

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI LIMBAH KULIT PISANG TANDUK (*MUSA PARASIACA*) MENJADI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN LOGAM KADMIUM (Cd)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**YULIYANTI
19513153**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI LIMBAH KULIT PISANG TANDUK
(*MUSA PARASIACA*) MENJADI KARBON AKTIF
SEBAGAI ADSORBEN LOGAM KADMIUM (Cd)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



YULIYANTI
19513153

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

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

NIK. 155130112

Tanggal: 15/8/2023

Eko Siswovo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

NIK. 025100406

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



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

NIK. 045130401

Tanggal: 18/10/2023

HALAMAN PENGESAHAN

MODIFIKASI LIMBAH KULIT PISANG TANDUK (*MUSA PARASIACA*) MENJADI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN LOGAM KADMIUM (Cd)

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Senin
Tanggal: 18 Desember 2023

Disusun Oleh:

YULIYANTI
19513153

Tim Penguji:

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

Ir. Eko Siswovo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

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

()
()
()

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

PERNYATAAN

Dengan ini saya 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 adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian 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. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 18 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Yuliyanti

NIM:19513153

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

PRAKATA

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2023 hingga Agustus 2023 ini adalah **“Modifikasi Limbah Kulit Pisang Tanduk (*Musa Parasiaca*) menjadi Karbon Aktif sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd)”**.

Penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bimbingan, motivasi, doa serta kerja sama dari beberapa pihak. Penulis mengucapkan terimakasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala bentuk kebaikan, nikmat – Nya, hidayah – Nya, petunjuk – Nya dan kemudahan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua penulis, Bapak **Suhla** dan Ibu **Marni** dengan berbagai limpahan kasih sayang, do'a, dukungan, motivasi, semangat dan dorongan kepada penulis dengan tiada henti – hentinya.
3. Ibu **Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.** selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir yang senantiasa membimbing, mendampingi, memberikan ilmu, saran memberikan semangat dan motivasi dalam penelitian dan penyusunan laporan kepada penulis.
4. Bapak **Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.** selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan saran, ide dan memberikan semangat pada saat penyusunan laporan tugas akhir bagi penulis.
5. Ibu **Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.** selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia sekaligus dosen penguji Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, saran dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen dan staff pegawai Jurusan Teknik Lingkungan yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuan kepada penulis.
7. Seluruh Laboran yang telah memberikan bantuan dalam proses penelitian di laboratorium kualitas lingkungan.

8. Kakak dan adik penulis, Deni Hermawan, Amalia Suci, Lisna Wati, Yaya, Melianti, dan Tita Priatini yang selalu mendukung dan menemani penulis dalam suka dan duka pada masa perkuliahan.
9. Muhammad Rizal yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman – teman seperjuangan kos amarta yang selalu memberikan ide dan support dan selalu menemani penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Teman – teman dengan topik adsorpsi yang telah kebersamai, memberikan ide dan saran pada proses penelitian dan penulisan tugas akhir ini.
12. Seluruh pihak yang terkait dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Dengan demikian, semoga seluruh pihak yang terlibat dalam proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini dibalas dengan kebaikan oleh Allah SWT dan penulis sangat menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih Belum mendekati sempurna, sehingga penulis berharap untuk kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis serta pembaca. Penulis mengucapkan mohnon maaf apabila masih terdapat kesalahan dalam penyusunan tugas akhir ini baik kata maupun kalimat. Terimakasih atas perhatiannya.

Wassalamu,alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 18 Desember 2023



Yuliyanti

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ABSTRAK

YULIYANTI. “Modifikasi Limbah Kulit Pisang Tanduk (*Musa Parasiaca*) menjadi karbon aktif sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium”. Dibimbing oleh Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Pencemaran air di Indonesia banyak terjadi salah satunya dengan adanya pengembangan sektor industri. Logam berat merupakan salah satu parameter pencemar yang sering ditemukan di perairan. Salah satunya adalah logam kadmium yang termasuk logam non esensial yang memiliki tingkat toksisitas tinggi yang memiliki sifat karsinogenik dengan paparan jangka panjang. Salah satu dalam pengolahan air mengandung logam berat yang efektif dan relatif murah adalah dengan metode adsorpsi dengan adsorben kulit pisang tanduk yang dimodifikasi menjadi karbon aktif. Proses adsorpsi dapat menyerap ion – ion logam pada permukaan adsorben. Kulit pisang tanduk mempunyai kandungan senyawa selulosa, hemiselulosa dan senyawa karbon sebanyak 96% dan menjadi 98% setelah direaksikan dengan senyawa aktivator HNO₃ 1%. Tujuan pada penelitian ini untuk mengetahui efektifitas penyisihan karbon aktif dari kulit pisang tanduk terhadap ion Cd²⁺ pada larutan artifisial pada beberapa parameter seperti massa (20,30,40,50 mg), pH (3,5,7,9) waktu kontak (5,10,20,30,60,120,180 menit), konsentrasi (10,30,50,100,150,200,250 ppm) dan diaplikasikan ke sampel limbah batik dengan kecepatan pengadukan pada proses adsorpsi 150 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa optimum sebesar 50 mg, pH 5, waktu kontak pengadukan 120 menit, konsentrasi larutan logam kadmium 30 ppm dan kapasitas adsorpsi 58,82 mg/g . Pada perbandingan adsorben aktivasi dan non aktivasi didapatkan efisiensi penyisihan ion logam Cd²⁺ sebesar 95,67% dan 57,68%. Sedangkan, efisiensi penyisihan ion logam kadmium pada limbah batik sebesar 44,92%, 32,46%. Pada hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa karbon aktif dari kulit pisang tanduk dapat dijadikan sebagai media penjerap untuk menyisihkan ion logam kadmium dengan metode yang relatif mudah dan biaya yang relatif murah.

Kata kunci: Adsorpsi, kadmium (Cd), karbon aktif, pisang tanduk

ABSTRACT

YULIYANTI. "*Modification of horn banana peel waste (Musa Parasiaca) to become an adsorbent for heavy metal cadmium*". Supervised by Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. and Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Water pollution in Indonesia occurs a lot one of them with the development of the industrial sector. Heavy metals are one of the pollutant parameters that are often found in waters. One of them is cadmium metal which is a non-essential metal that has a high level of toxicity which has carcinogenic properties with long-term exposure. One of the most effective and relatively inexpensive ways to treat water containing heavy metals is the adsorption method using horn banana peel adsorbents modified into activated carbon. The adsorption process can adsorb metal ions on the adsorbent surface. Banana horn peel contains 96% cellulose, hemicellulose and carbon compounds and becomes 98% after reacting with 1% HNO₃ activator compound. The aim of this study was to determine the effectiveness of removal of activated carbon from horn banana peels against Cd²⁺ ions in artificial solutions on several parameters such as mass (20,30,40,50 mg), pH (3,5,7,9) contact time (5 ,10,20,30,60,120,180 minutes), concentration (10,30,50,100,150,200,250 ppm) and applied to batik waste samples with a stirring speed at 150 rpm adsorption process. The results showed that the optimum mass was 50 mg, pH 5, contact time of stirring was 120 minutes and the concentration of cadmium metal was 30 ppm. In the comparison of activated and non-activated adsorbents, the removal efficiency of Cd²⁺ metal ions was 95.67% and 57.68%. Meanwhile, the efficiency of removal of cadmium metal ions in batik waste is 44,92%, 32,46%. Based on the experimental results, it can be concluded that activated carbon from horn banana peels can be used as an adsorbent medium to remove cadmium metal ions with a relatively easy method and relatively inexpensive cost.

Keywords: Activated carbon, Adsorption, Cadmium, horn plantain

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumasan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Hipotesis Penelitian	4
1.6. Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pencemaran Air.....	5
2.2. Logam kadmium (Cd).....	5
2.3. Adsorpsi	6
2.4. Kulit Pisang Tanduk	7
2.5. Kinetika Adsorpsi	8
2.6. Isoterm Adsorpsi.....	9
2.7. Penelitian Terdahulu	9
BAB III METODE PENELITIAN	12
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	12
3.2. Alat dan Bahan.....	12
3.3. Prosedur Penelitian	12
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	14
3.4.1. Studi Literatur.....	14
3.4.2. Sampling Air Limbah pada Industri Batik	14
3.4.3. Preparasi Adsorben.....	14
3.4.4. Aktivasi Adsorben	15
3.4.5. Karakterisasi Adsorben.....	16
3.4.6. Proses Adsorpsi	16
3.4.7. Penentuan Massa Adsorben Optimum	16
3.4.8. Penentuan pH Optimum	17
3.4.9. Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	17

3.4.10.	Penentuan Konsentrasi Larutan Optimum.....	18
3.4.11.	Perbandingan Adsorben Aktivasi dan Non Aktivasi	19
3.4.12.	Aplikasi pada Limbah Batik	20
3.5.	Prosedur Analisis Data.....	22
3.5.1.	Efisiensi Penyisihan.....	22
3.5.2.	Isoterm Adsorpsi	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1.	Karakterisasi Adsorben.....	25
4.1.1	Fourier Transform Infra-Red (FTIR).....	25
4.1.2	Scanning Electron Microscopy (SEM).....	29
4.2.	Hasil Uji Adsorpsi	31
4.2.1	Hasil Uji Variasi Massa.....	31
4.2.2	Hasil Uji pH Optimum	32
4.2.3	Hasil Uji Waktu Kontak Optimum.....	34
4.2.4	Kinetika Adsorpsi.....	35
4.2.5	Hasil Uji Konsentrasi Optimum	38
4.2.6	Penentuan Model Isoterm Adsorpsi	39
4.2.7	Perbandingan Adsorben Aktivasi dan Non Aktivasi.....	42
4.2.8	Aplikasi Adsorben terhadap Limbah Batik	43
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		45
5.1.	Simpulan	45
5.2.	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....		46
LAMPIRAN		54

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian	14
Tabel 4. 1 Hasil Uji FTIR Karbon Aktif dari Kulit Pisang Tanduk	26
Tabel 4. 2 Hasil Analisis FTIR pada Karbon Aktif setelah Adsorpsi	28
Tabel 4. 3 Perbandingan nilai R^2 dan K pada Kinetika Adsorpsi	37
Tabel 4. 4 Perbandingan nilai R^2 pada Model Isoterm Langmuir dan Freundlich.....	42
Tabel 4. 5 Data Hasil Analisis Perbandingan Adsorben Aktivasi dan Non Aktivasi terhadap Penyisihan Ion Kadmium.....	42
Tabel 4. 6 Data Hasil Analisis Penyisihan Ion Logam Cd^{2+} dalam Limbah Batik	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 3. 2 Langkah Pembuatan Adsorben.....	15
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penentuan Massa Optimum.....	16
Gambar 3. 4 Diagram Alir Penentuan pH Optimum.....	17
Gambar 3. 5 Diagram Alir Penentuan Waktu Kontak optimum	18
Gambar 3. 6 Penentuan Konsentrasi Optimum	19
Gambar 3. 7 Diagram Uji Perbandingan Adsorben Non aktivasi dan	20
Gambar 3. 8 Diagram Alir Preparasi Sampel Limbah Batik.....	21
Gambar 3. 9 Diagram alir uji efektivitas adsorben pada limbah cair batik.....	22
Gambar 4. 1 Karakterisasi FTIR karbon aktif pisang tanduk.....	26
Gambar 4. 2 Karakteristik FTIR Karbon Aktif setelah Proses Adsorpsi	28
Gambar 4. 3 Hasil uji SEM karbon aktif kulit pisang tanduk sebelum aktivasi.....	30
Gambar 4. 4 Hasil uji SEM karbon aktif kulit pisang tanduk setelah aktivasi dengan perbesaran 4000X (A) dan perbesaran 5100X (B)	30
Gambar 4. 5 Efisiensi Removal Karbon Aktif dengan Cd^{2+} Terhadap Variasi Massa... 31	
Gambar 4. 6 Efisiensi Removal Karbon Aktif dengan Cd^{2+} Terhadap Variasi pH (massa = 0,05 gram; C_0 = 30 ppm; V = 25 mL; t = 120 menit).....	33
Gambar 4. 7 Efisiensi Removal Karbon Aktif dengan Cd^{2+} Terhadap Variasi Waktu Kontak (massa = 0,05 gram; C_0 = 30 ppm; V = 25 mL; pH = 5)	35
Gambar 4. 8 Grafik Model Kinetika <i>Pseudo</i> Orde - Satu	36
Gambar 4. 9 Grafik Model Kinetika <i>Pseudo</i> Orde - Dua.....	37
Gambar 4. 10 Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dengan Cd^{2+} Terhadap Variasi Konsentrasi (massa = 0,05 gram; C_0 = 30 ppm; V = 25 mL; pH = 5 ; waktu =120 menit)	38
Gambar 4. 11 Grafik Model Isoterm Langmuir	40
Gambar 4. 12 Grafik Model Isoterm Freundlich.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Alat dan Bahan Penelitian.....	54
Lampiran 2: Preparasi Adsorben	55
Lampiran 3: Pembuatan larutan standar	56
Lampiran 4: Analisa Data Hasil Adsorpsi	58
Lampiran 5: Kinetika Adsorpsi	60
Lampiran 6: Isoterm Adsorpsi	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan pada sektor industri yang semakin pesat terjadi di Indonesia dengan peruntukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia. Perkembangan ini menyebabkan meningkatnya pencemaran air yang merupakan masalah yang harus dihadapi oleh masyarakat. Pencemaran air oleh logam berat dari proses produksi industri dapat menyebabkan penurunan kualitas air, mengganggu ekosistem perairan dan gangguan kesehatan manusia^[1]. Salah satu industri yang berkembang di Indonesia adalah industri batik dimana industri batik akan memproduksi air limbah cair sekitar 80% dari total air yang digunakan dalam proses produksi batik^[2]. Limbah cair batik mengandung logam berat dapat berasal dari proses produksi yaitu pewarnaan, logam berat yang terkandung dalam limbah cair batik yaitu kadmium (Cd), timbal (Pb), besi (Fe), tembaga (Cu), aluminium (Al), mangan (Mn), magnesium (Mg), kalsium (Ca) dan kromium (Cr)^[3].

Salah satu logam berat yang seringkali ditemukan di perairan Indonesia adalah kadmium (Cd) yang dapat terakumulasi di dalam air. Logam kadmium (Cd) dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui oral, inhalasi dan dermal^[4]. Logam kadmium termasuk logam non esensial terhadap manusia dan termasuk logam yang dapat menyebabkan efek karsinogenik. Sebesar 90% manusia yang terpapar oleh kadmium berasal dari makanan yang berasal dari laut, dimana ikan yang telah terakumulasi kadmium masuk ke dalam tubuh manusia yang dapat menyebabkan beberapa penyakit, kadmium dengan dosis $\geq 2 \mu\text{g g}^{-1}$ dapat mengurangi kepadatan mineral pada tulang^[5]. Masuknya kadmium ke dalam tubuh melalui darah diangkut ke hati dan terakumulasi di ginjal yang menyebabkan penurunan fungsi ginjal, diare, keretakan tulang, gangguan sistem reproduksi, penurunan dan kerusakan sistem syaraf pusat, kerusakan sistem imunitas, kerusakan DNA dan kanker^[6].

Solusi yang dapat dilakukan untuk mengelola air limbah yakni dengan adanya membuat adsorben menggunakan limbah domestik yaitu kulit pisang tanduk yang di modifikasi menjadi karbon aktif. Terdapat beberapa teknologi yang dikembangkan untuk mengatasi dan mengurangi kontaminan pada media perairan diantaranya

teknologi filter membran, biosorpsi, netralisasi, presipitasi, fitoremediasi dan teknologi adsorpsi^[7]. Pada penelitian ini menggunakan metode adsorpsi karena merupakan salah satu teknologi yang efektif dalam menyingkirkan ion – ion logam berat yang berada pada media air dengan biaya yang terjangkau dan relatif lebih murah^[8]. Selain itu, teknologi adsorpsi memiliki keuntungan dengan proses yang relatif sederhana dengan efisiensi removal yang cukup tinggi dan tidak menyebabkan dampak yang buruk terhadap lingkungan^[9].

Adsorpsi merupakan sebuah proses penguraian atau pemisahan berdasarkan pada keterikatan dan penyebaran suatu senyawa terhadap suatu padatan. Pada umumnya, padatan yang digunakan merupakan padatan yang berpori, pada proses adsorpsi yang menjerap ion – ion logam disebut adsorben. Adsorben merupakan padatan yang memiliki pori, rongga dan situs aktif yang dapat digunakan untuk menjerap molekul adsorbat dalam suatu proses adsorpsi^[10]. Pada pengelolaan limbah menggunakan adsorpsi secara fisika dimana adanya gaya tarik menarik yang disebut gaya *Van Der Waals*^[11].

Terdapat beberapa jenis adsorben yang telah digunakan dalam proses adsorpsi yaitu pisang kepok^[12], sabut dan tempurung kelapa^[13], tongkol jagung^[14], cangkang bintaro^[15], kulit batang jambu biji^[16], cangkang telur^[17], tandan kelapa sawit^[18], kulit durian^[19], tanah bentotit^[20], sekam padi^[21], kulit salak^[22], kulit jeruk^[23]. Pada penelitian ini menggunakan material karbon aktif dari kulit pisang tanduk karena kulit pisang tanduk mengandung karbon sekitar 85 – 95% pada saat menjadi serbuk, sedangkan setelah melewati proses karbonisasi kandungan karbon dapat meningkat menjadi 96,56. Pada proses karbonisasi terdapat aktivasi bertujuan untuk membuka, memperbesar, menambah mengembangkan volume dan diameter pori serta membersihkan pori dari kotoran yang menempel pada permukaan adsorben^[24].

Penelitian terkait dengan kulit pisang tanduk sebagai biosorben logam berat Cd (II) dan sebagai penjernih air seperti yang terdapat pada jurnal (Suprabawati dan Dewi Dwikora, 2016) bahwa dilakukan penelitian terhadap pisang tanduk yang dijadikan sebagai karbon aktif. Pada penelitian tersebut didapatkan efektivitas adsorpsi logam kadmium dengan menggunakan metode kolom adalah 61,63% dengan ukuran -60+80 mesh^[25]. Pada penelitian kali ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yaitu dimana pada penelitian kali ini melakukan aktivasi menggunakan

larutan HNO_3 1% karena dapat meningkatkan porositas karbon aktif, dimana sebagian besar nitrat dapat masuk kedalam struktur karbon untuk meningkatkan perpindahan kation^[26]. Pada penelitian ini menggunakan reaktor *batch* untuk mengetahui efektifitas penyisihan logam berat kadmium (Cd) pada air.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk membuat adsorben dari material yang mudah ditemui di masyarakat dan dapat dilakukan dengan cara memodifikasi limbah yang dapat dijadikan sebagai karbon aktif untuk mengurangi kontaminan logam Cd^{2+} pada larutan buatan dari serbuk $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$. Sehingga dengan tujuan dapat mengurangi timbulan limbah kulit pisang serta mengetahui efektifitas karbon aktif dari kulit pisang dengan melakukan pengujian pada beberapa parameter yaitu massa, pH, waktu kontak, konsentrasi dan aplikasi terhadap limbah batik. Dengan demikian penelitian Tugas Akhir ini penting dalam mengetahui efektifitas karbon aktif kulit pisang dalam menjerap logam Cd^{2+} yang larut dalam air untuk memperbaiki kualitas air.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian latar belakang, maka rumusan masalah yang dapat dikaji pada penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana kemampuan karbon aktif dari kulit pisang dalam menjerap ion logam kadmium?
2. Bagaimana kondisi optimum modifikasi limbah kulit pisang tanduk sebagai adsorben dalam menjerap larutan logam kadmium (Cd) pada larutan artifisial dan pada limbah batik?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada rumusan masalah, maka tujuan penelitian pada Tugas Akhir ini meliputi:

1. Mengetahui kemampuan karbon aktif dari kulit pisang tanduk dalam menjerap ion logam kadmium.
2. Mengetahui kondisi optimum pada proses adsorpsi menggunakan karbon aktif kulit pisang dan aplikasi pada limbah batik.

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan hal – hal yang telah diuraikan diatas, maka manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Bagi mahasiswa, dapat mengembangkan mengimplementasikan cabang ilmu pengetahuan yaitu teknik lingkungan.
2. Bagi masyarakat, dapat memberikan solusi untuk meningkatkan kualitas air dengan modifikasi dari limbah yang mudah ditemukan di masyarakat.
3. Bagi institusi, dapat meningkatkan kontribusi ilmu pengetahuan dan aplikasi teknik lingkungan.

1.5. Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian tugas akhir ini adalah:

H₀: massa adsorben karbon aktif dari kulit pisang, pH, konsentrasi, dan waktu kontak dengan larutan buatan Cd tidak ada pengaruh terhadap kadar penjerapan ion logam berat Cd²⁺.

H₁: massa adsorben karbon aktif dari kulit pisang, pH, konsentrasi, dan waktu kontak dengan larutan buatan Cd mempengaruhi kadar penjerapan ion logam berat Cd²⁺.

1.6. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini berisi tentang variabel yang akan diteliti. Ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Sampel air yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel buatan dari larutan induk kadmium (Cd²⁺).
2. Melakukan modifikasi terhadap limbah kulit pisang menjadi karbon aktif yang akan digunakan sebagai adsorben.
3. Pada penelitian ini akan dibatasi dengan lingkup adsorpsi oleh limbah kulit pisang dengan parameter masa, pH, waktu dan konsentrasi.
4. Adsorben yang telah disiapkan akan diuji efektivitasnya untuk menghilangkan ion Cd²⁺ dalam sampel air limbah yang akan diambil dari salah satu industri batik di Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran Air

Air adalah bagian dari komponen di lingkungan yang merupakan kebutuhan dasar bagi manusia untuk menunjang kebutuhan sehari – hari. Akan tetapi, seiring dengan adanya perkembangan pada sektor industri terjadi berbagai kasus pencemaran air oleh logam berat. Pencemaran air diartikan sebagai masuk atau dimasukkan suatu zat, energi atau komponen lain dengan konsentrasi yang tinggi sehingga mengakibatkan terjadi penurunan kualitas air^[27]. Logam berat di media perairan apabila dapat terakumulasi ke dalam tubuh manusia akan mengakibatkan dampak terganggunya kesehatan karena pada umumnya logam berat memiliki sifat karsinogenik, mutagenik dan teratogenik^[28].

2.2. Logam kadmium (Cd)

Cadmium merupakan suatu logam yang memiliki warna putih, perak dan mengkilap kebiruan dengan nomor atom 48, massa atom 112,411 u, titik didih 766,8 °C, titik leleh 321,1°C, dan memiliki massa jenis 8,65 g/cm³. Logam kadmium memiliki sifat tidak larut dalam basa, mudah terjadi reaksi dan dengan temperatur yang tinggi akan menghasilkan kadmium oksida. Logam kadmium memiliki karakteristik yang lunak, dan lembut sehingga dapat dengan mudah dibentuk dan dapat dilakukan pemotongan menjadi ukuran yang lebih kecil dengan menggunakan benda yang tajam. Penyebaran logam kadmium di alam dapat dikategorikan sangat luas karena pada umumnya digunakan dalam proses industri sebagai elektrolisis bahan pigmen pada industri cat, enamel dan plastik.

Sumber alami dan *anthropogenic* logam kadmium merupakan hasil dari aktivitas manusia yang bergerak di bidang industry yang mana berasal hasil dari buangan limbah industri, sektor pertanian pada penggunaan pupuk dan pestisida yang masuk ke badan air, dan aktivitas merokok merupakan paparan kadmium yang dapat dikategorikan tinggi karena dapat menyebabkan peningkatan yang cukup signifikan kadar kadmium dalam darah (*blood cadmium*), akan tetapi hanya sedikit kontribusi pada seluruh kadmium yang terakumulasi di dalam tubuh. Kadmium dapat

merupakan produk sampingan dari produksi zinc dan manusia dapat terpapar melalui inhalasi dan oral yang dapat menyebabkan dampak keracunan yang akut dan kronis karena apabila air dan sumber makanan terkontaminasi oleh kadmium maka akan terjadi akumulasi di dalam tubuh apabila dikonsumsi. Oral merupakan penyebab yang berkontribusi besar dalam kandungan kadmium dalam tubuh karena air dan makanan merupakan sumber yang paling penting di dalam tubuh^[4]. Kadmium merupakan salah satu logam berat yang berbahaya karena memiliki tingkat resiko yang cukup tinggi terhadap pembuluh darah. Efek kadmium dikategorikan sebagai efek jangka panjang serta dapat terakumulasi di dalam tubuh khususnya pada sistem ekskresi manusia yaitu pada hati dan ginjal. Kadmium sendiri merupakan suatu logam berat yang asing apabila masuk ke dalam tubuh karena tubuh tidak membutuhkan logam berat kadmium untuk menjalankan proses metabolisme Patrick dalam Irianti 2017.

Kadmium (Cd) merupakan senyawa logam berat yang memiliki efek jangka panjang apabila terakumulasi ke dalam tubuh. Efek kadmium dapat dilihat pada **Tabel 2.1**^[29].

Tabel 2. 1 Efek Cadmium

Logam	Efek
Kadmium (Cd)	<p>Akut</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menggigil • Demam • Nyeri otot <p>Kronis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proteinuria • Gangguan sistem ekskresi seperti ginjal dan paru. • Gangguan system kardiovaskuler

Baku mutu kadmium berdasarkan PERDA DIY Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah yang terdapat pada baku mutu air limbah untuk kegiatan industri lainnya dengan batas konsentrasi maksimal yaitu 0,05 mg/L.

2.3. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses pengumpulan suatu senyawa berbentuk gas atau cair pada permukaan zat padat. Adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses akumulasi

molekul – molekul, zat kimia dan material yang menempel pada permukaan padatan sebagai zat penjerap dengan dipengaruhi oleh gaya *Van der Waals* dan dipengaruhi oleh suatu ikatan kimia yang terdapat pada permukaan zat padat. Material atau zat yang menempel pada permukaan padat atau yang teradsorpsi disebut sebagai adsorbat. Sedangkan permukaan padat sebagai penjerap disebut sebagai adsorben^[30]. Adsorpsi merupakan salah satu teknologi yang paling efektif digunakan dalam meniadakan ion logam berat yang terdapat pada air limbah karena modifikasi adsorben dapat dilakukan pada material limbah, cukup tinggi efisiensi dari berbagai jenis modifikasi adsorben, pada proses pengolahannya tidak menghasilkan produk samping seperti lumpur dan dengan biaya yang relatif murah^[8].

Mekanisme menempelnya suatu molekul atau zat pada permukaan padat adsorben dapat terjadi karena dipengaruhi oleh dua jenis gaya yaitu kimia (kemisorpsi) dan fisika (fisorpsi), kedua gaya tersebut terlibat dalam proses adsorpsi kimiawi dan adsorpsi fisik. Pada adsorpsi fisik melibatkan interaksi yang lemah yaitu dengan adanya interaksi antara suatu molekul adsorbat dengan permukaan padatan adsorben dengan adanya ikatan *Van Der Waals* gaya yang terlibat disebabkan oleh adanya fluktuasi pada adsorbat dengan padatan yang telah dipolarisasikan. Dengan demikian, zat atau molekul adsorpsi dapat dengan mudah dilepaskan kembali. Sedangkan pada adsorpsi kimia yaitu suatu proses dengan melibatkan suatu ikatan kimia antara molekul adsorbat dengan permukaan padat adsorben. Karakteristik ikatan ini dapat secara ionic hingga kovalen sehingga mengakibatkan panas yang dihasilkan adsorpsi menjadi tinggi^[10]. Dalam proses adsorpsi terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan karakteristik baik secara fisik dan bahan kimia yang akan dijadikan sebagai adsorbat dan adsorben, pH, temperature, suhu, waktu kontak^[31].

2.4. Kulit Pisang Tanduk

Limbah kulit pisang merupakan suatu bahan yang telah tidak terpakai dan dibuang yang cukup banyak jumlahnya yang termasuk kedalam limbah pertanian dan dari industri pengolahan dengan bahan baku pisang, akan tetapi kulit pisang dapat dijadikan sebagai bahan untuk karbon aktif dengan nilai karbonisasi yang cukup tinggi yaitu 96,56%^[32]. Kulit pisang mengandung sekitar 43,7% karbon dan mengandung beberapa senyawa penyusun karbon yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, pigmen klorofil dan zat pektin, dimana dengan mempunyai kandungan

tersebut berpotensi untuk dijadikan sebagai karbon aktif dengan memiliki nilai derajat kristalin yang tinggi^[33]. Selain itu, di dalam kulit pisang adanya gugus aktif yaitu gugus hidroksil (OH⁻), gugus karboksilat (-COOH) serta gugus amina (-NH₂) yang mempunyai kemampuan mengikat ion logam berat^[34]. Dengan adanya kandungan selulosa dan hemiselulosa sebagai senyawa pembentuk karbon yang cukup tinggi pada kulit pisang maka dapat dilakukan modifikasi menjadi karbon aktif yang dijadikan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd)^[35].

2.5. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan model yang dapat menunjukkan laju dan mekanisme reaksi yang terjadi pada proses adsorpsi. Kinetika adsorpsi juga dapat menunjukkan kecepatan adsorpsi. Pada penelitian ini analisis kinetika adsorpsi dilakukan dengan menggunakan dua model yaitu *pseudo* orde – satu dan *pseudo* orde – dua. Model yang sesuai dengan laju adsorpsi dapat ditentukan dengan melihat nilai R² pada masing – masing model. Sehingga, model yang memiliki nilai R² yang mendekati nilai 1 mengindikasikan bahwa model yang dapat menunjukkan laju adsorpsi sesuai dengan proses adsorpsi.

Persamaan pada model pseudo orde – satu dapat dilihat pada persamaan:

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

Selain itu, dapat menggunakan persamaan:

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

Dimana:

q_t : jumlah ion yang teradsorpsi dalam waktu t (mg/g)

q_e : jumlah ion logam yang teradsorpsi pada waktu setimbang (mg/g)

k : konstanta laju adsorpsi (menit⁻¹)

Persamaan pada model pseudo orde – dua dapat dilihat pada persamaan:

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

Persamaan diatas ditata ulang menjadi persamaan:

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

Dimana:

q_t : jumlah ion yang teradsorpsi dalam waktu t (mg/g)

q_e : jumlah ion logam yang teradsorpsi pada waktu setimbang (mg/g)

k : konstanta laju adsorpsi (menit⁻¹)

2.6. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan suatu model matematika yang menunjukkan hubungan antara adsorbat dengan adsorben. Adsorpsi biasanya digambarkan dengan dua model yaitu isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich.

Isoterm Langmuir merupakan suatu model yang dapat digunakan dalam menjelaskan banyak data pada adsorpsi. Asumsi pada isotherm Langmuir ini yaitu adanya pembentukan monolayer adsorbat pada permukaan adsorben yang mana tidak terjadi adsorpsi lain pada permukaan pada adsorben tersebut. Persamaan pada isotherm Langmuir dapat dilihat pada persamaan 1^[36].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0b} + \frac{C_e}{Q_0}$$

Dimana :

C_e : konsentrasi kesetimbangan larutan (ppm)

q_e : jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g)

Q₀ : kapasitas adsorpsi (mg/g)

b : interaksi adsorpsi (L/mg)

Isoterm Freundlich mempunyai permukaan padat adsorben yang heterogen dan memiliki multilayer. Persamaan pada isotherm Freundlich dapat dilihat pada persamaan 2

$$\log \frac{X_m}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

Dimana :

X : jumlah zat terlarut yang diserap (mg)

M : gram adsorben yang digunakan (g)

C_e : konsentrasi kesetimbangan larutan (ppm)

K : kapasitas adsorpsi (mg/g)

N : intensitas adsorpsi (L/g)

2.7. Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian modifikasi limbah kulit pisang tanduk (*Musa Parasiaca*) menjadi karbon aktif sebagai adsorben logam kadmium (Cd) dan diaplikasikan pada limbah cair batik. Resume penelitian terdahulu terkait dengan modifikasi kulit pisang

tanduk menjadi karbon aktif sebagai adsorben logam kadmium (Cd) dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu

Sumber	Adsorben	Parameter	Aktivator	Hasil Penelitian
Muhrinsyah Fatimura, Rully Masriatin dan Fenny Putri (2020)	Kulit pisang tanduk (karbon aktif)	Variasi konsentrasi aktivator	NaCl	<ol style="list-style-type: none"> 1. Massa optimum pada karbon dari kulit pisang tanduk didapatkan sebanyak 40 gram 2. Konsentrasi optimum aktivator NaCl didapatkan sebesar 60% 3. Karakteristik pada karbob aktif kulit pisang tanduk terdiri dari kadar air 10,7%, kadar abu 9,55%, kemampuan penyerapan terhadap iod sebesar 1516 mg/g dan didapatkan kandungan karbon aktif yang murni sebesar 76,65%^[37].
Ineke Febrina dan Putri Sri Rizki (2023)	Kulit pisang tanduk (karbon aktif)	<ul style="list-style-type: none"> - pH - COD - DO - Chlorida 	KOH	<ol style="list-style-type: none"> 1. pH optimum didapatkan dalam rentan 4,70 – 4,74 2. Dihasilkan nilai DO berada pada rentan 1,54 – 1,69 mg/L 3. Dihasilkan penurunan COD berada diantara nilai 140 – 180 mg/L 4. Dihasilkan nilai klorida berada pada rentan 887,5 – 230,75 mg/L^[24].
Fatimah dan M Napitupulu	Kulit pisang tanduk (biochar)	- Timbal (Pb)		<ol style="list-style-type: none"> 1. pH optimum untuk penyisihan logam timbal menggunakan biochar yaitu pH 5 dengan efisiensi removal sebesar 99,91%.

				<p>2. Massa optimum penyisihan timbal sebesar 400 mg dengan efisiensi removal 99,97%</p> <p>3. Pada isoterm Langmuir didapatkan kapasitas maksimum adsorpsi sebesar 98,039 mg/g.</p> <p>4. Pada isoterm Freunlich didapatkan kapasitas adsorpsi sebesar 101,01 mg/g^[38].</p>
Riska Kusuma Wardani, Titin Anita Zaharah dan Lia Destiarti	Ampas Tebu	- Kadmium (Cd)	Asam Nitrat (HNO ₃)	<p>1. pH optimum dalam penyisihan Cd(II) adalah pH 7 dengan efisiensi removal 53,9%</p> <p>2. Waktu kontak optimum dalam penyisihan ion kadmium adalah 120 menit dengan efisiensi removal 69,14%.</p> <p>3. Kapasitas adsorpsi pada 10 ppm yaitu 2,215 mg/g^[39].</p>
L. Semerjian (2010)	Serbuk gergaji	- Kadmium (Cd)		<p>1. pH optimum pada pH 9 dengan efisiensi removal sebesar 99%</p> <p>2. Waktu optimum terjadi pada 10 menit pertama dengan efisiensi removal 97,7 – 100%</p> <p>3. Pada isoterm Langmuir didapatkan kapasitas penyisihan sebesar 7,3 mg/g^[40]</p>

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian modifikasi kulit pisang menjadi karbon aktif sebagai adsorben dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen kuantitatif untuk mengetahui kadar adsorpsi pada karbon aktif kulit pisang. Karbon aktif di uji dengan beberapa tahapan yaitu preparasi adsorben, karakterisasi adsorben, proses adsorpsi dan pengujian untuk mengetahui efektivitas penyisihan logam kadmium.

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

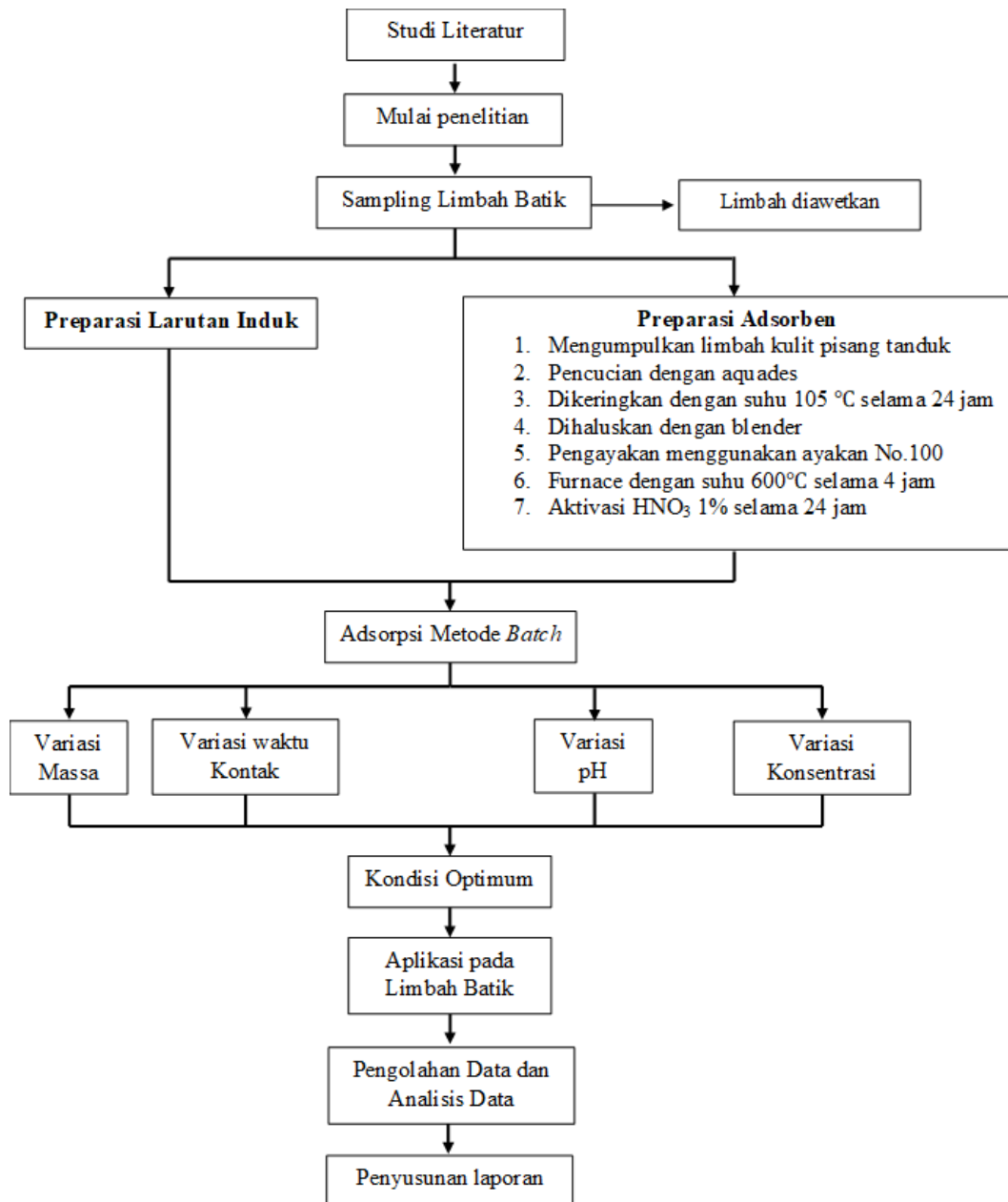
Penelitian pengujian Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), pengujian *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Penelitian ini dimulai pada bulan Maret 2023.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini adalah oven, blender, ayakan 100 mesh, neraca analitik, pH universal, cawan porselen, mortar, *magnetic stirrer plate*, kertas filter, peralatan gelas, kertas filter, wadah, pipet, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit pisang, larutan induk kadmium dari serbuk $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, larutan asam nitrat (HNO_3), larutan asam klorida (HCl), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan aquades.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam laboratorium dengan menggunakan metode eksperimen dan analisis dengan metode kuantitatif. Alur penelitian mengenai modifikasi kulit pisang sebagai adsorben dalam menyisihkan logam kadmium (Cd) dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa variabel yang akan diamati dan di analisis yaitu massa adsorben ,waktu interaksi antara adorbren dengan larutan buatan dari $Cd(NO_3)_2$ dengan menggunakan kecepatan pengadukan 150 rpm. Variabel bebas yang akan diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian

Variasi	Satuan	Angka						
Massa Adsorben	Gram	0,02	0,03	0,04	0,05			
Waktu Interaksi	Menit	5	10	20	30	60	120	180
pH Larutan		3	5	7	9			
Konsentrasi Larutan	ppm	10	30	50	100	150	200	250

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan pada penelitian ini dimulai dari studi literatur, sampling limbah batik, preparasi adsorben yang meliputi pencucian, pengeringan, penghalusan, pengayakan, karbonisasi, proses adsorpsi, pengujian dan analisis data.

3.4.1. Studi Literatur

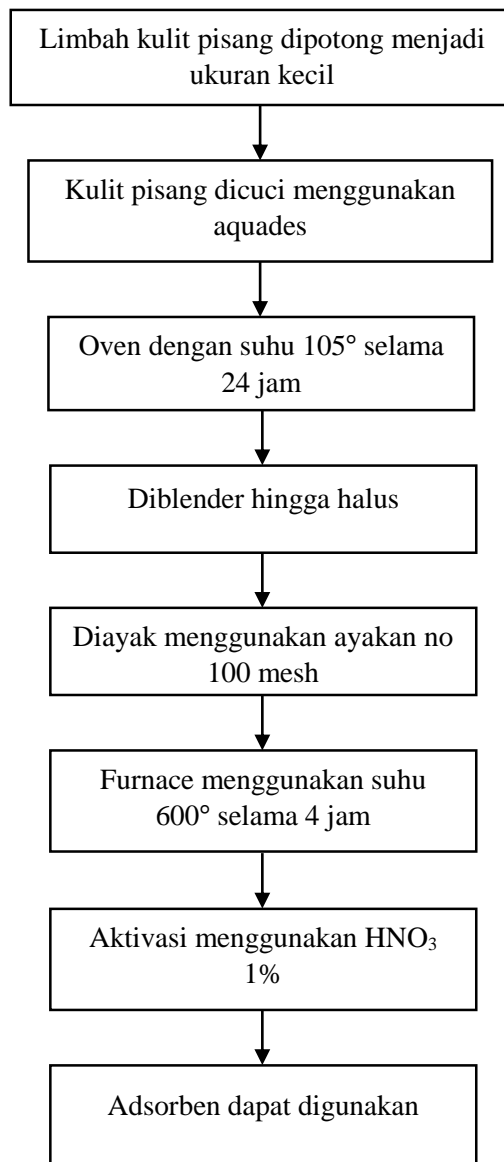
Studi literatur dilakukan dengan mengkaji teori – teori terkait yang relevan dengan penelitian pada cara memodifikasi kulit pisang menjadi karbon aktif sebagai adsorben, interaksi antara adsorben dengan adsorbat hingga tercapai efektivitas. Studi literatur dapat berasal dari jurnal yang relevan dengan penelitian ini.

3.4.2. Sampling Air Limbah pada Industri Batik

Sampling limbah industri batik dilakukan di salah satu industri batik di Indonesia. Pengambilan sampel air limbah dilakukan dengan mengacu SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Kemudian limbah akan diuji untuk mengetahui kandungan logam kadmium (Cd) dengan menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) mengacu pada SNI 6989.16:2009.

3.4.3. Preparasi Adsorben

Material limbah kulit pisang dibawa kurang lebih 3 kg dapat berasal dari limbah pertanian, rumah tangga dan UMKM. Sedangkan, langkah – langkah preparasi adsorben dapat dilihat pada **Gambar 3.2.**



Gambar 3. 2 Langkah Pembuatan Adsorben

3.4.4. Aktivasi Adsorben

Karbon aktif kulit pisang diaktivasi menggunakan larutan HNO_3 1% dengan cara merendam serbuk karbon aktif dengan larutan HNO_3 1%. Kemudian karbon aktif dikeringkan kembali menggunakan oven 105°C selama 6 jam, sehingga didapatkan sampel karbon aktif dari kulit pisang yang telah teraktivasi HNO_3 .

3.4.5. Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben yang telah diaktivasi HNO_3 dan yang tidak diaktivasi menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur permukaan adsorben dan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra – Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi adsorben.

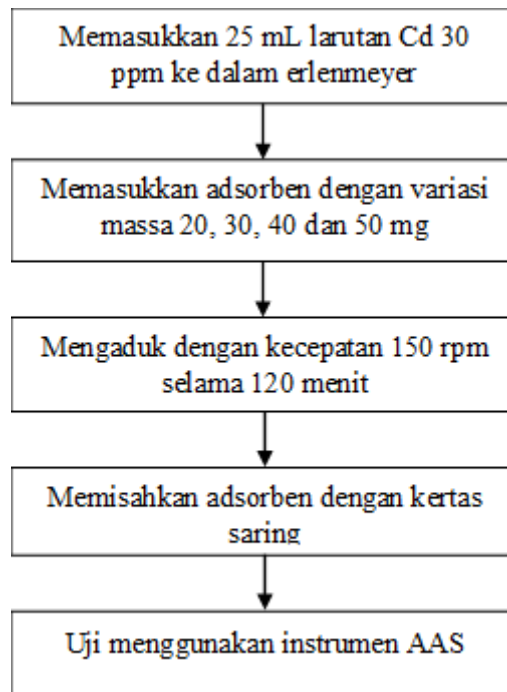
3.4.6. Proses Adsorpsi

Tahapan proses adsorpsi dilakukan dengan beberapa langkah yaitu menimbang massa adsorben, mengatur pH, pengenceran larutan, penyisihan adsorben dan pengujian adsorben menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

3.4.7. Penentuan Massa Adsorben Optimum

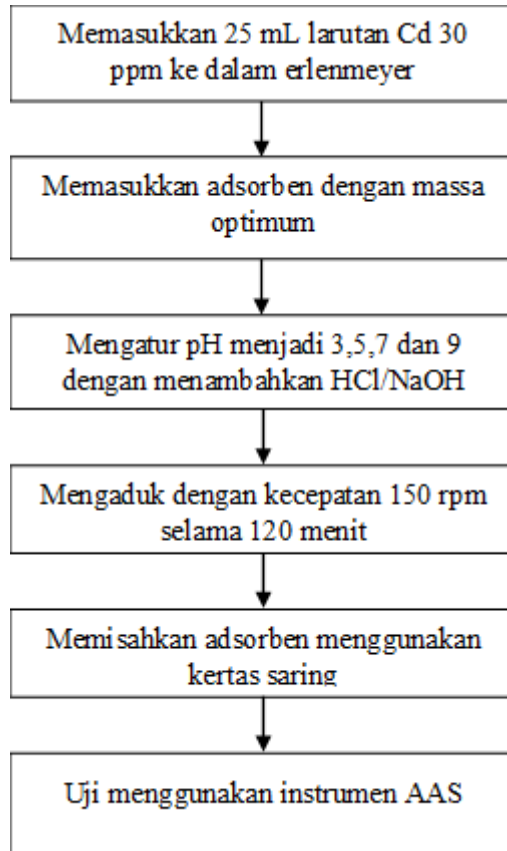
Dosis optimum massa adsorben dapat dilakukan dengan menggunakan larutan artifisial kadmium (Cd) dalam kondisi setimbang dengan waktu kontak 120 menit. Maka, untuk mengetahui efisiensi massa adsorben dalam menyisihkan adsorbat dalam kondisi maksimal dengan menggunakan variasi massa. Langkah – langkah pengujian massa optimum dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

Gambar 3. 3 Diagram Alir Penentuan Massa Optimum



3.4.8. Penentuan pH Optimum

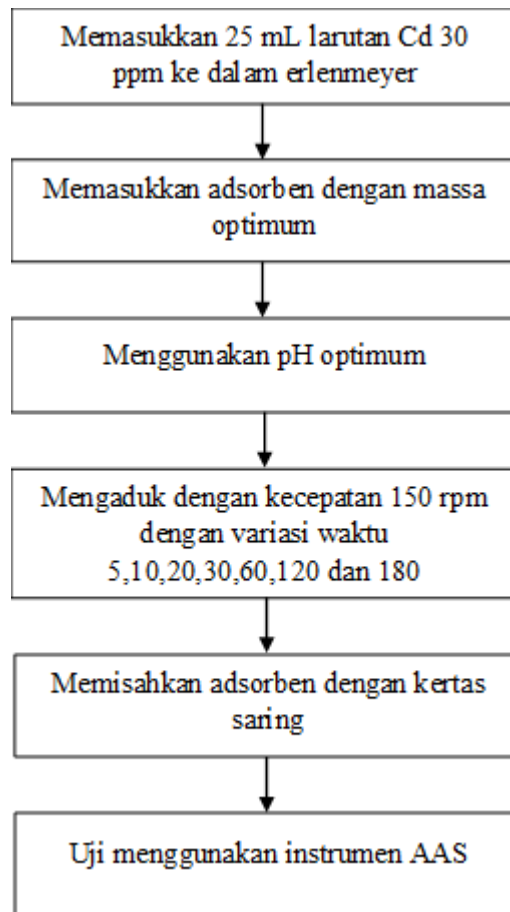
Setelah mendapatkan data massa optimum, kemudian menentukan pH optimum. Penentuan pH optimum bertujuan untuk mengetahui kondisi pH dengan reaksi pada konsentrasi optimum antara kadmium (Cd) dengan adsorben. Langkah – langkah penentuan pH optimum dapat dilihat pada **Gambar 3.4.**



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penentuan pH Optimum

3.4.9. Penentuan Waktu Kontak Optimum

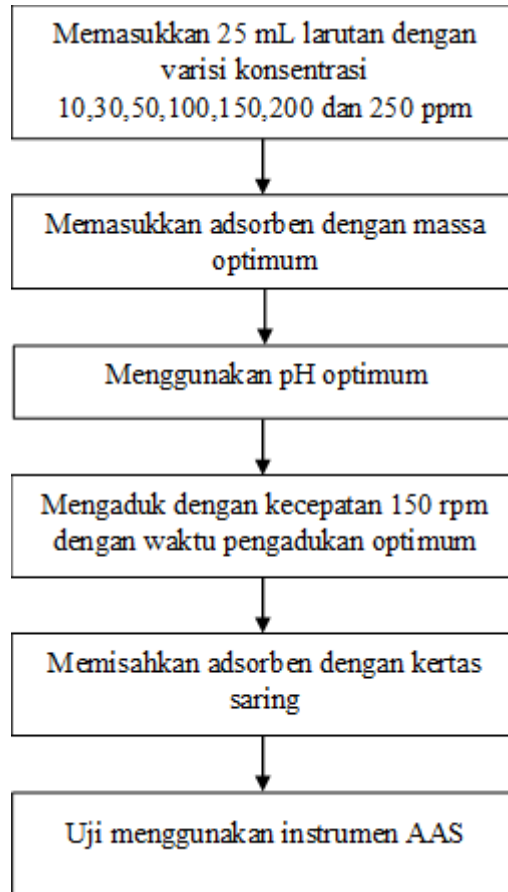
Setelah mendapatkan data massa optimum dan pH larutan optimum, kemudian melakukan uji terhadap waktu kontak optimum. Penentuan waktu kontak optimum bertujuan untuk mengetahui waktu pengadukan yang diperlukan dalam proses adsorpsi. Langkah – langkah penentuan waktu kontak optimum dapat dilihat pada **Gambar 3.5.**



Gambar 3. 5 Diagram Alir Penentuan Waktu Kontak optimum

3.4.10. Penentuan Konsentrasi Larutan Optimum

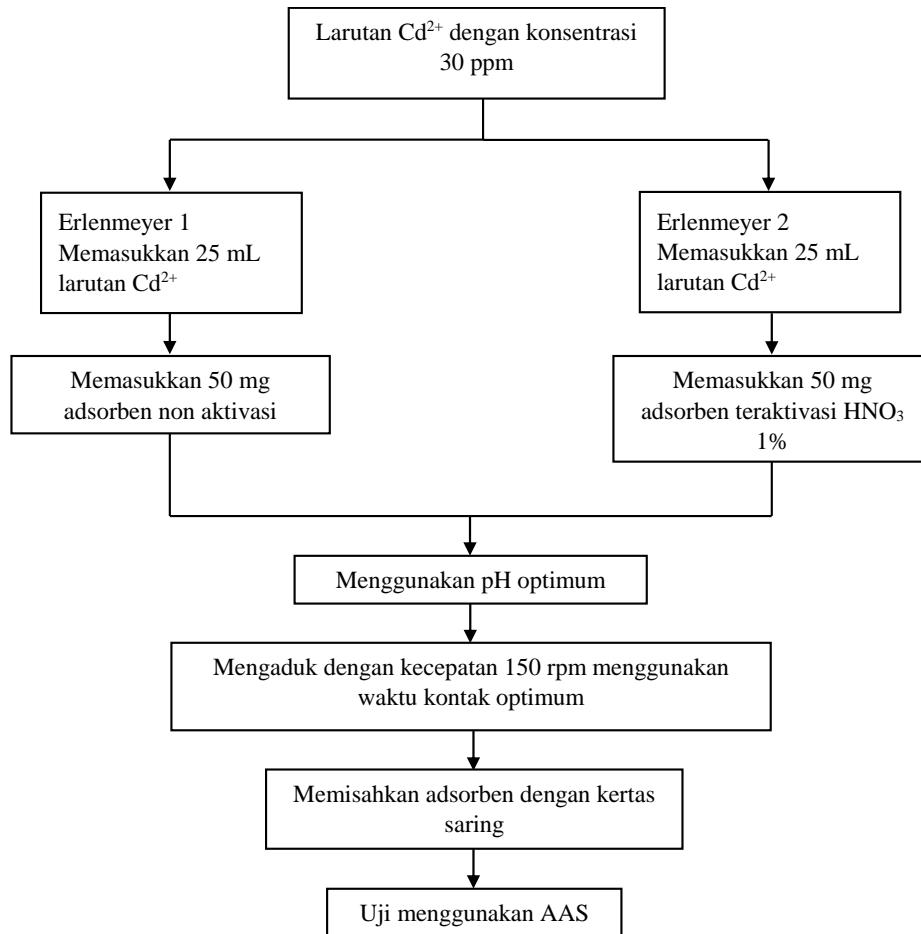
Pengujian konsentrasi untuk mengetahui konsentrasi minimal/maksimal saat dilakukannya penyisihan ion logam kadmium. Langkah-langkah penentuan konsentrasi dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3. 6 Penentuan Konsentrasi Optimum

3.4.11. Perbandingan Adsorben Aktivasi dan Non Aktivasi

Perbandingan adsorben aktivasi dengan non aktivasi bertujuan untuk melihat efisiensi penyisihan antara adsorben yang tidak melalui aktivasi dan adsorben yang direaksikan dengan asam nitrat (HNO_3) 1% dengan menggunakan data pada variasi massa, pH, waktu kontak dan konsentrasi yang dilakukan dengan menggunakan adsorben yang telah diaktivasi agar dapat membandingkan persen penyisihan adsorben yang tidak direaksikan dengan HNO_3 . Langkah – langkah dalam membandingkan adsorben aktivasi dan non aktivasi dapat dilihat pada **Gambar 3.7.**

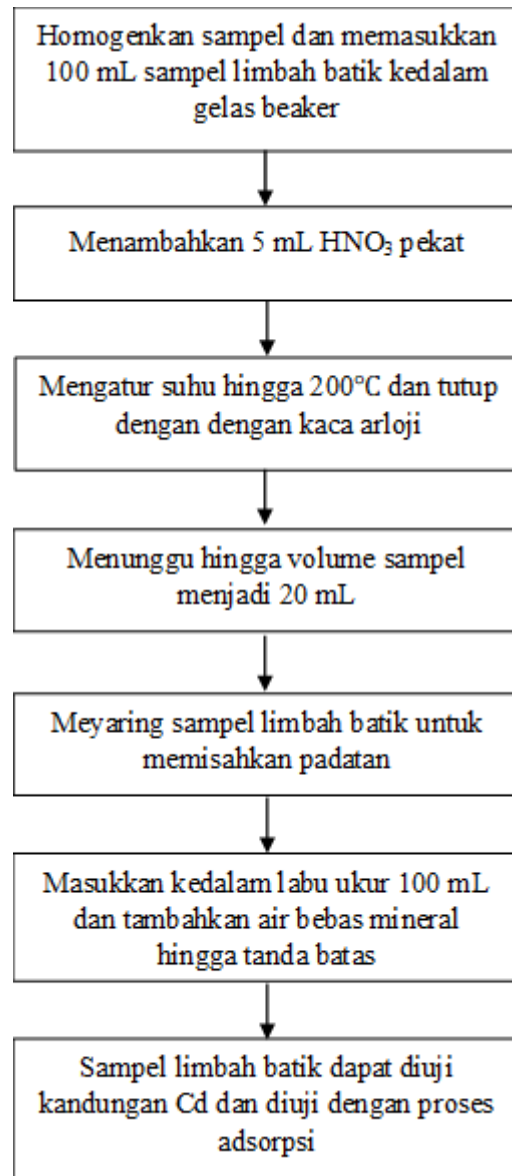


Gambar 3. 7 Diagram Uji Perbandingan Adsorben Non aktivasi dan Teraktivasi HNO₃ 1%

3.4.12. Aplikasi pada Limbah Batik

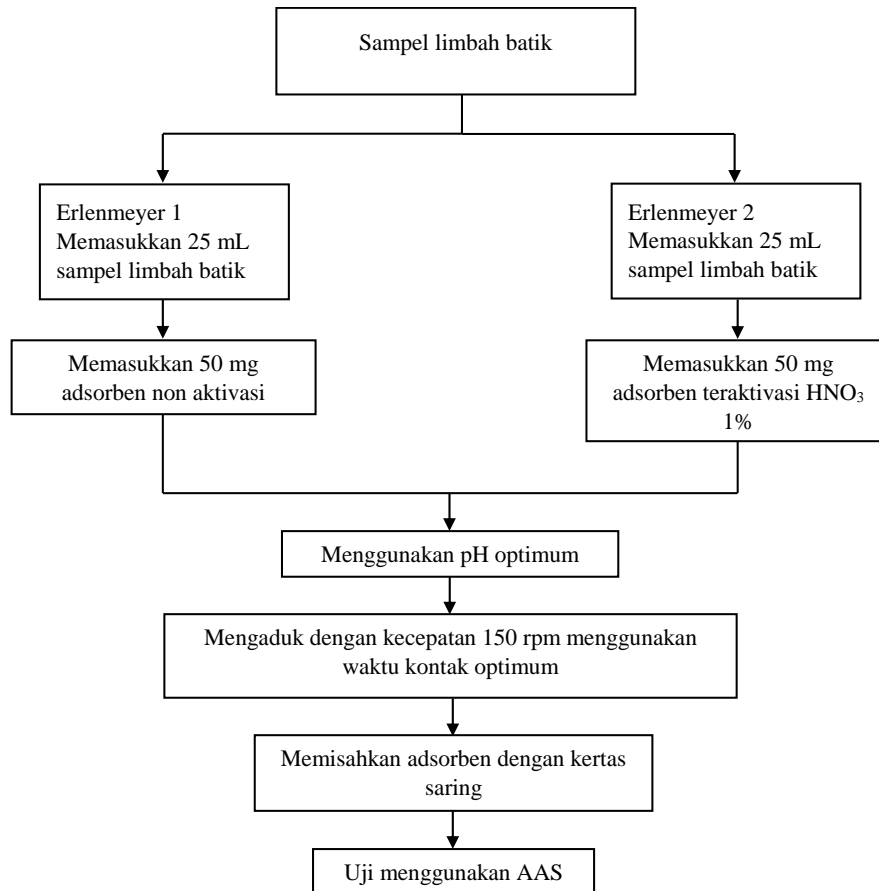
Setelah mendapatkan massa optimum, pH optimum, waktu optimum dan konsentrasi optimum, kemudian karbon aktif dari kulit pisang di aplikasikan pada sampel limbah cair industri batik untuk mengetahui efektivitas penyerapan adsorben terhadap senyawa adsorbat.

Langkah – langkah preparasi sampel limbah batik dapat dilihat pada **Gambar 3.8.**



Gambar 3. 8 Diagram Alir Preparasi Sampel Limbah Batik

Langkah – langkah pengujian efektivitas adsorben pada limbah batik dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3. 9 Diagram alir uji efektivitas adsorben pada limbah cair batik

3.5. Prosedur Analisis Data

Data yang diperoleh setelah pengujian menggunakan SSA dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mengetahui *trend* efektivitas penyisihan adsorben dari kulit pisang terhadap logam kadmium (Cd).

3.5.1. Efisiensi Penyisihan

Menghitung efisiensi penyisihan untuk mengetahui penyisihan penyerapan karbon aktif dari limbah kulit pisang terhadap kadmium (Cd) dengan menggunakan persamaan 3 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi penyisihan (\%)} = \frac{C_o - C_e}{C_a} \times 100\%$$

Keterangan:

C_o : konsentrasi awal logam (ppm)

C_e : konsentrasi akhir logam (ppm)

Sedangkan, untuk menghitung ion logam yang teradsorpsi dengan menggunakan satuan miligram per gram (mg/gr) adsorben dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$q_e \left(\frac{mg}{g} \right) = \left(\frac{(C_o - C_e) \times V}{W} \right)$$

Dimana:

- q_e : jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/gr)
- C_o : konsentrasi larutan logam sebelum adsorpsi (ppm)
- C_e : konsentrasi larutan logam setelah adsorpsi (ppm)
- V : volume larutan ion logam (L)
- W : massa adsorben (gr)

3.5.2. Isoterm Adsorpsi

Dalam proses adsorpsi ion logam berat kadmium (Cd) oleh adsorben dapat dikaji menggunakan pendekatan model isoterm yang berfungsi untuk mengetahui hubungan antara jumlah ion logam pada permukaan adsorben dengan beberapa variasi konsentrasi. Model isoterm ini digunakan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari adsorben, sehingga mekanisme adsorpsi dapat dievaluasi. Pada umumnya model isoterm yang digunakan dalam adsorpsi yaitu model isoterm Langmuir dan model isoterm Freundlich.

Isoterm Langmuir merupakan suatu model yang dapat digunakan dalam menjelaskan banyak data pada adsorpsi. Asumsi pada isoterm Langmuir ini yaitu adanya pembentukan monolayer adsorbat pada permukaan adsorben yang mana tidak terjadi adsorpsi lain pada permukaan pada adsorben tersebut. Persamaan pada isoterm Langmuir dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{C_e}{Q_0}$$

Dimana :

- C_e : konsentrasi kesetimbangan larutan (ppm)
- q_e : jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/gr)
- Q_0 : kapasitas adsorpsi (mg/gr)
- b : interaksi adsorpsi (L/mg)

Isoterm Freundlich mempunyai permukaan padat adsorben yang heterogen dan memiliki multilayer. Persamaan pada isotherm Freundlich dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\log \frac{X_m}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e$$

Dimana :

- X : jumlah zat terlarut yang diserap (mg)
- M : gram adsorben yang digunakan (g)
- C_e : konsentrasi kesetimbangan larutan (ppm)
- K : kapasitas adsorpsi (mg/g)
- N : intensitas adsorpsi (L/g)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi Adsorben

4.1.1 Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Penggunaan instrumen *Fourier Transform Infra – Red* (FTIR) dengan tujuan mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben dari kulit pisang tanduk yang dimodifikasi menjadi karbon aktif. Gugus fungsi merupakan suatu perkumpulan dari atom yang berikatan dan dapat memberikan peran terhadap sifat fisiokimia pada suatu senyawa seperti sifat kelarutan, derajat keasaman dan kereaktifan suatu kimia^[41]. Instrumen FTIR melakukan pembacaan menggunakan metode analisis yang berdasarkan pada absorpsi energi yang terdapat pada suatu molekul dengan dilewatkan pada radiasi inframerah pada panjang gelombang pada daerah spectrum yang menengah dengan panjang gelombang yang berada pada rentan $4000 - 500 \text{ cm}^{-1}$.

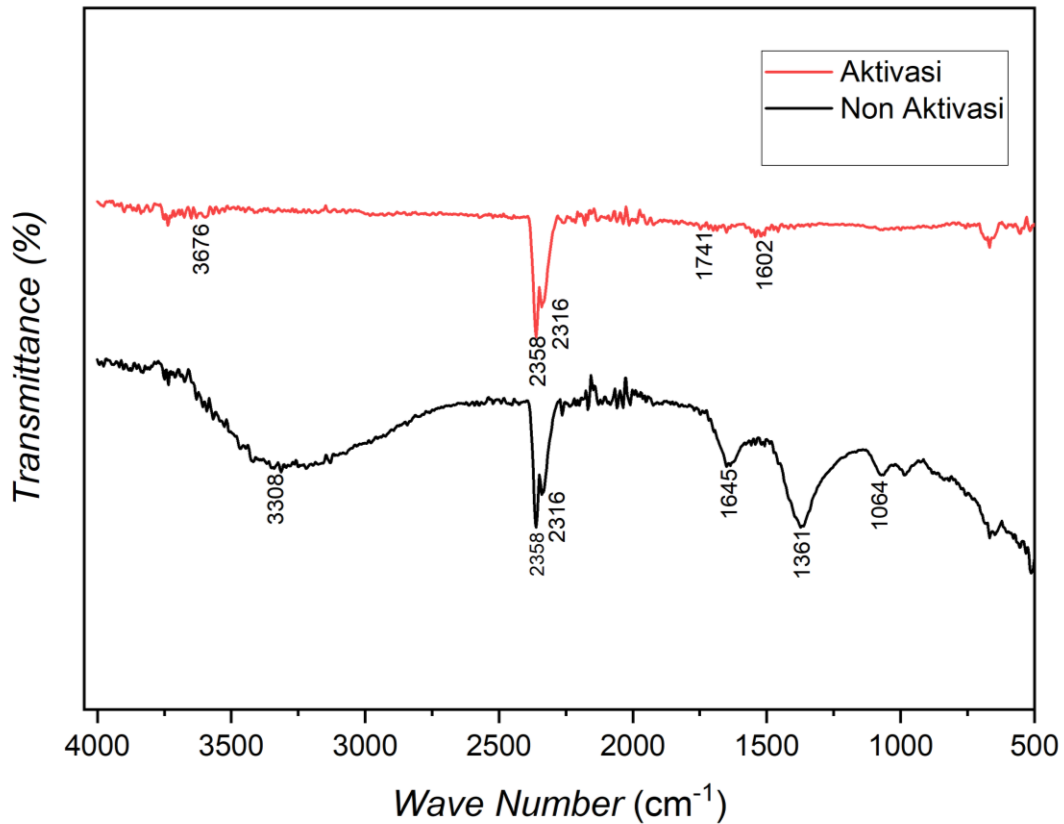
Pengujian menggunakan instrumen ini dilakukan pada adsorben yang belum teraktivasi dan adsorben yang telah teraktivasi oleh aktivator HNO_3 1%, sehingga dapat diketahui perbedaan kedua adsorben dengan cara mengidentifikasi gugus fungsi dan dapat diketahui kandungan yang terdapat pada adsorben yang akan berperan pada proses adsorpsi. Gugus fungsi ini berkaitan erat dengan dengan kapasitas pada suatu adsorben pada proses adsorpsi, selain itu gugus fungsi menjadi salah satu faktor yang penting dalam adsorpsi karena dapat mengetahui senyawa yang digunakan dalam menjerap ion logam pada proses adsorpsi^[10].

Hasil dari analisis instrumen FTIR pada karbon aktif dari kulit pisang tanduk sebelum dan sesudah aktivasi dapat dilihat pada **Tabel 4.1**

Tabel 4. 1 Hasil Uji FTIR Karbon Aktif dari Kulit Pisang Tanduk

Non Aktivasi	Bilangan Gelombang (cm ¹)	Gugus Fungsi
	Hasil	
	3308	O - H
	2358	C = O = C
	2316	C = O = C
	1645	C = C
	1361	O - H
	1064	C - O
Aktivasi		
	3676	O - H
	2358	C = O = C
	2316	C = O = C
	1741	C = O

Grafik hasil analisis menggunakan instrumen FTIR pada karbon aktif dari kulit pisang sebelum dan setelah direaksikan dengan HNO₃ 1% dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4. 1 Karakterisasi FTIR karbon aktif pisang tanduk

Berdasarkan Gambar 4.1 pada karbon aktif dari kulit pisang tanduk menunjukkan perbedaan dengan adanya senyawa yang hilang setelah melalui proses aktivasi menggunakan HNO_3 1%, mekanisme aktivasi dengan cara merendam selama 24 jam, sehingga terjadi reaksi antara aktivator dan adsorben. Karbon aktif sebelum aktivasi memiliki puncak dengan panjang gelombang 3308 cm^{-1} yang berada sesuai pada peregangan O – H senyawa asam karboksilat yang terdapat pada gugus selulosa, hal ini juga dapat menunjukkan adanya senyawa hidroksil bebas yang terdapat pada permukaan adsorben^[42]. Gugus fungsi selulosa dapat ditunjukkan dengan adanya gugus fungsi O – H, C – H dan C – O pada suatu adsorben, keberadaan selulosa pada karbon aktif dari kulit pisang ini dapat ditunjukkan dengan adanya gugus C – O pada puncak 1064 cm^{-1} . Pada puncak 2358 dan 2316 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi C = O = C. Sedangkan, pada puncak 1645 cm^{-1} termasuk ke dalam vibrasi C = C dengan senyawa alkena^[43]. Sehingga, karbon aktif pada kulit pisang memiliki senyawa dan selulosa yang berperan dalam proses adsorpsi ^[44].

Analisis hasil identifikasi FTIR setelah aktivasi menggunakan asam nitrat (HNO_3) 1% terdapat perubahan pada senyawa yang terkandung dalam adsorben dari kulit pisang tanduk yaitu pada puncak 1645 cm^{-1} yang merupakan senyawa alkena menghilang setelah melewati proses aktivasi, proses aktivasi bertujuan untuk membuat situs aktif terhadap senyawa tertentu yang berperan pada adsorben pada saat adsorpsi. Karbon aktif yang telah direaksi dengan asam nitrat mengandung senyawa O – H yang berada pada puncak 3676 cm^{-1} , senyawa ini merupakan senyawa yang dapat menyusun senyawa karboksilat dari senyawa selulosa pada karbon aktif kulit pisang tanduk. Gugus fungsi pada puncak $1650 - 1755\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya keberadaan senyawa C = O, dimana gugus fungsi C = O merupakan gugus yang terdapat pada karbon aktif yang dapat mengindikasikan bahwa karbon aktif dari kulit pisang tanduk memiliki atau dapat membentuk zat aktif karbon setelah direaksikan dengan aktivator HNO_3 1%^[45]. Sehingga, pada proses adsorpsi senyawa C = O dan O – H yang berperan dalam penyisihan ion logam kadmium. Pada pengujian FTIR ini menunjukkan bahwa senyawa yang berperan pada proses adsorpsi adalah senyawa pada gugus fungsi O – H yang akan berikatan dengan senyawa adsorbat dan senyawa

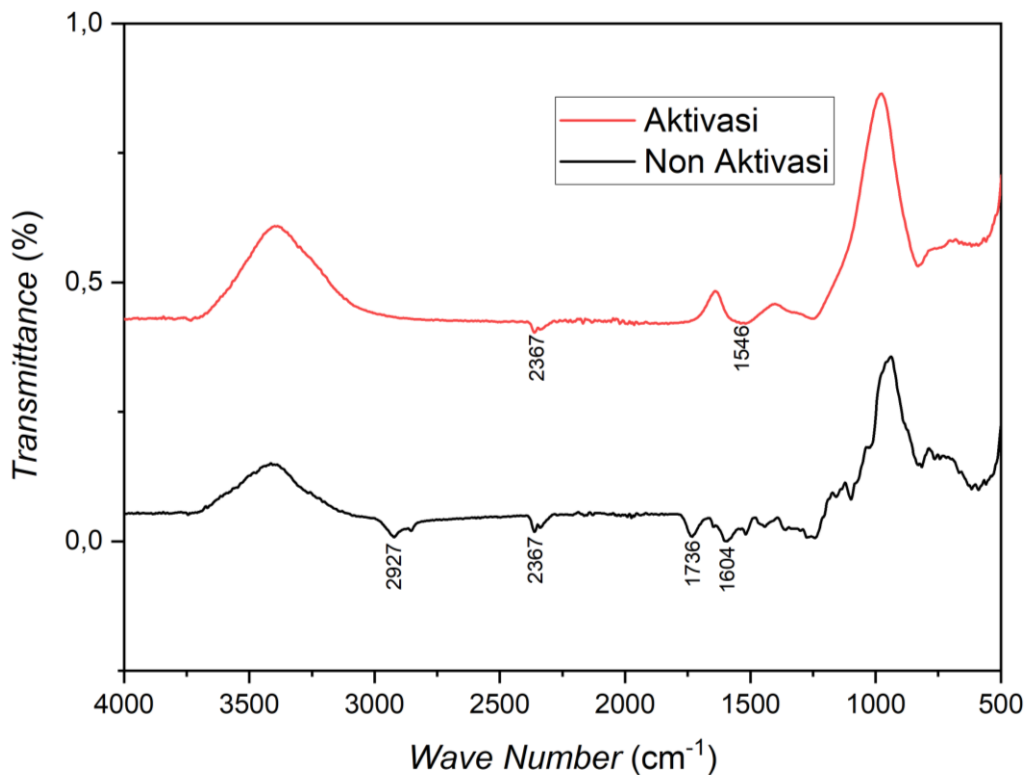
penyusun karbon pada gugus fungsi C = O dengan adanya senyawa selulosa yang berperan pada proses adsorpsi.

Hasil dari analisis instrumen FTIR pada karbon aktif setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada **Tabel 4.2**

Tabel 4. 2 Hasil Analisis FTIR pada Karbon Aktif setelah Adsorpsi

Non Aktivasi	Bilangan Gelombang (cm ¹)	Gugus Fungsi
	Hasil	
	2927	C - H
	2367	C = O = C
	1736	C = O
	1604	C - O
Aktivasi	2367	C = O = C
	1546	C = C

Grafik hasil analisis menggunakan instrumen FTIR pada karbon aktif setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada **Gambar 4.2**



Gambar 4. 2 Karakteristik FTIR Karbon Aktif setelah Proses Adsorpsi

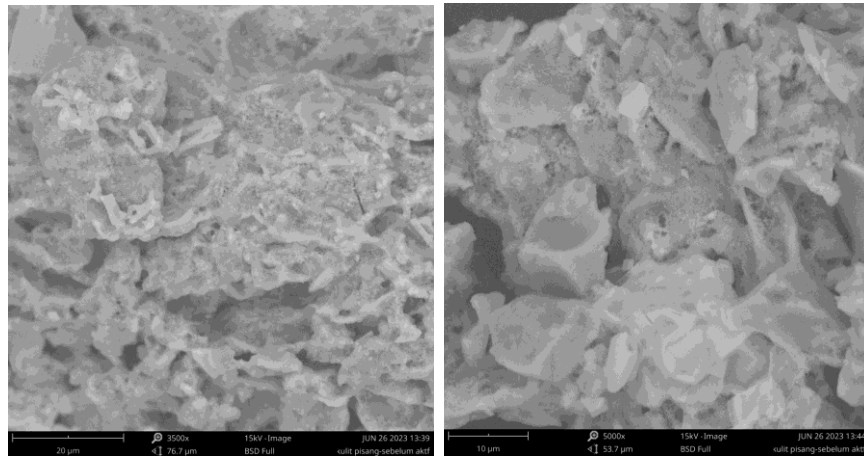
Berdasarkan gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan adanya pergeseran dan perubahan gugus fungsi setelah proses adsorpsi. Karbon aktif sebelum aktivasi

dengan HNO₃ 1%. setelah adsorpsi memiliki gugus fungsi pada puncak 2927 cm⁻¹ yang berada sesuai dengan senyawa C – H dan memiliki gugus fungsi pada puncak 2367 cm⁻¹ C = O = C yang merupakan senyawa pengotor berasal dari faktor lingkungan pada proses pengujian menggunakan instrumen. Selain itu, terdapat gugus fungsi yang terdapat pada puncak 1736 cm⁻¹ dan 1604 cm⁻¹ dengan senyawa C = O dan C – O.

Sedangkan, pada karbon aktif yang telah direaksikan dengan HNO₃ 1% setelah dilakukan proses adsorpsi ada beberapa senyawa yang hilang yaitu O – H dimana senyawa ini akan berikatan dengan ion logam Cd²⁺ pada saat proses adsorpsi. pada karakterisasi karbon aktif yang telah proses adsorpsi adanya gugus fungsi pada puncak 2367 cm⁻¹ dengan senyawa C = O = C yang termasuk ke dalam senyawa karbon dioksida yang disebabkan oleh faktor lingkungan dengan adanya udara bebas pada ruangan. Akan tetapi, senyawa ini mengalami pengurangan setelah proses adsorpsi dibandingkan pada sebelum proses adsorpsi. Gugus fungsi lain ditemukan pada puncak 1546 cm⁻¹ dengan adanya senyawa C = C dari senyawa aromatik.

4.1.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian menggunakan *Scanning Electron Miscroscope* (SEM) untuk menggambarkan adanya perubahan sifat morfologi pada permukaan adsorben karbon aktif dari kulit pisang tanduk sebelum dan setelah aktivasi menggunakan aktivator asam nitrat (HNO₃)^[10]. Analisis menggunakan instrumen SEM dapat menunjukkan struktur pori – pori pada karbon aktif sebelum dan setelah direaksikan dengan asam nitrat^[46]. Morfologi dan struktur pori pada karbon aktif dari kulit pisang sebelum di aktivasi dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.

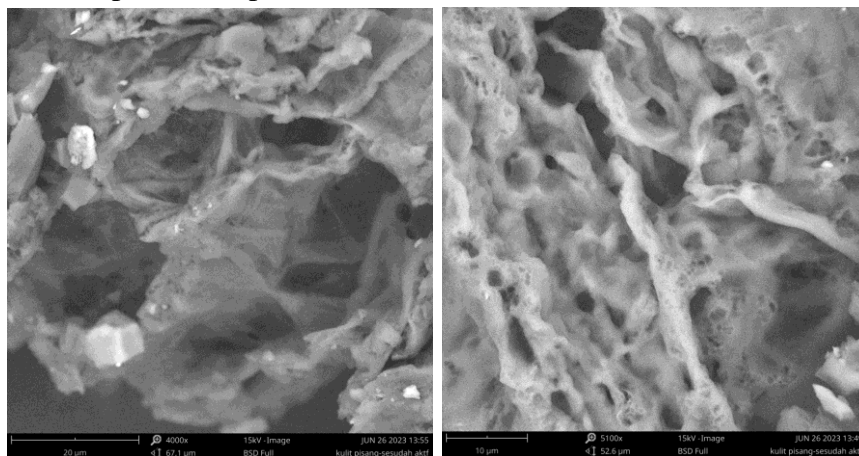


(A)

(B)

Gambar 4. 3 Hasil uji SEM karbon aktif kulit pisang tanduk sebelum aktivasi dengan perbesaran 3500X (A) dan perbesaran 5000X (B)

Morfologi dan struktur pori pada karbon aktif dari kulit pisang setelah di aktivasi dapat dilihat pada **Gambar 4.4.**



(A)

(B)

Gambar 4. 4 Hasil uji SEM karbon aktif kulit pisang tanduk setelah aktivasi dengan perbesaran 4000X (A) dan perbesaran 5100X (B)

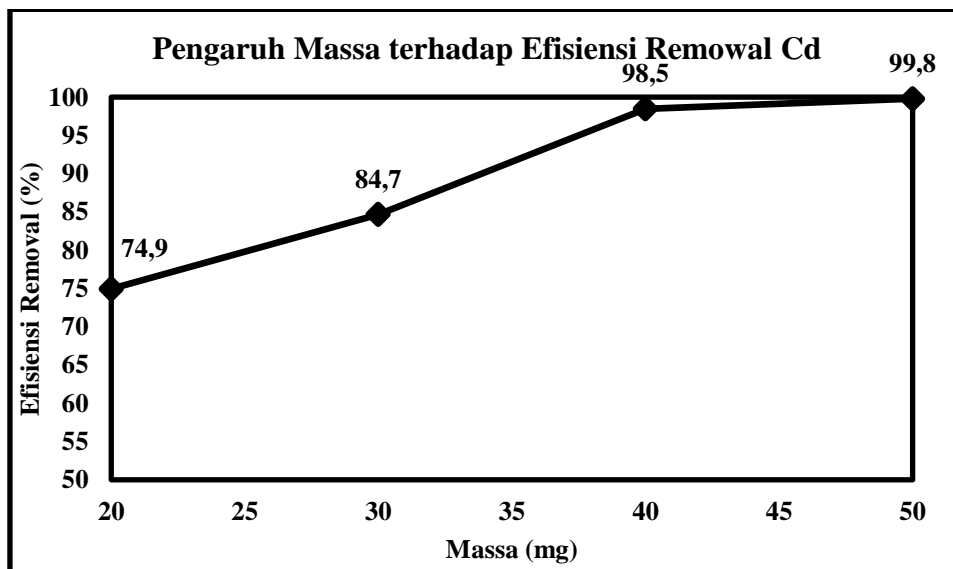
Berdasarkan pada Gambar 4.3 hasil uji SEM dapat dilihat bahwa morfologi karbon aktif dari kulit pisang tanduk sebelum aktivasi atau direaksikan dengan asam nitrat (HNO_3) mempunyai struktur permukaan yang lebih halus disebabkan oleh adanya zat pengotor yang menutupi pori karbon aktif, sehingga struktur pori dan lubang pori pada adsorben yang belum diaktivasi terlihat lebih kecil. Sedangkan, sifat morfologi karbon aktif dari kulit pisang tanduk yang telah diaktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.4 yang

menunjukkan bahwa ada perubahan setelah karbon aktif direaksikan dengan asam nitrat (HNO_3) 1% struktur permukaan terlihat menjadi kasar karena mulai terbentuk pori dan jumlah pori yang relatif lebih banyak, lubang pori terlihat lebih dalam dan berkurangnya zat pengotor yang terdapat pada permukaan adsorben.

4.2. Hasil Uji Adsorpsi

4.2.1 Hasil Uji Variasi Massa

Pengujian massa pada adsorben bertujuan untuk mengetahui pengaruh massa terhadap penjerapan ion logam berat menggunakan karbon aktif kulit pisang. Berat adsorben dalam proses adsorpsi merupakan satu hal yang penting karena penjerapan ion logam kadmium akan meningkat dengan adanya penambahan massa adsorben, hal ini disebabkan hubungan adsorben dengan adsorbat dan efisien penyisihan yang dipengaruhi oleh banyaknya permukaan adsorben yang menjadi aktif dalam menjerap ion logam kadmium^[47]. Efisiensi penyisihan ion logam kadmium pada kondisi optimum terhadap variasi massa dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Efisiensi Removal Karbon Aktif dengan Cd^{2+} Terhadap Variasi Massa

($C_0 = 30$ ppm; $V = 25$ mL; $t = 120$ menit; $\text{pH} = 5$)

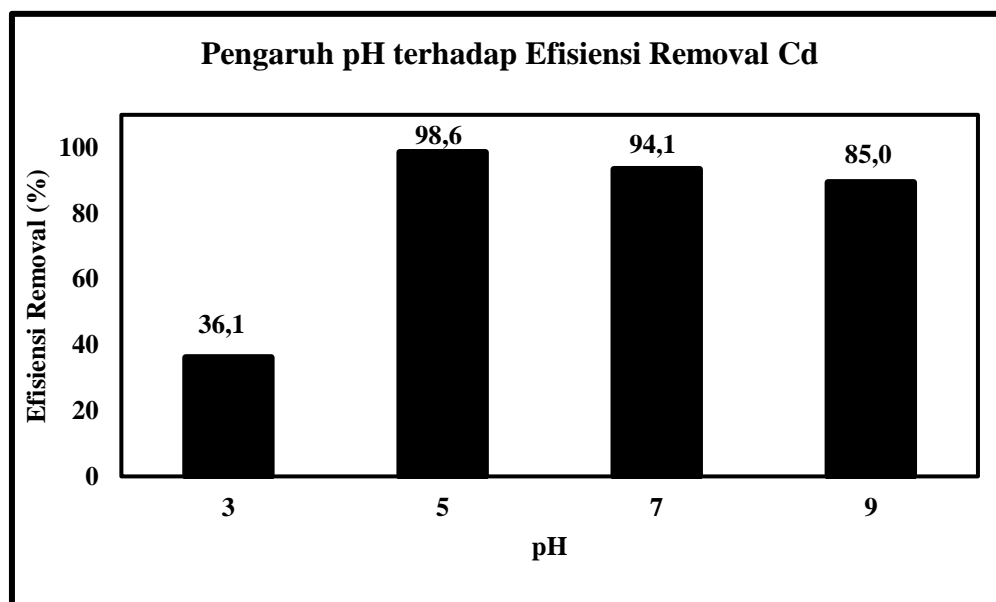
Berdasarkan grafik efisiensi removal terhadap variasi massa menunjukkan adanya peningkatan presentase penjerapan ion logam Cd^{2+} oleh

karbon aktif dari pisang tanduk. Pada pengujian variasi menggunakan konsentrasi larutan Cd^{2+} 30 ppm dengan menggunakan pH larutan awal yaitu pH 5, waktu kontak pengadukan 120 menit. Peningkatan efisiensi penjerapan berbanding lurus dengan penambahan massa adsorben, dimana semakin banyak jumlah adsorben maka efisiensi penjerapan ion logam Cd^{2+} semakin tinggi. Pada penggunaan adsorben sebesar 0,02 gram efisiensi penjerapan yaitu sebesar 74,9%, kemudian efisiensi penyisihan ion logam Cd^{2+} meningkat dengan penambahan massa 0,03 gram, 0,04 gram dan 0,05 gram dengan efisiensi penyisihan sebesar 84,7%, 98,5% dan 99,8%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya efisiensi penyisihan ion logam kadmium meningkat dengan adanya penambahan dosis adsorben^[48]. Penelitian lain mengemukakan bahwa terdapat pengaruh massa terhadap proses adsorpsi karena penjerapan ion logam Cd^{2+} disebabkan oleh luas permukaan adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi. Peningkatan penjerapan terjadi diawal pada saat penambahan dosis adsorben hingga mencapai titik optimum, akan tetapi menungkinakan bahwa pengikatan ion kadmium oleh adsorben akan mengalami penurunan apabila adanya penambahan dosis adsorben lebih lanjut karena terjadi penumpukan pada permukaan adsorben dan berdampak pada penurunan luas permukaan total adsorben^[49].

4.2.2 Hasil Uji pH Optimum

Pada proses adsorpsi pengujian pH merupakan hal yang sangat penting yang dapat mempengaruhi proses terjadi penjerapan ion logam Cd^{2+} oleh adsorben. Derajat keasamaan dapat mempengaruhi proses adsorpsi yang terjadi pada suatu larutan karena pengaruh bentuk ion yang akan diadsorpsi, jenis adsorben yang akan digunakan pada proses adsorpsi dan muatan pada permukaan adsorben^[50]. Selain itu, derajat keasamaan dapat mempengaruhi jenis ion logam yang terdapat pada suatu larutan, sehingga dapat dipengaruhi oleh adanya situs aktif seperti kation dan adanya gugus fungsi ion H^+ yang akan berikatan dengan jenis adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi^[51]. Pada penelitian ini menggunakan variasi pH 3, 5, 7 dan 9 dengan konsentrasi larutan Cd^{2+} 30 ppm.

Efisiensi penyisihan ion logam kadmium pada kondisi optimum terhadap variasi pH dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4. 6 Efisiensi Removal Karbon Aktif dengan Cd^{2+} Terhadap Variasi pH
(massa = 0,05 gram; Co = 30 ppm; V = 25 mL; t = 120 menit)

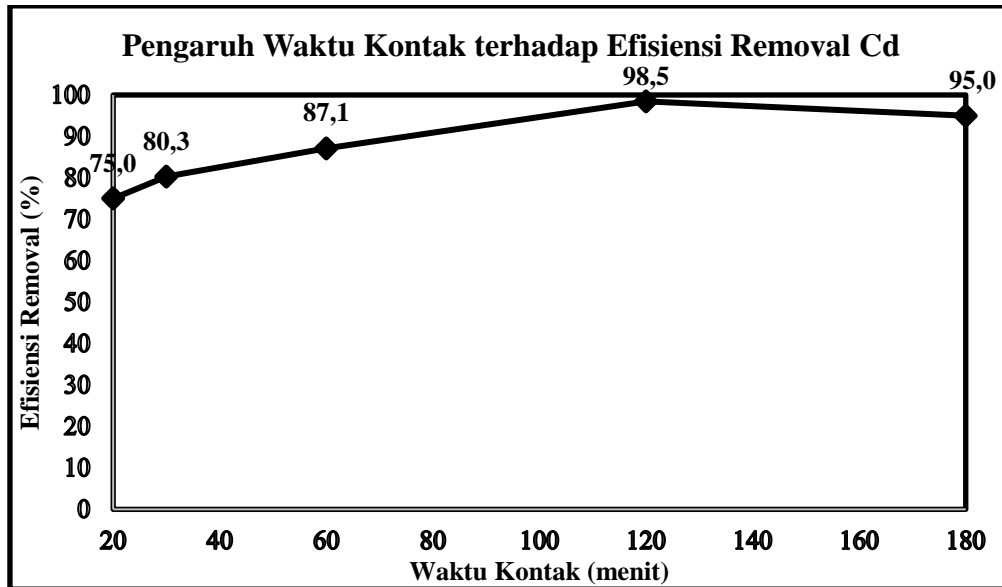
Berdasarkan grafik efisiensi penyisihan ion logam Cd^{2+} menunjukkan bahwa pH optimum dalam penyerapan ion logam Cd^{2+} menggunakan karbon aktif yang terbuat dari kulit pisang tanduk terjadi pada pH 5 dengan konsentrasi 31,93 ppm, kecepatan pengadukan 150 rpm dengan waktu kontak 120 menit dan massa 50 mg mempunyai nilai efisiensi penyisihan ion logam sebanyak 98,6%, hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya menyatakan bahwa penyerapan ion logam Cd efektif pada pH 4 – 8^[39]. Pada pH 3 dengan menghasilkan persentase penyisihan ion logam Cd^{2+} sebesar 36,1% yang termasuk kategori penyisihan yang relatif rendah. Kemampuan adsorpsi pada pH rendah yaitu pH 3 relatif kecil dapat disebabkan oleh adanya gugus fungsi yang terdapat pada adsorben dengan kondisi asam akan terprotonisasi atau terperangkap oleh adanya ion H^+ , sehingga menyebabkan adanya persaingan ion H^+ dan Cd^{2+} untuk bereaksi dan terikat oleh adsorben. Pada pH 7 menghasilkan efisiensi penyisihan logam berat Cd^{2+} sebesar 93,4% pada pH netral kemampuan adsorpsi pada logam kadmium relatif tinggi karena peningkatan pH akan mempengaruhi kemampuan adsorpsi, penelitian lain menyatakan bahwa pH optimum pada proses adsorpsi berada pada rentan dibawah pH 8. Sedangkan, pada pH 9 mulai terjadi endapan karena logam kadmium mulai mengendap pada pH tinggi. Efisiensi penyisihan ion logam Cd^{2+} pada pH 9 yaitu sebesar 89,4%, pada pH 9 daya adsorpsi logam

kadmium menurun dibandingkan pada pH 5 dan pH 7 dikarenakan pada pH tinggi dapat mempengaruhi permukaan adsorben dengan adanya proses deprotonisasi yang mengakibatkan adanya perubahan yang disebabkan adanya muatan negatif, sehingga pada pH 9 akan membentuk endapan menjadi $\text{Cd}(\text{OH})_2$ dengan kondisi ini ion logam tidak lagi teradsorpsi karena adanya penambahan K_{sp} pada $\text{Cd}(\text{OH})_2$, hal ini dapat dinyatakan bahwa logam kadmium mengendap dimulai pada pH 9^[52].

4.2.3 Hasil Uji Waktu Kontak Optimum

Pengujian kondisi optimum waktu kontak pada proses adsorpsi ion logam Cd^{2+} merupakan parameter penting untuk diuji karena untuk mengetahui daya serap adsorben berupa karbon aktif dari kulit pisang tanduk yang teraktivasi asam nitrat (HNO_3) 1% dalam menyerap logam kadmium^[39]. Proses reaksi pengikatan antara adsorben dengan ion logam kadmium terjadi pada waktu awal dan waktu selanjutnya akan mengikuti dengan seragam pada proses penyerapan pada awal waktu. Hal lain yang dapat terjadi yaitu adanya penurunan daya adsorpsi terhadap ion logam kadmium diakibatkan terjadinya dekomposisi yang lebih lanjut pada dinding sel biomassa^[52]. Waktu kontak dalam proses adsorpsi adalah hal yang penting karena merupakan faktor yang dapat merefleksikan kinetika proses interaksi antara adsorben dengan ion logam kadmium, sehingga waktu kontak dapat dijadikan sebagai indikator untuk menentukan tingkat efisiensi penyisihan logam kadmium dan acuan untuk menentukan efisiensi penggunaan adsorben pada proses adsorpsi^[53]. Pada penelitian ini menggunakan variasi waktu kontak 5, 10, 20, 30, 60, 120 dan 180 menit dengan konsentrasi 30 ppm, pH 5 dan massa adsorben 0,05 g.

Efisiensi penyisihan ion logam kadmium pada kondisi optimum terhadap variasi waktu kontak dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4. 7 Efisiensi Removal Karbon Aktif dengan Cd^{2+} Terhadap Variasi Waktu Kontak (massa = 0,05 gram; $Co = 30$ ppm; $V = 25$ mL; $pH = 5$)

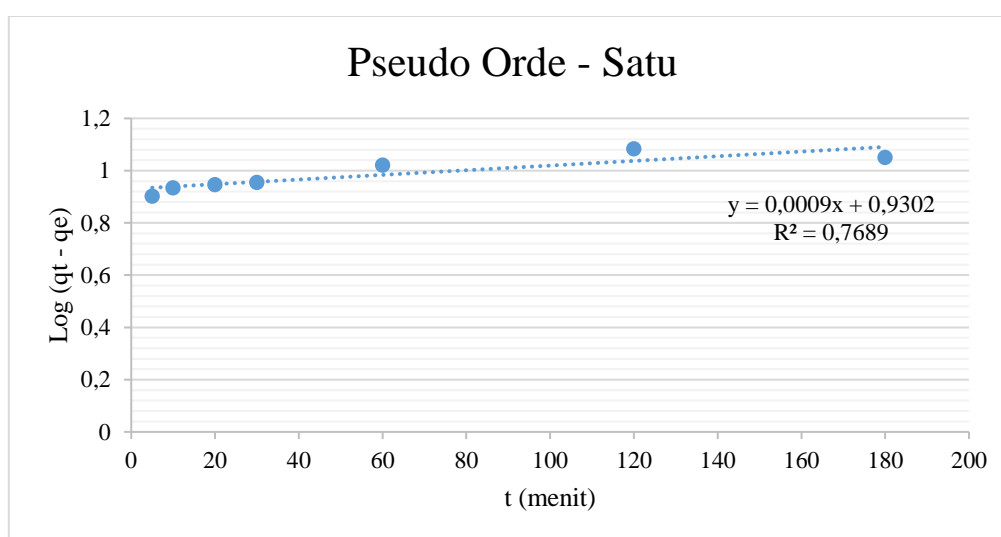
Berdasarkan grafik efisiensi penyisihan ion logam kadmium pada pengujian waktu kontak dapat dinyatakan bahwa peningkatan efisiensi penyisihan ion logam terjadi dengan adanya penambahan waktu kontak karena disebabkan oleh waktu interaksi adsorben dengan ion Cd^{2+} dapat meningkatkan kemampuan penyisihan ion logam kadmium. Pada pengujian ini efisiensi penyisihan ion logam kadmium mencapai optimum pada waktu pengadukan 120 menit dengan nilai removal sebesar 98,5%, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu untuk mencapai kondisi optimum dibutuhkan waktu kontak yang lama^[54]. Kemampuan adsorpsi dapat meningkat pada 10 menit pertama dengan efisiensi penyisihan berkisar antara 75 – 98%, sehingga 120 menit mencapai kondisi optimum, pada menit 180 terjadi penurunan dengan persentase efisiensi penyisihan menjadi 95,0% disebabkan oleh adsorben yang telah mencapai titik jenuh^[55], pada penelitian lain menyebutkan bahwa terjadinya penurunan disebabkan oleh situs aktif yang ada pada adsorben telah dipenuhi dengan ion – ion Cd^{2+} , sehingga tidak mampu mengadsorpsi ion logam kadmium^[56].

4.2.4 Kinetika Adsorpsi

Parameter yang digunakan dalam menentukan kinetika adsorpsi pada karbon aktif dari kulit pisang tanduk yaitu variasi waktu kontak. Kinetika adsorpsi berlangsung dengan semakin cepat waktu yang diperlukan, maka

semakin besar juga laju reaksi yang terjadi pada proses adsorpsi^[57]. Model kinetika yang digunakan ialah model kinetika *pseudo* orde – satu dan *pseudo* orde – dua. Model *pseudo* orde – satu ini menggambarkan batasan kemampuan suatu adsorbat yang dapat teradsorp oleh suatu adsorben yang dapat menentukan tercapainya waktu kesetimbangan pada proses adsorpsi ataupun laju adsorpsi karbon aktif dari kulit pisang tanduk berada sebanding dengan kesetimbangan ion logam kadmium yang terjebak oleh adsorben yang terjadi dalam beberapa waktu kontak ($qt - qe$).

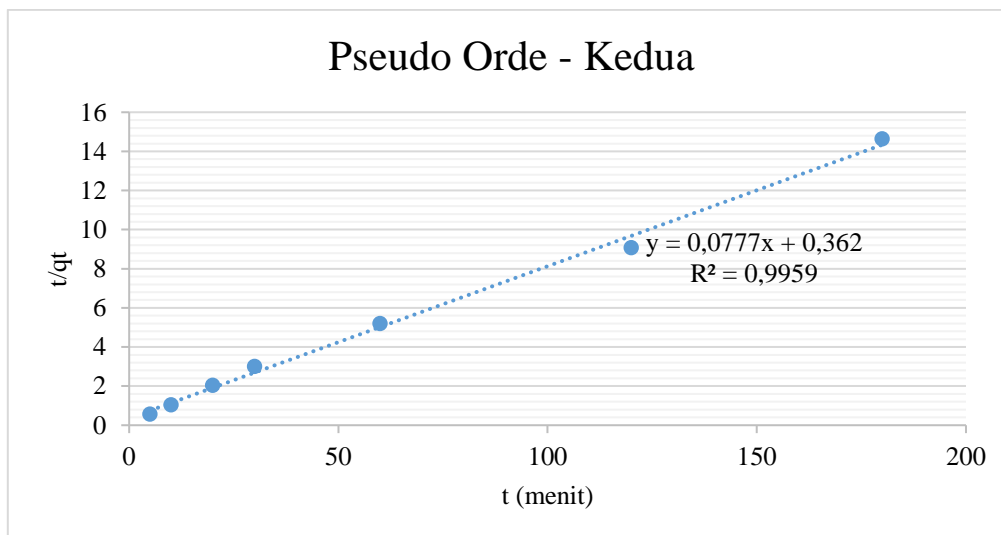
Nilai K1 dapat ditentukan dengan membuat grafik hubungan antara $\log (qt - qe)$ terhadap t yang dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4. 8 Grafik Model Kinetika *Pseudo* Orde - Satu

Berdasarkan Gambar 4.7 Dapat dihasilkan nilai slope = 0,0009, intersep = 0,9302 dan nilai R^2 0,7689. Kinetika adsorpsi pada model *pseudo* orde – satu dapat terjadi berdasarkan jumlah ion logam Cd^{2+} yang terjebak pada permukaan adsorben karbon aktif dari kulit pisang pada waktu tertentu dan pada waktu mencapai kesetimbangan^[58].

Model kinetika model *pseudo* orde – dua dapat dikatakan sebagai reaksi – semu, dalam menentukan konstanta laju reaksi dan nilai q_e pada proses adsorpsi dapat menggunakan grafik antara t terhadap t/qt . Data q_e didapatkan dari nilai slope dan nilai konstanta didapatkan dari nilai intersep. Grafik model kinetika *pseudo* orde – dua dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4. 9 Grafik Model Kinetika *Pseudo* Orde - Dua

Berdasarkan grafik kedua model kinetika pseudo orde – satu dan pseudo – dua, laju reaksi pada adsorpsi ion logam Cd^{2+} dengan menggunakan adsorben karbon aktif dari kulit pisang tanduk menunjukkan bahwa laju reaksi pada proses adsorpsi mengikuti model kinetika *pseudo* orde – dua. Hal ini dapat dinyatakan dengan perbandingan nilai R^2 pada kedua model, nilai R^2 pada model kinetika pseudo orde – satu yaitu 0,7689 dan nilai R^2 pada model kinetika *pseudo* orde – dua yaitu 0,9959 hampir mendekati nilai 1, sehingga menunjukkan proses adsorpsi mengikuti model kinetika pseudo orde – dua. Hal ini dapat menyatakan bahwa terdapat linieritas pada ion logam Cd^{2+} yang teradsorpsi (t/qt) dengan waktu kontak (t).

Model kinetika adsorpsi ion logam Cd^{2+} menggunakan karbon aktif dari kulit pisang tanduk dapat dilihat pada **Tabel 4.3**

Tabel 4. 3 Perbandingan nilai R^2 dan K pada Kinetika Adsorpsi

Model			
Pseudo Orde - Satu		Pseudo Orde - Dua	
R2	0,7689	R2	0,9959
K	0,9302	K	0,3620

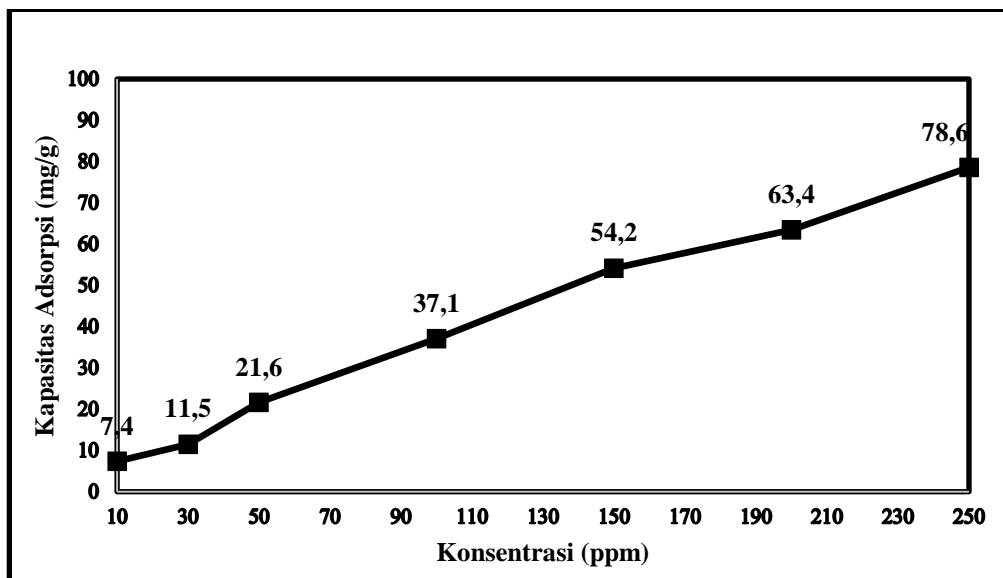
Berdasarkan tabel 4.2 Dapat dinyatakan bahwa proses adsorpsi pada ion logam Cd^{2+} terdapat dua variabel yang mempengaruhi proses adsorpsi yaitu adsorbat yang akan dijerap dan adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi.

Sehingga, dapat dinyatakan bahwa variasi massa adsorben dan variasi konsentrasi dapat mempengaruhi laju adsorpsi^[59].

4.2.5 Hasil Uji Konsentrasi Optimum

Pengujian konsentrasi optimum pada proses adsorpsi merupakan hal yang diperlukan untuk mengetahui konsentrasi dengan konsisi ideal untuk dilakukan adsorpsi. Pada pengujian konsentrasi optimum ditambahkan massa sebanyak 0,05 gram dengan pengadukan selama 120 menit dan menggunakan pH larutan 5 untuk menyerap ion Cd^{2+} . Adapun variasi konsentrasi yang digunakan pada proses adsorpsi 10, 30, 50, 100, 150, 200 dan 250 ppm. Dalam menentukan konsentrasi optimum adsorpsi dilakukan dengan melakukan interaksi antara karbon aktif dari kulit pisang tanduk dengan ion logam Cd^{2+} pada pH optimum yaitu pH 5. Pada pengujian variasi konsentrasi pada konsentrasi awal efisiensi penyisihan ion logam cenderung meningkat^[60]. Variasi konsentrasi dapat mempengaruhi jumlah ion logam yang akan dihilangkan^[61].

Kapasitas adsorpsi ion logam kadmium pada kondisi optimum terhadap variasi konsentrasi dapat dilihat pada **Gambar 4.10**.



Gambar 4. 10 Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dengan Cd^{2+} Terhadap Variasi Konsentrasi (massa = 0,05 gram; C_0 = 30 ppm; V = 25 mL; pH = 5 ; waktu = 120 menit)

Berdasarkan pada grafik yang terdapat pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi pada konsentrasi 10 ppm 7,4 mg/g, pada konsentrasi 30

ppm kapasitas adsorpsi 11,5 mg/g, pada konsentrasi 50 ppm kapasitas adsorpsi 21,6 mg/g hingga konsentrasi 250 ppm kapasitas adsorpsi meningkat. Peningkatan kapasitas adsorpsi semakin meningkat menunjukkan bahwa pada konsentrasi tinggi ion logam Cd^{2+} semakin banyak. Hal ini menyebabkan adanya penambahan ion logam kadmium yang terlarut yang berinteraksi dan terjerap dalam pori – pori karbon aktif. Sehingga dapat dikatakan jumlah ion logam kadmium yang terjerap oleh adsorben bergantung terhadap konsentrasi zat terlarut^[62].

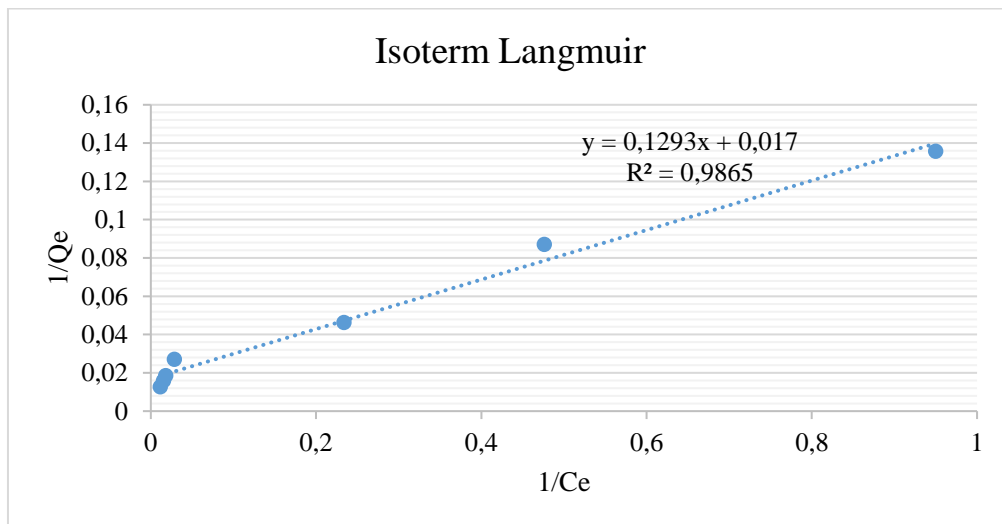
4.2.6 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Kapasitas suatu adsorbat pada proses adsorpsi dapat dijadikan sebagai indikasi sebagai kemampuan adsorben dalam menjerap ion logam berat yang ada dalam suatu larutan. Ada beberapa yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi, salah satunya adalah parameter konsentrasi logam berat pada larutan maupun pada limbah. Pada penelitian ini kajian model isoterm yang digunakan karbon aktif kulit pisang tanduk menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Isoterm Langmuir berdasarkan monolayer ion logam pada permukaan karbon aktif dan sistem adsorpsi pada isoterm Langmuir dipertimbangkan sebagai konstan, sedangkan pada isoterm Freundlich dikembangkan untuk sistem yang heterogen dengan adanya konsep multilayer adsorpsi pada permukaan adsorben^[63] dan pada isoterm Langmuir diasumsikan bahwa adanya sifat homogen pada permukaan adsorben dengan adsorpsi di permukaan bersifat *localised adsorption* yang mana molekul yang teradsorp oleh suatu adsorben berada pada situs tertentu dan terlokalisasi pada situs permukaan tersebut, asumsi lain pada isoterm Langmuir adalah setiap situs aktif pada permukaan adsorben hanya mampu mengakomodasi satu molekul adsorbat, sedangkan pada isoterm Freundlich digunakan untuk menyatakan heterogenitas permukaan adsorben, pada isoterm Freundlich terdapat asumsi bahwa topografi pada permukaan adsorben terbagi dalam beberapa daerah yang mana situs yang memiliki interaksi antara adsorben dengan adsorbat^[10].

Analisis kapasitas adsorpsi dapat dilakukan dengan membandingkan antara model Langmuir dan model Freundlich, pada penggunaan model Langmuir

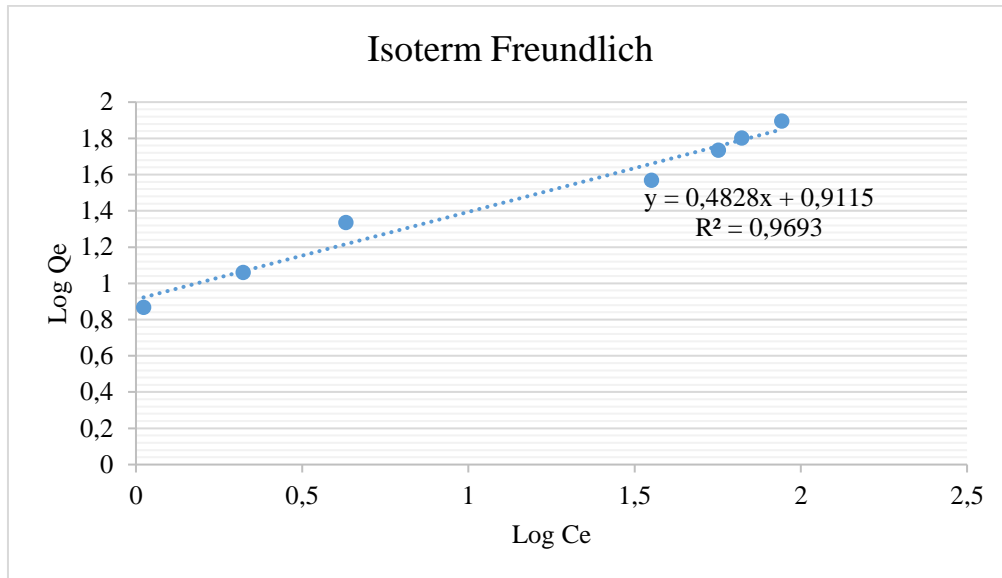
melakukan perhitungan terhadap $1/Q_e$ dan dibandingkan terhadap $1/C_e$.
 sedangkan, pada model Freundlich melakukan perhitungan nilai $\log Q_e$ yang
 kemudian dibandingkan dengan nilai $\log C_e$. Setelah itu didapatkan nilai R^2 pada
 masing – masing isoterm Langmuir dan Freundlich. Nilai R^2 tertinggi adalah yang
 mendekati nilai 1 , sehingga akan diperoleh nilai slope dan intersep yang
 mempunyai hubungan dengan kapasitas adsorpsi pada karbon aktif kulit pisang
 tanduk.

Grafik model isoterm Langmuir dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4. 11 Grafik Model Isoterm Langmuir

Hasil analisis kesetimbangan adsorpsi menggunakan model isoterm
 Freundlich didapatkan nilai R^2 sebesar 0,9032 dan dengan persamaan $y =$
 $0,4828x + 0,9115$ dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4. 12 Grafik Model Isoterm Freundlich

Berdasarkan hasil dari perbandingan kedua model isoterm, dapat disimpulkan bahwa kedua model isoterm dapat digunakan dalam mengidentifikasi kapasitas adsorpsi menggunakan karbon aktif dari kulit pisang tanduk yaitu isoterm Langmuir karena menghasilkan nilai R^2 lebih besar yaitu 0,9865 , nilai slope pada isoterm Langmuir yaitu 0,1293 dan nilai intersep yaitu 0,017 didapatkan nilai R_L yaitu 0,0321 yang menunjukkan bahwa berada pada rentang 0 hingga 1, sehingga dapat disimpulkan bahwa kemampuan adsorpsi karbon aktif dari kulit pisang tanduk baik untuk mengadsorp ion logam Cd^{2+} , dimana adsorpsi pada karbon aktif dengan mekanisme pada situs yang tetap yang homogen dengan adsorpsi yang menempati monolayer. Sehingga model isoterm Langmuir pada penelitian ini dapat digunakan untuk merepresentasikan proses adsorpsi.

Perbandingan nilai slope, intersep dan R^2 pada masing – masing model dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4. 4 Perbandingan nilai R^2 pada Model Isoterm Langmuir dan Freundlich

Model Isoterm	Indikator	Nilai
Langmuir	Qo/slope	0,12
	n/intersep	0,017
	Qmax	58,82
	KL	0,13
	RL	0,03
	R2	0,9865
Freundlich	slope	0,48
	intersep	0,91
	1/n	0,48
	Kf	8,15
	R2	0,9693

Pada analisis kesetimbangan adsorpsi menggunakan model Langmuir didapatkan nilai $R^2 = 0,9865$ dengan persamaan $y = 0,1293x + 0,017$, sehingga dapat diperoleh kemampuan adsorben karbon aktif dari kulit pisang tanduk sebesar $Q_{max} = 58,8235$ mg/g.

4.2.7 Perbandingan Adsorben Aktivasi dan Non Aktivasi

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan karbon aktif non aktivasi dengan karbon aktif yang teraktivasi oleh HNO_3 1% untuk melihat efisiensi penyisihan ion logam Cd^{2+} menggunakan adsorben non aktivasi dan aktivasi. Pada pengujian ini menggunakan massa 0,05 gram, konsentrasi 30 ppm, pH 5, waktu kontak pengadukan 120 menit. Data hasil analisis perbandingan adsorben non aktivasi dan aktivasi terhadap penyisihan ion logam kadmium dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4. 5 Data Hasil Analisis Perbandingan Adsorben Aktivasi dan Non Aktivasi terhadap Penyisihan Ion Kadmium

Sampel	Konsentrasi awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Efisiensi Removal (%)
Aktivasi	28,40	1,230	95,67
Non aktivasi		12,020	57,68

Berdasarkan hasil analisis persentase removal yang terdapat pada Tabel 4.5 dapat dinyatakan bahwa adsorben yang teraktivasi HNO_3 1% lebih efektif dalam menyerap ion logam Cd^{2+} dibandingkan dengan adsorben non aktivasi.

Pada adsorben yang teraktivasi efisiensi penyisihan ion logam Cd^{2+} mencapai 95,67%, sedangkan pada adsorben yang non aktivasi penyisihan ion logam Cd^{2+} sebesar 57,68%. Adsorben yang teraktivasi lebih efektif karena penambahan HNO_3 1% akan terjadi reaksi antara karbon aktif dan asam nitrat, sehingga dapat mengaktifkan porositas dan adanya perubahan struktur pori yang berperan penting pada proses penyerapan ion logam kadmium pada proses adsorpsi.

4.2.8 Aplikasi Adsorben terhadap Limbah Batik

Pengujian adsorben non aktivasi dan aktivasi terhadap limbah batik bertujuan untuk mengetahui efektifitas adsorben karbon dari kulit pisang tanduk dalam menyerap ion logam Cd^{2+} dalam sampel air limbah batik. Pengujian ini diawali dengan melakukan destruksi pada sampel air limbah batik, sehingga konsentrasi kadmium pada limbah batik dapat dibaca menggunakan instrumen AAS yang menunjukkan konsentrasi 0,65 ppm. Proses adsorpsi pada limbah batik menggunakan adsorben non aktivasi dan teraktivasi HNO_3 dengan massa 0,05 gram, pH 5, waktu kontak pengadukan 120 menit. Data analisis aplikasi adsorben dalam penyisihan ion logam Cd^{2+} dalam limbah batik dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4. 6 Data Hasil Analisis Penyisihan Ion Logam Cd^{2+} dalam Limbah Batik

Sampel	Konsentrasi awal (ppm)	Konsentrasi akhir	Efisiensi Removal (%)
Aktivasi	0,65	0,358	44,92
Non aktivasi		0,439	32,46

Berdasarkan pada Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai efektifitas penyisihan ion logam kadmium menggunakan adsorben aktivasi lebih tinggi yaitu 44,92% dibandingkan dengan karbon yang tidak aktivasi dengan efisiensi penyisihan 32,46%. Terjadi penurunan efisiensi removal menggunakan adsorben kulit pisang pada ion logam kadmium pada limbah batik karena pada limbah batik terdapat parameter lainnya seperti pH dan logam berat lain yang terkandung di dalam limbah batik.

Parameter pH mempengaruhi adsorpsi logam karena setiap logam memiliki spesiasi berbeda – beda dan optimum pada pH yang berbeda. Logam lain yang terkandung menyebabkan adanya kompetisi antara ion logam kadmium dengan ion logam lain. Sehingga, pada proses adsorpsi tidak hanya ion logam kadmium yg terjerap, akan tetapi logam lain yang terkandung akan mengalami proses penjerapan oleh adsorben kulit pisang tanduk.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pada penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Karbon aktif dari kulit pisang mampu menyerap ion Cd^{2+} pada larutan artifisial dan mampu menyisihkan logam kadmium pada limbah cair batik karena karbon aktif memiliki kandungan gugus fungsi $\text{O} - \text{H}$ dan $\text{C} = \text{O}$ merupakan senyawa yang berperan dalam proses adsorpsi
2. Adsorpsi ion logam Cd^{2+} kondisi optimum menggunakan massa 50 mg dengan efisiensi removal sebesar 99,8%, pada pH 5 dengan efisiensi removal ion Cd^{2+} yang teradsorp sebesar 98,6% dengan waktu kontak 120 menit dengan efisiensi removal 98,5% dengan kapasitas maksimum 58,82 mg/g. Pada limbah cair batik karbon aktif dapat menyisihkan logam kadmium dengan efisiensi 44,92%.

5.2. Saran

Saran yang dapat disampaikan pada penelitian tugas akhir ini untuk penelitian selanjutnya yaitu kulit pisang tanduk dijemur terlebih dahulu selama 24 jam. Selanjutnya dapat dilakukan aktivasi menggunakan aktivator lain dan dapat dilakukan penelitian lanjutan terkait dengan adsorpsi karbon aktif pada kulit pisang tanduk yang secara langsung diaplikasikan terhadap limbah batik atau limbah yang dihasilkan oleh industri lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahayu. A, Maryudi, Hanum. F. F, Fajri. J. A, Anggraini. W. D, dan Khasanah. U. 2021. "Review: Pengolahan Limbah cair Industri dengan Menggunakan Silika". *Technol.* vol. 02, no. 01, pp. 2776–169.
- [2] Setiyono. A dan Gustaman. R. A. 2017. "Pengendalian Kromium (Cr) yang terdapat di Limbah Batik dengan Metode Fitoremediasi". *Unnes Journal of Public Health.* vol. 3, no. 1, pp. 1–10.
- [3] Juliani. A, Rahmawati. S, and Yoneda. M. 2021. "Heavy Metal Characteristics of Wastewater From Batik Industry in Yogyakarta Area, Indonesia". *Int. J. GEOMATE*, vol. 20, no. 80, pp. 59–67.
- [4] Irianti. T. T. Kuswadi. Nuranto. S, dan Budiyatni. A. 2017. "Logam Berat dan Kesehatan". *Graf. Indah ISBN 979820492-1*, pp. 1–131.
- [5] Rahmadani. T. B. C dan Diniariwisan. D. 2023. "Review: Pencemaran Logam Berat Jenis Kadmium (Cd) di Perairan dan Dampak terhadap Ikan". *Jurnal Ganec Swara.* vol. 17, no. 2, pp. 440–445.
- [6] Agustina. T. 2014. "Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan". *Teknobuga*, vol. 1, no. 1, pp. 53–65.
- [7] Siswoyo. E, Qoniah. I, Lestari. P, Fajri. J. A, Sani. R. A, Sari. D. G, Boving. T. 2019. "Development of a floating adsorbent for cadmium derived from modified drinking water treatment plant sludge". *Environ. Technol. Innov.* vol. 14, p. 100312.
- [8] Amaliasani. R. 2016. "Adsorpsi Kadmium Menggunakan Adsorben Berbasis Lumpur Instalasi Pengolahan Air Minum Yang Dienkapsulasi Dalam Agar Dan Alginate Gel". <https://dspace.uii.ac.id>.

- [9] Delaroza. R. 2019. "Adsorpsi logam berat menggunakan adsorben alami pada air limbah industri". *Univ. Trisakti Jakarta*, pp. 1–5.
- [10] Astuti. W. 2018. "Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa". Unnes Press.
- [11] Widayatno. T, Yuliatwati. T, Susilo. A. A. 2017. "Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif". *J. Teknol. Bahan Alam*, vol. 1, no. 1, pp. 17–23.
- [12] Arifiyana. D dan Devianti V. A. 2020. "Biosorpsi Logam Besi (Fe) Dalam Media Limbah Cair Artifisial Menggunakan Adsorben Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)". *J. Kim. Ris.*, vol. 5, no. 1, p. 1.
- [13] Rahayu L. H, Purnavita. S, dan Sriyana. H. Y. 2014. "Potensi Sabut dan Tempurung Kelapa sebagai Adsorben untuk meregenerasi Minyak Jelantah". *Momentum*, vol. 10, no. 1, pp. 47–53.
- [14] Purnama. H dan Kurnianto. A. R. 2016 "Pemanfaatan Tongkol Jagung Untuk Adsorpsi Zat Warna Reactive Blue 19". *3rd Universty Res. Coloquium*, pp. 41–47.
- [15] Aisyahlika. S. Z, Firdaus. M. L, Elvia. R. 2018. "Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (*Cerbera odollam*) Terhadap Zat Warna Sintesis *Reactive RED-120* Dan *Reactive BLUE-198*," *J. Pendidik. Dan Ilmu Kim.*, vol. 2, no. 2, pp. 148–155.
- [16] Lestari. S. 2010. "Pengaruh berat dan waktu kontak untuk adsorpsi Timbal(II) oleh adsorben dari kulit batang jambu biji (*Psidium guava L.*)". *J. Kim. Mulawarman*, vol. 8, no. 1, pp. 7–10.

- [17] Satriani. D, Ningsih. P, Ratman. 2016. "Serbuk Dari Limbah Cangkang Telur Ayam Ras Sebagai Adsorben Terhadap Logam Timbal (Pb)". *J. Akad. Kim.*, vol. 5, no. 3, pp. 103–108.
- [18] Anugrah. R, Mardawati. E, Putri. S.H, Yuliani. T. 2020. "Karakterisasi Bioetanol Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Metode Pemurnian Adsorpsi (Adsorpsi Menggunakan Adsorben Berupa Zeolit)". *J. Ind. Pertan.*, vol. 02, no. 02, pp. 113–123.
- [19] Arlofa. N. 2016. "Kondisi Optimum Konsentrasi Aktivator dan Suhu Kalsinasi Karbon Aktif Kulit Durian sebagai Biosorben pada Zat Warna Tekstil". *Pros. Semnastek*, no, pp. 1–7.
- [20] Bath. D. S, Siregar. J. M, Lubis. T. 2012. "Penggunaan Tanah Bentonit Sebagai Adsorben Logam Cu". *J. Tek. Kim. USU*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4.
- [21] Danarto. Y. C dan Samun. D. 2021. "Pengaruh Aktivasi Karbon Dari Sekam Padi Pada Proses Adsorpsi Logam Cr(VI)". *Ekulibrium*, vol. 7, no. 1, pp. 13–16.
- [22] Apecsiana. F, Kristianto. H, Andreas. A. 2016. "Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak". *Pros. Semin. Nas. Tek. Kim. "Kejuangan,"* pp. 1–7.
- [23] Solika. N, Napitupulu. M, Gonggo. S. T. 2018. "Bioadsorpsi Pb(II) Menggunakan Kulit Jeruk Siam (*Citrus Reticulata*)". *J. Akad. Kim.*, vol. 6, no. 3, p. 160.
- [24] A. Ineke. F dan Rizki. P. S. 2023. "Pengaruh Karbon Aktif Dari Kulit Pisang Tanduk Terhadap Limbah Cair Tahu Menggunakan Parameter pH, COD (*Chemical Oxygen Demand*), DO (*Disolved Oxygen*) & *Chlorida*". *J. Innov. Res. Knowl.*, vol. 2, no. 10, pp. 4249–4262.

- [25] Suprabawati. A dan Dwiko. D. D. 2016. "Serbuk Kulit Pisang Tanduk (*Musa*)"horn" Ijuk Enau Dan Serbuk Sabut Kelapa Sebagai Bioadsorben Logam Berat Cd (II) Dan Penjernih Air," *Kartika J. Ilm. Farm.*, vol. 4, no. 1, pp. 37–41.
- [26] Zulkifli, Taer. E, dan Sugianto. 2015. "Pembuatan Karbon Aktif Monolit dari Kayu Karet Menggunakan Aktivator KOH dan HNO₃ untuk Aplikasi Superkapasitor". *Jom Fmipa*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7.
- [27] Pratiwi. D. Y. 2020. "Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia". *J. Akuatek*, vol. 1, no. 1, pp. 59–65.
- [28] Rumahlatu. D , Corebima. A. D, Amin. M, Rachman. F. 2012. " Kadmium dan Efeknya terhadap Ekspresi Protein *Metallothionein* pada *Deadema setosum* (*Echinoidea; Echinodermata*)". *J. Penelit. Perikan.*, vol. 1, no. 1, pp. 26–35.
www.jpp.ub.ac.id
- [29] Girikallo. G. G, Joseph. W. B. S, Maddusa. S. S. 2022. "90 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Logam Berat Cadmium (Cd) pada Masyarakat Sekitar Sungai yang Mengonsumsi Ikan Nilem (*Ostoechillus Vittatus*) dari Sungai Desa Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow". vol. 11, no. 2, pp. 90–96.
- [30] Lubis. R. A. F, Nasution. H. I, and Zubir. M. 2020. "*Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification*". *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, p. 67.
- [31] Abas. S. N. A, Ismail. M. H. S, Kamal. M. L, Izhar. S. 2013. " *Review: Adsorption Process of Heavy Metals by Low-Cost Adsorbent* ". *Department of Chemical and Environmental Engineering , Faculty of Engineering , Department of Chemistry , Faculty of Applied Science ,*” vol. 28, no. 11, pp. 1518–1530.

- [32] Abdi. C, Miftahul. R, Saputra. R. W. 2015. "Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata L.*) Sebagai Karbon Aktif Untuk Pengolahan Air Sumur Kota Banjarbaru : Fe Dan Mn," vol. 1, no. 1, pp. 8–15.
- [33] Reza. M, Ernawati. L, Pusfitasari. M. D, Sylvia. N, Noor. A. H, Ali. L. G. 2022. "Characterization Of Activated Carbon From Banana". vol. 16, no. 2, pp. 53–60.
- [34] Malik. A dan Gunawan. R. 2021. "Pemanfaatan Serbuk Kulit Buah Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L.*) Teraktivasi Sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium (Cd^{2+})". vol. 06, no. 1, pp. 43–49.
- [35] Jubilate. F, Zaharah. T. A, Syahbanu. I. 2016. "Pengaruh Aktivasi Arang Dari Limbah Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Besi (II) Pada Air Tanah," *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 5, no. 4, pp. 14–21.
- [36] Marella. S. D. 2019. "Artikel Review : Adsorpsi Zat Warna menggunakan Material Anorganik". *Dep. Kim. Fak. Ilmu Alam, Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, no. August, pp. 1–8.
- [37] Fattimura. M, Masriatini. R. Putri. F. 2020. "Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Menjadi Karbon Aktif Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator NaCl". *J. Redoks*, vol. 5, no. 2, p. 87.
- [38] Fatimah and Napitupulu. M. 2021. "*Lead (II) adsorption by biochar prepared from tanduk banana peels (Musa X Paradisiaca)*". *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1763, no. 1.
- [39] Kusumawardani. R , Zaharah. T. A, Destiarti. L. 2018. "Adsorpsi kadmium(II) menggunakan adsorben selulosa ampas tebu teraktivasi asam nitrat." *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 7, no. 3, pp. 75–83.

- [40] Semerjian. L. 2010. "*Equilibrium and kinetics of cadmium adsorption from aqueous solutions using untreated Pinus halepensis sawdust*". *J. Hazard. Mater.*, vol. 173, no. 1–3, pp. 236–242.
- [41] Megasari. K, Herdiyanti. H, Nurliati. G, Kadarwati. A, Swantomo. D. 2019. "Sintesis Silika Xerogel Dari Abu Daun Bambu Sebagai Adsorben Uranium". *J. Forum Nukl.*, vol. 13, no. 1, pp. 27–36.
- [42] Fatmawati. N, Usman. T, Zahara. T. A. 2018. "Bioadsorpsi Fe (II) Oleh Kulit Buah Jeruk *Citrus nobilis Lour . var microcarpa* Termodifikasi Ca(OH)₂". vol. 1, no. 3, pp. 98–113.
- [43] Alchaddad. M, Siadi. K, Supartono. 2015. "Transesterifikasi Etil P-Metoksisinamat Hasil Isolasi Rimpang Kencur Dengan Vitamin C Terkatalis Lipase". *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 84–88.
- [44] Desianna. I, Putri. C. A, Yulianti. A, Sujarwata. 2017. "Selulosa Kulit Jagung sebagai Adsorben Logam Cromium (Cr) pada Limbah Cair Batik". *Unnes Phys. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 19–24.
- [45] Mentari. V. A, Handika. G, Maulina. S. 2018. "*The Comparison of Function Group and Surface Morphology of Activated Carbon from Oil Palm Frond Using Phosporic Acid (H₃PO₄)*," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 7, no. 1, pp. 16–20.
- [46] Hossain. M. A, Ngo. H. H, Guo. W. S, Nguyen. T. V. 2012. "*Removal of Copper from Water by Adsorption onto Banana Peel as Bioadsorbent*". pp. 227–234.
- [47] Deshmukh. P. D, Khadse. G. K, Shinde> V. M, Labhasetwar. P. 2017. "*Cadmium Removal from Aqueous Solutions Using Dried Banana Peels as An Adsorbent: Kinetics and Equilibrium Modeling*". *J. Bioremediation Biodegrad.*, vol. 08, no. 03.

- [48] Anwar. J, Shafique. U, Waheed-uz-Zaman, Salman. M, Dar. A, Anwar.S. 2010. "*Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana*". *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 6.
- [49] Arifiyana. D dan Wardani. R. K. 2021. "Adsorpsi Logam Kadmium dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Biosorben Kulit Pisang Mas (*Musa acuminata colla*)". *Rekayasa*, vol. 14, no. 3, pp. 360–366.
- [50] Wahyuningsih. A. W. K, Ulfin. I, Suprpto. 2019. "Pengaruh pH dan Waktu Kontak Pada Adsorpsi Remazol Brilliant Blue R Menggunakan Adsorben Ampas Singkong". *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 7–9.
- [51] Safrianti. I, Wahyuni. N, Zaharah. T. A. 2012. "Adsorpsi Timbal (II) oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat: Pengaruh pH dan Waktu Kontak". vol. 1, no. 1, pp. 44–48.
- [52] Farida. A, Ariyani. S, Sulistyaningsih. S, Kurniasari. L. 2019. "Pemanfaatan Limbah Kulit Jagung (*Zea mays. L*)". *Inov. Tek. Kim.* vol. 11, no. 2, pp. 99–103.
- [53] Haryanto. B, Sinaga. W. K, Saragih.F. T. 2019. "Kajian Model Interaksi pada Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd^{2+}) dengan Menggunakan Adsorben dari Pasir Hitam," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 8, no. 2, pp. 79–84..
- [54] Arshadi. M, Amiri. M. J, Mousavi. S. 2014. *Kinetic, equilibrium and thermodynamic investigations of Ni(II), Cd(II), Cu(II) and Co(II) adsorption on barley straw ash*". vol. 6, no. ii. Elsevier.
- [55] Haryanto. B, Siswarni. M. Z, Chang. C. H, Kuo. A. T, Singh. W. B. 2018. "*Interaction models on sand surface of natural adsorbent with adsorbate Cd+2 metal ions in solution with batch operation*". *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* vol. 308, no. 1, pp. 1–7.

- [56] Maylani. A. S, Sulistyaningsih. T, Kusumastuti. E. 2016. "Preparasi Nanopartikel Fe_3O_4 (*Magnetit*) serta Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium". *Unnes Press*. vol. 5, no. 2, pp. 1–6.
- [57] Nugraha. M. S, Mahatmanti. F. W, Sulistyaningsih. T. 2017. "Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi HCl sebagai Adsorben Ion Logam Cd (II)". *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 2–7.
- [58] Baunsele. A. B and Missa. H. 2020. "Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa". *Akta Kim. Indones.*, vol. 5, no. 2, p. 76.
- [59] Wijaya. V. C. 2015. "Adsorpsi Ion Cd^{2+} dalam Larutan menggunakan Karbon Aktif dari Biji Trembesi (*Samanea saman*): Optimasi pH dan Waktu Kontak". *Skripsi*: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [60] Benhima. H, Chiban. M, Sinan. F, Seta. P, Persin. M. 2008. "Removal of lead and cadmium ions from aqueous solution by adsorption onto micro-particles of dry plants". vol. 61, pp. 10–16.
- [61] Paulino. A. T, Belfiore. L. A, Kubota. L. T, Muniz. E. C, Almeida. V. C, Tambourgi. E. B. 2011. "Effect of magnetite on the adsorption behavior of Pb (II), Cd (II), and Cu (II) in chitosan-based hydrogels". vol. 275, pp. 187–196.
- [62] Marlinawati, Yusuf. B, Alimuddin. 2016. "Pemanfaatan Arang Aktif Dari Kulit Durian (*Durio zibethinus L.*) Sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium (II)". pp. 23–27.
- [63] Batool. F, Akbar. F, Iqbal. S, Noreen. S, Bukhari. S. N. A. 2018. "Study of Isothermal, Kinetic, and Thermodynamic Parameters for Adsorption of Cadmium: An Overview of Linear and Nonlinear Approach and Error Analysis".

LAMPIRAN

Lampiran 1: Alat dan Bahan Penelitian

Alat

1. *Anatomic Adsorption Spectroscopy (AAS)*
2. *Frourier Transform Infa – Red (FTIR)*
3. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*
4. Ayakan 100 mesh
5. Oven
6. Furnace
7. Shaker
8. *Magnetic stirrer plate*
9. Neraca analitik
10. Alat – alat gelas
11. Wadah
12. Mortar
13. Kertas saring
14. Cawan porselen
15. pH universal

Bahan

1. Kulit pisang tanduk
2. Larutan HNO_3
3. Larutan NaOH
4. Larutan HCl
5. Larutan $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$
6. Akudes

Lampiran 2: Preparasi Adsorben



(b) Limbah kulit pisang tanduk



(a) Arang aktif dari kulit pisang



(d) Pengayakan No. 100 mesh



(c) Serbuk kulit pisang ukuran 100 mesh



(g) Karbonisasi menggunakan furnace dengan suhu 600 °C selama 4 jam

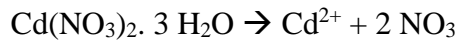


(f) Aktivasi menggunakan HNO₃ 1% selama 24 jam



(e) Karbon aktif

Lampiran 3: Pembuatan larutan standar



$$\text{Mr Cd} = 241,6$$

$$\begin{aligned} \text{mol} &= \frac{m}{mr} \\ &= 0,0157 \end{aligned}$$

$$\text{Ar Cd} = 112$$

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= \text{mol} \times \text{Ar} \\ &= 0,0157 \times 112 \\ &= \frac{1,76 \text{ gram}}{1000 \text{ mL}} \\ &= 1,760 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 250 \text{ ppm} &= 2,232 \text{ mmol/L} \\ &= 539,285 \text{ mg} \\ &= 0,539 \text{ gram} \end{aligned}$$

Pengenceran ke 200 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 250 \text{ ppm} &= 100 \text{ mL} \times 200 \text{ ppm} \\ &= 80 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pengenceran ke 150 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 250 \text{ ppm} &= 100 \text{ mL} \times 150 \text{ ppm} \\ &= 60 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pengenceran ke 100 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 250 \text{ ppm} &= 100 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm} \\ &= 40 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pengenceran ke 50 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 250 \text{ ppm} &= 100 \text{ mL} \times 50 \text{ ppm} \\ &= 20 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pengenceran ke 30 ppm

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

$$V_1 \times 250 \text{ ppm} = 1000 \text{ mL} \times 30 \text{ ppm}$$
$$= 120 \text{ mL}$$

Pengenceran ke 100 ppm

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

$$V_1 \times 250 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 10 \text{ ppm}$$
$$= 4 \text{ mL}$$

Lampiran 4: Analisa Data Hasil Adsorpsi

Perhitungan Pengujian Massa Optimum

Konsentrasi Cd = 30 ppm

Volume larutan = 25 mL

Parameter	Satuan	Variasi Massa (g)			
		0,02	0,03	0,04	0,05
Konsentrasi Awal	ppm	32,44			
Control (C0)	ppm	29,50			
Konsentrasi Akhir	ppm	7,39	4,52	0,45	0,06
Efisiensi Penyisihan	%	74,3	84,3	98,4	99,8

Perhitungan Pengujian pH Optimum

Konsentrasi Cd = 30 ppm

Volume larutan = 25 mL

Massa adsorben = 0,05 gram

Parameter	Satuan	Variasi pH			
		3	5	7	9
Konsentrasi Awal	ppm	32,44			
Control (C0)	ppm	32,44	31,93	29,28	22,76
Konsentrasi Akhir	ppm	20,71	0,44	1,73	2,43
Efisiensi Penyisihan	%	36,17	98,62	94,1	89,47

Perhitungan Pengujian Waktu Optimum

Konsentrasi Cd = 30 ppm

Volume larutan = 25 mL

Massa adsorben = 0,05 gram

pH larutan = 5

Parameter	Satuan	Variasi Waktu Kontak (menit)						
		5	10	20	30	60	120	180
Konsentrasi Awal	ppm	32,44						
Control (C0)	ppm	26,60						
Konsentrasi Akhir	ppm	9,00	14,47	13,29	10,47	6,91	0,82	2,67
Efisiensi Penyisihan	%	66,18	72,8	75,02	80,32	87,12	98,46	94,98

Perhitungan Pengujian Konsentrasi Optimum

Konsentrasi Cd = 30 ppm

Volume larutan = 25 mL

Massa adsorben = 0,05 gram

pH larutan = 5

Waktu Kontak = 120 menit

Parameter	Satuan	Variasi Konsentrasi (ppm)						
		10	30	50	100	150	200	250
Control (C0)	ppm	15,79	25,08	47,52	109,69	164,69	193,16	244,65
Konsentrasi Akhir	ppm	1,05	2,10	4,28	35,53	56,39	66,30	87,48
Efisiensi Penyisihan	%	93,35	91,63	90,99	67,61	65,76	65,68	64,24
Kapasitas Adsorpsi	mg/g	7,37	11,49	21,62	37,08	54,15	63,43	78,59

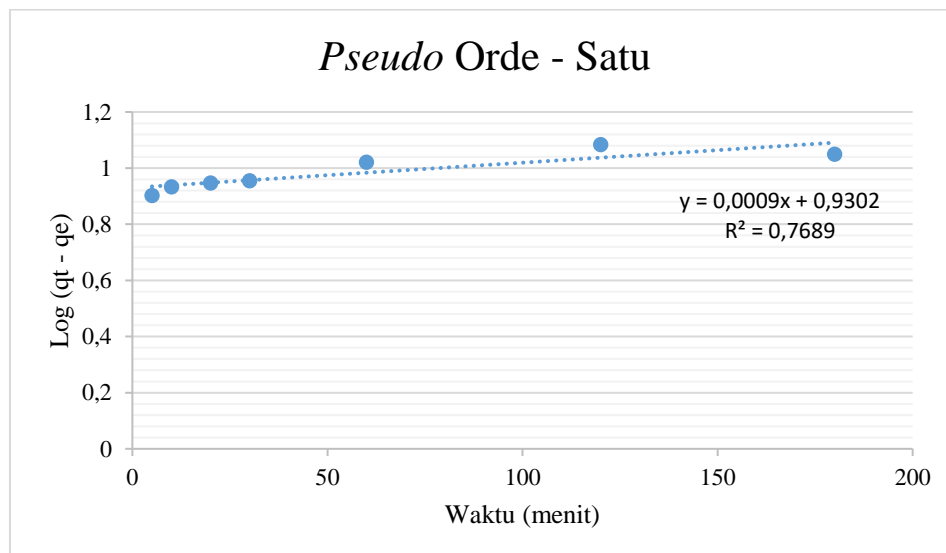
Lampiran 5: Kinetika Adsorpsi

Kinetika Pseudo Orde - Satu

t (menit)	massa (g)	C0 (ppm)	V (L)	Ce (ppm)	Qe (mg/g)
120	0,05	26,60	0,025	0,140	13,23

t (menit)	C0 (ppm)	Ce (ppm)	V (L)	qt (mg/g)	Log qt	Log (qt - qe)
5	26,60	8,720	0,025	8,94	0,951337519	0,902474073
10	26,60	7,490	0,025	9,555	0,980230691	0,933222445
20	26,60	6,930	0,025	9,835	0,992774364	0,946561593
30	26,60	6,570	0,025	10,015	1,000650954	0,95493437
60	26,60	3,510	0,025	11,545	1,062393937	1,020469265
120	26,60	0,140	0,025	13,23	1,121559844	1,0830882
180	26,60	2,000	0,025	12,3	1,089905111	1,049609289

Untuk perhitungan kinetika *pseudo* orde – satu, dilakukan plot waktu (t) terhadap log (qt – qe), sehingga didapatkan persamaan $y = 0,0009x + 0,9302$ dengan nilai $R^2 = 0,7689$

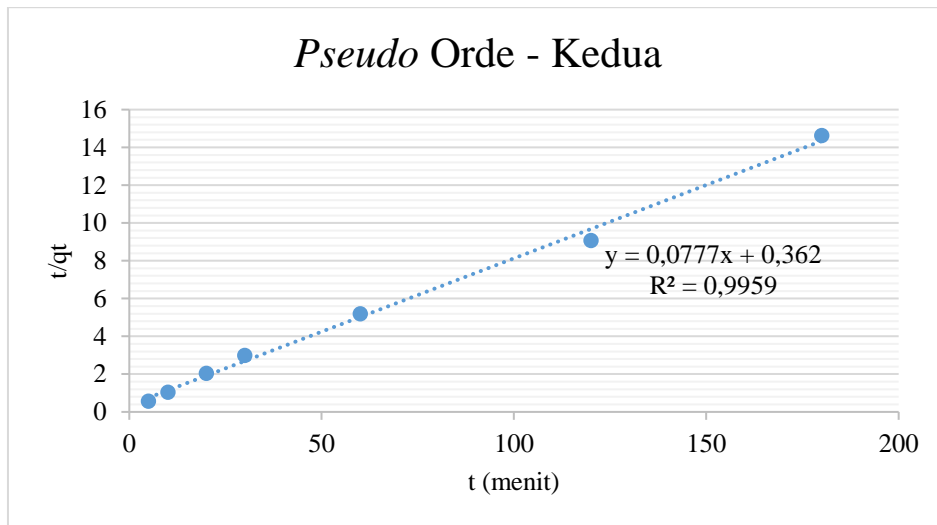


Slope = 0,0009
 Intersep = 0,9302
 qe = 2,5350 mg/g
 R² = 0,7689

Kinetika *Pseudo* Orde - Dua

t (menit)	massa (gr)	C0 (ppm)	Ce (ppm)	V (L)	qt (mg/g)	t/qt
5	0,05	26,60	8,720	0,025	8,94	0,559284116
10	0,05	26,60	7,490	0,025	9,555	1,046572475
20	0,05	26,60	6,930	0,025	9,835	2,033553635
30	0,05	26,60	6,570	0,025	10,015	2,99550674
60	0,05	26,60	3,510	0,025	11,545	5,197055002
120	0,05	26,60	0,140	0,025	13,23	9,070294785
180	0,05	26,60	2,000	0,025	12,3	14,63414634

Untuk perhitungan kinetika *pseudo* orde – dua, dilakukan plot waktu (t) terhadap t/qt, sehingga didapatkan persamaan $y = 0,0777x + 0,362$ dengan nilai $R^2 = 0,9959$



Slope = 0,0777

Intersep = 0,3620

$$q_e = \frac{1}{0,3620}$$

$$= 2,7624 \text{ mg/g}$$

$$q_e^2 = 7,6310 \text{ mg/g}$$

$$k_2 = \frac{1}{7,6310}$$

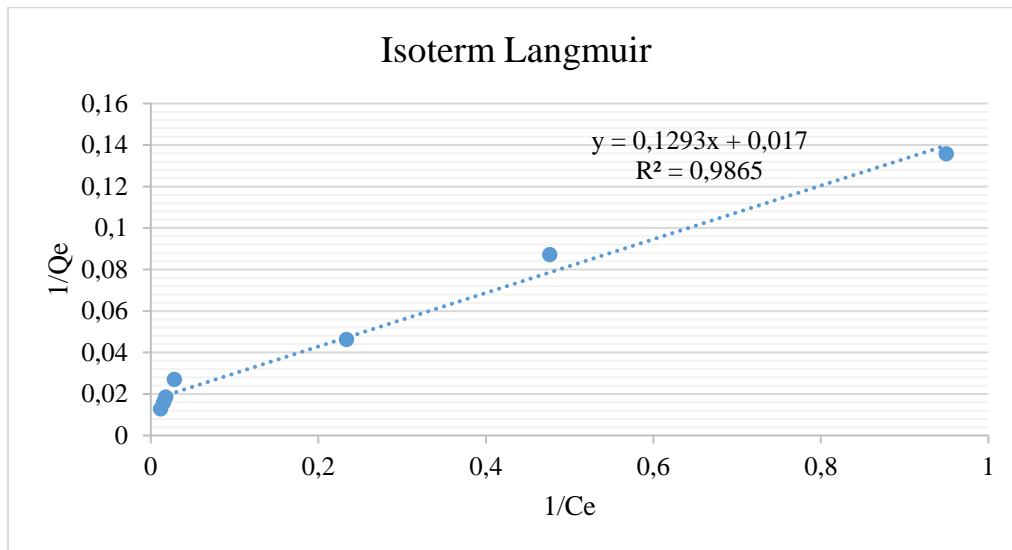
$R^2 = 0,9959$

Lampiran 6: Isoterm Adsorpsi

Isoterm Langmuir

Qe (mg/g)	log Qe	C0 (ppm)	Ce (ppm)	Log Ce	Ln Ce	Ce/Qe	1/Qe	1/Ce
7,369	0,8674	15,79	1,053	0,0224	0,0516	0,1429	0,1357	0,9497
11,490	1,0603	25,08	2,100	0,3222	0,7419	0,1828	0,0870	0,4762
21,620	1,3349	47,52	4,280	0,6314	1,4540	0,1980	0,0463	0,2336
37,080	1,5691	109,69	35,530	1,5506	3,5704	0,9582	0,0270	0,0281
54,150	1,7336	164,69	56,390	1,7512	4,0323	1,0414	0,0185	0,0177
63,428	1,8023	193,16	66,305	1,8215	4,1943	1,0454	0,0158	0,0151
78,585	1,8953	244,65	87,480	1,9419	4,4714	1,1132	0,0127	0,0114

Untuk perhitungan isoterm Langmuir, dilakukan plot 1/Qe terhadap 1/Ce dan didapatkan persamaan $y = 0,1293x + 0,017$ dengan nilai $R^2 = 0,9865$



$$q_{max} = \frac{1}{\text{intersep}}$$

$$q_{max} = \frac{1}{0,017}$$

$$= 58,8235 \text{ mg/g}$$

$$KL = \frac{1}{0,1293 \times 58,8235}$$

$$KL = 0,13148$$

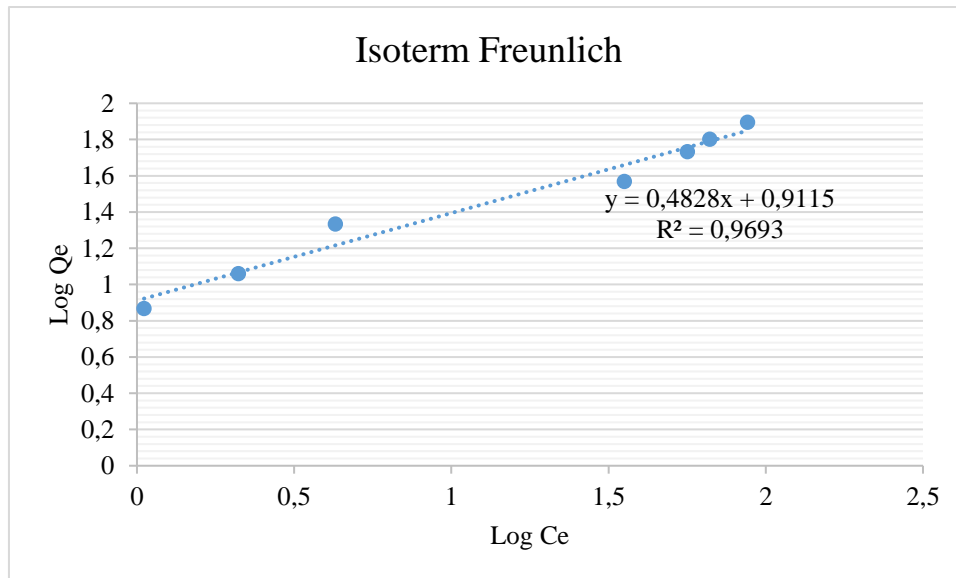
$$RL = \frac{1}{1 + C_i + KL}$$

$$RL = 0,03212$$

Langmuir					
Qo/slope	n/intercept	Qmax(mg/g)	KL	RL	R2
0,1293	0,017	58,82353	0,13148	0,032121829	0,9865

Isoterm Freundlich

Untuk perhitungan isoterm Freundlich, dilakukan plot log Qe terhadap log Ce dan didapatkan persamaan $y = 0,4828x + 0,9115$ dengan nilai $R^2 = 0,9693$



$$\text{Log } q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

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

$$\frac{1}{n} = 0,4828$$

$$K_f = \text{antilog intercept}$$

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

$$K_f = 10^{0,9115}$$

$$K_f = 8,1564$$

Freundlich				
Slope	intercept	1/n	Kf	R2
0,4828	0,9115	0,48280	8,15643	0,9693

RIWAYAT HIDUP

Penulis memiliki nama Yuliyanti dengan nama panggilan Yuli. Penulis lahir di Bandung, 14 April 2000, yang merupakan anak ketiga dari bapak Suhla dan ibu Marni serta memiliki tiga saudara yang terdiri dari satu kakak laki – laki yang bernama Deni Hermawan, satu kakak perempuan yang bernama Lisnawati dan satu adik perempuan yang bernama Melianti. Penulis telah menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN 04 Arcamanik selama 6 tahun kemudian sekolah menengah pertama di SMP Plus Al – Kautsar dan sekolah menengah atas di SMAS AL – Hadi.

Pada tahun 2019 Yuli melanjutkan pendidikan strata satu di Universitas Islam Indonesia (UII) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan dengan mengambil program studi Teknik Lingkungan, selama perkuliahan telah mengikuti UKM media serta menjadi panitia *event* yang ada di jurusan.