TA/TL/2025/2070

JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Penurunan Logam Berat Kromium (Cr) dalam Air Menggunakan Adsorben Ampas Tebu

Sahrul Ramadhan
21513166

Dosen Pembimbing 1:
Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing 2:
Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU.

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

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Reduction of Heavy Metal Chromium (Cr) in Water Using Bagasse as an Adsorbent

Sahrul Ramadhan
21513166

Supervisor 1:
Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Supervisor 2:
Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU.

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

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

Penurunan Logam Berat Kromium (Cr) dalam Air Menggunakan Adsorben Ampas Tebu

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.

Sahrul Ramadhan

21513166

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

18/11 '25

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

18/11 2025

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

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

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

18/11-25

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, 19 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Sahrul Ramadhan

21513166

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. Atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul "**Penurunan Logam Berat (Cr) dalam Air menggunakan Adsorben Ampas Tebu**" dengan baik. Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari bahwa proses penyusunan laporan ini tidak lepas dari dukungan, arahan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan limpahan rahmat, nikmat, rezeki, serta kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tanpa pertolongan dan ridha-Nya penulis tidak akan mampu mencapai tahap ini.
2. Kedua orang tua, Bapak Ahyar dan Ibu Rukayah, yang selalu memberikan doa, dukungan, serta semangat yang tak pernah surut. Tak ada kata yang benar-benar mampu menggambarkan betapa besar rasa syukur dan terima kasih penulis atas semua kasih sayang, pengorbanan, dan perjuangan yang telah Bapak dan Ibu berikan selama ini.
3. Kakak dan adik yang selalu membawa tawa dan kehangatan dalam hidup penulis, terimakasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan ini. Dukungan dan keceriaan kalian menjadi penyemangat tersendiri dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Tumbuhlah menjadi sosok yang baik hati dan bijaksana, penulis selalu mendoakan yang terbaik untuk kalian.
4. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU. atas kesediaan mendampingi

penulis sebagai dosen pembimbing. Bimbingan, nasihat, dan motivasi yang diberikan menjadi pijakan penting dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan UII dan dosen penguji, atas arahan dan saran berharga yang diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku DPA dan seluruh dosen Teknik Lingkungan UII atas ilmu dan pengalaman berharga yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Penulis juga menghargai bantuan dari seluruh staf, karyawan, dan laboran yang telah berperan dalam kelancaran penyusunan tugas akhir ini.
7. *Childhood and Hometown friend*, terimakasih yang tak terhingga karena telah menjadi kawan baik penulis. *Truly grateful to be surrounded by such wonderful people like you!*
8. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2021, Taklim 21, rekan topik adsorpsi serta rencang-rencang 280, atas kebersamaan, kerja sama, dan tawa yang menjadi bagian berharga dalam perjalanan kuliah ini. *Until we meet again on another great moment!*

Penulis berharap segala kebaikan dan bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak mendapatkan balasan dari Allah SWT. Penulis juga menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan kedepannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi yang berguna bagi berbagai pihak.

Yogyakarta, 19 Agustus 2025

Sahrul Ramadhan

Penurunan Logam Berat Kromium (Cr) dalam Air Menggunakan Adsorben Ampas Tebu

Mahasiswa	: Sahrul Ramadhan
NIM	: 21513166
Program Studi	: Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing 1	: Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Pembimbing 2	: Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU.

Abstrak

Logam kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik, parsisten, dan berpotensi karsinogenik. Cr banyak dihasilkan dari aktivitas industri seperti penyamakan kulit, tekstil, dan pelapisan logam, sehingga keberadaannya dalam limbah cair menjadi perhatian serius. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efisiensi penurunan kadar Cr dalam air menggunakan metode adsorpsi berbasis ampas tebu, serta mengetahui pengaruh penambahan asam humat terhadap peningkatan efektivitas adsorpsi. Penelitian ini dilakukan secara batch di Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Parameter yang divariasikan meliputi pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal Cr, sedangkan karakterisasi adsorben dilakukan menggunakan FTIR dan SEM. Dalam penelitian ini, digunakan ampas tebu sebagai adsorben yang telah dikarbonisasi pada suhu 350°C dan diayak dengan ukuran 50 mesh. Konsentrasi Cr dianalisis menggunakan SSA. Hasil karakterisasi menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH), karbonil (C=O), dan struktur aromatik pada ampas tebu, serta morfologi permukaan berpori yang mendukung proses adsorpsi. Kondisi optimum tercapai pada pH 3, waktu kontak 1440 menit, dan konsentrasi Cr 5 mg/L. Penambahan asam humat terbukti meningkatkan efisiensi adsorpsi mencapai 22,5%. Model isoterm yang sesuai adalah Langmuir dengan kapasitas maksimum adsorpsi sebesar 1,52 mg/g, sedangkan kinetika adsorpsi mengikuti model *pseudo* orde dua dengan konstanta laju K sebesar 0,0496 g/mg·menit.

Kata kunci: adsorpsi, ampas tebu, asam humat, kromium (Cr), logam berat

Reduction of Heavy Metal Chromium (Cr) in Water Using Bagasse as an Adsorbent

Student	: Sahrul Ramadhan
Student Number	: 21513166
Study Program	: Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor 1	: Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Supervisor 2	: Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU.

Abstract

Chromium (Cr) is a heavy metal that is toxic, persistent, and potentially carcinogenic. Cr is widely produced from industrial activities such as leather tanning, textiles, and metal plating, making its presence in liquid waste a serious concern. This study aims to investigate the efficiency of reducing Cr concentrations in water using a sugarcane bagasse-based adsorption method, as well as to determine the effect of adding humic acid on enhancing adsorption effectiveness. The study was conducted in batch mode at the Water Quality Laboratory of the Environmental Engineering Program at the University of Islam Indonesia. The parameters varied included pH, contact time, and initial Cr concentration, while the adsorbent characterization was performed using FTIR and SEM. In this study, sugarcane bagasse was used as an adsorbent that had been carbonized at 350°C *and sieved to a 50-mesh size. Cr concentration was anlyzed using SSA. Characterization result showed the presence of hydroxyl (-OH), carbonyl (C=O), and aromatic groups in sugarcane bagasse, as well as a porous surface morphology that supports the adsorption process. Optimal conditions were achieved at pH 3, contact time 1440 minutes, and Cr concentration 5 mg/L. The addition of humic acid was found to increase adsorption efficiency by 22,5%. The apporpriate ishoterm model is Langmuir with a maximum adsorption capacity of 1,52 mg/g, while the adsorption kinetics follow the pseudo second order model with rate constant K of 0,0496 g/mg·min.*

Key words: adsorption, chromium (Cr), heavy metal, humic acid, sugarcane bagasse

DAFTAR ISI

PRAKATA i
Abstrak iii
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN x
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Adsorpsi 5
2.1.1 Proses Adsorpsi 5
2.1.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Adsorpsi 6
2.2 Logam Berat Kromium (Cr) 7
2.3 Ampas Tebu sebagai Adsorben 8
2.4 Senyawa Asam Humat 9
2.5 Instrumen Karakterisasi Logam Cr dan Adsorben 10
2.5.1 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) 10
2.5.2 *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) 11
2.5.3 *Scanning Electron Microscope* (SEM) 12
2.6 Penelitian Terdahulu 13
BAB III METODE PENELITIAN 15
3.1 Waktu dan Lokasi 15
3.2 Alat dan Bahan 15
3.3 Prosedur Penelitian 15
3.4 Persiapan Penelitian 16

3.4.1 Preparasi Adsorben 16
3.4.2 Karakterisasi Adsorben 17
3.5 Proses Adsorpsi 17
3.5.1 Pembuatan Larutan Induk dan Larutan Standar Cr 18
3.5.2 Penentuan pH Optimum 19
3.5.3 Penentuan Waktu Kontak Optimum 20
3.5.4 Penentuan Konsentrasi Logam Kromium (Cr) Optimum 21
3.5.5 Penentuan Massa Optimum 22
3.5.6 Penambahan Asam Humat 22
3.6 Analisis Data 23
3.6.1 Persen Adsorpsi 23
3.6.2 Kapasitas Adsorpsi 24
3.6.3 Isoterm Adsorpsi 24
3.6.4 Kinetika Adsorpsi 26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 28
4.1 Karakterisasi Adsorben 28
4.1.1 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) 29
4.1.2 *Scanning Electron Microscope* (SEM) 31
4.2 Hasil Pengujian Adsorpsi 31
4.2.1 *Potencial Hydrogen* (pH) Optimum 32
4.2.2 Waktu Kontak Optimum 33
4.2.3 Konsentrasi Larutan Optimum 35
4.3 Isoterm Adsorpsi 36
4.3.1 Isoterm Freundlich 36
4.3.2 Isoterm Langmuir 37
4.3.3 Perbandingan Model Isoterm 38
4.4 Kinetika Adsorpsi 39
4.5 Pengaruh Adsorpsi Cr dengan Penambahan Asam Humat 41
BAB V PENUTUP 44
5.1 Kesimpulan 44
5.2 Saran 45

DAFTAR PUSTAKA 46
LAMPIRAN 51
RIWAYAT HIDUP 63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komponen Penyusun Serat Ampas Tebu 9
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu 13
Tabel 4. 1 Interpretasi Gugus Fungsi Adsorben Ampas Tebu 30
Tabel 4. 2 Hasil Uji Variasi pH 32
Tabel 4. 3 Hasil Uji Variasi Waktu Kontak 33
Tabel 4. 4 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Larutan pada Adsorben Ampas Tebu 35
Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Pemodelan Isoterm Langmuir dan Freundlich 38
Tabel 4. 6 Perbandingan Model Kinetika Adsorpsi 41
Tabel 4. 7 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Larutan dengan Penambahan Asam Humat 42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Logam Kromium (Cr) 8
Gambar 2. 2 Ampas Tebu 9
Gambar 2. 3 Spektrofotometer Serapan Atom 10
Gambar 2. 4 Instrumen FTIR 11
Gambar 2. 5 Instrumen SEM 12
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian 16
Gambar 3. 2 Alur Proses Pembuatan Adsorben Ampas Tebu 17
Gambar 3. 3 Alur Proses Pembuatan Larutan Induk Cr 500 mg/L 18
Gambar 3. 4 Tahapan Pembuatan Larutan Standar Cr 19
Gambar 3. 5 Alur Penentuan pH Optimum 20
Gambar 3. 6 Alur Penentuan Waktu Kontak Optimum 21
Gambar 3. 7 Alur Penentuan Konsentrasi Optimum 22
Gambar 3. 8 Alur Penambahan Asam Humat 23
Gambar 4. 1 Spektra FTIR Adsorben Ampas Tebu 29
Gambar 4. 2 Morfologi Permukaan Adsorben Ampas Tebu (a) Sebelum Adsorpsi (b) Setelah Adsorpsi (c) Setelah Penambahan Asam Humat 31
Gambar 4. 3 Hubungan Variasi pH terhadap Adsorpsi Cr 32
Gambar 4. 4 Hubungan Variasi Waktu terhadap Adsorpsi Cr 34
Gambar 4. 5 Hubungan Variasi Konsentrasi Larutan terhadap Adsorpsi 35
Gambar 4. 6 Model Isoterm Freundlich Adsorpsi Logam Cr oleh Adsorben Ampas Tebu 37
Gambar 4. 7 Model Isoterm Langmuir Adsorpsi Logam Cr oleh Adsorben Ampas Tebu 38
Gambar 4. 8 Kinetika *Pseudo* Orde Satu 40
Gambar 4. 9 Kinetika *Pseudo* Orde Dua 40
Gambar 4. 10 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan dengan Penambahan Asam Humat 42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan 51
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian 52
Lampiran 3 Kurva Kalibrasi Standar 54
Lampiran 4 Data Pengujian Adsorpsi 55
Lampiran 5 Data Karakteristik FTIR 60

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air memiliki peran vital dalam kehidupan. Seiring dengan meningkatnya angka pertumbuhan penduduk, tantangan terhadap keamanan air secara global semakin besar. Setiap makhluk hidup, mulai dari mikroorganisme hingga manusia, memerlukan air untuk bertahan hidup. Namun, kualitas air dapat menurun akibat pencemaran, terutama ketika zat-zat berbahaya masuk melebihi kapasitas daya dukungnya. Salah satu faktor yang menyebabkan penurunan kualitas air adalah keberadaan zat pencemar, berupa logam berat (Pratiwi, 2020). Salah satu jenis logam berat yang dapat ditemukan dalam air adalah kromium (Cr).

Kromium merupakan logam berat yang bersifat toksik, sulit terurai, serta memiliki sifat persisten dan cenderung terakumulasi dalam lingkungan. Logam ini banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti fotografi, pencelupan, tekstil, penyamakan kulit, dan pembuatan zat pewarna (Yuliastri, 2010). Karena tingkat toksisitas kromium yang tinggi, keberadaannya dalam ekosistem perairan perlu mendapat perhatian khusus. Paparan kromium yang berlebihan dapat menyebabkan iritasi pada mata, kulit, hidung dan paru-paru serta meningkatkan risiko kanker pada sistem pernapasan dan pencernaan (Rihhadatul'Aisy, 2024).

Pengolahan air untuk menyisihkan logam berat dapat dilakukan salah satunya melalui proses fisika-kimia dengan metode adsorpsi (Indrayani dan Rahmah, 2018). Adsorpsi adalah proses dimana zat terlarut seperti molekul atau ion yang mengalami penyisihan dari suatu fasa fluida, yang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti luas permukaan, konsentrasi adsorbat, kecepatan pengadukan, pH, temperatur, dan waktu kontak (Putra dan Mairizki, 2024). Adsorpsi dipilih sebagai salah satu metode alternatif sederhana, efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan, karena dapat mengunakan adsorben dari bahan alami (Maelan dan Wahyuningtyas, 2024). Adsorben adalah zat yang berfungsi menyerap, sementara zat yang diserap disebut adsorbat, yang dapat berbentuk gas atau cairan. Salah satu metode adsorpsi yang umum digunakan adalah dengan

karbon aktif, yang memiliki kemampuan dalam menyerap zat organik, bau, warna, serta berbagai jenis polutan dalam air (Almuchty, 2020). Struktur pori-porinya yang besar dan luas memberikan area permukaan yang optimal untuk penyerapan zat-zat tersebut (Sari, 2019). Dalam penelitian ini, adsorben yang digunakan yakni limbah yang berasal dari ampas tebu.

Ampas tebu merupakan limbah yang dihasilkan dari industri gula atau proses produksi minuman berbahan dasar air tebu. Pemanfaatannya yang belum optimal, menyebabkan permasalahan bagi industri gula maupun lingkungan. Komponen kimia dalam ampas tebu tersusun dari serat yang mengandung selulosa, termasuk poliosa, hemiselulosa, lignoselulosa, dan lignin (Yusuf, 2021). Menurut Purwaningsih (2021), ampas tebu mengandung sekitar 45% selulosa, memiliki kadar air sekitar 48-52%, gula rata-rata 3,3% serta serat sekitar 47,7%. Sementara itu, menurut Deswanto (2020), komposisi kimia ampas tebu meliputi 37,65% selulosa, 22,09% lignin, 27,97% pentosan, 3,01% SiO_2, 3,82% abu, dan 1,81% sari. Kandungan selulosa memiliki potensi untuk diubah menjadi karbon, yang berperan penting dalam proses adsorpsi. Selulosa sendiri bersifat hidrofilik karena mengandung gugus hidroksil pada setiap unit polimernya. Gugus fungsi pada selulosa alami maupun turunannya dapat berinterksi secara fisik maupun kimia dengan logam berat.

Selain ampas tebu, asam humat adalah salah satu bahan yang dikembangkan untuk menangani pencemaran logam berat. Asam humat dapat meningkatkan efektivitas adsorpsi Cr oleh ampas tebu, karena senyawa ini memiliki gugus fungsional, seperti COOH, fenolat, enolat, -OH, alkoholat, dan -C=O sehingga dapat memperbanyak situs aktif untuk pengikatan ion Cr (Siswanta dan Sudiono, 2018). Kompleksasi asam humat dengan ion Cr juga dapat meningkatkan retensi logam Cr permukaan adsorben ampas tebu, terutama pada kondisi pH netral hingga sedikit basa (Husna, 2020).

Berdasarkan uraian diatas, logam berat berisiko tinggi terhadap pencemaran dalam air sehingga memberi dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk membawa judul penelitian **"Penurunan Logam Berat Kromium (Cr) dalam Air Meggunakan Adsorben Ampas Tebu"**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan paparan latar belakang diatas, rumusan masalah dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1) Bagaimana efektivitas adsorben ampas tebu dalam menurunkan logam kromium (Cr) dalam air?
2) Bagaimana variasi pH, konsentrasi, dan waktu kontak mempengaruhi kemampuan adsorpsi ampas tebu dalam menurunkan kadar logam kromium (Cr) dalam air?
3) Bagaimana pengaruh variasi penambahan asam humat dalam menurunkan kadar logam kromium (Cr) dalam air?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Menguji efektivitas adsorben ampas tebu dalam menurunkan logam kromium (Cr) dalam air.
2) Menganalisis pengaruh variasi pH, konsentrasi, dan waktu kontak untuk proses adsorpsi logam berat kromium (Cr) dalam air.
3) Menganalisis pengaruh proses adsorpsi setelah ditambahkan asam humat dalam menurunkan kadar logam kromium (Cr) dalam air.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat berkontribusi dalam pengembangan iptek serta bermanfaat bagi kepentingan masyarakat secara umum. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Bagi Peneliti

   Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi dan wawasan dalam menangani masalah pencemaran logam berat di perairan, serta sebagai salah satu syarat kelulusan untuk program sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2) Bagi Pemerintah

Menyajikan hasil penelitian mengenai pemanfaatan ampas tebu sebagai alternatif adsorben yang diharapkan dapat membantu dalam membuat kebijakan yang berkaitan dengan lingkungan.

3) Bagi Masyarakat

   Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi mengenai bahayanya pencemaran logam berat, serta menjadi salah satu upaya yang dapat dilakukan masyarakat secara personal. Selain itu, dapat meningkatkan nilai guna ampas tebu.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini yakni sebagai berikut:

1) Penelitian akan dlaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, UII
2) Sampel air yang digunakan merupakan larutan induk kromium (Cr).
3) Media adsorben yang digunakan adalah limbah ampas tebu.
4) Metode pengujian mengacu pada SNI 6989.17:2009 tentang cara uji krom total (Cr-T) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala.
5) Parameter utama pengujian pada penelitian ini meliputi konsentrasi adsorbat, waktu kontak antara adsorben dan adsorbat, nilai pH, serta massa adsorben yang dimodifikasi dengan penambahan asam humat.
6) Pengujian karakteristik gugus fungsi adsorben dalam penelitian ini menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).
7) Pengujian gambaran permukaan adsorben menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM).

.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses pengikatan zat terlarut dalam suatu larutan oleh permukaan material penyerap, dimana terjadi interaksi fisik dan kimia antara zat yang diserap dengan penyerapnya. Dalam proses ini terdapat dua istilah utama, yaitu adsorben dan adsorbat. Adsorben merujuk pada material yang berperan sebagai penyerap, umumnya berupa senyawa karbon, sementara adsorbat adalah zat yang mengalami penyerapan oleh adsorben (Mardiningsih dan Damayanti, 2022).

2.1.1 Proses Adsorpsi

Proses dimana molekul-molekul fluida menempel pada permukaan padatan disebut adsorpsi. Fenomena ini terjadi ketika molekul gas atau cair berinteraksi dengan permukaan padatan, menyebabkan terkondensasi pada permukaannya sebagian dari molekul tersebut. Kapasitas adsorpsi suatu adsorben bergantung pada luas permukaannya karena adsorpsi terjadi di permukaan. Reaksi-reaksi ini terjadi antara permukaan zat padat sebagai adsorben dan zat pencemar sebagai adsorbat, baik dalam cair maupun gas (Herdiningrat dan Yuliani, 2020). Berdasarkan tingkat interaksi antara adsorben dan adsorbat, adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu adsorpsi fisik dan kimia.

Molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan adsorben terikat dengan gaya yang lemah. Adsorpsi fisika terjadi ketika gaya antar molekul lebih besar dibandingkan dengan gaya tarik menarik antara adsorbat dan permukaan adsorben. Gaya ini dikenal sebagai *gaya Van der Waals*, yang memungkinkan adsorbat berpindah dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian lainnya. Sementara itu, dalam adsorpsi kimia, moleku-molekul yang teradsorpsi secara kimia dengan adsorben, membentuk ikatan kovalen dan ionik, yang menyebabkan pemutusan dan pembentukan kembali ikatan dalam prosesnya (Alfiani, 2017).

2.1.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Adsorpsi

Berikut merupakan faktor-faktor yang memengaruhi jumlah adsorbat yang terikat pada permukaan adsorban diantaranya:

a. Konsentrasi Adsorben

   Proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh dosis adsorben. Jumlah adsorpsi meningkat seiring dengan dosis adsorben. Efisiensi penyisihan bergantung pada luas permukaan adsorben yang tersedia. Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak logam yang dapat diserap, sehingga persentase penyisihan lebih besar pada dosis yang lebih besar (Syarif, 2018).

b. Waktu Kontak

   Pada awal waktu kontak, adsorpsi adsorbat ke adsorben berlangsung cepat, kemudian melambat sebelum mencapai kondisi jenuh pada waktu kontak kesetimbangan (Rakhmania dkk., 2017). Dipengaruhi oleh keadaan kemampuan mengikat logam Cr, waktu kontak memainkan peran penting dalam jumlah adsrbat yang teserap. Kesetimbangan dicapai dalam waktu kurang dari 150 menit, setelah itu jumlah adsorbat tidak mengalami perubahan yang signifikan (Purba, 2023). Agar proses adsorpsi berjalan optimal, larutan dengan viskositas tinggi memerlukan waktu kontak yang lebih lama (Fadhilah dan Astuti, 2021).

c. Temperatur

   Laju dan tingkat adsorpsi dipengaruhi oleh suhu. Karena adsorpsi adalah proses eksotermis, jumlah adsorpsi yang terserap akan lebih besar pada suhu rendah dan berkurang pada suhu tinggi (Suraya, 2023).

d. pH (Derajat Keasaman)

   Tingkat inisiasi dan muatan permukaan karbon dipengaruhi oleh pH. Interaksi elektrostatik yang disebabkan oleh adsorben menunjukkan pengaruh pH. Senyawa organik asam lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah, sedangkan senyawa organik basa lebih mudah teradsorpsi pada pH tinggi (Pramesti, 2023).

e. Karakteristik Adsorben

   Luas permukaan adsorben sangat penting untuk proses adsorpsi karena

lebih banyak situs aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan ion logam jika luas permukaan adsorben lebih besar. Sebagian besar air limbah mengandung adsorbat dengan berbagai ukuran partikel. Oleh karena itu, adsorbat berukuran lebih besar dapat menghalangi partikel berukuran lebih kecil untuk masuk ke dalam pori adsorben, yang menyebabkan proses adsorpsi menjadi lebih efektif (Aziz, 2024).

f. Konsentrasi Adsorbat Awal

Kapasitas adsorpsi dapat ditingkatkan dengan meningkatkan konsentrasi awal adsorbat. Namun, karena keterbatasan situs aktif pada permukaan adsorben, persentase penyusutan adsorbat akan berkurang. Pada awal konsentrasi logam, jumlah situs adsorpsi yang tersedia masih mencukupi untuk manangkap ion logam, tetapi pada konsentrasi awal yang lebih tinggi, jumlah ion logam yang tersedia jauh lebih banyak. Akibatnya, persentase penyisihan logam berat mempunyai hubungan terbalik dengan konsentrasi awal logam (Syarif, 2018).

g. Pengandukan (*Agitation*)

Dalam proses adsorpsi, meningkatkan kecepatan agitasi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan adsorbat karena interaksi antara adsorbat dan permukaan adsorben diperbaiki selama proses pencampuran. Agitasi sendiri berarti kondisi bergolak atau turbulen. Difusi melalui lapisan dan pori-pori memengaruhi tingkat adsorpsi. Ini bervariasi tergantung pada kondisi larutan, apakah itu tenang atau turbulen (Utami, 2018).

2.2 Logam Berat Kromium (Cr)

Logam berat kromium (Cr) adalah unsur yang sulit diuraikan oleh mikroorganisme dan tidak mudah berkarat. Cr berwarna abu-abu, memiliki nomor atom 24, massa jenis 5 g/cm^3 dengan berat atom 51,996 g/mol. Logam ini tahan terhadap oksidasi pada suhu tinggi, dengan titik leleh 1.857°C, titik didih 2.672°C dan energi ionisasi mencapai 652 kJ/mol. Logam Cr sedikit bersifat sedikit magnetik dan dapat membentuk kompleks ion yang berfungsi sebagai katalisator. Dari segi sifat kimia, Cr tidak larut dalam asam sulfat encer maupun asam klorida.

Selain itu, logam ini juga tidak dapat bercampur dengan basa oksidator, halogen peroksida, dan logam lainnya (Iksan, 2020).



Gambar 2. 1 Logam Kromium (Cr)

Sumber: Amir, 2020

Logam Cr dapat ditemukan di batuan, tanah, hewan dan tumbuhan, serta diperairan dalam bentuk ion Cr^{3+} dan Cr^{6+}. Ion Cr^{6+} lebih toksik karena sulit terurai, stabil, dan tidak mengendap, sedangkan Cr^{3+} lebih stabil dan sulit larut pada pH diatas 5. Keracunan logam Cr dapat menyebabkan masalah kesehatan akut seperti kanker, iritasi kulit dan mata, gangguan pernapasan, hati, ginjal dan sistem kekebalan tubuh pada paparan jangka panjang (Amir, 2024).

2.3 Ampas Tebu sebagai Adsorben

Tanaman tebu, dengan nama ilmiah *Saccharum officinarum*, termasuk kelompok tanaman rumput-rumputan. Secara morfologi, tanaman tebu dibedakan menjadi batang, daun, bunga dan akar (Hariyanti dan Razif, 2019). Sabut atau kulit tebu, biasanya mencapai 12,5% dari total bobot tebu. Sementara itu, sebagian besar kandungan tebu berupa nira yang menyumbang 87,5% yang terdiri dari air dan bahan kering baik terlarut maupun tidak larut.



Gambar 2. 2 Ampas Tebu

Sumber: Data Primer, 2025

Ampas tebu memiliki sifat berwarna kekuningan, serta berserat. Ampas tebu terdiri dari air (44,5%), serat padat (52%), dan brix (zat padat terlarut, termasuk gula larut sebanyak 3,5%). Secara kimiawi ampas tebu terutama mengandung serat yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Apriliani, 2010). Adapun komponen penyusun ampas tebu yang dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Komponen Penyusun Serat Ampas Tebu

Komponen	Kandungan (%)
Selulosa	45
Pentosan	32
Lignin	18
Komponen Lainnya	5

2.4 Senyawa Asam Humat

Kemampuan senyawa humat untuk berinteraksi dengan ion logam, oksida, hidrokarbon, mineral dan senyawa organik, termasuk pencemar beracun, membentuk asosiasi, baik yang larut maupun yang tidak larut dalam air. Ini merupakan karakteristik unik dari senyawa humat, dengan proporsi sekitar 70-80% (Male dan Wattimury, 2022).

Senyawa humat adalah koloid terdispersi yang bersifat amorf dan berwarna dari kuning hingga cokelat kehitaman. Memiliki berat molekul yang relatif tinggi, senyawa ini memiliki karakteristik berat molekul yang sangat beragam, tetapi

komposisi kimianya relatif seragam. Secara umum, senyawa senyawa humat terbentuk secara alami dan merupakan senyawa heterogen dengan berat molekul besar, warna kuning hingga hitam, dan sifat yang resisten terhadap degrasdasi (refraktori). Karena terdiri dari campuran kompleks polielektrolit fenolik dan karbohidrat yang bervariasi antar molekul, struktur kimianya tidak dapat digambarkan dalam satu bentuk.

Proses pengikatan logam oleh senyawa humat dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, termasuk jembatan air, interaksi elektrostatik dengan muatan negatif dari gugus -COO, pembentukan ikatan koordinasi dengan satu gugus donor, serta pembentuka struktur kelat atau cincin yang terbentuk dari dua gugus -COOH atau kombinasi antara gugus -COO dan OH fenolat (Siswanto dan Sudiono, 2018).

2.5 Instrumen Karakterisasi Logam Cr dan Adsorben

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa instrumen, diantaranya sebagai berikut.

2.5.1 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Dengan menggunakan prinsip penyerapan cahaya oleh atom, SSA adalah alat yang digunakan untuk menganalisis dan menentukan kadar unsur logam dan metaloid. Metode ini bekerja dengan mengukur penyerapan energi oleh atom dalam keadaan dasar, menjadikannya teknik kuantitatif yang mencakup banyak unsur. Prosedur ini lebih ekonomis, selektif, dan sensitif terhadap batas deteksi (kurang dari 1 mg/L).



Gambar 2. 3 Spektrofotometer Serapan Atom

Sumber: Data Primer, 2025

Prinsip dasar spektrofotometri serapan atom adalah interaksi reaksi cahaya dengan panjang gelombang tertentu terhadap atom dalam keadaan energi dasar (*ground state*). Cahaya akan diserap oleh atom, menyebabkan transisi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Intensitas radiasi yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi awal atom dalam kondisi energi dasar. Dalam proses atomisasi, energi dari nyala api atau arus listrik digunakan untuk mengubah analit dari bentuk padat, cair, atau larutan menjadi atom gas bebas. Sebagian besar atom tetap dalam keadaan dasar, tetapi sebagian kecilnya mengalami eksistasi dan memancarkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu saat kembali ke keadaan dasar, tergantung pada suhu (Fatrial, 2024).

2.5.2 *Fourier Transformed Infrared* (FTIR)

Spektrofotometri inframerah biasanya digunakan untuk mengidentifikasi jenis gugus fungsi dalam senyawa organik, mendapatkan informasi tentang struktur senyawa organik, dan menetukan struktur molekul senyawa anorganik dengan membandingkan pola serapan pada daerah sidik jari. Radiasi inframerah memiliki berbagai rentang frekuensi yang tidak dapat dilihat oleh mata manusia. Karakterisasi FTIR memiliki beberapa keunggulan, termasuk kemampuan untuk mendeteksi sinyal yang lemah, melakukan analisis sampel dengan konsentrasi yang sangat rendah, dan mempelajari spektrum pada larutan senyawa dalam rentang 950-1500 cm^{-1} (Dachriyanus, 2004).



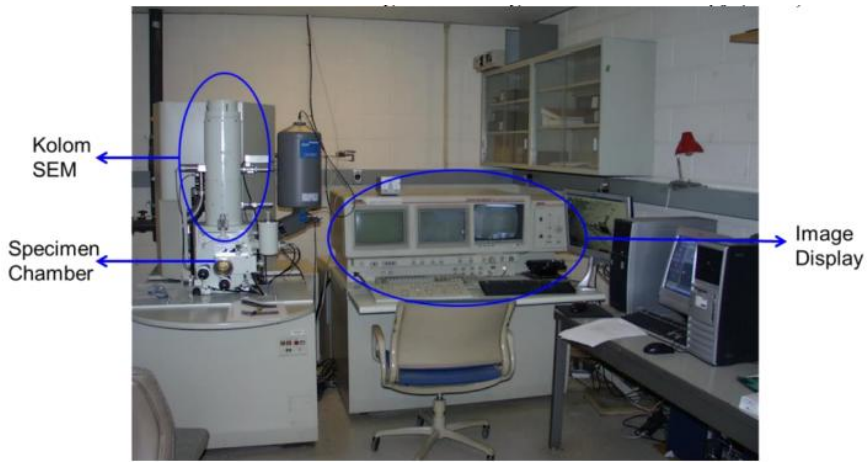
Gambar 2. 4 Instrumen FTIR

Sumber: Data Primer, 2025

Prinsip kerja FTIR bergantung pada hubungan antara energi dan materi, jumlah energi yang diberikan diatur oleh celah dimana radiasi inframerah melewati sebelum mencapai sampel. Sebagian radiasi akan diserap oleh sampel, sementara sisanya ditranmisikan melalui permukaannya. sinar inframerah yang diterima oleh detektor, diubah menjadi sinyal dan dikirim ke komputer untuk direkam dalam bentuk spektrum (Fatrial, 2004).

2.5.3 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Proses preparasi sampel SEM yang cepat dan tidak membutuhkan banyak energi adalah salah satu keunggulannya. Namun, metode ini tidak efektif untuk mengamati kristal berukuran lebih kecil dari 5 nm, karena memiliki keterbatasan resolusi. Bentuk, ukuran, dan distribusi partikel dapat dianlisis dengan lebih mudah ketika ukurannya diatas batas tersebut. SEM sangat efektif dalam studi struktur pori dan telah banyak digunakan dalam berbagai metodologi penelitian.



Gambar 2. 5 Instrumen SEM

Sumber: Masta, 2020

Prinsip kerja SEM dimulai dengan *electron gun* yang menghasilkan *electron beam* dari filamen. Biasanya, *tungsten hairpin gun* digunakan, dimana filamen berbentuk lilitan *tungsten* berfungsi sebagai katoda. Pemberian tegangan pada filamen menyebabkan pemanasan, sehingga elektron dilepaskan. Anoda kemudian menciptakan gaya tarik yang mempercepat elektron menuju permukaan sampel.

Lensa magnetik digunakan untuk memfokuskan elektron ke titik tertentu pada sampel. Koil pemindai mengarahkan sinar elektron untuk memindai seluruh permukaan sampel secara sistematis. Saat elektron bertumbukan dengan sampel, terjadi hamburan elektron, baik dalam bentuk *secondary electron* (SE) maupun *back scattered electron* (BSE). Elektron yang terhambur kemudian dideteksi oleh detektor, lalu diproses menjadi citra yang ditampilkan pada layar monitor CRT (Harahap, 2018).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait amas tebu sebagai adsorben logam berat dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
Apriliani (2010)	Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah	1. Kondisi optimal untuk ion logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dicapai dengan menggunakan 1,5 g ampas tebu, konsentrasi ion logam sebesar 20 mg/L, serta pH 5 untuk ion logam Cd, Cr, dan Pb, sedangkan ion logam Cu optimal pada pH 6. Waktu pemanasan yang dibutuhkan 2,5 jam untuk ion Cd dan Pb, serta 1,5 jam untuk ion logam Cr dan Cu 2. Pada limbah simulasi, efisiensi penyerapan tertinggi diperoleh untuk ion logam Pb yakni 95,92%, dengan kapasitas penyerapan sebesar 0,026 mg/g. 3. Proses adsorpsi terjadi melalui mekanisme kimisorpsi maupun fisisorpsi, dengan tingkat linieritas lebih dari 60% pada kedua model isoterm yaitu Langmuir dan Freundlich.
Harahap (2018)	Pemanfaatan Ampas Tebu sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene Blue* dan *Malachite Green*	1. Kondisi optimum penyerapan zat warna adalah pada waktu 30 menit, massa adsorben 0,5 gr untuk adsorben teraktivasi, sedangkan tanpa aktivasi 1,0 gr, konsentrasi 50 ppm dan pH 5 untuk zat warna *methylene*

Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
		blue. Sedangkan warna *malachite green* dengan pH 5 untuk adsorben teraktivasi dan pH 7 tanpa aktivasi. 2. Metode kolom dapat meningkatkan efisiensi penyerapan dan kapasitas adsorpsi hingga 100% dengan kapasitas 4,40 mg/g, serta mencapai 99,02% dengan kapasitas 4,44 mg/g. Sementara itu, adsorpsi zat warna keduanya mengikuti model isoterm Langmuir.
Kusumawardani (2018)	Adsorpsi Kadmium (II) menggunakan Adsorben Selulosa Ampas Tebu Teraktivasi Asam Nitrat	1. Penelitian menemukan bahwa pH 7 merupakan pH optimum untuk adsorpsi kadmium (II) dengan adsorben teraktivasi (HNO_3) 1M, pada waktu kontak 120 menit, dengen persentase 69,14%. Kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 2,215 mg/g. 2. Karakteristik selulosa dari ampas tebu teraktivasi asam nitrat dilihat dari FTIR yaitu adanya gugus fungsi aromatik (3749,62 cm^{-1}), gugus fungsi -OH (3410,15 cm^{-1}), gugus fungsi C-H (2916,37 cm^{-1}, 1427,32 cm^{-1}, 1373,32 cm^{-1}, 1319,31 cm^{-1}), gugus fungsi C-O (1157,29 cm^{-1}), dan gugus -CH_2 (894,97 cm^{-1}).

Penelitian terdahulu menujukkan bahwa ampas tebu berpotensi sebagai adsorben logam berat, namun belum banyak yang secara khusus meneliti efektivitasnya dalam menyerap logam Cr secara mendalam. Sebagian besar studi sebelumnya hanya menggunakan ampas tebu dalam bentuk karbon aktif atau yang diaktivasi dengan larutan kimia seperti HCl dan NaOH, tanpa modifikasi lanjutan untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan mengkaji efektivitas penggunaan ampas tebu yang dimodifikasi dengan penambahan asam humat dalam menyerap logam berat Cr.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan yang dilaksanakan dari bulan Januari-Juli 2025. Tempat pelaksanaan penelitian ini adalah Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknis Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

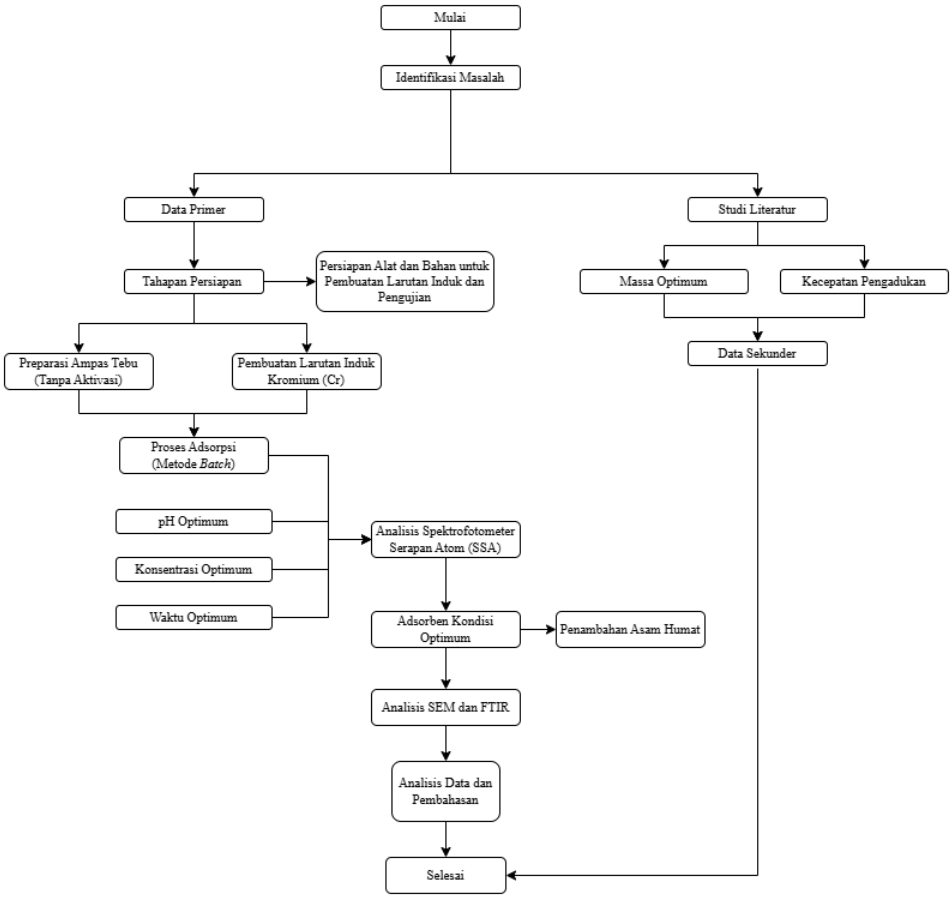
3.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan beragam peralatan laboratorium untuk mendukung jalannya eksperimen. Peralatan tersebut antara lain: gelas beaker (100 dan 250 mL), labu ukur (50, 100, dan 1000 mL), erlenmeyer 250 mL, pipet ukur (1, 5, dan 10 mL), *ball pipet*, *orbital shaker*, corong gelas, kaca arloji, neraca analitik, *furnace*, pH universal, desikator, *oven*, cawan porselin, ayakan 50 mesh, serta kertas saring. Selain itu, untuk analisis dan karakterisasi sampel, digunakan beberapa instrumen, seperti Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk mengukur tingkat serapan dan menentukan konsentrasi ion logam, *Fourier Transform Infrared* (FTIR), serta *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ampas tebu, asam humat, akuades, serta larutan induk logam berat kromium. Kombinasi berbagai alat dan bahan ini memungkinkan proses preparasi sampel, sintesis atau modifikasi material, serta karakterisasi yang komprehensif guna mencapai tujuan penelitian.

3.3 Prosedur Penelitian

Diagram alir pada Gambar 3.1 menunjukkan alur penelitian menggunakan ampas tebu sebagai adsorben untuk menyisihkan logam berat kromium dalam air.



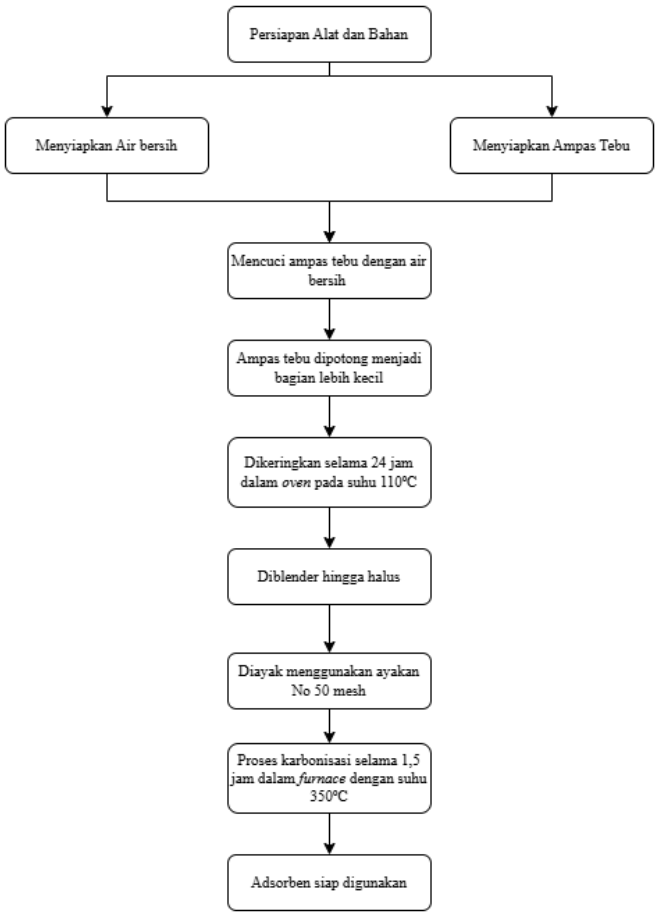
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.4 Persiapan Penelitian

Tahapan penelitian mencakup proses preparasi serta karakterisasi adsorben.

3.4.1 Preparasi Adsorben

Adsorben dibuat dari ampas tebu yang diperoleh dari penjual es tebu yang berlokasi di Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Proses pembuatan dimulai dengan memotong ampas tebu menjadi potongan kecil. Diagram alir yang digunakan untuk membuat adsorben dari ampas tebu ditunjukkan oleh diagram pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Alur Proses Pembuatan Adsorben Ampas Tebu

3.4.2 Karakterisasi Adsorben

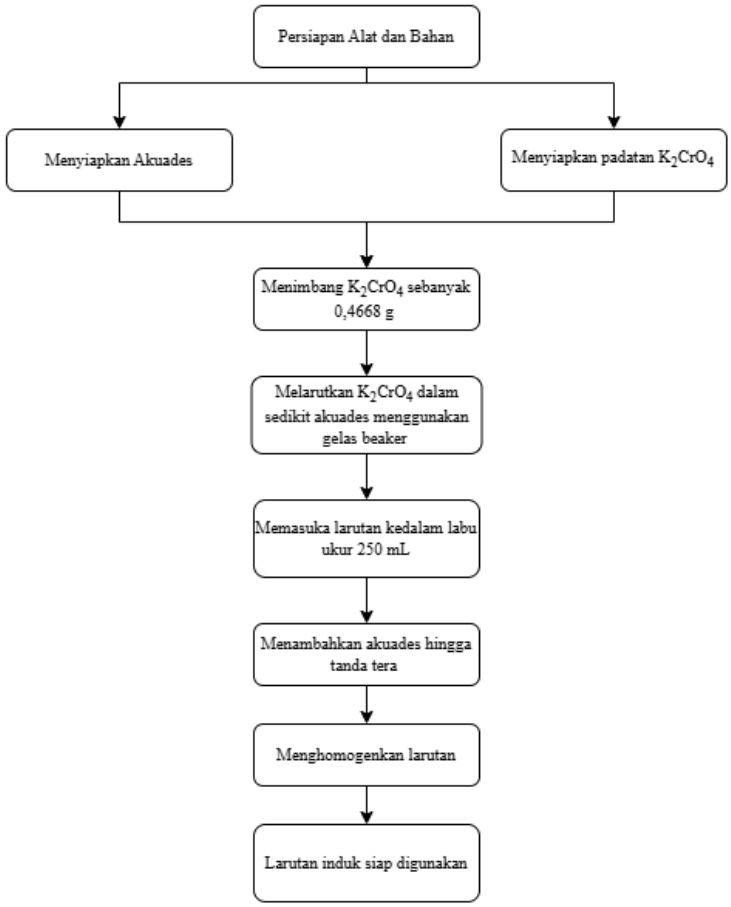
Dalam proses karakterisasi digunakan dua instrumen yakni *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microsccope* (SEM). SEM menghasilkan gambar permukaan adsorben melalui pemindaian dengan pancaran elektron berenergi tinggi, sedangkan FTIR mengidentifikasi gugus fungsi dalam partikel adsorben.

3.5 Proses Adsorpsi

Pada tahap ini, pengujian terhadap pH, waktu kontak, konsentrasi dan modifikasi dengan penambahan asam humat dilakukan untuk mengukur kapasitas dan kondisi optimal proses adsorpsi.

3.5.1 Pembuatan Larutan Induk dan Larutan Standar Cr

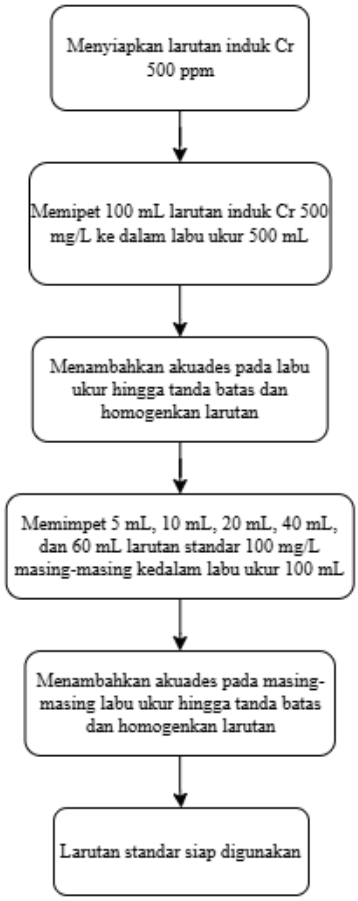
Dalam penelitian ini, larutan induk Cr digunakan dalam beberapa tahapan. Untuk membuat larutan Cr dengan konsentrasi 500 mg/L, sebanyak 0,4668 gram K_2CrO_4 ditimbang dengan cermat, lalu dilarutkan dalam sedikit akuades hingga larut sepenuhnya. Larutan tersebut kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur berkapasitas 250 mL dan ditambahkan akuades hingga mencapai volume tanda batas. Setelah itu, larutan dihomogenkan hingga merata sehingga diperoleh larutan induk Cr dengan konsentrasi 500 mg/L. Tahapan pembuatan disajikan pada Gambar 3.3 beikut ini.



Gambar 3. 3 Alur Proses Pembuatan Larutan Induk Cr 500 mg/L

Tahapan berikutnya adalah pembuatan larutan standar Cr dengan konsentrasi 100 mg/L, yang dilakukan dengan memipet 100 mL larutan induk 500 mg/L ke dalam labu ukur 500 mL, lalu diencerkan hingga tanda batas. Selanjutnya, larutan standar Cr dengan konsentrasi 5, 10, 20, 40, dan 60 mg/L dari larutan 100

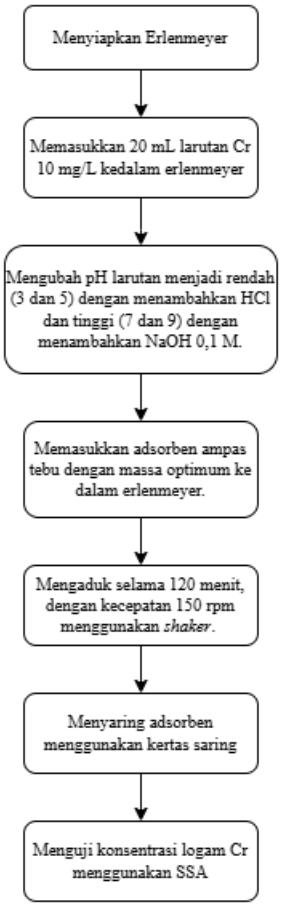
mg/L ke dalam labu ukur 100 mL. Masing-masing larutan kemudian diencerkan menggunakan akuades hingga mencapai tanda batas dan dikocok hingga homogen. Larutan-larutan ini selanjutnya digunakan untuk analisis. Prosedur dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Tahapan Pembuatan Larutan Standar Cr

3.5.2 Penentuan pH Optimum

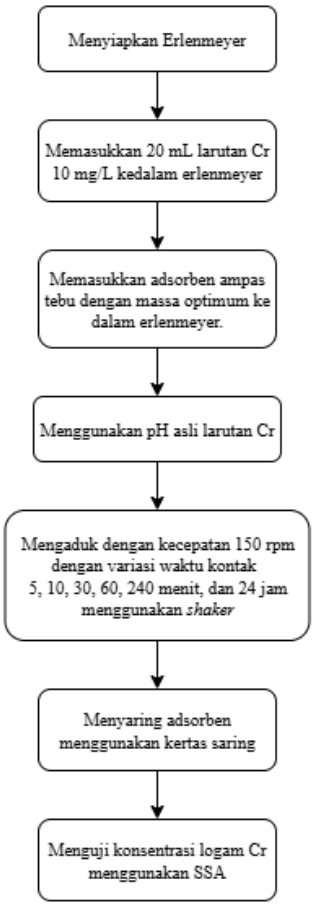
Untuk memaksimalkan efisiensi penyerapan zat pencemar oleh adsorben selama proses adsorpsi, pH optimum ditetapkan. Prosedur untuk menentukan pH optimum dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3. 5 Alur Penentuan pH Optimum

3.5.3 Penentuan Waktu Kontak Optimum

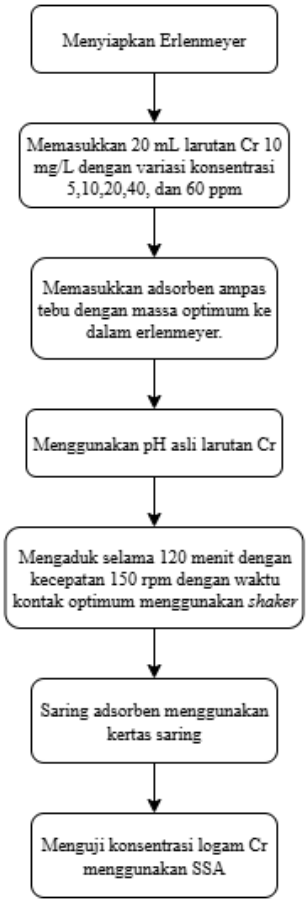
Setelah memperoleh pH optimum, langkah berikutnya adalah menentukan waktu adsorpsi. Ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama adsorben perlu untuk menyerap zat pencemar sebanyak mungkin dari larutan. Prosedur untuk menentukan waktu adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3. 6 Alur Penentuan Waktu Kontak Optimum

3.5.4 Penentuan Konsentrasi Logam Kromium (Cr) Optimum

Setelah mengetahui pH dan waktu kontak yang optimum, langkah selanjutnya adalah mengukur konsentrasi adsorben. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat zat pencemar dalam larutan sehingga adsorben dapat mencapai tingkat penyerapan maksimum. Gambar 3.7 menunjukkan prosedur yang digunakan untuk menentukan konsentrasi optimum.



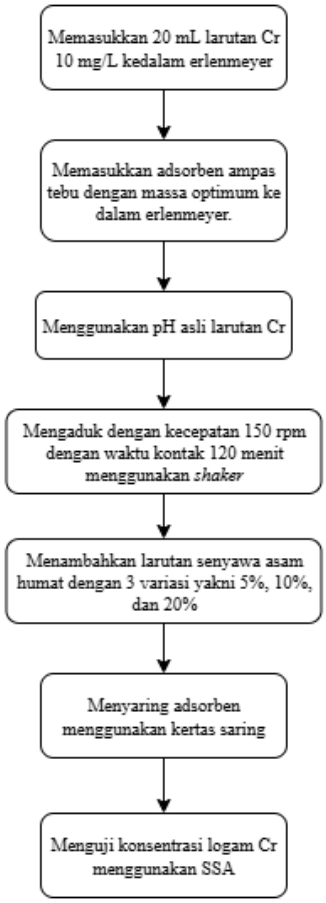
Gambar 3. 7 Alur Penentuan Konsentrasi Optimum

3.5.5 Penentuan Massa Optimum

Berdasarkan adsorben yang memiliki karakteristik mirip dengan ampas tebu, data sekunder yang diperoleh dari studi literatur digunakan untuk menentukan massa optimum yaitu 50 mg (Afifah, 2023).

3.5.6 Penambahan Asam Humat

Setelah mengetahui kondisi optimum dari parameter tersebut, ditambahkan senyawa asam humat untuk mengetahui efektivitas dari proses adsorpsi. Berikut merupakan prosedur modifikasi penambahan asam humat yang dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Alur Penambahan Asam Humat

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk memahami hasil penelitian. Model isotermal yang digunakan berfungsi untuk menggambarkan efisiensi penyerapan logam berat serta menentukan interaksi antara adsorben dan adsorbat.

3.6.1 Persen Adsorpsi

Dalam menganalisa data dari setiap uji adsorpsi dan menentukan kondisi optimum untuk setiap variabel, penting untuk memperhatikan efisiensi dalam menyerap logam berat kromium. Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi penyerapan dapat dilihat pada persamaan (1) berikut.

$$E = \frac{Co - Ce}{Co} \times 100\% \ldots (1)$$

Keterangan:

E = Efisiensi penyerapan (%)

Co = Konsentrasi sebelum adsorpsi (mg/L)

Ce = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

3.6.2 Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi (pemuatan), merujuk pada jumlah adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben dalam setiap satuan massa atau volume adsorben. Berikut merupakan persamaannya:

$$Qe = \frac{C_o - C_e}{M} \times V \ldots (2)$$

Keterangan:

Qe = Massa adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)

Co = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

Ce = Konsentrasi larutan setelah adsorpsi (mg/L)

M = Massa adsorben (g)

V = Volume adsorbat (L) (Arif dan Saokani, 2014).

3.6.3 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi mengacu pada hubungan antara konsentrasi larutan dan zat terlarut yang teradsorpsi pada permukaan padatan. Untuk memahami mekanisme adsorpsi, jenis isoterm adsorpsi dapat digunakan model Freundlich dan Langmuir adalah persamaan yang umum digunakan untuk menganalisis data isoterm (Harahap, 2018).

a. Isoterm Freundlich

Gaya intramolekul lebih dominan dalam mekanisme ini dari pada gaya tarik antar molekul atau interaksi lemah antara adsorbat dan permukaan adsorben. Gaya tarik ini dikenal sebagai gaya *van del waals*, memungkinkan adsorbat berpindah dari satu area permukaan adsorben ke area lainnya. Secara empiris, isoterm ini dapat diterapkan pada

adsorpsi zat terlarut oleh permukaan padatan dengan persamaan sebagai berikut:

$$^{x}/_{m} = k.Ce^{1/n} \ldots (3)$$

Keterangan:

$^{x}/_{m}$ = Besarnya adsorbat yang teradsorpsi adsorben (mg/g)

k = Konstanta adsorpsi

n = Konstanta empiris

Ce = Konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L)

Konstanta diperoleh melalui eksperimen, untuk menentukan nilai konstanta k dan 1/n, dilakukan proses linierisasi sebagai berikut:

$$Log\ ^{x}/_{m} = \log k + \frac{1}{n}\log Ce \ldots (4)$$

Keterangan:

x = Jumlah zat terlarut yang diserap (mg)

m = Gram adsorben yang digunakan (g)

Ce = Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

k = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

n = Intensitas adsorpsi (L/g) (Miri, 2022).

b. Isoterm Langmuir

Isoterm ini menjelaskan proses kemisorpsi, dimana terjadi ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat. Asumsi dasar dalam isoterm ini meliputi semua situs adsorpsi memiliki kesetaraan, molekul yang teradsorpsi tidak saling berinteraksi, proses berlangsung melalui mekanisme yang sama, serta pada kondisi adsorpsi maksimum, terbentuk lapisan monolayer. Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\frac{Ce}{q} = \frac{1}{b.qm} + \frac{Ce}{qm} \ldots (5)$$

Keterangan:

q = besarnya adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/g)

qm = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

b = Konstanta (l/g)

Ce = Konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L) (Miri, 2022).

3.6.4 Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi ion Cr dilakukan dengan memvariasikan waktu kontak. Kinetika adsorpsi memberikan gambaran mengenai laju penyerapan adsorbat oleh adsorben. Efektivitas adsorben dalam menyerap adsorbat dapat dievaluasi melalui kecepatan adsorpsinya, yang didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi terhadap waktu. Laju adsorpsi ini ditentukan berdasarkan konstanta laju (k) serta orde reaksi yang terjadi (Setyowati, 2018). Model kinetika yang dapat digunakan adalah *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua.

a. *Pseudo* orde satu

Persamaan Lagergen merupakan model kinetika pertama yang digunakan untuk sistem fasa cair-padat atau dikenal sebagai model *pseudo* orde satu, karena didasarkan pada kapasitas adsorpsi oleh fase padat atau adsorben (Zein dan Aziz, 2019). Bentuk sistematis dari model ini ditunjukkan pada persamaan (6) berikut.

$$\frac{dqt}{qt} = k_1.(qe - qt) \ldots (6)$$

Persamaan (6) dapat diturunkan lebih lanjut kedalam bentuk integral, yang kemudian dinyatakan sebagai persmaan (7).

$$\ln(qe - qt) = \ln k_1.t \ldots (7)$$

Keterangan:

q_e = Jumlah adsorbat yang teradsorpsi adsorben pada kesetimbangan (mg/g)

q_t = Jumlah adsorbat yang teradsorpsi adsorben pada saat t (mg/g)

k_1 = Konstanta laju adsorpsi pseudo orde satu (L/min)

t = Waktu (menit) (Baunsele dan Missa, 2020)

b. *Pseudo* orde dua

Model *pseudo* orde dua merupakan salah satu pendekatan kinetika adsorpsi yang berasumsi bahwa kapasitas penyerapan berkaitan langsung dengan jumlah situs aktif yang tersedia pada permukaan adsorben (Zein dan Aziz, 2019). Bentuk model ini dapat dilihat pada persamaan (8) berikut.

$$\frac{dqt}{qt} = k_2.(qe - qt)^2 \ldots (8)$$

Apabila dinyatakan dalam bentuk linier, dapat ditulis sebagai persamaan (9).

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2.qe^2} + \frac{1}{qt}.t \ldots (9)$$

Keterangan:

q_e = Jumlah adsorbat yang teradsorpsi adsorben pada kesetimbangan (mg/g)

q_t = Jumlah adsorbat yang teradsorpsi adsorben pada saat t (mg/g)

k_2 = Konstanta laju adsorpsi pseudo orde dua (mg/g.min)

t = Waktu (menit) (Baunsele dan Missa, 2020).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemamampuan ampas tebu sebagai adsorben ketika mengekstraksi logam berat Cr dalam air. Proses adsorpsi dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap, diawali dengan penentuan kondisi optimum untuk proses adsorpsi. Penelitian ini menerapkan *batch reactor* sebagai sistem pengujian, sedangkan kapasitas adsorpsi dianalisi menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Karakterisasi ampas tebu sebagai adsorben dilakukan dengan instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengidentifikasi gugus fungsi aktif serta morfologi permukaan adsorben. Sementara itu, konsentrasi Cr dalam larutan dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

Penelitian dimulai dengan menyiapkan adsorben berbahan dasar ampas tebu. Tahap persiapan meliputi pencucian, pengeringan di oven pada suhu 110°C selama 24 jam untuk menurunkan kadar air, serta proses penghalusan yang diikuti pengayakan menggunakan saringan berukuran 50 mesh. Selanjutnya, dikarbonisasi di dalam *furnace* pada suhu 350°C selama 1,5 jam.

Uji adsorpsi dilakukan pada larutan Cr sebanyak 20 mL dengan kecepatan pengadukan 150 rpm, menggunakan *orbital shaker* untuk memastikan kontak yang homogen antara adsorben dan larutan logam. Data adsorpsi yang diperoleh meliputi pengaruh pH, waktu kontak, dan konsentrasi Cr digunakan untuk menetukan kondisi optimum. Kondisi optimum ini kemudian menjadi dasar evaluasi kemampuan ampas tebu, yang dimodifikasi melalui penambahan asam humat, dalam menyerap Cr dari larutan.

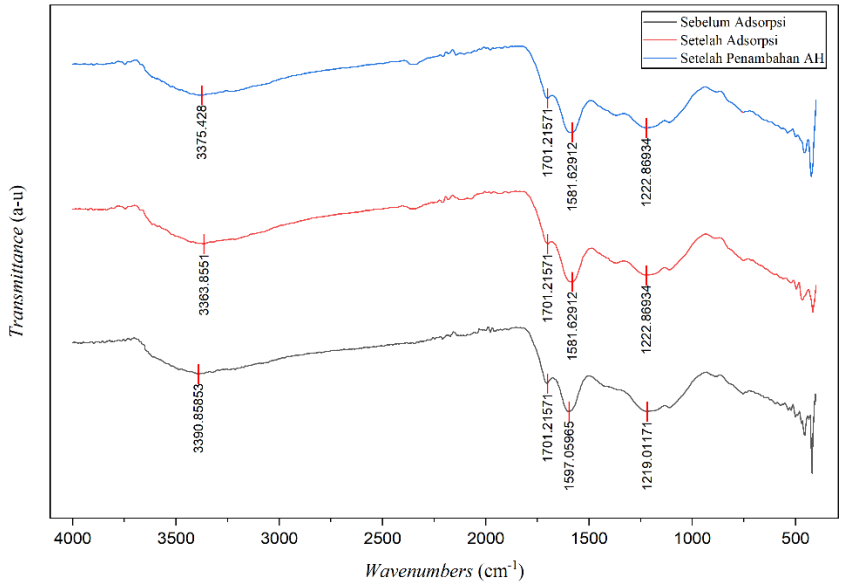
4.1 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben dilakukan untuk mengetahui potensi ampas tebu dalam proses adsorpsi Cr. Tujuan dari karakterisasi ini juga untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang terkandung, gugus fungsi aktif, serta

struktur permukaan dan ukuran pori dari adsorben. Metode karakterisasi dilakukan dengan instrumen FTIR dan SEM.

4.1.1 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Karakterisasi dengan FTIR digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi pada molekul-molekul yang terdapat dalam adsorben berbahan dasar ampas tebu. Analisis dilakukan pada panjang gelombang *mid-infrared* dengan rentang antara 400-4000 cm^{-1}. Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk grafik yang menampilkan hubungan antara panjang gelombang (sumbu x) dengan persentase transmitansi cahaya (sumbu y). Identifikasi gugus fungsi dilakukan dengan mengamati setiap puncak spesifik (*peak*) pada panjang gelombang tertentu, dimana setiap puncak mencerminkan keberadaan gugus fungsional tertentu dalam struktur kimia adsorben. Berikut grafik hasil FTIR ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Spektra FTIR Adsorben Ampas Tebu

Gambar 4.1 menujukkan kemunculan puncak spesifik yang dapat dianalisis secara mendalam berdasarkan kategori yang dijelaskan dalam Tabel 4.1.

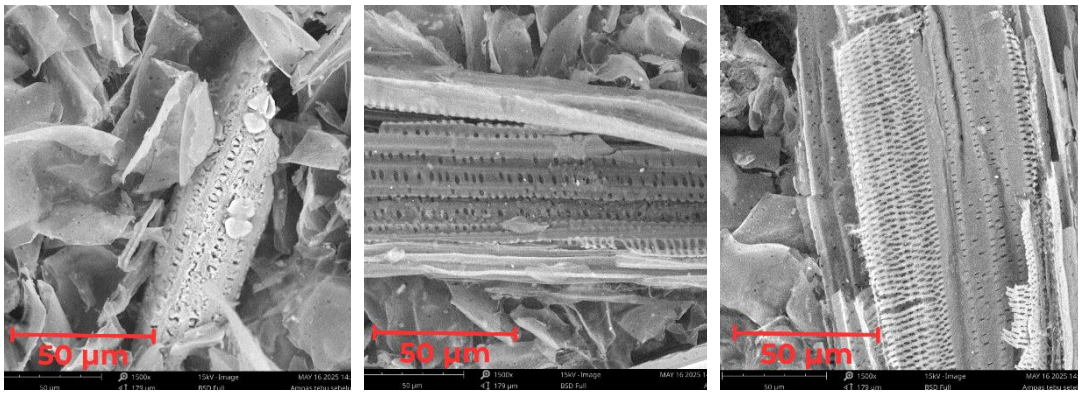
Tabel 4. 1 Interpretasi Gugus Fungsi Adsorben Ampas Tebu

Adsorben Ampas Tebu	Bilangan Gelombang (cm-1)		Gugus Fungsi	Intensitas
	Teori	Hasil		
Sebelum Adsorpsi	3550-3200	3390.85853	O-H stretch	Kuat dan lebar
	1715-1680	1701.21571	C=O stretch	Kuat
	1625-1440	1597.05965	C=C stretch	Sedang - Lemah
	1300-1050	1219.01171	C-O	Kuat
Setelah Adsorpsi	3550-3200	3363.8551	O-H stretch	Kuat dan lebar
	1715-1680	1701.21571	C=O stretch	Kuat
	1625-1440	1581.62912	C=C stretch	Sedang - Lemah
	1300-1050	1222.86934	C-O	Kuat
Setelah Penambahan Asam Humat	3550-3200	3375.428	O-H stretch	Kuat dan lebar
	1715-1680	1701.21571	C=O stretch	Kuat
	1625-1440	1581.62912	C=C stretch	Sedang - Lemah
	1300-1050	1222.86934	C-O	Kuat

Berdasarkan Gambar 4.1, menunjukkan spektrum FTIR dari adsorben ampas tebu dalam tiga kondisi, yaitu sebelum adsorpsi, setelah adsorpsi, dan setelah adsorpsi dengan penambahan asam humat. Secara umum, tidak terdapat perbedaan signifikan pada posisi bilangan gelombang antara ketiga kondisi tersebut, namun terdapat pergeseran kecil dan perubahan intensitas puncak yang menunjukkan adanya interaksi permukaan antara adsorben dan ion Cr. Pada spektrum sebelum adsorpsi, terlihat adanya puncak serapan disekitar 3390,86 cm^{-1} yang mengindikasikan getaran regangan dari gugus hidroksil (-OH). Setelah proses adsorpsi, puncak tersebut bergeser menjadi 3363,86 cm^{-1} dan kembali bergeser menjadi 3375,43 cm^{-1} setelah penambahan asam humat. Pergeseran bilang gelombang ini menunjukkan adanya interaksi hidrogen antara gugus -OH adsorben dan ion logam Cr. Selain itu, puncak pada 1701,22 cm-1 yang merupakan serapan dari gugus karbonil (C=O) tetap muncul disemua kondisi, menunjukkan kestabilan gugus fungsi ini selama proses adsorpsi. Puncak lain yang teramati adalah pada bilangan gelombang 1597,06 cm^{-1} (sebelum adsorpsi) dan 1581,63 cm^{-1} (setelah adsorpsi dan penambahan AH), yang menunjukkan getaran regangan dari ikatan rangkap dua C=C pada struktur aromatik. Sedangkan pada serapan pada bilangan gelombang 1219,01-1222,87 cm^{-1} menunjukkan adanya getaran regangan C-O dari gugus alkohol atau ester.

4.1.2 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Sebelum digunakan sebagai media adsorben, ampas tebu terlebih dahulu dikarakterisasi menggunakan SEM guna mengamati bentuk morfologi permukaan serta distribusi pori pada adsorben. Dalam penelitian ini, pengamatan dilakukan dengan perbesar 1500x untuk mengamati struktur permukaan adsorben sebelum adsorpsi, setelah adsorpsi, dan setelah adsorpsi dengan penambahan asam humat. Hasil pengamatan ditampilkan pada Gambar 4.2.



(a) (b) (c)

Gambar 4. 2 Morfologi Permukaan Adsorben Ampas Tebu (a) Sebelum Adsorpsi (b) Setelah Adsorpsi (c) Setelah Penambahan Asam Humat

Berdasarkan Gambar 4.2, tampak pada gambar (a), morfologi permukaan ampas tebu sebelum adsorpsi menunjukkan strktur alami akibat proses karbonisasi, dengan distribusi ukuran yang belum merata. Setelah proses adsorpsi berlangsung, sebagaimana terlihat pada gambar (b), terjadi perubahan pada permukaan adsorben yang ditandai dengan pori-pori yang lebih terbuka. Pada gambar (c), yaitu setelah adsorpsi dengan penambahan asam humat, tampak adanya perubahan morfologi lebih lanjut berupa lapisan permukaan yang tampak lebih homogen dengan struktur pori yang semakin terbuka.

4.2 Hasil Pengujian Adsorpsi

Untuk menentukan daya serap adsorben pada kondisi optimal, dilakukan penentuan kondisi optimum. Pengujian dilakukan melalui variasi nilai pH, waktu kontak serta konsentrasi Cr. Pada kondisi optimum dilakukan penambahan asam humat untuk meningkatkan efisiensi proses adsorpsi.

4.2.1 *Potencial Hydrogen* (pH) Optimum

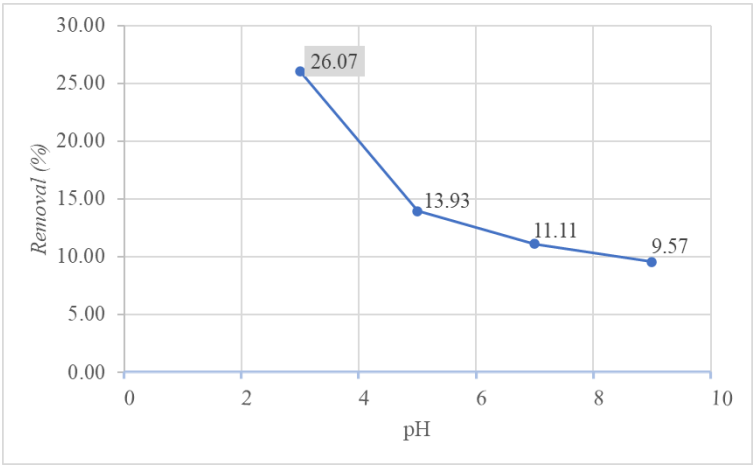
Karakterisasi adsorben dari ampas tebu dilakukan melalui penentuan pH untuk mengetahui rentang pH optimal dimana adsorben mampu berinteraksi secara efektif dengan ion logam. Dalam penelitian ini, variasi pH yang digunakan adalah 3, 5, 7, dan 9 (Da Costa, 2019), yang mempresentasikan kondisi asam, netral, dan basa. Pengujian dilakukan dalam volume larutan Cr sebesar 20 mL dengan konsentrasi logam 10 mg/L, massa adsorben sebanyak 50 mg, dan waktu kontak selama 120 menit. Untuk mengatur kondisi pH larutan, digunakan larutan *buffer* HCl 0,1 M untuk suasana asam dan NaOH 0,1 M untuk suasana basa. Pemilihan variasi pH tersebut bertujuan untuk menentukan pH optimum yang memeberikan efisiensi tertinggi dalam menurunkan kadar Cr dalam larutan. Berikut merupakan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Variasi pH

pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi (%)
3	9.269	6.853	2.416	26.07
5	9.269	7.978	1.291	13.93
7	9.269	8.239	1.030	11.11
9	9.269	8.382	0.887	9.57

Sumber: Data Primer, 2025

Data tersebut di *plotting* dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.3



Gambar 4. 3 Hubungan Variasi pH terhadap Adsorpsi Cr

Berdasarkan Gambar 4.3, penjerapan logam berat oleh adsorben ampas tebu paling efektif terjadi pada kondisi pH asam (3), dengan nilai efisiensi sebesar 26,07% dengan konsentrasi Cr yang teradsorpsi sebesar 2,416 mg/L. Namun,

seiring peningkatan pH menuju kondisi netral dan basa (pH 5 dan pH 9), terjadi penurunan efisiensi adsorpsi secara bertahap. Pada pH 5, efisiensi adsorpsi menurun menjadi 13,93%, kemudian menjadi 11,11% pada pH 7, dan mencapai efisiensi terendah sebesar 9,57% pada pH 9. Efektivitas ini berkaitan dengan proses protonasi dan deprotonasi gugus fungsional pada permukaan adsorben. Dalam suasana asam, meningkatnya konsentrasi ion H^+ menyebabkan gugus-gugus fungsional pada adsorben mengalami protonasi dan bermuatan positif, sehingga lebih mudah menarik spesies logam yang bermuatan negatif (Ischak dan Botutihe, 2021). Sementara itu, efisiensi terendah terjadi pada pH 9. Penurunan efisiensi ini sejalan dengan meningkatnya pH pada kondisi basa. Dalam penelitian ini, efisiensi penjerapan masih tergolong rendah. Salah satu faktor penyebabnya adalah penurunan efisiensi pada pH netral, dimana ion logam dapat mengalami reaksi hidrolisis dalam larutan, sehingga kestabilannya menurun dan kemampuan adsorben dalam menangkap ion logam menjadi kurang optimal (Nurafriyanti dan Syauqiyah, 2017). Selain itu, pada kondisi basa, ion Cr cenderung membentuk senyawa kompleks berupa hidrosida, yang sulit teradsorpsi oleh permukaan adsorben (Alif dan Marganingrum, 2024).

4.2.2 Waktu Kontak Optimum

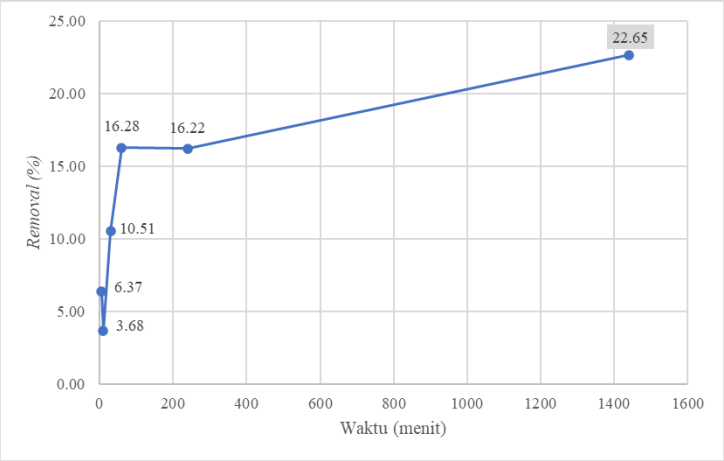
Penentuan waktu pengadukan dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan hingga tercapainya kondisi kesetimbangan antara adsorben ampas tebu dan ion Cr dalam proses adsorpsi. Penentuan waktu kontak mengacu pada nilai pH dan dosis adsorben yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam penelitian ini, waktu kontak divariasikan selama 5, 10, 30, 60, 240, hingga 1.440 menit. Data hasil percobaan berdasarkan variasi waktu kontak disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Variasi Waktu Kontak

Waktu kontak (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C terserap (mg/L)	% Removal
5	15.230	14.260	0.97	6.37
10	15.230	14.670	0.56	3.68
30	15.230	13.630	1.60	10.51
60	15.230	12.750	2.48	16.28
240	15.230	12.760	2.47	16.22
1440	15.230	11.780	3.45	22.65

Sumber: Data Primer, 2025

Data tersebut di plotting dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Hubungan Variasi Waktu terhadap Adsorpsi Cr

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada awal proses kontak, adsorbat belum mengalami adsorpsi. Pada menit ke 5, pergerakan adsorbat mulai terlihat akibat turbulensi dari proses pengadukan, di mana adsorbat mulai mencari ruang kosong dalam struktur pori adsorben, sehingga efisiensi adsorpsi yang dicapai hanya sebesar 6,37%. Seiring bertambahnya waktu kontak menjadi 30 menit, efisiensi meningkat menjadi 10,51%. Peningkatan efisiensi terus terjadi hingga waktu kontak 60 menit, dimana diperoleh efisiensi sebesar 16,28%. Pada waktu kontak 240 menit, efisiensi yang diperoleh sebesar 16,22%. Waktu kontak berperan penting dalam proses pengisian volume pori, semakin lama waktu kontak berlangsung, semakin besar peluang bagi adsorbat untuk terdorong kebagian dalam pori-pori, sehingga ruang pori di bagian luar dapat diisi oleh molekul adsorbat lainnya (Ifa, 2018).

Dalam penelitian ini, waktu kontak optimum dicapai pada waktu 1.440 menit (24 jam), dengan efisiensi penjerapan sebesar 22,65% dengan jumlah ion Cr yang teradsorpsi sebesar 3,45 mg/L. Kondisi ini menunjukkan bahwa interaksi antara gugus fungsi aktif dalam selulosa ampas tebu dan ion Cr berlangsung lebih efektif seiring bertambahnya durasi kontak. Semakin lama waktu kontak, semakin banyak adsorbat yang dapat menempel pada permukaan adsorben, sehingga konsentrasi ion Cr dalam larutan mengalami penurunan.

4.2.3 Konsentrasi Larutan Optimum

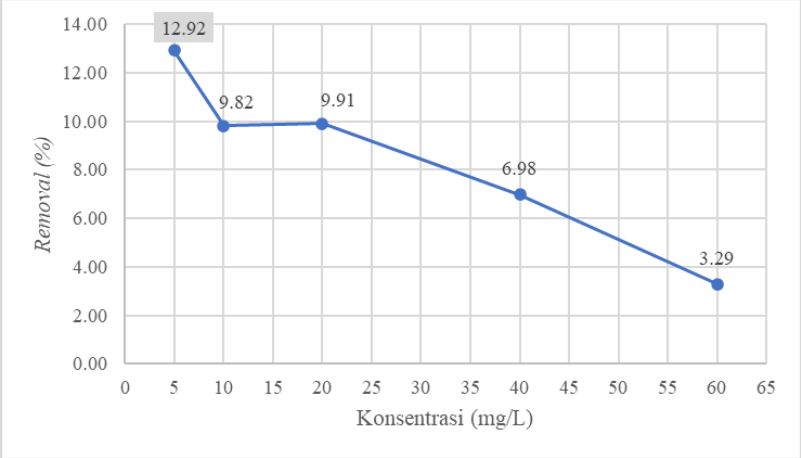
Konsentrasi awal adsorbat mempengaruhi kapasitas adsorben dalam penyerapan ion logam Cr. Untuk mengamati pengaruh tersebut, dilakukan percobaan dengan variasi konsentrasi awal adsorbat sebesar 5, 10, 20, 40, dan 60 mg/L. Proses adsorpsi dilaksanakan pada waktu kontak selama 120 menit dengan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm. Berikut hasil uji variasi konsentrasi awal adsorbat disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Larutan pada Adsorben Ampas Tebu

Konsentrasi Rencana (mg/L)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C terserap (mg/L)	% Removal	Qe (mg/g)
5	5.000	4.354	0.65	12.92	0.26
10	13.650	12.31	1.34	9.82	0.54
20	25.230	22.73	2.50	9.91	1.00
40	45.830	42.63	3.20	6.98	1.28
60	59.240	57.29	1.95	3.29	0.78

Sumber: Data Primer, 2025

Data tersebut di plotting dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hubungan Variasi Konsentrasi Larutan terhadap Adsorpsi

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa efisiensi proses adsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi awal ion Cr dalam larutan. Berdasarkan data pada Tabel 4.4, terlihat bahwa efisiensi adsorpsi oleh adsorben ampas tebu cenderung menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal ion Cr. Pada konsentrasi 5 mg/L, diperoleh efisiensi penyerapan tertinggi mencapai 12,92% dengan jumlah ion teradsorpsi sebesar 0,65 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi rendah, ketersediaan situs aktif pada permukaan adsorben ampas tebu relatif lebih banyak dibandingkan dengan jumlah ion Cr yang ada dalam larutan, sehingga interaksi antara adsorben dan ion logam berlangsung secara optimal. Namun,

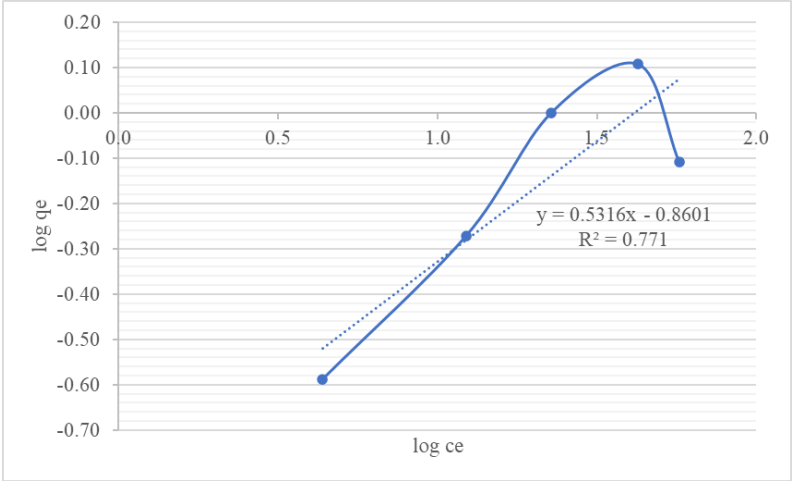
seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan, terjadi penurunan efisiensi adsorpsi. Pada konsentrasi 10 mg/L dan 20 mg/L, efisiensi penjerapan masing-masing menurun menjadi 9,82% dan 9,91%. Penurunan efisiensi semakin terlihat signifikan pada konsentrasi yang lebih tinggi, yaitu 40 mg/L dan 60 mg/L dengan masing-masing penjerapan yakni 6,98% dan 3,29%. Peningkatan konsentrasi ion logam menyebabkan rasio Cr terhadap situs aktif arang ampas tebu menjadi tidak seimbang, sehingga permukaan adsorben cepat jenuh (Da Costa, 2019). Kondisi kejenuhan ini dapat memicu desorpsi, yaitu pelepasan kembali ion logam yang telah terikat.

4.3 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merepresentasikan kinerja karbon dalam proses adsorpsi, karena memungkinkan diketahui jumlah zat yang teradsorpsi pada massa adsorben tertentu. Dalam penelitian ini, karakteristik adsorpsi ion logam Cr oleh adsorben berbasis ampas tebu dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Kedua model tersebut digunakan untuk memperoleh parameter kapasitas adsorpsi maksimum (Qmax) dalam satuan mg/g serta konstanta kesetimbangan adsorpsi yang menggambarkan afinitas antara adsorben dan adsorbat (Triana, 2015).

4.3.1 Isoterm Freundlich

Model isoterm Freundlich didasarkan pada asumsi bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen dengan banyak situs aktif, sehingga memungkinkan pembentukan lapisan adsorbat secara multilayer (Nurhidayati et al., 2022). Dalam penelitian ini, analisis digunakan untuk memperoleh persamaan kesetimbangan adsorpsi ion Cr oleh ampas tebu. Nilai kapasitas adsorpsi dinyatakan sebagai *qe* (mg adsorbat/mg adsorben). Berdasarkan data hasil variasi konsentrasi larutan, dilakukan perhitungan nilai *log Ce* dan *log qe*. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk menyusun grafik hubungan isoterm Freundlich. Berikut grafik model Freundlich yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.

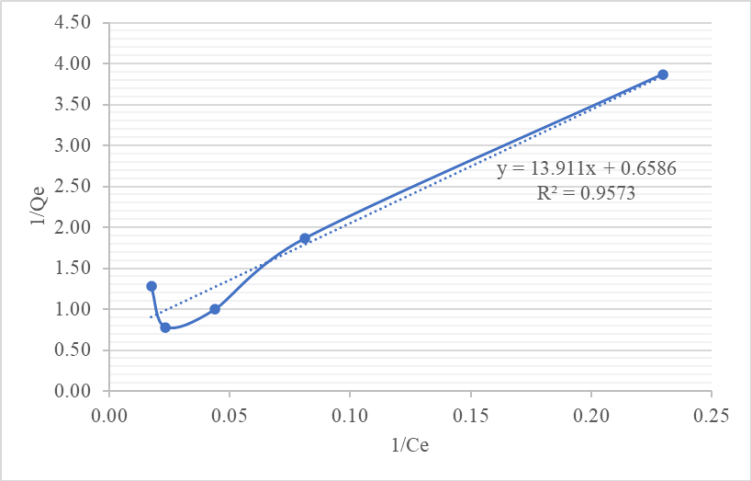


Gambar 4. 6 Model Isoterm Freundlich Adsorpsi Logam Cr oleh Adsorben Ampas Tebu

Berdasarkan Gambar 4.6 diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,771. Selain itu, nilai *slope* sebesar 0,5316 dan *intercept* sebesar -0,8601. Berdasarkan nilai-nilai regresi tersebut, diperoleh hasil pengolahan data yang menunjukkan bahwa nilai konstanta intensitas (n) adalah 1,88, sedangkan nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi (Kf) sebesar 0,138. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa terjadi proses adsorpsi ion logam Cr oleh adsorben berbasis ampas tebu.

4.3.2 Isoterm Langmuir

Model Langmuir berasumsi bahwa adsorpsi terjadi dalam satu lapisan (*monolayer*) pada permukaan homogen dan setiap situs adsorpsi hanya dapat mengikat satu molekul adsorbat (Sari et al., 2017). Berdasarkan data hasil pengujian variasi konsentrasi, dilakukan perhitungan nilai *1/Ce* dan *1/qe* untuk adsorben ampas tebu. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk menyusun grafik hubungan berdasarkan persamaan isoterm Langmuir. Berikut model isoterm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Model Isoterm Langmuir Adsorpsi Logam Cr oleh Adsorben Ampas Tebu

Berdasarkan Gambar 4.7, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,9573. Selain itu, nilai *slope* sebesar 13,911 dan *intercept* sebesar 0,6586. Berdasarkan data tersebut, diperoleh hasil perhitungan kapasitas adsorpsi maksimum (Qm) sebesar 1,52 mg/g, sedangkan nilai konstanta kesetimbangan Langmuir (KL) adalah 0,047. Jika dibandingkan dengan model Freundlich, nilai R^2 pada model Langmuir lebih tinggi, yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi ion Cr oleh ampas tebu lebih sesuai dengan model Langmuir.

4.3.3 Perbandingan Model Isoterm

Setelah melakukan pemodelan adsorben menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich, selanjutnya dilakukan perbandingan data pada kedua model. Nilai R^2 digunakan untuk menilai kualitas dan kemampuan model dalam merepresentasikan proses adsorpsi, dimana nilai R^2 yang baik adalah diantara 0,7 hingga mendekati 1 menunjukkan bahwa model memiliki kesesuaian yang lebih tinggi dengan kondisi aktual (Hariyanti dan Razif, 2019). Berikut perbandingan nilai isoterm yang disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Pemodelan Isoterm Langmuir dan Freundlich

Jenis Adsorben	***Langmuir***			***Freundlich***		
	Qm	**K_L**	**R_2**	**K_f**	**1/n**	**R_2**
Ampas Tebu	**1,52**	**0,047**	**0,957**	**0,138**	**1,88**	**0,771**

Sumber: Data Primer, 2025

Berdasarkan nilai R^2, dapat dikatakan bahwa model isoterm Langmuir lebih sesuai untuk menggambarkan proses adsorpsi ion logam Cr menggunakan adsorben dari ampas tebu. Model ini dipilih karena memiliki nilai R^2 tertinggi, yaitu sebesar 0,9573 dengan nilai Qm sebesar 1,52 mg/g. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa mekanisme adsorpsi Cr terjadi dalam bentuk lapisan tunggal (*monolayer*) pada permukaan adsorben yang bersifat homogen.

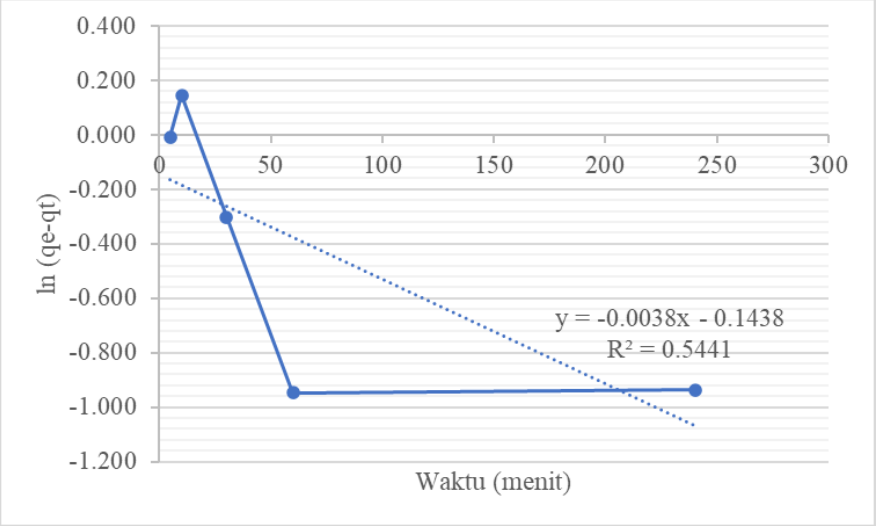
Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fitriani dan Widiasih (2015), kapasitas maksimum adsorpsi (Qm) dalam penelitian mereka tergolong lebih rendah. Fitriani dan Widiasih (2015), melaporkan nilai Qm sebesar 1,011 mg/g berdasarkan model Langmuir. Akan tetapi, nilai R^2 pada penelitian mereka tercatat lebih tinggi, yakni sebesar 0,997, meskipun selisihnya tidak signifikan dibandingkan dengan hasil penelitian ini. Sementara itu, penelitian oleh Hariyanti dan Razif (2019), menunjukkan bahwa nilai Qm berdasarkan model Langmuir sebesar 0,9 mg/g, yang berarti lebih rendah dari hasil yang diperoleh dalam penelitian ini. Dengan demikian, penggunaan adsorben ampas tebu menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi terhadap logam berat Cr, sekaligus menghasilkan kecocokan model yang baik terhadap data hasil pengujian.

4.4 Kinetika Adsorpsi

Tujuan studi kinetika adsorpsi adalah untuk mendapatkan pemahaman tentang jalur dan mekanisme reaksi yang terjadi selama proses adsorpsi. Analisis kinetika juga menunjukkan laju proses adsorpsi. Model *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua digunakan dalam penelitian ini untuk menerapkan pendekatan kinetika. Nilai koefisien determinasi (R^2) dapat digunakan untuk menilai kesesuaian masing-masing model dengan data hasil uji. Nilai R^2 yang mendekati satu menunjukkan bahwa model tersebut menunjukkan proses adsorpsi dengan baik.

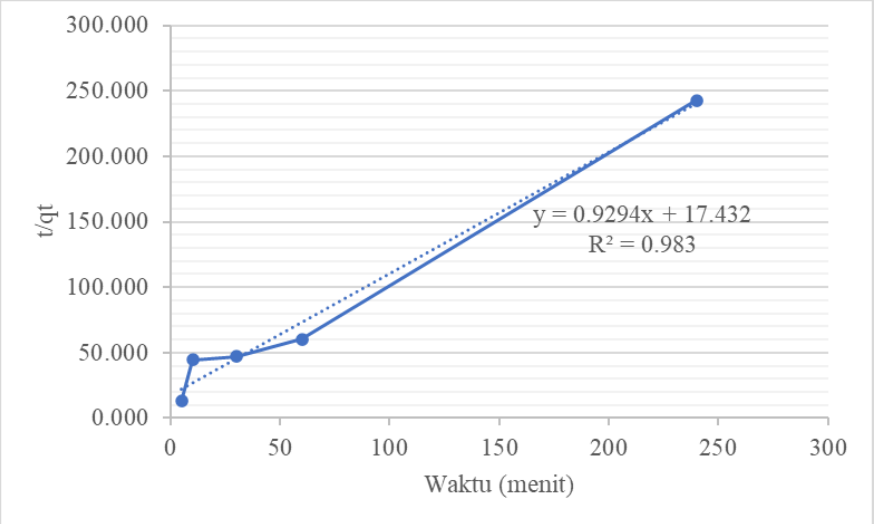
Model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu diperoleh berdasarkan persamaan Lagergen. Perhitungan untuk model ini telah dilakukan dan disajikan pada lampiran 4 dengan visualisasi grafik ditampilkan pada Gambar 4.8. Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,5441, kapasitas adsorpsi

kesetimbangan (q_e) sebesar 0,866 mg/g, serta konstanta laju adsorpsi (k_1) sebesar 0,0038 menit^{-1}.



Gambar 4. 8 Kinetika *Pseudo* Orde Satu

Model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua diperoleh berdasarkan persamaan yang dikembangkan oleh Ho dan Wang (2004). Perhitungan untuk model ini telah dilakukan dan disajikan pada Lampiran 4, dengan hasil visualisasi grafik ditampilkan pada gambar 4.9. Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,983, nilai q_e sebesar 1,076 mg/g, serta nilai k_2 sebesar 0,0496 g/mg.menit.



Gambar 4. 9 Kinetika *Pseudo* Orde Dua

Penentuan model kinetika yang paling sesuai untuk proses adsorpsi ion Cr menggunakan adsorben ampas tebu dilakukan dengan membandingan nilai R^2 dari masing-masing grafik, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Perbandingan Model Kinetika Adsorpsi

***Pseudo* Orde Satu**			***Pseudo* Orde Dua**		
R^2	**k_1 (menit^{-1})**	**q_e (mg/g)**	**R^2**	**k_2 (g/mg.m)**	**q_e (mg/g)**
0.5441	0.0038	0.866	0.983	0.0496	1.076

Sumber: Data Primer, 2025

Berdasarkan data pada Tabel 4.6, dapat dikatakan bahwa proses adsorpsi ion Cr mengikuti model kinetika *pseudo* orde dua, ditunjukkan oleh nilai R^2 yang paling tinggi diantara model lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi dipengaruhi oleh dua variabel yakni konsentrasi adsorbat dan karakteristik adsorben. Hasil ini sejalan dengan penelitian Worku et al. (2023), yang melaporkan bahwa proses adsorpsi ion Cr mengikuti model *pseudo* orde dua, dengan nilai R^2 sebesar 0,9891 dan konstanta laju adsorpsi k_2 sebesar $3{,}21 \times 10^{-5}$ g/mg.menit. Hasil serupa juga disampaikan oleh Amalia (2015), dimana adsorpsi ion Cr(VI) menggunakan karbon aktif dari biji trembesi mengikuti model *pseudo* orde dua dengan nilai R^2 sebesar 0,9760. Dalam penelitian tersebut diperoleh nilai k_2 sebesar 0,1042 g/mg·menit, yang relatif lebih tinggi dibandingkan konstanta pada model lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi berlangsung dengan kecepatan yang lebih tinggi dan efisien, serta mengindikasikan bahwa mekanisme yang terjadi bersifat kimisorspsi, yang melibatkan pertukaran atau pembagian elektron antara ion logam dengan permukaan adsorben.

4.5 Pengaruh Adsorpsi Cr dengan Penambahan Asam Humat

Selain mengamati pengaruh parameter pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan, penelitian ini juga mengkaji peningkatan efektifitas adsorben melalui modifikasi dengan penambahan asam humat. Modifikasi ini dilakukan untuk melihat sejauh mana kemampuan adsorben ampas tebu dalam menyerap ion Cr setelah ditambahkan asam humat. Pengujian dilakukan dengan variasi konsentrasi asam humat sebesar 5%, 10%, dan 20%, menggunakan volume larutan sebanyak 20 mL, massa adsorben 50 mg, dan waktu kontak selama 120

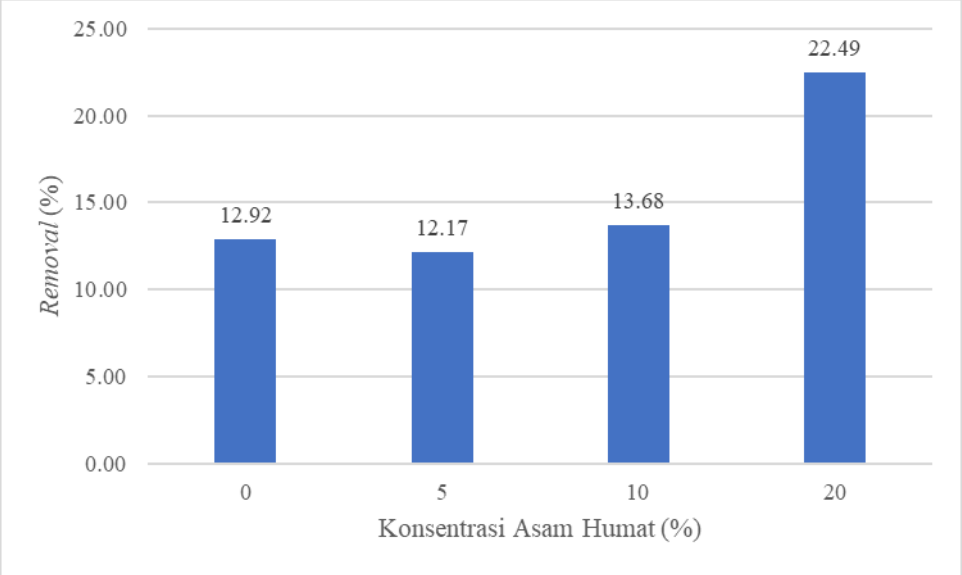
menit. Hasil pengujian mengenai pengaruh konsentrasi asam humat terhadap proses adsorpsi disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Larutan dengan Penambahan Asam Humat

Con AH (%)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C terserap (mg/L)	% Removal
5	11.670	10.250	1.42	12.17
10	10.890	9.400	1.49	13.68
20	11.470	8.890	2.58	22.49

Sumber: Data Primer, 2025

Data tersebut di plotting dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.10



Gambar 4. 10 Pengaruh Variasi Penambahan Asam Humat terhadap Adsorpsi Cr

Berdasarkan Gambar 4.10, terlihat bahwa peningkatan konsentrasi asam humat memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan efisiensi penjerapan ion Cr. Pada penambahan asam humat sebesar 5%, efisiensi penjerapan tercatat sebesar 12,17%, dengan konsentrasi Cr yang teradsorpsi sebesar 1,42 mg/L. Ketika konsentrasi asam humat ditingkatkan menjadi 10%, efisiensi adsorpsi naik menjadi 13,68%, dengan Cr terjerap sebesar 1,49 mg/L. Peningkatan efisiensi ini menunjukkan bahwa asam humat berperan dalam memperkuat interaksi antara ion Cr dengan permukaan adsorben. Efisiensi tertinggi diperoleh pada konsentrasi 20%, yakni mencapai 22,49%, dengan konsentrasi ion Cr yang teradsorpsi sebesar 2,58 mg/L. Peningkatan efisiensi ini berkaitan dengan perubahan karakteristik permukaan adsorben, di mana penambahan asam humat meningkatkan jumlah

gugus fungsional yang aktif dalam proses penjerapan (Firda dan Yuniarti, 2016). Sejalan dengan hal tersebut, studi oleh Nafi'ul Husna (2020), menjelaskan bahwa asam humat mampu membentuk kompleks stabil dengan ion Cr melalui mekanisme ikatan koordinasi antara gugus donor elektron dari asam humat dan kation logam, karena memiliki afinitas yang tinggi terhadap logam berat.

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam humat yang digunakan, maka semakin besar pula efisiensi penjerapan logam Cr. Hal ini terjadi karena asam humat juga dapat bertindak sebagai agen pengompleks logam didalam larutan, sehingga mempercepat perpindahan ion Cr menuju permukaan ampas tebu. Hasil ini menguatkan bahwa modifikasi adsorben dengan penambahan asam humat merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi dan sangat potensial diterapkan dalam pengolahan air yang mengandung logam berat.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penurunan konsentrasi logam berat Cr dalam air dengan memanfaatkan adsorben dari ampas tebu yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan diantaranya:

1. Adsorben ampas tebu memiliki efektivitas dalam menurunkan logam berat Cr dalam air, dimana adsorben ampas tebu menunujukkan kemampuan menyerap ion Cr dengan mekanisme adsorpsi yang berlangsung melalui interaksi gugus fungsi aktif seperti hidroksil (-OH) dan karbonil (C=O), serta didukung oleh struktur pori yang relatif terbuka dengan kapasitas adsorpsi mencapai 1,52 mg/g mengikuti model Langmuir.
2. Efisiensi adsorpsi tertinggi diperoleh pada kondisi pH 3, waktu kontak 1440 menit, dan konsentrasi awal Cr 5 mg/L, menunjukkan bahwa kondisi asam, durasi kontak yang cukup lama serta konsentrasi yang rendah mendukung interaksi optimal antara ion Cr dengan permukaan adsorben.
3. Penambahan asam humat terbukti dapat meningkatkan efisiensi proses adsorpsi karena keberadaan gugus fungsional dalam asam humat dapat memperluas jumlah situs aktif pada permukaan adsorben untuk mengikat ion Cr sehingga memperkuat interaksi antara ion logam dengan permukaan adsorben dimana pada konsentrasi tertinggi sebesar 20% mampu mereduksi kandungan logam Cr mencapai 22,5%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian di masa yang akan datang, antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan asam humat komersial, untuk pengembangan kedepan, disarankan melakukan ekstraksi asam humat dari bahan lokal seperti gambut, kompos, pupuk kandang atau limbah pertanian guna membandingkan efektivitasnya dalam proses adsorpsi.
2. Diperlukan pengujian menggunakan sampel air limbah industri nyata untuk mengevaluasi kinerja adsorben dalam kondisi yang lebih kompleks, bukan hanya pada larutan standar Cr.
3. Disarankan untuk melakukan pengujian menggunakan sistem kolom, agar efektivitas pengolahan air dapat diuji secara lebih aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

Afifah, A. Z. (2023). *Efektivitas Penurunan Kandungan Logam Cu dalam Larutan menggunakan Adsorben Ampas Tebu (Saccharum Officinarum)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).

Alfiani, A. (2017). *Studi Karakteristik Abu Terbang (Fly Ash) sebagai Adsorben* (Doctoral dissertation, Universitas Fajar).

Alif, M. R., Hartati, E., & Marganingrum, D. (2024). Penyisihan Krom Total (Cr-T) Menggunakan Bentonit Kalsium Aktivasi Kimia Pada Limbah Cair Industri Tekstil. *Prosiding FTSP Series*, 722-727.

Almuchty, A. P. (2020). *Uji Efektivitas Arang Aktif Kulit Rambutan (Nephelium lappaceum) Sebagai Adsorben Logam Besi (Fe) dan Timbal (Pb)* (Doctoral dissertation, UPT. PERPUSTAKAAN).

Amalia, N. U. R. F. I. T. R. I. A. (2015). Adsorpsi Cr (III) dan Cr (VI) Dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Trembesi (Samanea saman). *FMIPA, ITS Surabaya*.

Amir, A. N. A. (2024). *Distribusi Logam Berat Kromium (Cr) dan Tembaga (Cu) dalam Sedimen Permukaan di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar= Distribution of Heavy Metals Chromium (Cr) and Copper (Cu) in Surface Sediment in Soekarno-Hatta Port Makassar* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).

Apriliani, A. (2010). Pemanfaatan arang ampas tebu sebagai adsorben ion logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam air limbah.

Arif, A. R., Saleh, A., & Saokani, J. (2014). Adsorpsi Karbon Aktif dari tempurung kluwak. *Skripsi UIN ALAUDDIN*, *3*(2), 3909.

Aziz, M. (2024). *Perbandingan Efektifitas Adsorben Dari Cangkang Telur Ayam Ras Dan Bebek Pada Larutan Pewarna Methyl Orange* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry Fakultas Sains dan Teknologi).

Baunsele, A. B., & Missa, H. (2020). *Kajian kinetika adsorpsi metilen biru menggunakan adsorben sabut kelapa. Akta Kimia Indonesia, 5, 76–85*.

Dachriyanus, D. (2004). Analisis struktur senyawa organik secara spektroskopi. *LPTIK Universitas Andalas*.

Da Costa, M. (2019). *Studi penurunan kadar logam kromium (Cr) dalam limbah buatan elektroplating menggunakan metode presipitasi dan adsorpsi* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Deswanto, P. (2020). *Analisis Laboratorium Penggunaan Bubuk Aktif Ampas Tebu Sebagai Media Adsorpsi Minyak Pada Pengolahan Air Terproduksi* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).

Fadhilah, N. F., Wibowo, E. B. T., & Astuti, D. H. (2021). Pemanfaatan eceng gondok sebagai adsorben dengan perlakuan awal untuk menurunkan kadar logam berat Cu. *ChemPro*, *2*(1), 7-12.

Fatrial, F. A. (2024). *Karbon Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd) Pada Air Limbah Pabrik Semen Tonasa= Sugarcane Bagasse Carbon as Cadmium (Cd) Metal Adsorbent in Tonasa Cement Plant Wastewater* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).

Firda, F., Mulyani, O., & Yuniarti, A. (2016). Pembentukan, karakterisasi serta manfaat asam humat terhadap adsorbsi logam berat. *soilrens*, *14*(2).

Fitriani, I. N., & Widiasih, D. A. (2015). *Uji Keefektifan Adsorben Dari Ampas Tebu Berbentuk Effervescent Untuk Mereduksi Ion Logam Krom Dalam Limbah Cair Industri Batik*. (Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya).

Harahap, S. (2018). *Pemanfaatan ampas tebu sebagai adsorben zat warna methylene blue dan malachite green* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).

Hariyanti, P., & Razif, M. (2019, August). Pemanfaatan Ampas Tebu (Saccharum Officinarum L) Sebagai Adsorben Untuk Penurunan Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr6+) Pada Limbah Buatan Dengan Menggunakan Metode Batch. In *Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan dan Infrastruktur* (Vol. 1, No. 1, pp. 420-425).

Herdiningrat, R. A., Mardawati, E., Putri, S. H., & Yuliani, T. (2020). Karakterisasi Bioetanol Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Metode Pemurnian Adsorpsi (Adsorpsi Menggunakan Adsorben Berupa Zeolit). Jurnal Industri Pertanian, 2(1).

Ho, Y. S., & Wang, C. C. (2004). Pseudo-isotherms for the sorption of cadmium ion onto tree fern. *Process Biochemistry*, *39*(6), 761-765.

Husna, N. (2020) ‘Studi Adsorpsi Ion Cr(VI) Menggunakan Asam Humat dari Tanah Gambut dengan Bantuan Radiasi Sinar UV’, (Vi).

Ifa, L. (2018). Pemanfaatan sabut kelapa sebagai bioadsorben logam berat Pb (II) pada air limbah industri. *Journal Of Chemical Process Engineering (JCPE)*, *5*(1), 54-60.

Iksan, M. (2020). *Analisis Kandungan Logam Berat Kromium (Cr), Besi (Fe) dan Suseptibilitas Magnetik pada Rawa di Sekitar TPA Gampong Jawa* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry).

Indrayani, L., & Rahmah, N. (2018). Nilai parameter kadar pencemar sebagai penentu tingkat efektivitas tahapan pengolahan limbah cair industri batik. *Jurnal Rekayasa Proses*, *12*(1), 41-50.

Ischak, N. I., Fazriani, D., & Botutihe, D. N. (2021). Ekstraksi dan Karakterisasi Selulosa dari Limbah Kulit Kacang Tanah (Arachys hypogaea L.) Sebagai Adsorben Ion Logam Besi. *Jambura Journal of Chemistry*, *3*(1), 27-36.

Maelan, N. M., Dewi, N. M., Andini, S., Perdani, M. S., & Wahyuningtyas, A. (2024). Adsorpsi Logam Cu (II) dengan Hidrogel CMC/Pektin Komposisi 2: 1 Menggunakan Metode Freeze-Thaw. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, *10*(2), 126-134.

Male, Y. T., Kunu, P. J., Talaud, C. F., & Wattimury, J. J. (2022). Isolasi dan Karakterisasi Asam Humat dari Humus Tanah Asal Pulau Ambon dan Pulau Seram, Maluku. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, *12*(1), 53-61.

Masta, N. (2020). Buku materi pembelajaran scanning electron microscopy.

Miri, N. S. S. (2022). Equation Study of Langmuir and Freundlich Isotherms on Adsorption of Heavy Metal Fe (II) with Zeolite and Activated Carbon from Biomass: Review: Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, *2*(2), 58-71.

Murdiningsih, H., Angka, A. B., Katu, U., Patulak, A. M., & Damayanti, D. (2022). Penggunaan Karbon Aktif Kulit Buah Kelapa Muda pada Kolom Adsorpsi untuk Pengolahan Limbah Cair Pabrik Tahu. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (Vol. 7, No. 1, pp. 42-47).

Nurafriyanti, N., Prihatini, N. S., & Syauqiah, I. (2017). Pengaruh variasi pH dan berat adsorben dalam pengurangan konsentrasi Cr total pada limbah artifisial menggunakan adsorben ampas daun teh. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, *3*(1).

Nurhidayati, I., Mellisani, B., Puspita, F., & Putri, F. A. R. (2022). Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben. *Warta Akab*, *46*(1).

Pramesti, D. (2023). *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Buah Aren (Arenga pinnata) menggunakan Aktivator H2SO4 sebagai Penyerap Indigosol* (Doctoral dissertation, Kimia.

Pratiwi, D. Y. (2020). Dampak pencemaran logam berat (timbal, tembaga, merkuri, kadmium, krom) terhadap organisme perairan dan kesehatan manusia. *Jurnal Akuatek*, *1*(1), 59-65.

Purba, C. S. (2023). *Kinetika Adsorpsi Kadmium dengan Limbah Nanas* (Doctoral dissertation, Universitas BATANGHARI Jambi).

Purnamawat, F. S., Soeprobowati, T. R., & Izzati, M. (2015). Potensi Chlorella vulgaris Beijerinck Dalam Remediasi Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratorium. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, *16*(2), 102-113.

Purwaningsih, C. E. (2021). Pertumbuhan Sawi Hijau (Brassica juncea L.) pada Media dengan Pemberian Kompos Campuran Limbah Blotong, Ampas Tebu, dan Gulma Paitan (Tithonia diversifolia). *Widya Warta*, *1*.

Putra, A. Y., & Mairizki, F. (2024). Penyisihan Logam Besi dalam Sampel Air Tanah menggunakan Biji Buah Matoa (Pometia Pinnata) dengan Metode Biosorbsi. *Jurnal Zarah*, *12*(1), 33-39.

Rakhmania, C. D., Khaeronnisa, I., Ismuyanto, B., Nanda, J., & Himma, N. F. (2017). Adsorpsi ion kalsium menggunakan biomassa eceng gondok (eichhornia crassipes) diregenerasi HCl. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, *1*(1), 16-24.

Rihhadatul'Aisy, D. B. (2024). Efektivitas sampah organik sebagai adsorben logam kromium (Cr) dalam limbah cair industri tekstil: sistematika reviu. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 143-161.

Sari, M. F. P., Loekitowati, P., & Moehadi, R. (2017). Penggunaan karbon aktif dari ampas tebu sebagai adsorben zat warna procion merah dari industri songket. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, *7*(1), 37-40.

Sari, M. (2019). Aktivasi Karbon dari Limbah Crude Palm Oil (CPO) dan Impregnasi dengan Ion Cu2+ sebagai Adsorben Metilen Biru Dalam Larutan.

Sasongko, A., Yulianto, K., & Sarastri, D. (2017). Verifikasi metode penentuan logam kadmium (Cd) dalam air limbah domestik dengan metode spektrofotometri serapan atom. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, *6*(2), 228-237.

Setyowati, J. (2018). *Kinetika adsorpsi ion logam cu, cd dan mn dalam air limbah menggunakan adsorben serbuk gergaji kayu meranti* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).

Siswanta, D., & Sudiono, S. (2018). *Dekontaminasi Ion Logam Dengan Biosarben*. UGM PRESS.

Suraya, S. (2023). *Adopsi Limbah Logam pada Variasi Waktu dan Kecepatan Pengadukan dengan Arang Aktif* (Doctoral dissertation, Universitas Fajar).

Triana, G. Y. (2015). Pengaruh aktivasi dan dosis adsorben sekam padi untuk mengurangi konsentrasi methylene blue pada limbah cair industri tekstil. *Disertasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

Utami, F. (2018). Studi Pengolahan Air Bekas Pencucian Jeans Secara Fisik-Kimia Skala Laboratorium. *Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November*.

Worku, Z., Tibebu, S., Nure, J. F., Tibebu, S., Moyo, W., Ambaye, A. D., & Nkambule, T. T. (2023). Adsorption of chromium from electroplating wastewater using activated carbon developed from water hyacinth. *BMC chemistry*, *17*(1), 85.

Yuliastri, I. R. (2010). Penggunaan serbuk biji kelor (moringa oleifera) sebagai koagulan dan flokulan dalam perbaikan kualitas air limbah dan air tanah.

Yusuf, M. S. (2021). Pemanfaatan Ampas Tebu Saccharum officinarum sebagai Biosorben dan Aplikasinya Terhadap Penjerapan Ion Cr (VI) (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin

Zein, R., Nofita, D., Refilda, R., & Aziz, H. (2019). Penyerapan Timbal (II) dan Cadmium (II) di dalam Larutan Menggunakan Limbah Kulit Buah Kapuk. *Chimica et Natura Acta*, *7*(1), 37-45.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan

1. Preparasi 1 L Larutan Induk Cr 500 mg/L
   - Mr K_2CrO_4 = 194,19 g/mol
   - Ar Cr = 51,996 g/mol

$$= \frac{51{,}996\ g/mol}{194{,}19\ g/mol} \times 500\ mg$$
$$= 1867{,}355\ mg$$
$$= 1{,}86735\ gram$$

Jadi, 1,86735 gram K_2CrO_4 dilarutkan dalam 1000 mL aquades, akan menjadi larutan induk Cr 500 mg/L.

2. Pembuatan Larutan Standar Cr Seri 5-100 ppm

a) **5 ppm**

$m_1.v_1 = m_2.v_2$
$100\ ppm.v_1 = 5\ ppm\ .100\ mL$
$v_1 = 5\ mL$

b) **10 ppm**

$m_1.v_1 = m_2.v_2$
$100\ ppm.v_1 = 10\ ppm\ .100\ mL$
$v_1 = 10\ mL$

c) **20 ppm**

$m_1.v_1 = m_2.v_2$
$100\ ppm.v_1 = 20\ ppm\ .100\ mL$
$v_1 = 20\ mL$

d) **40 ppm**

$m_1.v_1 = m_2.v_2$
$100\ ppm.v_1 = 40\ ppm\ .100\ mL$
$v_1 = 40\ mL$

e) **60 ppm**

$m_1 . v_1 = m_2 . v_2$

$100\ ppm . v_1 = 60\ ppm\ .100\ mL$

$v_1 = 60\ mL$

f) **100 ppm**

$m_1 . v_1 = m_2 . v_2$

$500\ ppm . v_1 = 100\ ppm\ .500\ mL$

$v_1 = 100\ mL$

Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian

1. Preparasi Adsorben Ampas Tebu



Ampas Tebu yang sudah dicacah



Ampas Tebu yang sudah diblender



Proses pengayakan ampas tebu



Proses pengeringan dengan oven



Proses furnace



Ampas tebu setelah difurnace

2. Pengujian Adsorpsi



Proses pembuatan larutan standar



Proses pengadukan dengan orbital shaker



Proses setelah penyaringan



Proses penyiapan sampel sebelum SSA

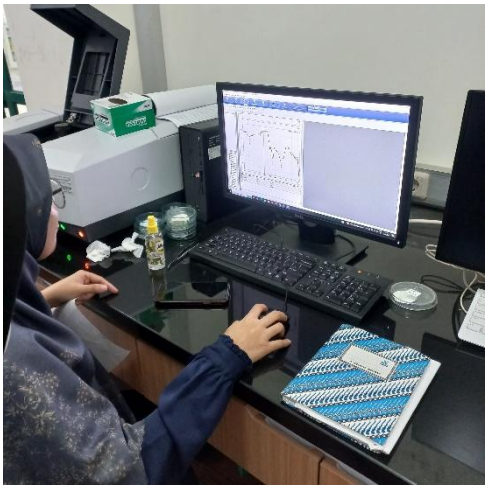


Proses pembacaan SSA

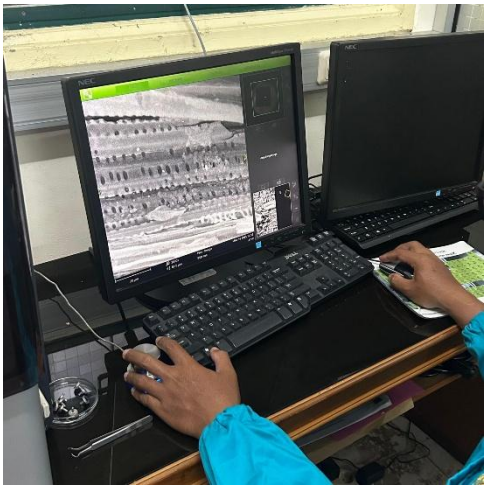


Proses pengerjaan

3. Karakterisasi Adsorben



Proses FTIR



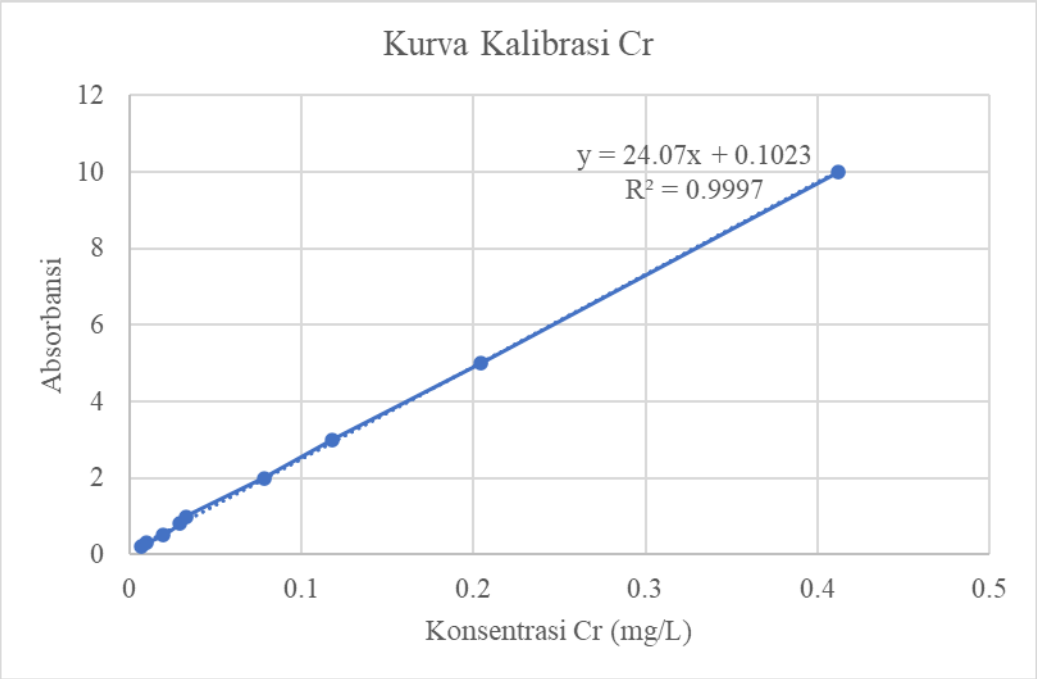
Proses SEM

Lampiran 3 Kurva Kalibrasi Standar

Kurva kalibrasi Cr merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara konsentrasi berbagai larutan standar Cr dengan nilai absorbansi yang diperoleh melalui pengukuran menggunakan alat SSA dengan panjang gelombang 357,9 nm, serta menggunakan bahan bakar campuran berupa gas asetilen dan udara.

Sample Label	Conc	Mean Abs
S1	0.2	0.0068
S2	0.3	0.0095
S3	0.5	0.0194
S4	0.8	0.029
S5	1	0.0324
S6	2	0.078
S7	3	0.1179
S8	5	0.204
S9	10	0.412
koef kolerasi		0.99983
slope (m)		0.041532
intersep ©		-0.0042140
Sy/x		0.002650918
LOD		0.191485644
LOQ		0.63828548

Dengan menghubungkan data konsentrasi (sumbu x) dan adsorbansi (sumbu y) sebagaimana tercantum pada tabel diatas, diperoleh grafik kalibrasi yang ditampilkan pada gambar grafik. Grafik tersebut menghasilkan persamaan regresi linear y = 24,07x + 0,1023 dengan nilai R^2 sebesar 0,9997. Persamaan ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung konsentrasi ion Cr pada tahap proses adsorpsi.



Lampiran 4 Data Pengujian Adsorpsi

1. Data Hasil Uji Adsorpsi Variasi pH

pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi (%)
3	9.269	6.853	2.416	26.07
5	9.269	7.978	1.291	13.93
7	9.269	8.239	1.030	11.11
9	9.269	8.382	0.887	9.57

Contoh perhitungan pH 3

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = \frac{Co-Ce}{Co} \times 100\%$$

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = \frac{9{,}269\frac{mg}{L} - 6{,}853\frac{mg}{L}}{9{,}269\frac{mg}{L}} \times 100\%$$

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = 26{,}07\%$$

2. Data Hasil Uji Adsorpsi Variasi Waktu Kontak

Waktu kontak (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C terserap (mg/L)	% Removal
5	15.230	14.260	0.97	6.37
10	15.230	14.670	0.56	3.68
30	15.230	13.630	1.60	10.51
60	15.230	12.750	2.48	16.28
240	15.230	12.760	2.47	16.22
1440	15.230	11.780	3.45	22.65

Contoh perhitungan waktu kontak 1440 menit

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = \frac{Co-Ce}{Co} \times 100\%$$

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = \frac{15{,}230\frac{mg}{L} - 11{,}780\frac{mg}{L}}{15{,}230\frac{mg}{L}} \times 100\%$$

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = 22{,}65\%$$

3. Data Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Larutan

Konsentrasi Rencana (mg/L)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C terserap (mg/L)	% Removal
5	5.000	4.354	0.65	12.92
10	13.650	12.31	1.34	9.82
20	25.230	22.73	2.50	9.91
40	45.830	42.63	3.20	6.98
60	59.240	57.29	1.95	3.29

Contoh perhitungan konsentrasi 5ppm

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = \frac{Co-Ce}{Co} \times 100\%$$

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = \frac{5{,}000\frac{mg}{L} - 4{,}354\frac{mg}{L}}{5{,}000\frac{mg}{L}} \times 100\%$$

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = 12{,}92\%$$

4. Data Hasil Uji Adsorpsi Setelah Penambahan Asam Humat

Con AH (%)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C terserap (mg/L)	% Removal
5	11.670	10.250	1.42	12.17
10	10.890	9.400	1.49	13.68
20	11.470	8.890	2.58	22.49

Contoh perhitungan penambahan AH 20%

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = \frac{Co-Ce}{Co} \times 100\%$$

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = \frac{11{,}470\frac{mg}{L} - 8{,}890\frac{mg}{L}}{11{,}470\frac{mg}{L}} \times 100\%$$

$$\%\ ion\ Cr\ teradsorpsi = 22{,}49\%$$

5. Perhitungan Model Isoterm
   a. Isoterm Langmuir

Konsentrasi	Konsentrasi Awal (Co)	Konsentrasi Akhir (Ce)	Penyisihan (%)	Selisih Delta (ΔC)	Qe (mg/g)	1/Qe	1/Ce
5	5.00	4.35	12.92	0.65	0.26	3.87	0.23
10	13.65	12.31	9.82	1.34	0.54	1.87	0.08
20	25.23	22.73	9.91	2.50	1.00	1.00	0.04
40	45.83	42.63	6.98	3.20	1.28	0.78	0.02
60	59.24	57.29	3.29	1.95	0.78	1.28	0.02

Slope	Intercept	Q max (mg/g)	KL	R_2
13.911	0.6586	1.52	0.047	0.9573

- Perhitungan nilai Q_{max}

$$Q_{max} = \frac{1}{slope}$$

$$Q_{max} = \frac{1}{13{,}911}$$

$$Q_{max} = 1{,}52\ mg/g$$

- Perhitungan nilai K_L

$$K_L = \frac{1}{slope \times Q_{\max}}$$

$$K_L = \frac{1}{13{,}911 \times 1{,}52}$$

$$K_L = 0{,}047$$

b. Isoterm Freundlich

Konsentrasi	Konsentrasi Awal (Co)	Konsentrasi Akhir (Ce)	Penyisihan (%)	Selisih Delta (ΔC)	Qe (mg/g)	Ln Qe	Ln Ce	Log Qe	Log Ce
5	5.00	4.35	12.9	0.65	0.26	-1.35	1.5	-0.59	0.64
10	13.65	12.31	9.8	1.34	0.54	-0.62	2.5	-0.27	1.09
20	25.23	22.73	9.9	2.50	1.00	0.00	3.1	0.00	1.36
40	45.83	42.63	7.0	3.20	1.28	0.25	3.8	0.11	1.63
60	59.24	57.29	3.3	1.95	0.78	-0.25	4.0	-0.11	1.76

Slope	Intercept	1/n	Kf	R_2	ln kf
0.5316	-0.8601	1.88	0.138	0.7710	-1.98

- Perhitungan nilai 1/n

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

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{0{,}5316}$$

$$\frac{1}{n} = 1{,}88$$

- Perhitungan nilai K_f

$$K_f = 10^{intercept}$$

$$K_f = 10^{-0,8601}$$

$$K_f = 0,138$$

6. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

Perhitungan kinetika dilakukan berdasarkan data hasil adsorpsi pada variasi waktu kontak yang disajikan pada Lampiran 4 point 2.

a. *Pseudo* Orde Satu

t (menit)	Co(Awal) mg/L	Ce (Akhir) mg/L	% Adsorpsi	qe mg/g	qt mg/g	qe-qt mg/g	ln(qe-qt)
5	15.23	14.26	6.37	1.38	0.39	0.99	-0.008
10	15.23	14.67	3.68	1.38	0.22	1.16	0.145
30	15.23	13.63	10.51	1.38	0.64	0.74	-0.301
60	15.23	12.75	16.28	1.38	0.99	0.39	-0.947
240	15.23	12.76	16.22	1.38	0.99	0.39	-0.936
1440	15.23	11.78	22.65	1.38	1.38	0.00	#NUM!

Slope	Intercept	k1 (menit-1)	qe (mg/g)	R_2
-0.0038	-0.1438	0.0038	0.866	0.5441

Contoh perhitungan waktu kontak 5 menit

- Kapasitas Adsorpsi pada waktu setimbang 1440 menit (q_e)

$$q_e = \frac{(Co-Ce) \times volume\ (L)}{massa\ (gr)}$$

$$q_e = \frac{(15,23 - 11,78) \times 0,02\ L}{0,05\ gr}$$

$$q_e = 1,38\ mg/g$$

- Kapasitas adsorpsi pada waktu t-5 menit (q_t)

$$q_e = \frac{(Co-Ce) \times volume\ (L)}{massa\ (gr)}$$

$$q_e = \frac{(15,23 - 14,26) \times 0,02\ L}{0,05\ gr}$$

$$q_e = 0,39\ mg/g$$

- Konstanta laju persamaan (k_1)

$$k_1 = -slope$$

$$k_1 = -(-0,0038)$$

$$k_1 = 0,0038$$

- Kapasitas adsorpsi pada saat setimbang (q_e)

$$q_e = EXP(intercept)$$

$$q_e = EXP(-0{,}1438)$$

$$q_e = 0{,}866\ mg/g$$

b. *Pseudo* Orde Dua

t (menit)	Co(Awal) mg/L	Ce (Akhir) mg/L	% Adsorpsi	Co-Ce mg/L	qt (mg/g)	t/qt
5	15.23	14.26	6.37	0.97	0.39	12.887
10	15.23	14.67	3.68	0.56	0.22	44.643
30	15.23	13.63	10.51	1.60	0.64	46.875
60	15.23	12.75	16.28	2.48	0.99	60.484
240	15.23	12.76	16.22	2.47	0.99	242.915
1440	15.23	11.78	22.65	3.45	1.38	1043.478

Slope	Intercept	k2 (g/mg.m)	qe (mg/g)	R_2
0.9294	17.432	0.0496	1.076	0.983

Contoh perhitungan waktu kontak 5 menit

- Kapasitas adsorpsi pada waktu t-5 menit (q_t)

$$q_e = \frac{(Co-Ce) \times volume\ (L)}{massa\ (gr)}$$

$$q_e = \frac{(15{,}23 - 14{,}26) \times 0{,}02\ L}{0{,}05\ gr}$$

$$q_e = 0{,}39\ mg/g$$

- Konstanta laju persamaan (k_2)

$$k_2 = \frac{1}{interept \times qe^2}$$

$$k_2 = \frac{1}{17{,}432 \times 1{,}076^2}$$

$$k_2 = 0{,}00496 \frac{g}{mg}.m$$

- Kapasitas adsorpsi pada saat setimbang (q_e)

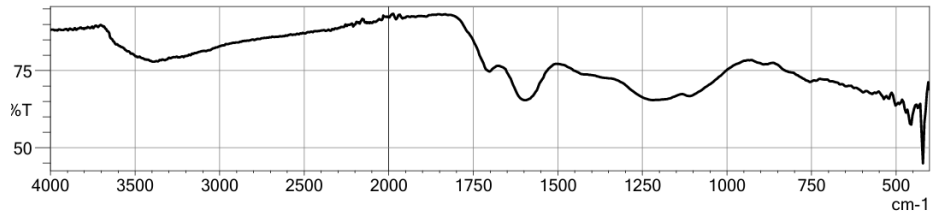
$$q_e = \frac{1}{slope}$$

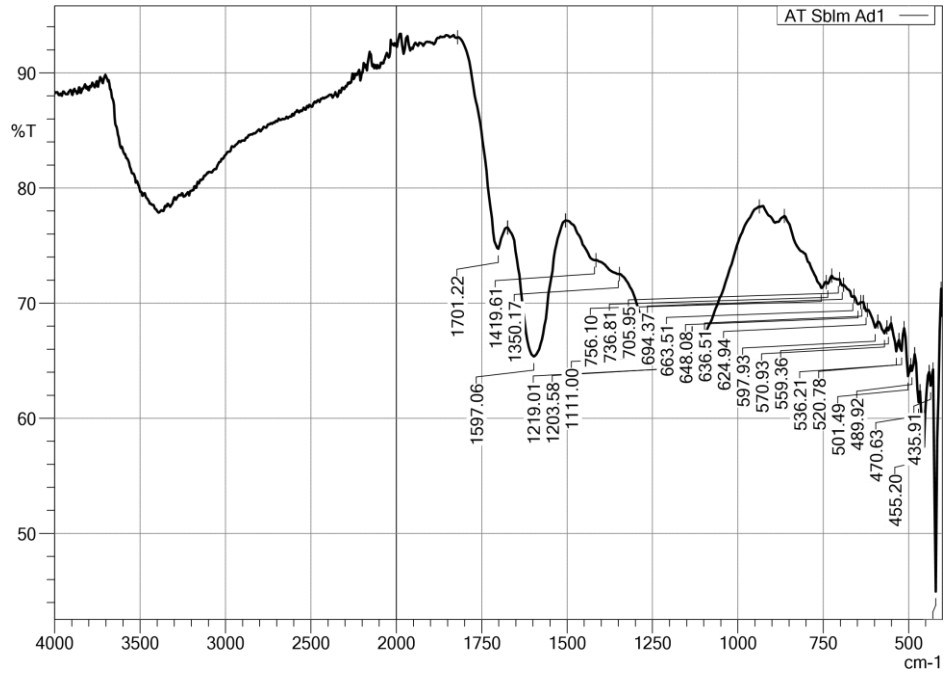
$$q_e = \frac{1}{0{,}9294}$$

$$q_e = 1{,}076\ mg/g$$

Lampiran 5 Data Karakteristik FTIR

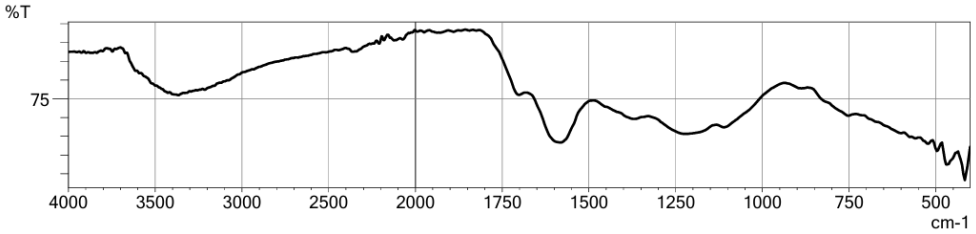
1. Adsorben Ampas Tebu Sebelum Adsorpsi

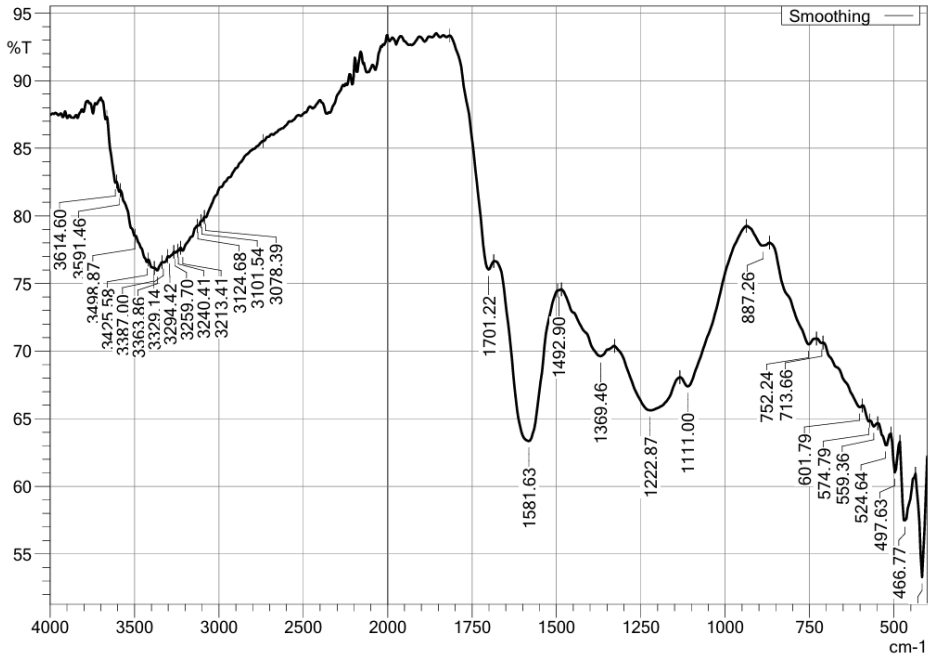




	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	420.48	44.95	21.63	428.20	405.05	950.589	204.124	
2	435.91	62.84	1.25	439.77	428.20	422.002	6.900	
3	455.20	57.51	5.55	466.77	439.77	1058.498	64.354	
4	470.63	61.39	1.76	482.20	466.77	568.198	11.946	
5	489.92	64.12	0.81	493.78	482.20	409.325	5.248	
6	501.49	63.67	2.23	513.07	493.78	670.941	19.295	
7	520.78	65.85	1.46	528.50	513.07	514.851	10.416	
8	536.21	65.81	1.47	551.64	528.50	766.587	14.910	
9	559.36	67.65	0.35	563.21	551.64	371.577	2.047	
10	570.93	67.37	0.66	590.22	563.21	867.610	7.334	
11	597.93	67.89	0.76	621.08	590.22	967.243	7.563	
12	624.94	69.31	0.32	632.65	621.08	352.087	1.965	
13	636.51	70.06	0.02	640.37	632.65	230.913	0.087	
14	648.08	69.90	0.40	659.66	640.37	576.016	4.162	
15	663.51	70.54	0.21	690.52	659.66	893.271	1.639	
16	694.37	71.52	0.24	702.09	690.52	327.846	1.913	
17	705.95	72.07	0.06	725.23	702.09	644.869	2.184	
18	736.81	71.68	0.28	740.67	725.23	432.580	2.162	
19	756.10	71.32	1.22	864.11	740.67	3203.949	80.707	
20	1111.00	66.72	1.95	1134.14	937.40	5474.854	140.988	
21	1203.58	65.50	0.10	1207.44	1134.14	2478.233	18.495	
22	1219.01	65.46	0.63	1346.31	1207.44	4363.921	60.933	
23	1350.17	72.52	0.07	1415.75	1346.31	1868.161	2.586	
24	1419.61	73.73	0.16	1504.48	1415.75	2173.188	-3.981	
25	1597.06	65.37	11.48	1674.21	1504.48	4892.933	968.742	
26	1701.22	74.71	4.91	1820.80	1674.21	2384.291	161.239	

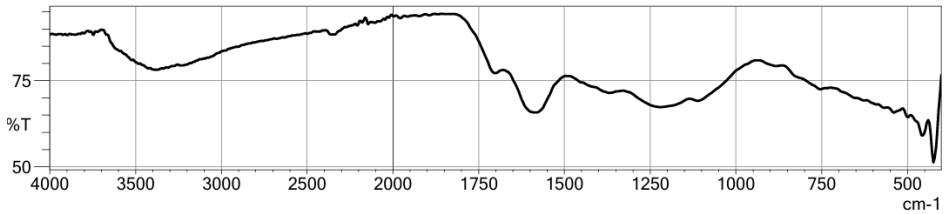
2. Adsorben Ampas Tebu Setelah Adsorpsi

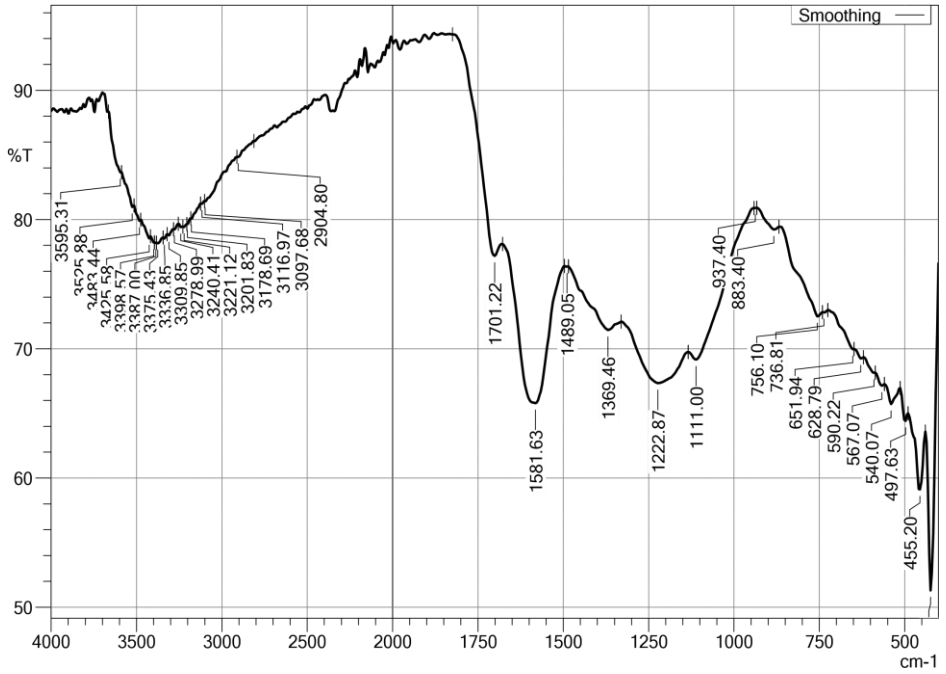




	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	416.62	53.29	8.35	435.91	401.19	1476.678	142.520	
2	466.77	57.49	5.02	482.20	435.91	1883.126	129.415	
3	497.63	61.03	2.62	509.21	482.20	1016.890	33.978	
4	524.64	63.05	1.17	547.78	509.21	1398.650	21.020	
5	559.36	64.42	0.35	570.93	547.78	819.009	3.526	
6	574.79	64.80	0.25	594.08	570.93	801.661	1.355	
7	601.79	65.85	0.44	709.80	594.08	3696.520	27.896	
8	713.66	70.60	0.09	729.09	709.80	564.494	0.845	
9	752.24	70.49	1.62	867.97	729.09	3679.070	134.767	
10	887.26	77.80	0.56	937.40	867.97	1502.108	18.796	
11	1111.00	67.38	2.00	1134.14	937.40	5349.802	168.229	
12	1222.87	65.62	3.52	1327.03	1134.14	6326.616	392.175	
13	1369.46	69.62	1.90	1485.19	1327.03	4521.226	168.822	
14	1492.90	74.49	0.04	1496.76	1485.19	294.859	0.167	
15	1581.63	63.34	12.13	1685.79	1496.76	5759.444	1142.553	
16	1701.22	76.03	2.59	1816.94	1685.79	1966.425	-1.176	
17	3078.39	79.90	0.16	3086.11	2738.92	5853.326	-139.981	
18	3101.54	79.62	0.07	3105.39	3086.11	391.051	0.970	
19	3124.68	79.27	0.06	3128.54	3105.39	477.017	1.353	
20	3213.41	77.43	0.47	3228.84	3128.54	2182.654	22.179	
21	3240.41	77.41	0.07	3244.27	3228.84	347.374	0.715	
22	3259.70	77.28	0.09	3267.41	3244.27	524.508	1.044	
23	3294.42	76.95	0.14	3302.13	3267.41	795.683	3.363	
24	3329.14	76.56	0.11	3336.85	3302.13	809.968	4.333	
25	3363.86	75.98	0.36	3383.14	3336.85	1101.337	7.293	
26	3387.00	76.15	0.08	3417.86	3383.14	821.733	4.795	
27	3425.58	76.59	0.37	3495.01	3417.86	1738.186	14.578	
28	3498.87	78.53	0.16	3583.74	3495.01	1764.312	9.038	
29	3591.46	81.80	0.31	3606.89	3583.74	414.911	3.321	
30	3614.60	82.46	0.72	3664.75	3606.89	902.550	30.528	

3. Adsorben Ampas Tebu Setelah Penambahan Asam Humat





	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	424.34	51.31	17.48	439.77	401.19	1525.243	371.402	
2	455.20	59.11	4.90	489.92	439.77	1901.025	110.275	
3	497.63	64.42	1.24	513.07	489.92	804.132	16.835	
4	540.07	65.73	1.42	559.36	513.07	1552.380	30.401	
5	567.07	67.15	0.37	586.36	559.36	877.543	5.633	
6	590.22	68.14	0.14	621.08	586.36	1088.396	3.320	
7	628.79	69.24	0.29	648.08	621.08	822.018	2.850	
8	651.94	69.97	0.16	725.23	648.08	2189.405	-10.154	
9	736.81	72.81	0.06	740.67	725.23	418.700	0.756	
10	756.10	72.52	1.12	867.97	740.67	3112.878	75.428	
11	883.40	79.24	0.56	933.55	867.97	1320.447	20.475	
12	937.40	80.89	0.01	941.26	933.55	147.394	0.049	
13	1111.00	69.17	1.92	1134.14	941.26	4909.630	150.109	
14	1222.87	67.34	3.47	1330.88	1134.14	6102.798	381.966	
15	1369.46	71.46	1.71	1485.19	1330.88	4131.167	155.187	
16	1489.05	76.35	0.03	1496.76	1485.19	273.500	0.309	
17	1581.63	65.78	11.42	1678.07	1496.76	5188.659	1065.449	
18	1701.22	77.19	3.48	1824.66	1678.07	2062.139	41.290	
19	2904.80	84.85	0.10	2912.51	2812.21	1456.295	-1.617	
20	3097.68	81.42	0.09	3101.54	2912.51	3181.124	-4.670	
21	3116.97	81.21	0.09	3124.68	3101.54	432.860	0.887	
22	3178.69	80.07	0.10	3182.55	3124.68	1121.249	2.488	
23	3201.83	79.65	0.07	3205.69	3182.55	466.404	0.615	
24	3221.12	79.43	0.10	3228.84	3205.69	474.179	0.975	
25	3240.41	79.41	0.14	3255.84	3228.84	553.373	1.528	
26	3278.99	79.24	0.07	3282.84	3255.84	555.686	1.058	
27	3309.85	78.77	0.22	3321.42	3282.84	810.346	2.748	
28	3336.85	78.53	0.17	3344.57	3321.42	494.152	2.208	
29	3375.43	78.16	0.12	3383.14	3344.57	835.373	2.448	
30	3387.00	78.18	0.03	3394.72	3383.14	252.315	0.216	
31	3398.57	78.22	0.09	3417.86	3394.72	499.674	1.238	
32	3425.58	78.55	0.33	3475.73	3417.86	1203.448	7.910	
33	3483.44	79.90	0.30	3514.30	3475.73	758.896	7.784	
34	3525.88	80.98	0.51	3587.60	3514.30	1305.517	13.941	
35	3595.31	83.64	0.50	3664.75	3587.60	1137.331	58.864	

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Sahrul Ramadhan, lahir di Waingapu, NTT pada tanggal 26 Oktober 2003, merupakan anak ketiga dari pasangan Ahyar Ishaka dan Rukayah. Penulis menempuh pendidikan menengah pertama di MTsN Sumba Timur pada Tahun 2015 hingga 2018 dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Waingapu pada Tahun 2018 hingga 2021. Pada Tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII).

Selama masa studi, penulis tidak hanya menekuni bidang akademik, tetapi juga aktif dalam kegiatan organisasi dan pengembangan diri. Penulis bergabung dalam Tim Kerja Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) UII, serta dipercaya menjabat sebagai Ketua *Zero Waste* dan Dusun Binaan. Selain itu, penulis berkontribusi dalam berbagai kegiatan kampus, seperti *Organizing Committee* Pekan Ta'aruf (PEKTA) UII 2023, dan Lintas Lingkungan 2022. Penulis juga pernah bergabung dalam Tim Laboran Praktikum Kimia Dasar. Penulis juga terpilih sebagai delegasi dari Yogyakarta dalam kegiatan *Youth Peatland Camp* 2024. Di sisi praktik lapangan, penulis menyelesaikan kerja praktek di PERUMDA Paljaya, Jakarta, pada Divisi Operasi dan Pemeliharaan, dengan fokus pada pengolahan air limbah domestik dan B3 (Maret-April 2024).

Skripsi ini disusun sebagai bagian dari tugas akhir. Seluruh pengalaman akademik dan non-akademik tersebut telah membentuk penulis menjadi pribadi yang tekun, kolaboratif, dan berkomitmen untuk berkarya secara profesional di bidang teknik lingkungan.

Penulis dapat di hubungi melalui email: rulramadhan26@gmail.com