85,54%

Kapasitas Adsorpsi (Qe) = $(Co - Ca)\ x\ \frac{Volume\ Larutan}{Massa\ Adsorben}$

$= (11{,}41 - 1{,}65)\ x\ \frac{20\ mL}{50\ mg}$

= 3,904 mg/g

Perhitungan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi pada variasi waktu kontak lainnya dihitung dengan cara yang sama.

7. Perhitungan Isoterm Langmuir

Data yang digunakan untuk menghitung isoterm langmuir merupakan data dari uji variasi konsentrasi. Dilakukan perhitungan berikut untuk membandingkan 1/Ce dengan 1/Qe agar didapatkan nilai R^2.

Tabel Lampiran 1.5 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Konsentrasi	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	Qe (mg/g)	1/Ce	1/Qe
5 ppm	6,211	3,327	1,154	0,301	0,867
10 ppm	14,100	7,460	2,656	0,134	0,377
20 ppm	28,790	18,780	4,004	0,053	0,250
40 ppm	48,540	38,030	4,204	0,026	0,238
60 ppm	68,590	41,780	10,724	0,024	0,093

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan pada konsentrasi 5 ppm:

1/Ce $= \frac{1}{Ca}$

$= \frac{1}{3,327}$

$= 0,301$

1/Qe $= \frac{1}{Qe}$

$= \frac{1}{1,154}$

$= 0,867$

Berikut perhitungan metode isoterm langmuir untuk mengetahui proses adsorpsi yang terjadi. Nilai *slope*, *intercept*, dan R^2 didapatkan dari gambar grafik perbandingan 1/Ce dan 1/Qe.

Tabel Lampiran 1.6 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Langmuir				
Slope	*Intercept*	Qmaks	kL	R2
2,5042	0,0953	10,493	0,038	0,962

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan Qmaks dan kL:

Qmaks $= \frac{1}{intercept}$

$= \frac{1}{0,0953}$

$= 10{,}493$ mg/g

kL $= \frac{1}{(slope\ .\ Qmax)}$

$= \frac{1}{2{,}5042\ .\ 10{,}493}$

$= 0{,}038$ 1/mg

8. Perhitungan Isoterm Freundlich

Data yang digunakan untuk menghitung isoterm langmuir merupakan data dari uji variasi konsentrasi. Dilakukan perhitungan berikut untuk membandingkan Log Ce dengan Log Qe agar didapatkan nilai R^2.

Tabel Lampiran 1.7 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Konsentrasi	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	Qe (mg/g)	Log ce	Log qe
5 ppm	6,211	3,327	1,154	0,522	0,062
10 ppm	14,100	7,460	2,656	0,873	0,424
20 ppm	28,790	18,780	4,004	1,274	0,602
40 ppm	48,540	38,030	4,204	1,580	0,624
60 ppm	68,590	41,780	10,724	1,621	1,030

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan pada konsentrasi 5 ppm:

Log Ce $= \log Ca$

$= \log 3{,}327$

$= 0{,}522$

Log Qe $= \log Qe$

$= \log 1{,}154$

$= 0{,}062$

Berikut perhitungan metode isoterm langmuir untuk mengetahui proses adsorpsi yang terjadi. Nilai *slope*, *intercept*, dan R^2 didapatkan dari gambar grafik perbandingan Log Ce dan Log Qe.

Tabel Lampiran 1.8 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Freundlich				
Slope	*Intercept*	n	kF	R2
0,6804	-0,2502	1,470	0,562	0,8365

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan n dan kF:

n $= \frac{1}{slope}$

$= \frac{1}{-0,2502}$

$= 1,470$

kF $= 10^{\alpha}$

$= 10^{-0,2502}$

$= 0,562$ mg/g

9. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

Data yang digunakan untuk menghitung kinetika adsorpsi orde satu dan dua merupakan data dari uji variasi waktu kontak. Massa adsorben adalah 0,05 g dengan volume sampel 0,02 L.

- Kinetika orde 1

Tabel Lampiran 1.9 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Waktu (menit)	Qe setimbang	Qt	Qe - Qt	Ln(Qe-Qt)
5	3,904	1,336	2,568	0,943
10	3,904	2,276	1,628	0,487
30	3,904	3,256	0,648	-0,434
60	3,904	3,600	0,304	-1,191
120	3,904	3,904	0,000	
240	3,904	3,716	0,188	-1,671
1.440	3,904	3,748	0,156	-1,858

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan pada waktu 5 menit:

Qe (digunakan nilai dari waktu 120 menit karena Qe setimbang)

Qe $= (Co\ setimbang - Ca\ setimbang)\ x\ \frac{Volume\ Larutan}{Massa\ Adsorben}$

$= (11,41 - 1,65)\ x\ \frac{0,02}{0,05}$

$= 3,904$ mg/g

Qt $= (Co - Ca)\ x\ \frac{Volume\ Larutan}{Massa\ Adsorben}$

$= (11,41 - 8,07)\ x\ \frac{0,02}{0,05}$

= 1,336 mg/g

ln(Qe-Qt) = $\ln(Qe - Qt)$

= $\ln(3{,}904 - 1{,}336)$

= 0,943

Berikut perhitungan *pseudo first order* untuk mengetahui proses adsorpsi yang terjadi. Nilai *slope*, *intercept*, dan R^2 didapatkan dari gambar grafik nilai Ln (Qe-Qt) dengan waktu.

Tabel Lampiran 1.10 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Pseudo First Order (Kinetika Orde 1)					
Slope	*Intercept*	K1 (menit-1)	Qe (mg/g)	R2	Log Qe
-0,0013	-0,2417	0,0013	0,785	0,3903	-0,10

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan K1, Qe, dan log Qe:

K1 = - (*slope*)

= - (-0,0013)

= 0,0013 menit^{-1}

Qe = $e^{intercept}$

= $e^{(-0{,}2417)}$

= 0,785 mg/g

Log Qe = $\log Qe$

= $\log 0{,}785$

= -0,10

- Kinetika orde 2

Tabel Lampiran 1.11 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Waktu (menit)	Qe setimbang	Qt	t/Qt
5	3,904	1,336	3,743
10	3,904	2,276	4,394
30	3,904	3,256	9,214
60	3,904	3,600	16,667
120	3,904	3,904	30,738

240	3,904	3,716	64,586
1.440	3,904	3,748	384,205

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan pada waktu 5 menit:

Qe (digunakan nilai dari waktu 120 menit karena Qe setimbang)

Qe $= (Co\ setimbang - Ca\ setimbang)\ x\ \frac{Volume\ Larutan}{Massa\ Adsorben}$

$= (11{,}41 - 1{,}65)\ x\ \frac{0{,}02}{0{,}05}$

= 3,904 mg/g

Qt $= (Co - Ca)\ x\ \frac{Volume\ Larutan}{Massa\ Adsorben}$

$= (11{,}41 - 8{,}07)\ x\ \frac{0{,}02}{0{,}05}$

= 1,336 mg/g

t/Qt $= \frac{t}{Qt}$

$= \frac{5}{1{,}336}$

= 3,743

Berikut perhitungan *pseudo second order* untuk mengetahui proses adsorpsi yang terjadi. Nilai *slope*, *intercept*, dan R^2 didapatkan dari gambar grafik nilai t/Qt dengan waktu.

Tabel Lampiran 1.12 Perhitungan Penyisihan Kadmium Variasi pH

Pseudo Second Order (Kinetika Orde 2)					
Slope	*Intercept*	K2 (g/mg.m)	Qe (mg/g)	R_2	Qe^2
0,2657	1,4096	0,0501	3,764	0,9999	14,17

(Sumber : Data Primer, 2025)

Keterangan perhitungan K2, Qe, dan Qe^2 :

K2 $= \frac{1}{(intercept.(Qe^2))}$

$= \frac{1}{(1{,}4096\ .\ (3{,}764^2))}$

= 0,0501 g/mg.m

Qe $= \frac{1}{slope}$

$= \frac{1}{0{,}2657}$

= 3,764 mg/g

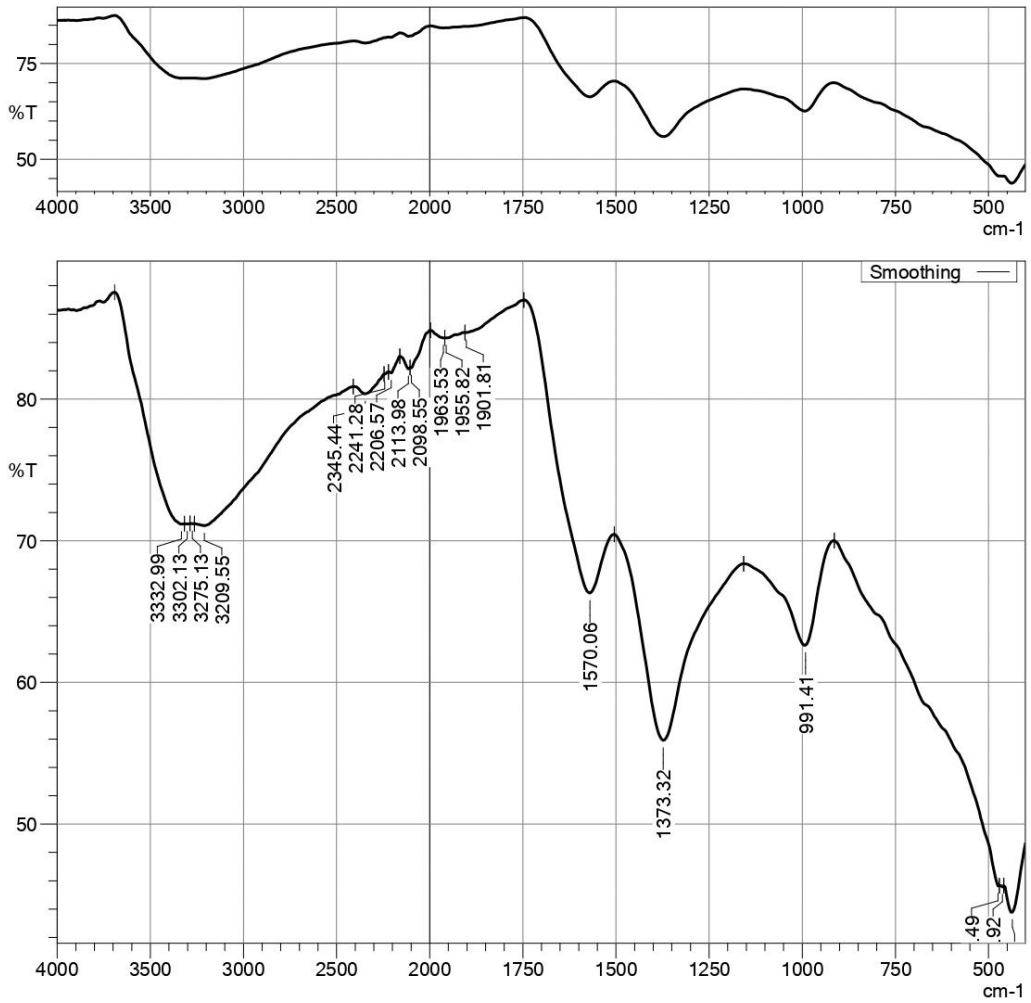
Qe^2 $= Qe^2$

$= 3{,}764^2$

$= 14{,}17$

Lampiran 2 Data Karakterisasi FTIR

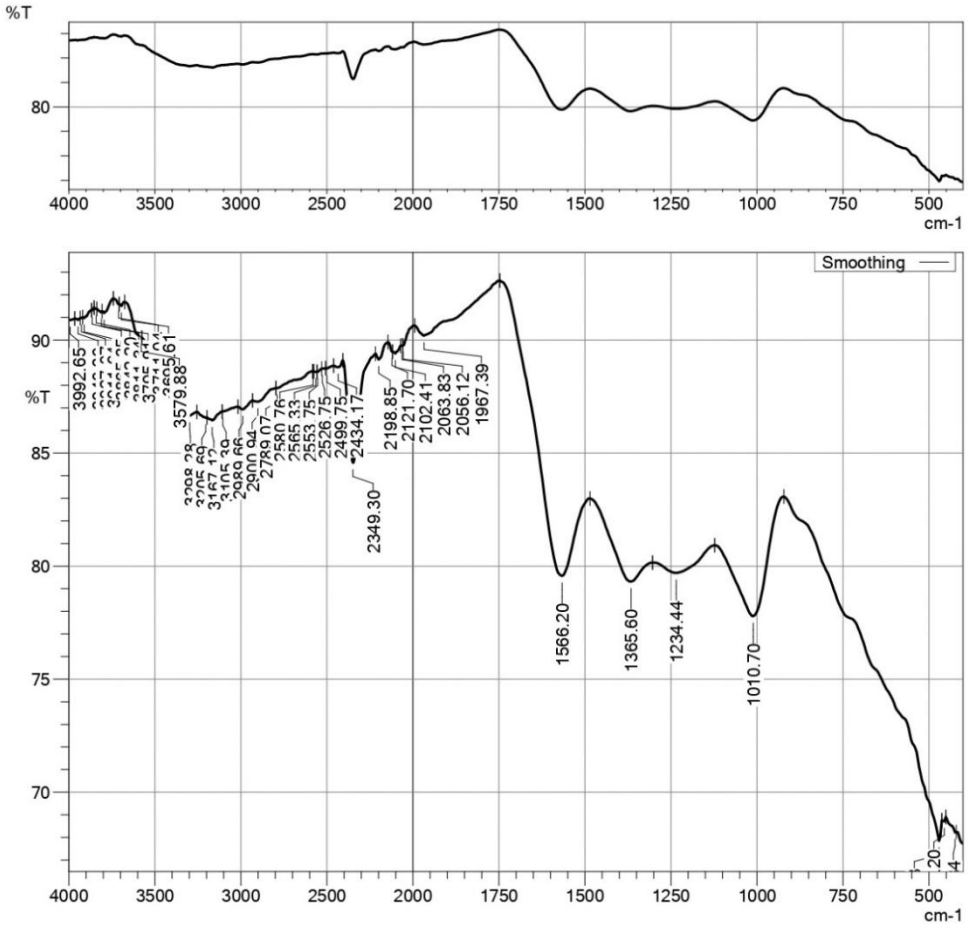
1. Adsorben Mahkota Nanas Sebelum Adsorpsi



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	435.91	43.78	3.07	459.06	401.19	3160.568	101.902	
2	462.92	45.56	0.09	470.63	459.06	629.320	0.331	
3	474.49	45.63	0.23	914.26	470.63	17977.583	-730.060	
4	991.41	62.62	6.87	1157.29	914.26	8151.605	664.707	
5	1373.32	55.92	13.74	1504.48	1157.29	12580.034	1960.877	
6	1570.06	66.32	8.59	1747.51	1504.48	6252.099	1080.542	
7	1901.81	84.70	0.06	1905.67	1747.51	2249.717	11.780	
8	1955.82	84.32	0.03	1959.68	1905.67	836.817	0.714	
9	1963.53	84.32	0.06	1998.25	1959.68	596.663	2.364	
10	2098.55	82.21	0.21	2106.27	1998.25	1778.869	1.471	
11	2113.98	82.14	0.21	2160.27	2106.27	941.005	2.930	
12	2206.57	81.85	0.34	2222.00	2160.27	1092.004	10.294	
13	2241.28	81.77	0.03	2245.14	2222.00	420.426	0.216	
14	2345.44	80.38	0.86	2411.02	2245.14	3177.366	80.668	
15	3209.55	71.07	0.76	3263.56	2411.02	20317.156	-99.050	
16	3275.13	71.20	0.01	3286.70	3263.56	666.340	0.173	
17	3302.13	71.19	0.02	3317.56	3286.70	888.842	0.421	
18	3332.99	71.18	0.70	3691.75	3317.56	8310.558	593.606	

Gambar Lampiran 2.1 FTIR Adsorben Mahkota Nanas Sebelum Adsorpsi

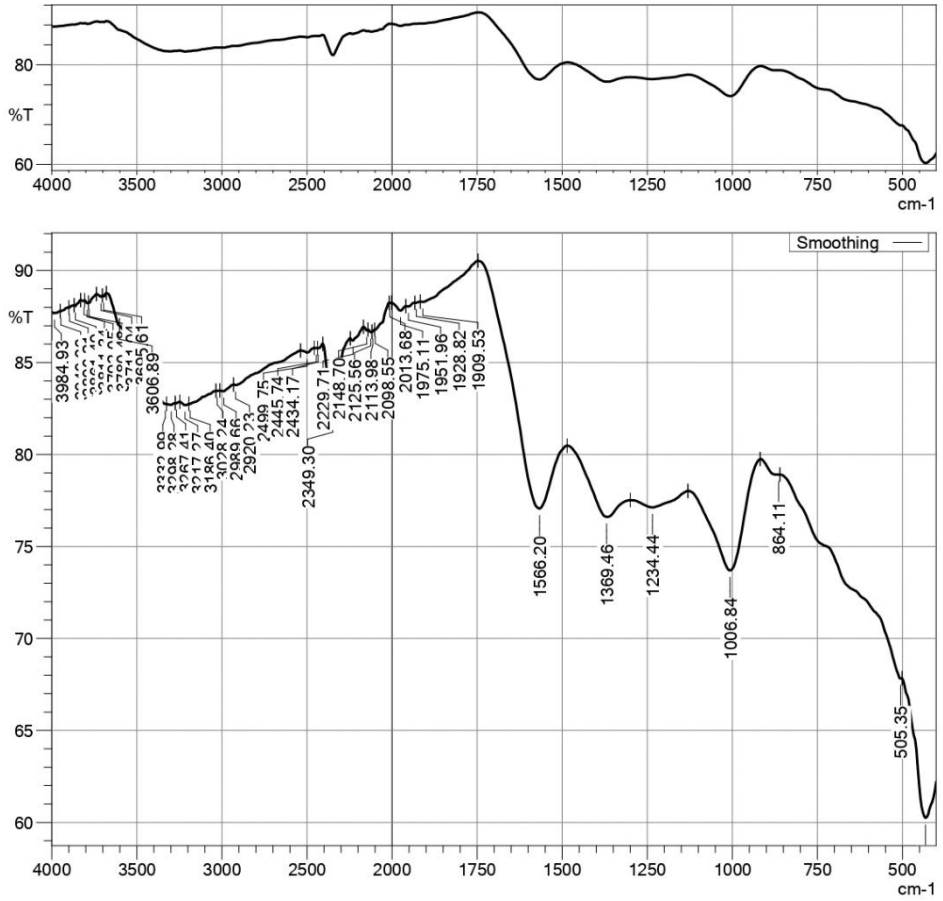
2. Adsorben Mahkota Nanas Setelah Adsorpsi



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	424.34	68.22	0.10	451.34	420.48	971.310	1.366	
2	455.20	68.71	0.14	462.92	451.34	361.620	0.895	
3	470.63	67.85	1.15	921.97	462.92	10826.974	-229.588	
4	1010.70	77.79	4.33	1122.57	921.97	4024.841	414.038	
5	1234.44	79.70	0.75	1303.88	1122.57	3605.660	77.810	
6	1365.60	79.32	1.80	1485.19	1303.88	3499.570	159.029	
7	1566.20	79.57	6.40	1747.51	1485.19	3931.807	734.648	
8	1967.39	90.20	0.66	1994.40	1747.51	2167.801	102.600	
9	2056.12	89.77	0.05	2059.98	1994.40	637.473	-4.919	
10	2063.83	89.75	0.01	2071.55	2059.98	118.569	0.079	
11	2102.41	89.41	0.17	2117.84	2071.55	484.966	4.580	
12	2121.70	89.49	0.06	2144.84	2117.84	278.364	0.291	
13	2198.85	89.14	0.39	2218.14	2144.84	770.699	12.507	
14	2349.30	84.58	4.61	2407.16	2218.14	2354.634	322.534	
15	2434.17	88.80	0.18	2461.17	2407.16	600.907	6.019	
16	2499.75	88.74	0.04	2507.46	2461.17	518.314	0.540	
17	2526.75	88.74	0.01	2530.61	2507.46	260.573	0.158	
18	2553.75	88.60	0.02	2557.61	2530.61	306.312	0.370	
19	2565.33	88.59	0.02	2576.90	2557.61	219.864	0.168	
20	2580.76	88.61	0.00	2584.61	2576.90	87.836	0.005	
21	2789.07	87.88	0.03	2796.78	2584.61	2499.413	5.489	
22	2900.94	87.27	0.18	2931.80	2796.78	1682.985	9.050	
23	2989.66	86.94	0.20	3016.67	2931.80	1096.321	9.171	
24	3105.39	86.83	0.01	3109.25	3016.67	1208.497	-0.300	
25	3167.12	86.45	0.21	3197.98	3109.25	1188.203	8.656	
26	3205.69	86.56	0.05	3255.84	3197.98	771.718	1.995	
27	3298.28	86.66	0.60	3576.02	3255.84	3885.406	191.864	
28	3579.88	90.10	0.07	3676.32	3576.02	919.487	6.589	
29	3695.61	91.51	0.12	3707.18	3676.32	259.414	1.394	
30	3711.04	91.58	0.03	3741.90	3707.18	287.228	-0.332	
31	3795.91	91.20	0.18	3807.48	3741.90	559.590	6.207	
32	3811.34	91.24	0.06	3838.34	3807.48	268.744	1.157	
33	3842.20	91.37	0.02	3853.77	3838.34	132.817	0.230	
34	3865.35	91.32	0.04	3869.20	3853.77	133.315	0.325	
35	3911.64	90.98	0.08	3919.35	3869.20	444.855	1.896	
36	3927.07	90.97	0.02	3934.78	3919.35	139.169	0.138	
37	3946.36	90.89	0.08	3965.65	3934.78	279.876	1.018	
38	3992.65	90.88	0.03	4000.36	3965.65	315.643	0.595	

Gambar Lampiran 2.2 FTIR Adsorben Mahkota Nanas Setelah Adsorpsi

3. Adsorben Mahkota Nanas Setelah Penambahan Asam Humat



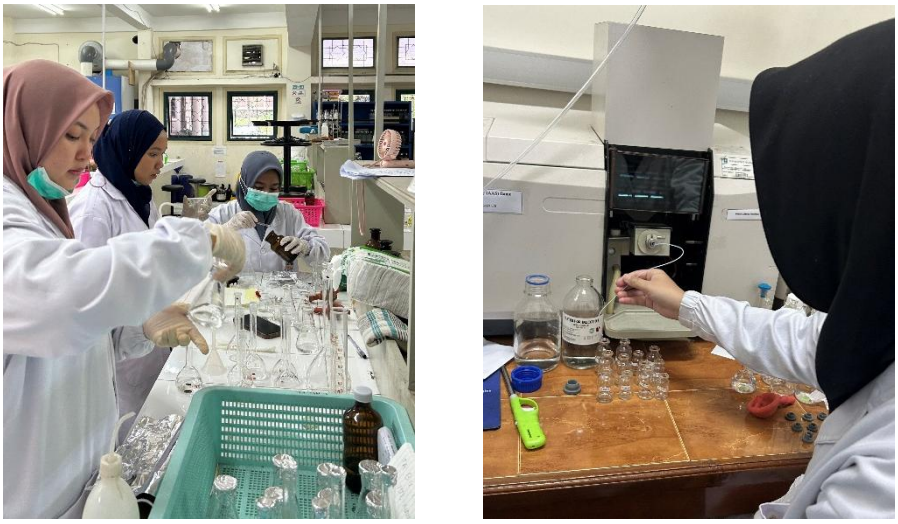
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	432.05	60.25	3.68	501.49	401.19	3679.661	170.630	
2	505.35	67.83	0.12	860.25	501.49	9408.619	-145.745	
3	864.11	78.91	0.06	918.12	860.25	1202.870	6.738	
4	1006.84	73.69	5.33	1130.29	918.12	5004.019	523.922	
5	1234.44	77.12	0.59	1300.02	1130.29	3829.807	56.292	
6	1369.46	76.61	2.02	1485.19	1300.02	4056.282	167.533	
7	1566.20	77.06	6.53	1747.51	1485.19	4554.707	752.529	
8	1909.53	88.29	0.12	1917.24	1747.51	1826.792	31.434	
9	1928.82	88.25	0.02	1932.67	1917.24	180.955	0.122	
10	1951.96	88.04	0.07	1959.68	1932.67	320.557	0.691	
11	1975.11	87.82	0.31	2002.11	1959.68	508.751	6.214	
12	2013.68	88.23	0.03	2017.54	2002.11	181.465	0.195	
13	2098.55	86.78	0.07	2102.41	2017.54	1074.031	14.574	
14	2113.98	86.67	0.03	2117.84	2102.41	204.867	0.086	
15	2125.56	86.65	0.06	2140.99	2117.84	307.781	0.681	
16	2148.70	86.75	0.08	2167.99	2140.99	355.794	1.013	
17	2229.71	86.20	0.25	2245.14	2167.99	1043.089	11.246	
18	2349.30	81.95	4.17	2407.16	2245.14	2521.903	280.764	
19	2434.17	85.78	0.03	2438.02	2407.16	436.235	1.144	
20	2445.74	85.77	0.02	2457.31	2438.02	274.168	0.119	
21	2499.75	85.54	0.18	2538.32	2457.31	1163.248	6.980	
22	2920.23	83.77	0.08	2931.80	2538.32	6015.733	6.373	
23	2989.66	83.44	0.12	3012.81	2931.80	1330.127	4.518	
24	3028.24	83.46	0.01	3035.96	3012.81	382.765	0.090	
25	3186.40	82.75	0.04	3194.12	3035.96	2674.806	2.997	
26	3217.27	82.68	0.12	3248.13	3194.12	931.999	3.495	
27	3267.41	82.79	0.03	3275.13	3248.13	463.920	0.305	
28	3298.28	82.70	0.08	3325.28	3275.13	865.851	2.187	
29	3332.99	82.74	0.13	3603.03	3325.28	4262.823	64.857	
30	3606.89	87.01	0.09	3680.18	3603.03	926.051	-7.872	
31	3695.61	88.60	0.09	3703.33	3680.18	262.424	1.055	
32	3711.04	88.57	0.09	3738.05	3703.33	394.297	1.390	
33	3780.48	88.25	0.05	3784.34	3738.05	532.882	0.106	
34	3792.05	88.22	0.07	3807.48	3784.34	271.267	0.863	
35	3811.34	88.34	0.04	3830.63	3807.48	269.378	0.580	
36	3861.49	88.07	0.10	3869.20	3830.63	454.764	1.522	
37	3896.21	87.99	0.03	3900.07	3869.20	368.459	-0.241	
38	3946.36	87.79	0.02	3950.22	3900.07	607.120	0.208	
39	3984.93	87.68	0.08	4000.36	3950.22	615.628	2.383	

Gambar Lampiran 2.3 FTIR Adsorben Mahkota Nanas Setelah Penambahan Asam Humat

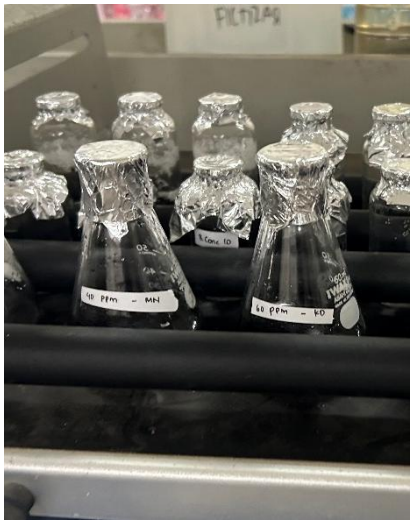
Lampiran 3 Dokumentasi



Gambar Lampiran 3.1 Dokumentasi Pembuatan Adsorben



Gambar Lampiran 3.2 Dokumentasi Variasi pH

Gambar Lampiran 3.3 Dokumentasi Variasi Konsentrasi Kadmium




Gambar Lampiran 3.4 Dokumentasi Variasi Waktu Kontak





Gambar Lampiran 3.5 Dokumentasi Variasi Asam Humat

RIWAYAT HIDUP



Nama penulis adalah Nazla Zaharani Fatiha, lahir dan besar di Sungailiat, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung pada tanggal 24 Agustus 2003. Penulis merupakan putri kedua dari Bapak Rudiyansah dan Ibu Yeyen Firdayanti. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMPN 2 Sungailiat kemudian menempuh pendidikan menengah atas di SMAN 1 Sungailiat. Kemudian penulis menyambung pendidikan strata satu (S1) di program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di Universitas Islam Indonesia (UII) pada tahun 2021.

Selama berkuliah di UII, penulis kerap mengikuti kegiatan kepanitiaan yaitu Pekan Ta'aruf (PEKTA) 2022 dan 2023, Gelar Pekan Olahraga dan Seni Mahasiswa (GELORASEMA) 2022, dan Lintas Lingkungan (LILIN) 2022. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Bangka Asindo Agri di Bangka pada tahun 2024.