

**TUGAS AKHIR**

**EFEKTIVITAS PENURUNAN KANDUNGAN LOGAM Cu  
DALAM LARUTAN MENGGUNAKAN ADSORBEN  
AMPAS TEBU (*Saccharum officinarum*)**

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



**AJENG ZAHRA AFIFAH  
19513140**

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



**TUGAS AKHIR**  
**EFEKTIVITAS PENURUNAN KANDUNGAN LOGAM Cu**  
**DALAM LARUTAN MENGGUNAKAN ADSORBEN**  
**AMPAS TEBU (*Saccharum officinarum*)**

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



**AJENG ZAHRA AFIFAH**  
**19513140**

Disetujui,  
Dosen Pembimbing:

**Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.**  
**NIK. 155130112**  
Tanggal: 23 Oktober 2023

**Ir. Eko Siswono, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.**  
**NIK. 025100406**  
Tanggal: 23 Oktober 2023

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



**Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.**  
**NIK. 045130401**  
Tanggal: 23 Oktober 2023



**HALAMAN PENGESAHAN**

**EFEKTIVITAS PENURUNAN KANDUNGAN LOGAM Cu  
DALAM LARUTAN MENGGUNAKAN ADSORBEN  
AMPAS TEBU (*Saccharum officinarum*)**

**Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji**

**Hari : Senin  
Tanggal : 23 Oktober 2023**

**Disusun Oleh:**

**AJENG ZAHRA AFIFAH  
19513140**

**Tim Penguji :**

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

**Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.**

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



(Puji Lestari)  
(Ir. Eko Siswoyo)  
(Any Juliani)



## 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. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. 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, 23 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



**Ajeng Zahra Afifah**

NIM: 19513140





## PRAKATA

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 Maret – Agustus 2023 ini ialah terkait modifikasi material limbah sebagai adsorben polutan yang berjudul **“Efektivitas Penurunan Kandungan Logam Cu dalam Larutan menggunakan Adsorben Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*)”**

Selama melaksanakan Tugas Akhir dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis tidak lepas dari doa dan dukungan berbagai pihak. Sehingga penulis ingin mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, karena dengan segala kebaikan-Nya telah memberikan penulis petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Orang tua penulis, Bapak Drs. Didik Krismanto dan Ibu Supri Hartini yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan, semangat, motivasi, dan selalu mendoakan penulis
3. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II penulis yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam melaksanakan Tugas Akhir ini
4. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D. selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia sekaligus Dosen Penguji penulis
5. Bapak Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis yang telah membimbing dan mengarahkan penulis terkait persoalan akademik penulis
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah mendidik penulis dengan ilmu yang bermanfaat
7. Seluruh laboran Laboratorium Kualitas Lingkungan yang telah membantu penulis dalam melakukan analisis
8. Seluruh teman-teman Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia angkatan 2019
9. Semua pihak yang telah mendukung dan membantu penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa selama pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini penulis masih memiliki banyak kekurangan yang perlu diperbaiki, untuk itu penulis memohon maaf sebesar-besarnya. Penulis harap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta dapat membantu untuk kajian ilmiah selanjutnya.

Yogyakarta, 23 Oktober 2023

*Ajeng Zahra Afifah*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRAK

AJENG ZAHRA AFIFAH. Efektivitas Penurunan Kandungan Logam Cu dalam Larutan menggunakan Adsorben Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*). Dibimbing oleh PUJI LESTARI, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Ir. EKO SISWOYO, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Tembaga merupakan komponen penting bagi tubuh manusia. Namun, jika kadar tembaga yang masuk ke tubuh manusia berlebih, maka akan membahayakan kesehatan. Oleh karena itu, untuk mengurangi kadar tembaga yang berlebih, dilakukan proses adsorpsi dengan menggunakan larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$  dan kemudian diaplikasikan ke limbah cair batik. Di mana, pada penelitian ini proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan adsorben ampas tebu berukuran 100 *mesh* yang telah teraktivasi HCl 1%. Proses adsorpsi ini dilakukan dengan tahapan berupa: 1) pembuatan adsorben ampas tebu; 2) adsorpsi larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$ ; 3) penentuan isoterm adsorpsi; 4) adsorpsi sampel limbah cair batik. Variabel bebas pada penelitian ini berupa variasi massa sebesar 20 mg, 35 mg, 50 mg, dan 70 mg, variasi pH 2, 3, dan 4, variasi waktu kontak selama 5 menit, 10 menit, 20 menit, 30 menit, 60 menit, dan 120 menit, serta variasi konsentrasi larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$  10 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm. Sedangkan variabel tetapnya adalah kecepatan pengadukan 150 rpm yang dilakukan pada suhu ruang. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkan massa adsorben optimum 50 mg, pH larutan optimum 4, waktu kontak optimum 10 menit, dan konsentrasi larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$  optimum 30 ppm. Pada kondisi optimum efisiensi penyisihannya adalah 12,23% dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 0,847 mg/g.

Kata kunci: adsorpsi, ampas tebu, tembaga (Cu), limbah cair

## ABSTRACT

AJENG ZAHRA AFIFAH. *The Effectivity of Cu Metal Content Reduction in Solution using Bagasse Adsorbent (Saccharum officinarum). Supervised by PUJI LESTARI, S.Si., M.Sc., Ph.D. and Ir. EKO SISWOYO, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.*

*Copper is an important component for human. However, if excessive levels of copper enter human body, it will endanger human health. Therefore, to reduce the excess copper levels, an adsorption process was carried out using an artificial  $\text{Cu}^{2+}$  solution and then applied it the to batik liquid waste. In this study the adsorption process was carried out using 100 mesh bagasse adsorbent that had been activated by 1% of HCl. The adsorption process was carried out in stages in the form of: 1) making bagasse adsorbent; 2) adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  artificial solution; 3) adsorption isotherm determination; 4) adsorption of batik liquid waste samples. The independent variables in this study were mass variations of 20 mg, 35 mg, 50 mg, and 70 mg, variations in pH 2, 3, and 4, variations in contact time for 5 minutes, 10 minutes, 20 minutes, 30 minutes, 60 minutes, and 120 minutes, as well as variations in the concentration of  $\text{Cu}^{2+}$  artificial solutions of 10 ppm, 30 ppm, 40 ppm, and 50 ppm. Meanwhile, the fixed*

*variables are the stirring speed of 150 rpm at room temperature. Based on the tests performed, the optimum adsorbent mass is 50 mg, the optimum solution pH is 4, the optimum contact time is 10 minutes, and the optimum concentration of artificial Cu<sup>2+</sup> solution was 30 ppm. Under optimum conditions the removal efficiency is 12.23% with the maximum adsorption capacity of 0.847 mg/g.*

*Keywords: adsorption, bagasse, copper (Cu), liquid waste*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Asumsi Penelitian .....	3
1.6 Ruang Lingkup .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Pencemaran Air oleh Logam Tembaga (Cu) .....	4
2.2 Adsorpsi dan Adsorben.....	4
2.3 Tebu ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	8
2.4 Penelitian Terdahulu .....	9
BAB III METODE PENELITIAN .....	13
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	13
3.1.1 Waktu .....	13
3.1.2 Lokasi .....	13
3.2 Alat dan Bahan.....	13
3.2.1 Alat .....	13
3.2.2 Bahan .....	14
3.3 Prosedur Analisis Data.....	14
3.3.1 Variabel Penelitian .....	14
3.3.2 Posedur Penelitian .....	14
3.3.3 Prosedur Pengambilan dan Pengawetan Sampel .....	15
3.3.4 Prosedur Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Ampas Tebu .....	15
3.3.5 Proses Adsorpsi Penentuan Massa Adsorben Optimum .....	17
3.3.6 Proses Adsorpsi Penentuan pH Optimum .....	17

3.3.7	Proses Adsorpsi Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	18
3.3.8	Proses Adsorpsi Penentuan Konsentrasi Cu <sup>2+</sup> Optimum.....	18
3.3.9	Pengujian Kadar Parameter Cu pada Larutan Awal Cu <sup>2+</sup> setelah Proses Adsorpsi .....	19
3.3.10	Pengaplikasian Kondisi Optimum Adsorben pada Limbah Cair Batik....	19
3.3.11	Pengujian Efektivitas Adsorben Arang Aktif dari Ampas Tebu .....	20
3.3.12	Pengujian Isoterm Adsorpsi .....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		21
4.1	Pembuatan Adsorben .....	21
4.2	Karakterisasi Adsorben.....	22
4.2.1	Karakterisasi Adsorben menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	22
4.2.2	Karakterisasi Adsorben menggunakan <i>Fourier Transform-Infra-Red</i> (FTIR) .....	23
4.3	Proses Adsorpsi.....	25
4.3.1	Hasil Pengujian Variasi Massa Adsorben .....	25
4.3.2	Hasil Pengujian Variasi pH Larutan Cu <sup>2+</sup> .....	26
4.3.3	Hasil Pengujian Variasi Waktu Kontak.....	28
4.3.4	Hasil Pengujian Variasi Konsentrasi Larutan Artifisial Cu <sup>2+</sup> .....	30
4.3.5	Perbandingan Efektivitas Penyisihan Adsorben Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1% pada Larutan Artifisial Cu <sup>2+</sup> .....	33
4.3.6	Penerapan Kondisi Optimum Adsorben pada Limbah Cair Batik .....	34
BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....		36
5.1	Simpulan .....	36
5.2	Saran .....	36
DAFTAR PUSTAKA.....		38
LAMPIRAN .....		43
RIWAYAT HIDUP .....		56



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	10
Tabel 4. 1 Perbandingan Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo</i> Orde Satu dan <i>Pseudo</i> Orde Dua .....	30
Tabel 4. 2 Perbandingan Efektivitas Penyisihan Adsorben Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1% pada Larutan Artifisial Cu <sup>2+</sup> .....	33
Tabel 4. 3 Penerapan Adsorben Teraktivasi HCl 1% dengan Kondisi Optimum pada Limbah Cair Batik.....	34
Tabel Lampiran 1. 1 Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Massa Adsorben .....	43
Tabel Lampiran 1. 2 Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi pH Larutan Artifisial Cu <sup>2+</sup> .....	44
Tabel Lampiran 1. 3 Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Waktu Kontak.....	44
Tabel Lampiran 1. 4 Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Konsentrasi Larutan Artifisial Cu <sup>2+</sup> .....	45
Tabel Lampiran 2. 1 Perbandingan Efisiensi Penyisihan Cu <sup>2+</sup> pada Larutan Artifisial menggunakan Adsorben Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1% .....	47
Tabel Lampiran 3. 1 Perhitungan Efisiensi Penyisihan pada Limbah Cair Batik dengan Adsorben Ampas Tebu Teraktivasi HCl 1%.....	49
Tabel Lampiran 4. 1 Perhitungan Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo</i> Orde Satu .....	50
Tabel Lampiran 4. 2 Perhitungan Konstanta Laju Persamaan <i>Pseudo</i> Orde Satu .....	50
Tabel Lampiran 4. 3 Perhitungan Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo</i> Orde Dua .....	51
Tabel Lampiran 4. 4 Perhitungan Konstanta Laju Persamaan <i>Pseudo</i> Orde Dua.....	52
Tabel Lampiran 5. 1 Perhitungan Isoterm Adsorpsi .....	53
Tabel Lampiran 5. 2 Perhitungan Isoterm <i>Langmuir</i> .....	53
Tabel Lampiran 5. 3 Perhitungan Isoterm <i>Freundlich</i> .....	54

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kimia Lignoselulosa.....	9
Gambar 3. 1 Prosedur Penelitian .....	15
Gambar 3. 2 Prosedur Pembuatan Arang Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben.....	15
Gambar 3. 3 Prosedur Kerja Karakterisasi Adsorben Menggunakan SEM .....	16
Gambar 3. 4 Prosedur Kerja Karakterisasi Adsorben Menggunakan FTIR .....	17
Gambar 3. 5 Proses Adsorpsi dengan Variasi Massa Adsorben untuk Menentukan Massa Optimum.....	17
Gambar 3. 6 Proses Adsorpsi dengan Variasi pH Larutan untuk Menentukan pH Larutan Optimum .....	18
Gambar 3. 7 Proses Adsorpsi dengan Variasi Waktu Kontak untuk Menentukan Waktu Kontak Optimum .....	18
Gambar 3. 8 Proses Adsorpsi dengan Variasi Konsentrasi Larutan Awal $\text{Cu}^{2+}$ untuk Menentukan Konsentrasi $\text{Cu}^{2+}$ Optimum .....	19
Gambar 3. 9 Pengaplikasian Kondisi Optimum Adsorben pada Limbah Cair Batik .....	20
Gambar 4. 1 Dokumentasi Pembuatan Adsorben Ampas Tebu .....	21
Gambar 4. 2 Hasil Karakterisasi SEM Adsorben Ampas Tebu yang Tidak Diaktivasi pada Perbesaran $2000\times$ .....	22
Gambar 4. 3 Hasil Karakterisasi SEM Ampas Tebu Teraktivasi HCl 1% pada Perbesaran $2000\times$ .....	23
Gambar 4. 4 Perbandingan Hasil Karakterisasi FTIR Adsorben Ampas Tebu Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1% sebelum Proses Adsorpsi .....	24
Gambar 4. 5 Perbandingan Hasil Karakterisasi FTIR Adsorben Ampas Tebu Tidak Teraktivasi dan Teraktivasi HCl 1% sebelum dan setelah Proses Adsorpsi.....	25
Gambar 4. 6 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Proses Adsorpsi .....	26
Gambar 4. 7 Diagram <i>Pourbaix</i> Cu.....	27
Gambar 4. 8 Pengaruh pH Larutan $\text{Cu}^{2+}$ Terhadap Proses Adsorpsi.....	27
Gambar 4. 9 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Proses Adsorpsi .....	28
Gambar 4. 10 Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo</i> Orde Satu .....	29
Gambar 4. 11 Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo</i> Orde Dua.....	30

Gambar 4. 12 Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Proses Adsorpsi.....	31
Gambar 4. 13 Isoterm <i>Langmuir</i> .....	32
Gambar 4. 14 Isoterm <i>Freundlich</i> .....	32

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Efisiensi Penyisihan Logam Cu pada Variabel Bebas untuk Mengetahui Kondisi Optimum Adsorben .....	43
Lampiran 2 Perbandingan Efisiensi Penyisihan $\text{Cu}^{2+}$ pada Larutan Artifisial menggunakan Adsorben Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1%.....	47
Lampiran 3. Perhitungan Efisiensi Penyisihan pada Limbah Cair Batik dengan Adsorben Ampas Tebu Teraktivasi HCl 1% .....	49
Lampiran 4 Perhitungan Kinetika Adsorpsi .....	50
Lampiran 5 Perhitungan Isoterm Adsorpsi.....	53





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tembaga (Cu) merupakan komponen yang dibutuhkan manusia untuk menghasilkan energi, membentuk jaringan ikat, sebagai antioksidan, serta sintesa hormon adrenalin (Khaira, 2014). Namun, kadar Cu yang berlebih dapat membahayakan kesehatan manusia. Tembaga memiliki nilai toksistas antara 0,02 – 100 mg/kg, dengan ambang batas pada darah yang berkisar pada 0,8 – 1,2 mg/kg. Sedangkan kebutuhan logam tembaga pada manusia adalah 0,005 mg/kg per hari (Rompegading et al., 2021). Jika kadar tembaga yang masuk ke tubuh manusia melebihi ambang batas, maka dapat menyebabkan mual dan muntah, serta kerusakan hati dan ginjal (Khaira, 2014).

Untuk mengurangi resiko terpaparnya manusia dan lingkungan oleh kadar tembaga berlebih, maka perlu dilakukan proses adsorpsi untuk menjerap logam tembaga, yang mana dalam penelitian ini proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$  dengan berbagai variasi konsentrasi. Sedangkan adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi adalah ampas tebu. Dasar pertimbangan penggunaan ampas tebu sebagai adsorben ini sendiri adalah karena ampas tebu mengandung kadar lignoselulosa yang tinggi (Handayani & Rusmini, 2019). Di mana, lignoselulosa ini terdiri atas selulosa, lignin, dan hemiselulosa yang bersifat sangat stabil jika dipengaruhi oleh faktor termal. Dalam adsorpsi logam berat, lignin memiliki peran penting karena lignin memiliki gugus fungsi polifenol dan polihidroksi yang efektif untuk membentuk ikatan koordinasi dan pertukaran ion pada logam berat (Bakar et al., 2021). Ampas tebu juga memiliki karbon yang tinggi sehingga dapat menyerap lebih banyak parameter pencemar yang terdapat pada limbah cair batik. Selain itu, berdasarkan penelitian terdahulu menyatakan bahwa Cu yang diadsorpsi dengan menggunakan karbon aktif ampas tebu teraktivasi natrium hidroksida (NaOH) menunjukkan bahwa efektivitas adsorpsi optimumnya adalah sebesar 84,88% (Indah, 2020).

Pada penelitian ini, adsorben ampas tebu akan diaktivasi dengan menggunakan aktivator HCl karena HCl memiliki kemampuan yang tinggi dalam melarutkan pengotor

pada arang aktif seperti Na, Mg, K, Ca, Mn, dan Fe (Yulianti et al., 2010). Sehingga, adsorben ampas tebu yang telah diaktivasi dengan HCl akan memiliki diameter pori yang lebih besar dan pori-pori yang baru akan terbuka.

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan beberapa variabel bebas seperti massa adsorben, pH larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$ , waktu kontak, dan konsentrasi larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$  untuk mengetahui kondisi optimum yang dapat menurunkan kadar Cu secara optimum oleh ampas tebu. Setelah itu akan dilakukan perhitungan isoterm adsorpsi untuk mengetahui isoterm adsorpsi manakah yang sesuai.

Setelah melakukan proses adsorpsi dengan menggunakan larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$ , dilanjutkan dengan melakukan proses adsorpsi pada limbah cair batik untuk mengetahui kemampuan adsorben dalam menjerap logam tembaga pada limbah cair yang memiliki parameter kompleks.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berikut rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan:

- 1) Bagaimana kondisi optimum adsorben ampas tebu pada proses adsorpsi parameter Cu?
- 2) Bagaimana karakteristik adsorben ampas tebu?
- 3) Manakah isoterm adsorpsi yang sesuai pada proses adsorpsi?
- 4) Seberapa efektif kah ampas tebu sebagai adsorben untuk menurunkan parameter Cu pada larutan artifisial dan limbah cair batik?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berikut tujuan dari penelitian yang dilakukan:

- 1) Mengetahui kondisi optimum ampas tebu pada proses adsorpsi parameter Cu.
- 2) Mengetahui karakteristik adsorben ampas tebu.
- 3) Mengetahui isoterm adsorpsi yang sesuai pada proses adsorpsi.
- 4) Mengetahui efektivitas ampas tebu sebagai adsorben untuk menurunkan parameter Cu pada larutan artifisial dan limbah cair batik.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Berikut manfaat dari penelitian yang dilakukan:

- 1) Menurunkan kadar Cu pada larutan artifisial dan limbah cair batik.

- 2) Memanfaatkan limbah organik khususnya ampas tebu agar tidak terbuang sia-sia.

### 1.5 Asumsi Penelitian

Berikut asumsi dari penelitian yang dilakukan:

- 1)  $H_0$ : massa dan waktu kontak adsorben ampas tebu serta pH dan konsentrasi larutan awal  $Cu^{2+}$  tidak berpengaruh pada proses penjerapan pada larutan  $Cu^{2+}$ .
- 2)  $H_1$ : massa dan waktu kontak adsorben ampas tebu serta pH dan konsentrasi larutan awal  $Cu^{2+}$  berpengaruh pada proses penjerapan pada larutan  $Cu^{2+}$ .

### 1.6 Ruang Lingkup

Berikut ruang lingkup dari penelitian yang dilakukan:

- 1) Limbah cair batik diambil dari industri X di Daerah Istimewa Yogyakarta.
- 2) Adsorben dibuat dari material ampas tebu yang diambil dari pedagang es tebu.
- 3) Karakteristik adsorben dianalisis dengan menggunakan *Fourier Transform-Infra-Red (FTIR)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.
- 4) Konsentrasi larutan artifisial  $Cu^{2+}$  dan kadar parameter Cu yang terkandung pada sampel air limbah batik sebelum proses adsorpsi diuji menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).
- 5) Melakukan proses adsorpsi menggunakan metode *batch* dengan variasi massa adsorben, pH larutan artifisial  $Cu^{2+}$ , waktu kontak, dan konsentrasi larutan artifisial  $Cu^{2+}$ . Kemudian mengaplikasikan kondisi optimum adsorben pada proses adsorpsi limbah cair batik.
- 6) Konsentrasi larutan artifisial  $Cu^{2+}$  dan kadar parameter Cu yang terkandung pada sampel limbah cair batik setelah proses adsorpsi diuji menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran Air oleh Logam Tembaga (Cu)**

Tembaga dapat masuk ke lingkungan secara alamiah maupun non alamiah. Secara alamiah, tembaga masuk ke lingkungan akibat terjadinya erosi batuan mineral atau partikulat tembaga yang terkandung dalam air hujan. Sedangkan secara non alamiah, tembaga dapat masuk ke lingkungan akibat kegiatan industri (Rompegading et al., 2021). Salah satu industri yang kegiatannya menghasilkan produk sampingan berupa limbah cair dengan kandungan logam berat tembaga adalah industri batik. Dalam proses pembuatannya, industri batik membutuhkan banyak bahan kimia seperti malam, NaOH, NaNO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, serta pewarna naphthol dan indigosol (Ahda et al., 2019) agar produk yang dihasilkan terlihat lebih menarik. Namun, sebagian besar industri limbah batik tidak melakukan pengolahan terhadap limbah cair yang dihasilkan. Hal inilah yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia.

Kadar tembaga yang berlebih dapat membahayakan lingkungan serta kesehatan manusia. Menurut Lembar Data Keselamatan Peraturan (EC) No. 1907/2006, jika paparan tembaga terjadi secara oral maka dampak akut yang akan terjadi berupa nyeri, muntah, dan diare, jika terpapar secara inhalasi maka dapat menyebabkan gejala akut berupa iritasi pada saluran pernapasan, dan jika terkena kulit akan menyebabkan iritasi ringan. Sedangkan dampak kronis yang dapat terjadi akibat terpapar tembaga adalah cacat ginjal, sirosis hati, kerusakan otak dan demielinasi, serta deposisi tembaga pada kornea.

#### **2.2 Adsorpsi dan Adsorben**

Adsorpsi merupakan akumulasi suatu spesies yang terjadi pada permukaan padat – cair yang terjadi akibat gaya tarik-menarik. Adsorpsi terbagi atas adsorpsi fisis (proses adsorpsi menyebabkan peningkatan suhu dan penurunan jumlah parameter yang diadsorpsi) dan adsorpsi kimia (proses adsorpsi menyebabkan terbentuk atau terputusnya ikatan kimia) (Widayatno et al., 2017). Sedangkan adsorben merupakan media penyerap parameter pencemar pada badan air (Imani et al., 2021).

Adsorpsi merupakan metode yang baik untuk mengatasi pencemaran logam berat karena ramah lingkungan, tidak memiliki efek samping, proses yang sederhana namun memiliki efektivitas serta efisiensi yang tinggi (Naat et al., 2021). Proses adsorpsi dapat dipengaruhi beberapa faktor, yaitu massa adsorben, pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi larutan (Syauqiah et al., 2011).

a. Massa Adsorben

Banyaknya massa adsorben yang digunakan berperan penting dalam menjerap adsorbat. Semakin banyak massa adsorben yang digunakan, maka semakin efektif pula penjerapan adsorbat yang dilakukan karena sisi aktif adsorben juga semakin banyak. Namun, jika massa adsorben yang digunakan terlalu banyak maka akan menyebabkan terjadinya jenuh, di mana kemampuan adsorben dalam menjerap adsorben juga akan menurun (Husin & Sitinjak, 2021).

b. pH Larutan

pH merupakan salah satu faktor krusial dalam proses adsorpsi. Ion  $\text{Cu}^{2+}$  berada pada pH 1 – 4, pada pH 5 terjadi peralihan dari ion  $\text{Cu}^{2+}$  menjadi ion  $\text{Cu}^+$ , pada pH 6 terbentuk spesiasi  $\text{Cu}_2\text{O}$ , dan terbentuknya spesiasi  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  pada pH 12. Di mana, semakin tinggi pH maka Cu akan mengalami reduksi (Sari et al., 2018).

c. Waktu Kontak

Waktu kontak memiliki peran penting dalam proses adsorpsi. Semakin meningkatnya waktu kontak, maka adsorben dapat menjerap lebih banyak adsorbat karena adsorben memiliki lebih banyak waktu untuk berinteraksi dengan adsorbat. Namun, semakin lama waktu kontak juga bisa menyebabkan kemampuan adsorben dalam menjerap adsorben menurun, hal ini dikarenakan sisi aktif pada adsorben telah menurun (Husin & Sitinjak, 2021).

Untuk mengetahui waktu adsorpsi berlangsung, juga dilakukan model kinetika adsorpsi dengan persamaan *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua.

1) Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Satu

Kinetika adsorpsi model *pseudo* orde satu mengansumsikan bahwa proses adsorpsi terjadi secara fisis (Liu et al., 2019). Persamaan kinetika adsorpsi model *pseudo* orde satu dapat dilihat pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_t}\right) = k_1 t \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$C_i$  = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

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

$k_1$  = Konstanta laju persamaan *pseudo* orde satu (menit<sup>-1</sup>)

$t$  = Waktu (menit)

2) Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Dua

Kinetika adsorpsi model *pseudo* orde dua mengansumsikan bahwa proses adsorpsi terjadi secara kimia (Liu et al., 2019). Persamaan kinetika adsorpsi model *pseudo* orde dua dapat dilihat pada persamaan (2) sebagai berikut (Muhammad, 2014):

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

Keterangan:

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

$t$  = Waktu (menit)

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

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

d. Konsentrasi Larutan

Konsentrasi larutan memiliki peran krusial dalam proses adsorpsi. Pada variasi konsentrasi ini, semakin meningkatnya konsentrasi maka akan terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi dan kemudian akan terjadi kesetimbangan. Ketika telah terjadi kesetimbangan, maka kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat akan menurun,

hal ini dapat terjadi karena adsorben telah menjerap adsorbat secara maksimal sehingga tidak mampu lagi menjerap lebih banyak adsorbat (Arif & Mawardi, 2020).

Mekanisme penjerapan adsorben oleh adsorbat ini dapat dilihat melalui model isoterm adsorpsi. Di mana, isoterm adsorpsi adalah hubungan antara kesetimbangan konsentrasi di fase cair dan di suhu tertentu (Anggriani et al., 2021). Terdapat beberapa model isoterm adsorpsi, namun yang paling umum dan banyak digunakan adalah isoterm *Langmuir* dan isoterm *Freundlich*. Namun, sebelum melakukan perhitungan isoterm adsorpsi perlu dilakukan perhitungan kapasitas adsorpsi dengan cara yang tertera pada persamaan (3) sebagai berikut (Nuha, 2021):

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

$q_e$  = banyaknya zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g)

$C_o$  = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi (mg/L)

1) Isoterm *Langmuir*

Isoterm *Langmuir* menggunakan persamaan berupa pendekatan kinetika, di mana proses kesetimbangan akan terjadi jika kecepatan adsorpsi dan desorpsi sama (Yustinah et al., 2019). Persamaan isoterm *Langmuir* dapat dilihat pada persamaan (4) sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{\max} \times KL} + \frac{C_e}{Q_{\max}} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

$C_e$  = Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

$Q_e$  = banyaknya zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g)

$Q_{\max}$  = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

$KL$  = Konstanta Langmuir (L/mg)

2) Isoterm *Freundlich*

Isoterm *Freundlich* menggunakan persamaan empiris di mana proses penjerapan terjadi secara fisis yang terjadi pada tingkatan energi yang berbeda (Yustinah et al., 2019). Persamaan *Freundlich* dapat dilihat pada persamaan (5) sebagai berikut:

$$\log Q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- Q<sub>e</sub> = banyaknya zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g)
- K<sub>F</sub> = Konstanta Freundlich (mg/g)
- n = Intensitas adsorpsi (mg/g)
- C<sub>e</sub> = Konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L)

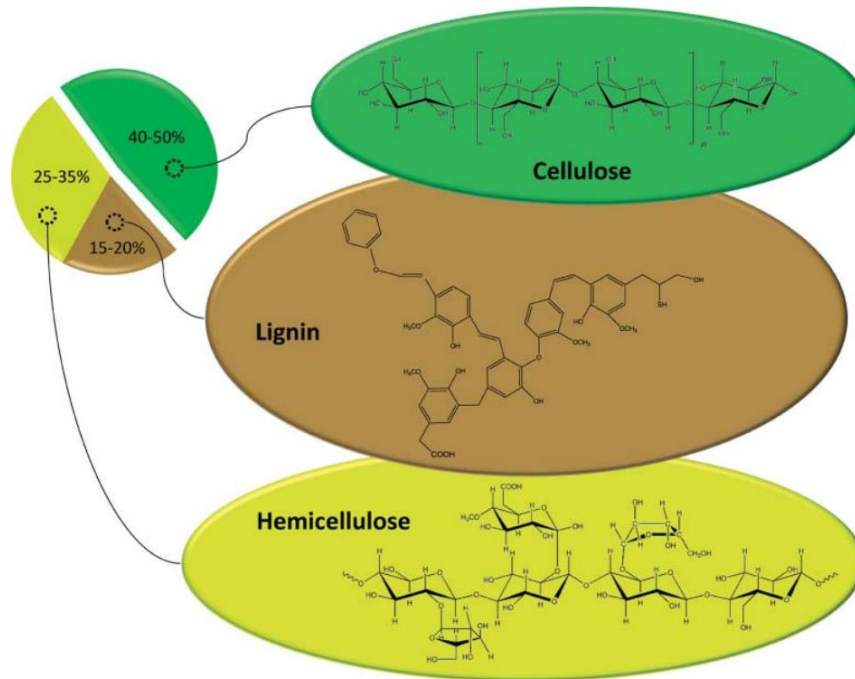
Selain massa adsorben, pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi larutan, kemampuan adsorben juga dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan, suhu, luas permukaan adsorben, jenis adsorbat, serta struktur molekul adsorbat (Syauqiah et al., 2011). Selain itu, aktivator yang digunakan juga berperan penting dalam proses adsorpsi. Aktivator yang baik akan membantu adsorben dalam membersihkan pengotor yang terdapat pada pori adsorben, memperluas pori, serta membentuk pori baru pada adsorben sehingga hal tersebut akan membantu adsorben untuk dapat bekerja lebih optimal dalam menyerap adsorbat.

**2.3 Tebu (*Saccharum officinarum*)**

Produksi gula di Indonesia terus mengalami peningkatan, hal tersebut menyebabkan ampas tebu terus meningkat. Satu pabrik gula dapat menghasilkan 35-40% ampas tebu dari tebu yang digunakan (Yuwono, 2021). Sehingga, perlu dilakukan pengolahan ampas tebu, salah satunya dengan mengolah ampas tebu menjadi arang aktif agar bisa dijadikan adsorben. Ampas tebu memiliki kadar lignoselulosa yang tinggi sehingga cocok untuk dijadikan material adsorben (Handayani & Rusmini, 2019). Di mana, kadar selulosa pada tebu adalah sebesar 40% – 50%, kadar lignin sebesar 15% – 20%, dan kadar hemiselulosa sebesar 25% – 35% (Alonso et al., 2010). Pada



lignoselulosa, lignin sendiri merupakan komponen yang paling stabil dibandingkan komponen lainnya, karena itulah tumbuhan yang kaya akan lignin (salah satunya adalah tebu) banyak digunakan karena dapat dijadikan sebagai material karbon aktif dengan kualitas terbaik (Bakar et al., 2021). Struktur kimia lignoselulosa dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur Kimia Lignoselulosa

*Sumber: Alonso et al., 2010*

## 2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait adsorpsi logam tembaga dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Sumber	Judul	Hasil
(Anggriani et al., 2021)	Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb)	Selama 40 menit karbon aktif merk Haycarb dengan massa 1,5 gram dapat menjerap logam Cu dengan efisiensi penyisihan sebesar 34,18%. Pada penelitian ini, pola isoterm sesuai dengan model isoterm <i>Freundlich</i> dengan $R^2 = 0,9853$ , dan kinetika adsorpsi orde dua dengan $R^2 = 0,9914$ .
(Oktaviandra et al., 2020)	Pemanfaatan Tempurung Kluwak sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Tembaga	Adsorben tempurung kluwak teraktivasi HCl 1,2 M dengan massa 12 gram dapat menurunkan kadar logam Cu sebesar 25,38% dengan waktu kontak 80 menit dan kecepatan pengadukan 200 rpm.
(Dian, 2020)	Aplikasi Kolom Adsorpsi Konfigurasi Seri dengan Sekam Padi sebagai Adsorben untuk Penyisihan Logam Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) dari Air Tanah Artifisial	Proses adsorpsi logam Cu pada air tanah artifisial dengan konsentrasi awal 1,87 mg/L dengan adsorben sekam padi dilakukan dengan metode kolom pada kecepatan alir optimum 2 gpm/ft <sup>2</sup> (310 mL/menit) dengan 3 kolom adsorpsi berkonfigurasi seri selama 540 menit dapat menurunkan kadar Cu sebesar 57,52% dengan kapasitas adsorpsi 0,967 mg/g.

Sumber	Judul	Hasil
(Wibowo, 2021)	Penggunaan Arang Aktif dari Bambu Hijau ( <i>Gigantochloa verticillata Willd. Munro</i> ) sebagai Penyerap Ion Logam Berat Fe (III) dan Cu (II) dalam Limbah Cair	Proses adsorpsi logam Cu dilakukan dengan konsentrasi larutan Cu 15 mg/L dengan waktu kontak optimum 30 menit, pH optimum larutan 5, dengan massa adsorben bambu hijau teraktivasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3 M sebesar 2,5 gram dapat menurunkan kada logam Cu sebesar 52,48%.
(Rizky & Silalahi, 2022)	Pengaruh Waktu Kontak terhadap Efisiensi Adsorpsi Ion Logam Cu(II) pada Karbon Aktif Bunga Pinus Merkusii	Proses adsorpsi logam Cu(II) dengan menggunakan karbon aktif bunga pinus merkusii dilakukan dengan massa adsorben sebesar 1 gram yang dimasukkan ke dalam 100 mL larutan Cu(II) 1127,74 mg/L pada kondisi pH 5, suhu 27 °C, kecepatan pengadukan 75 rpm dengan waktu kontak optimum 120 menit mamou menyisihkan kadar logam Cu(II) sebesar 54,45%.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian**

##### **3.1.1 Waktu**

Kegiatan penelitian mengenai proses adsorpsi parameter Cu dengan menggunakan adsorben ampas tebu ini dilakukan sekitar 5 bulan, yaitu pada bulan Maret – Agustus 2023.

##### **3.1.2 Lokasi**

Pembuatan adsorben serta analisa kadar Cu dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Universitas Islam Indonesia. Sedangkan pengambilan sampel air limbah dilakukan di sebuah industri batik yang berada di titik koordinat 7°48'39.2"S 110°20'57.4"E di Daerah Istimewa Yogyakarta, dan pengambilan ampas tebu dari salah satu pedagang es tebu di Jalan Kaliurang.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

1. Ayakan 100 *mesh*
2. Cawan porselen
3. Corong
4. Erlenmeyer 100 mL
5. *Fourier Transform-Infra-Red* (FTIR)
6. *Furnace*
7. Gelas arloji
8. Gelas kimia 100 mL
9. Gelas ukur 25 mL
10. Gunting
11. *Grinder*
12. Krustang
13. Labu ukur 10 mL
14. Labu ukur 500 mL

15. Neraca ohaus
16. Oven
17. Pipet ukur 1 mL
18. Pipet ukur 5 mL
19. *Scanning Electron Microscope* (SEM)
20. *Shaker*
21. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

### **3.2.2 Bahan**

1. Adsorben ampas tebu
2. Ampas tebu
3. Aquades
4. Kertas saring *Whatman* no 42
5. Larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$
6. Larutan HCl 0,1 M
7. Larutan HCl 1%
8. Larutan  $\text{HNO}_3$  pekat
9. Larutan NaOH 0,1 M
10. Sampel limbah cair batik

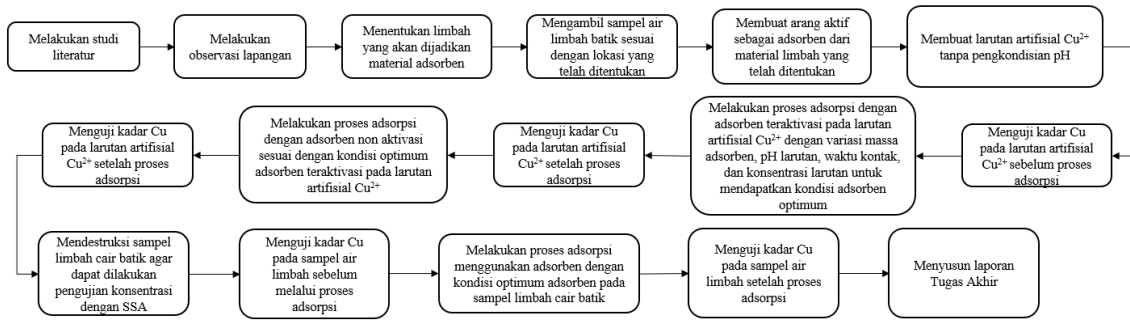
### **3.3 Prosedur Analisis Data**

#### **3.3.1 Variabel Penelitian**

Variabel dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas terdiri atas massa adsorben, pH larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$ , waktu kontak, dan konsentrasi larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$ . Sedangkan variabel terikatnya adalah kadar parameter Cu setelah melalui proses adsorpsi.

#### **3.3.2 Posedur Penelitian**

Prosedur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



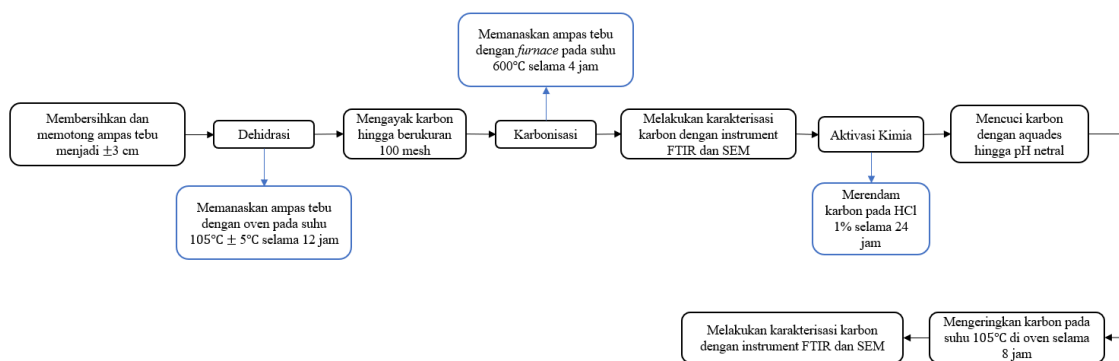
Gambar 3. 1 Prosedur Penelitian

### 3.3.3 Prosedur Pengambilan dan Pengawetan Sampel

Prosedur pengambilan dan pengawetan sampel air limbah mengacu pada SNI 6989.59:2008 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah.

### 3.3.4 Prosedur Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Ampas Tebu

Pembuatan arang aktif dari ampas tebu sebagai adsorben serta proses karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform-Infra-Red* (FTIR) yang dilakukan sebelum dan sesudah aktivasi adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.2.

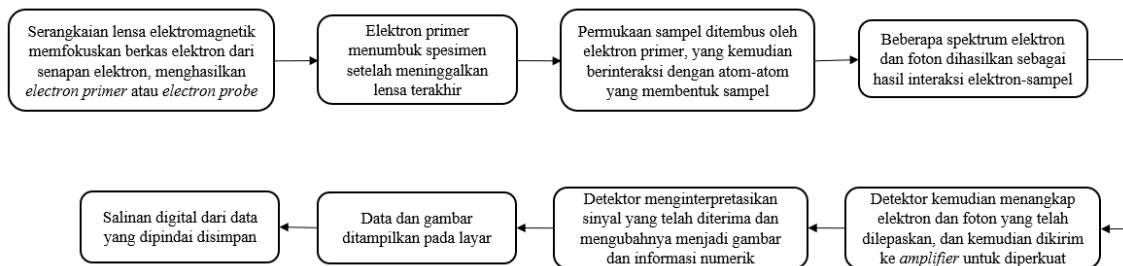


Gambar 3. 2 Prosedur Pembuatan Arang Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben

Sumber: Imani et al., 2021

### 3.3.4.1 Karakterisasi Adsorben Ampas Tebu dengan Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Karakterisasi dengan menggunakan SEM dilakukan dengan pemindaian adsorben dengan bantuan *electron beam* yang tinggi, di mana hasil dari pemindaian ini umumnya berupa permukaan sampel dan pemetaan komposisi sampel (Masta, 2020). Prinsip kerja dari SEM dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Prosedur Kerja Karakterisasi Adsorben Menggunakan SEM

Sumber: Masta, 2020

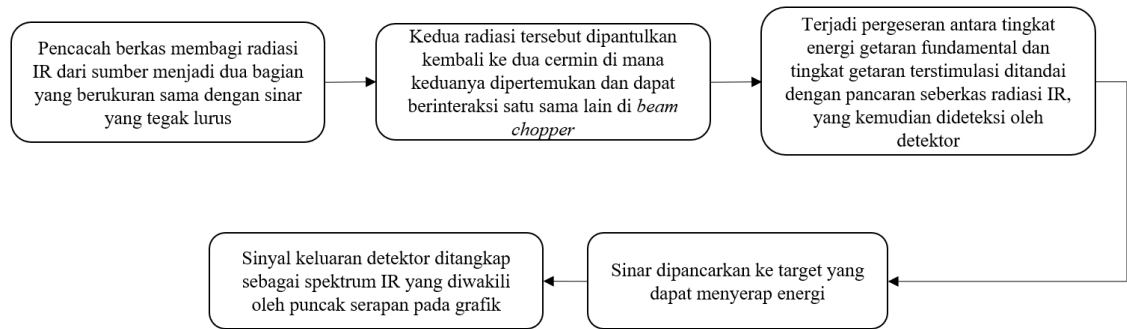
### 3.3.4.2 Karakterisasi Adsorben Ampas Tebu dengan Menggunakan *Fourier Transform-Infra-Red* (FTIR)

Radiasi inframerah berinteraksi dengan materi dalam berbagai cara, dengan panjang gelombang yang lebih panjang daripada cahaya tampak, tetapi lebih pendek daripada radiasi gelombang mikro. Interaksi ini merupakan subyek dari spektroskopi IR (Yuliyanti, 2018).

Getaran molekul dihasilkan ketika energi IR berinteraksi dengan molekul. Molekul dapat menyerap energi ketika radiasi IR melewati sebuah fragmen, yang menyebabkan transisi antara tingkat vibrasi fundamental dan tingkat vibrasi terstimulasi. Ketika molekul kembali ke kondisi dasar, energi yang sebelumnya diserap akan dilepaskan sebagai panas. Molekul harus mengalami perubahan momen dipol bersamaan dengan gerakan vibrasi atau rotasi untuk menyerap energi IR. Perubahan amplitudo getaran molekul akan terjadi jika frekuensi cahaya sama persis dengan salah satu frekuensi getaran alami molekul. Dalam hal ini, cahaya akan diserap (Yuliyanti, 2018).

Prosedur kerja FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.4.



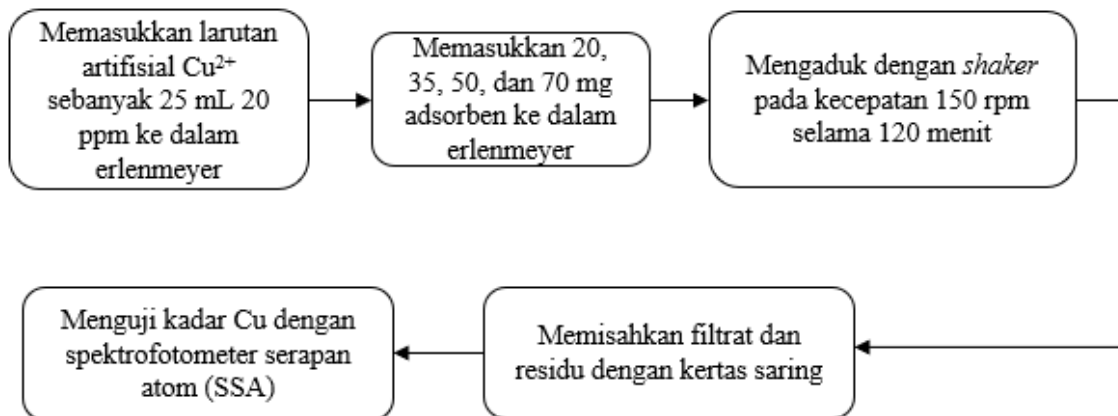


Gambar 3. 4 Prosedur Kerja Karakterisasi Adsorben Menggunakan FTIR

Sumber: Yuliyanti, 2018

### 3.3.5 Proses Adsorpsi Penentuan Massa Adsorben Optimum

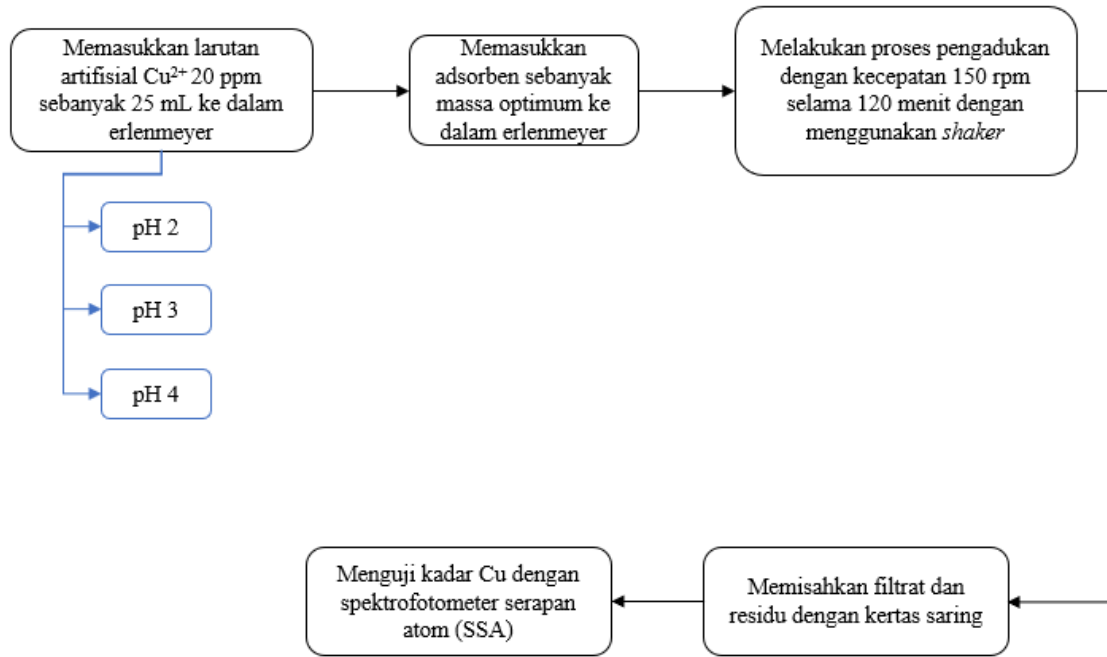
Proses adsorpsi dengan variasi massa adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Proses Adsorpsi dengan Variasi Massa Adsorben untuk Menentukan Massa Optimum

### 3.3.6 Proses Adsorpsi Penentuan pH Optimum

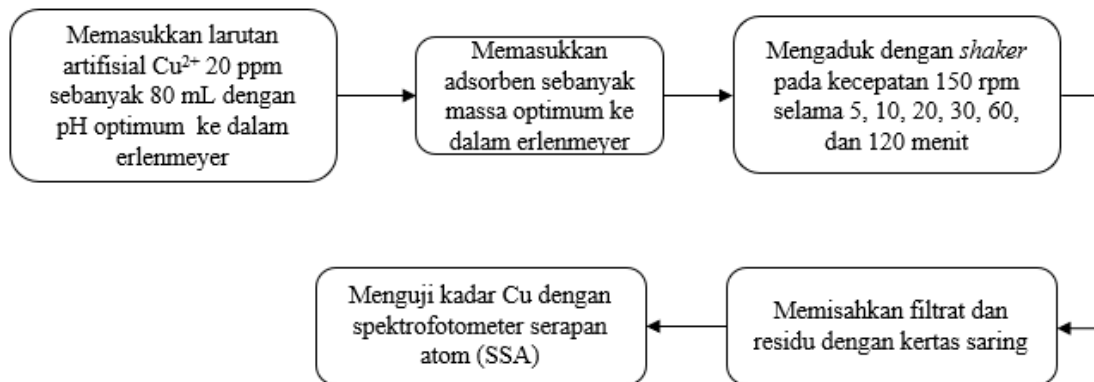
Proses adsorpsi dengan variasi pH yang dikondisikan dengan menggunakan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Proses Adsorpsi dengan Variasi pH Larutan untuk Menentukan pH Larutan Optimum

### 3.3.7 Proses Adsorpsi Penentuan Waktu Kontak Optimum

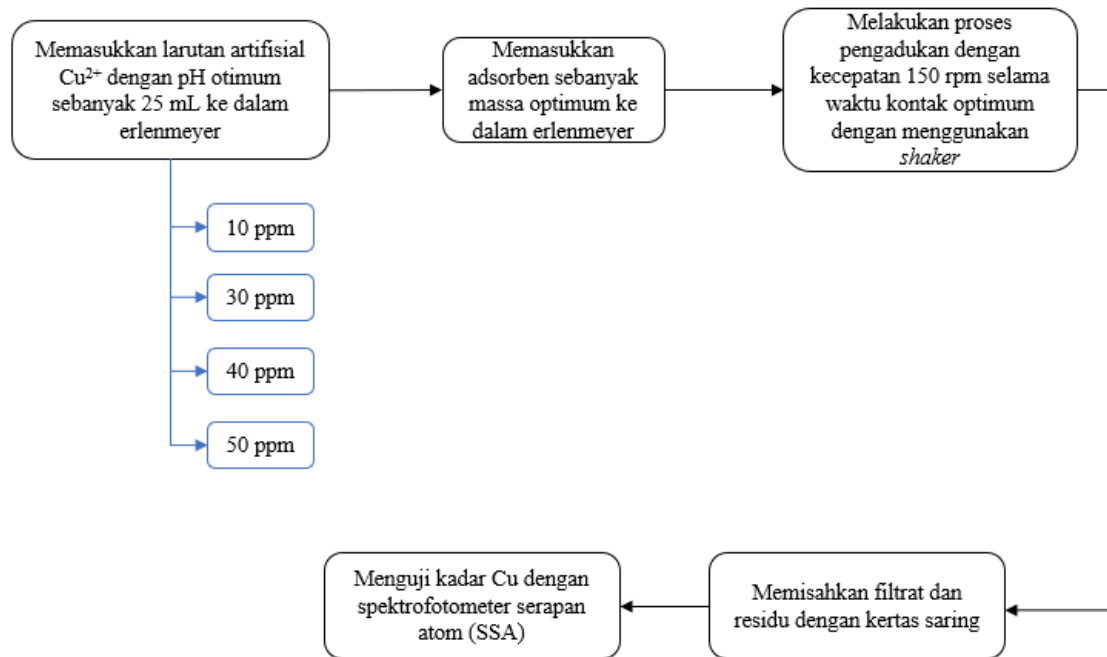
Proses adsorpsi dengan variasi waktu kontak dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Proses Adsorpsi dengan Variasi Waktu Kontak untuk Menentukan Waktu Kontak Optimum

### 3.3.8 Proses Adsorpsi Penentuan Konsentrasi Cu<sup>2+</sup> Optimum

Proses adsorpsi ini dilakukan dengan memvariasikan larutan awal Cu<sup>2+</sup> yang dikondisikan dengan cara mengatur jumlah Cu sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



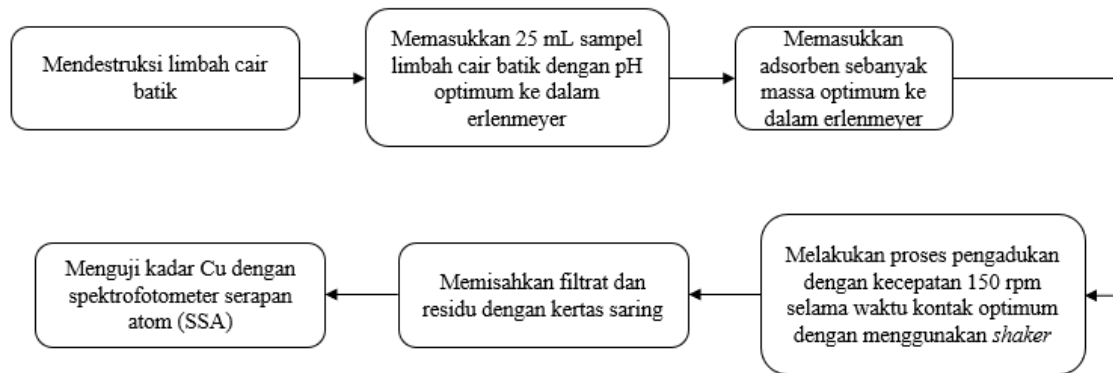
Gambar 3. 8 Proses Adsorpsi dengan Variasi Konsentrasi Larutan Awal  $\text{Cu}^{2+}$  untuk Menentukan Konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  Optimum

### 3.3.9 Pengujian Kadar Parameter Cu pada Larutan Awal $\text{Cu}^{2+}$ setelah Proses Adsorpsi

Pengujian kadar parameter Cu pada larutan awal  $\text{Cu}^{2+}$  setelah proses adsorpsi mengacu pada SNI 6989.84:2019 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 84: Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total secara Spektrometri Serapam Atom (SSA) - nyala.

### 3.3.10 Pengaplikasian Kondisi Optimum Adsorben pada Limbah Cair Batik

Sebelum melakukan proses adsorpsi pada limbah batik, limbah batik perlu melalui proses destruksi terlebih dahulu. Proses destruksi yang dilakukan mengacu pada SNI 6989.84:2019 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 84: Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total secara Spektrometri Serapam Atom (SSA) - nyala. Pengaplikasian kondisi optimum adsorben pada limbah batik dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Pengaplikasian Kondisi Optimum Adsorben pada Limbah Cair Batik

### 3.3.11 Pengujian Efektivitas Adsorben Arang Aktif dari Ampas Tebu

Efektivitas adsorben arang aktif dari ampas tebu dapat dilihat dari persentase kadar Cu yang dapat diturunkan. Sehingga, pengujian efektivitas adsorben dapat dilihat pada persamaan (6):

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

$C_o$  = Konsentrasi awal Cu (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi Akhir Cu (mg/L)

### 3.3.12 Pengujian Isoterm Adsorpsi

#### 3.3.12.1 Pengujian Isoterm *Langmuir*

Pengujian isoterm *Langmuir* akan dianalisis dengan menggunakan persamaan (4) yang terdapat pada sub bab 2.2.

#### 3.3.12.2 Pengujian Isoterm *Freundlich*

Pengujian isoterm *Freundlich* akan dianalisis dengan menggunakan persamaan (5) yang terdapat pada sub bab 2.2.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pembuatan Adsorben

Pada penelitian ini pembuatan adsorben dimulai dengan mengambil limbah ampas tebu dari salah satu pedagang es tebu. Kemudian ampas tebu tersebut dipotong dengan ukuran  $\pm 3$  cm dan kemudian dicuci bersih untuk membersihkan ampas tebu dari kotoran dan debu yang menempel. Setelah itu ampas tebu dioven dengan suhu  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 12 jam, ampas tebu yang sudah kering kemudian digrinder hingga halus untuk dapat difurnace pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Setelah difurnace, karbon ampas tebu diaktivasi dengan cara direndam pada larutan HCL 1% selama 24 jam, dan dilanjutkan dengan membilas adsorben hingga pH netral (sesuai pH aquades), ketika pH adsorben sudah menjadi pH netral adsorben dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 8 jam.



Gambar 4. 1 Dokumentasi Pembuatan Adsorben Ampas Tebu

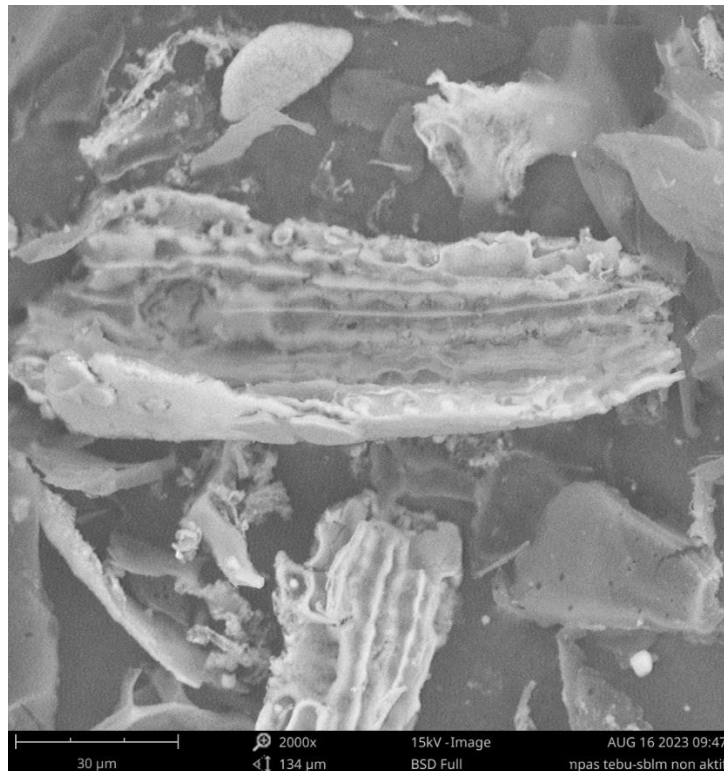
(Sumber: Data Primer, 2023)

## 4.2 Karakterisasi Adsorben

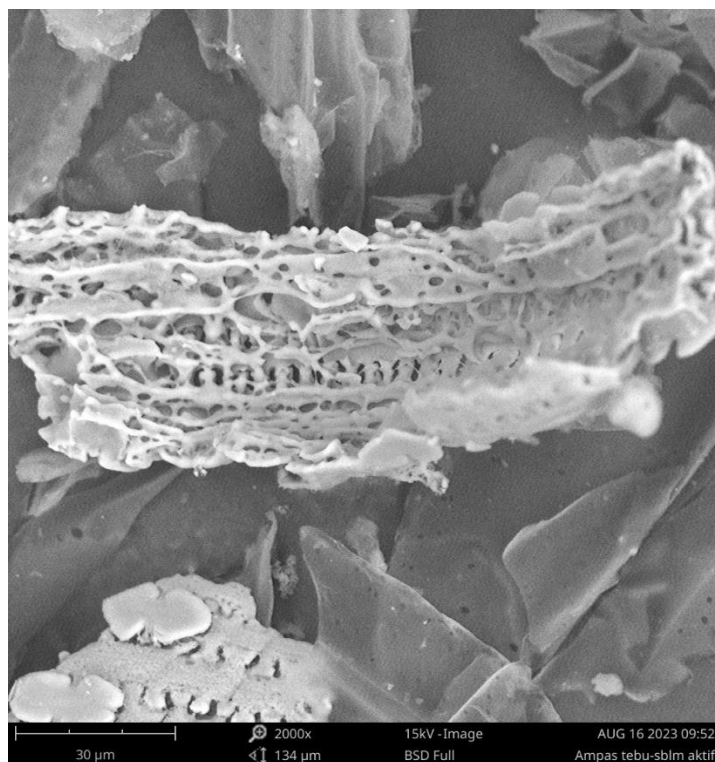
Proses karakterisasi adsorben berfungsi agar karakteristik adsorben baik berupa bentuk permukaan maupun gugus fungsi adsorben dapat diketahui. Pada penelitian ini, dilakukan karakterisasi adsorben dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform-Infra-Red* (FTIR).

### 4.2.1 Karakterisasi Adsorben menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Karakterisasi adsorben dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan bentuk permukaan adsorben ampas tebu yang tidak diaktivasi dan yang teraktivasi dengan HCl 1%. Hasil dari karakterisasi dengan SEM ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Hasil Karakterisasi SEM Adsorben Ampas Tebu yang Tidak Diaktivasi pada Perbesaran 2000×  
(Sumber: Data Primer, 2023)

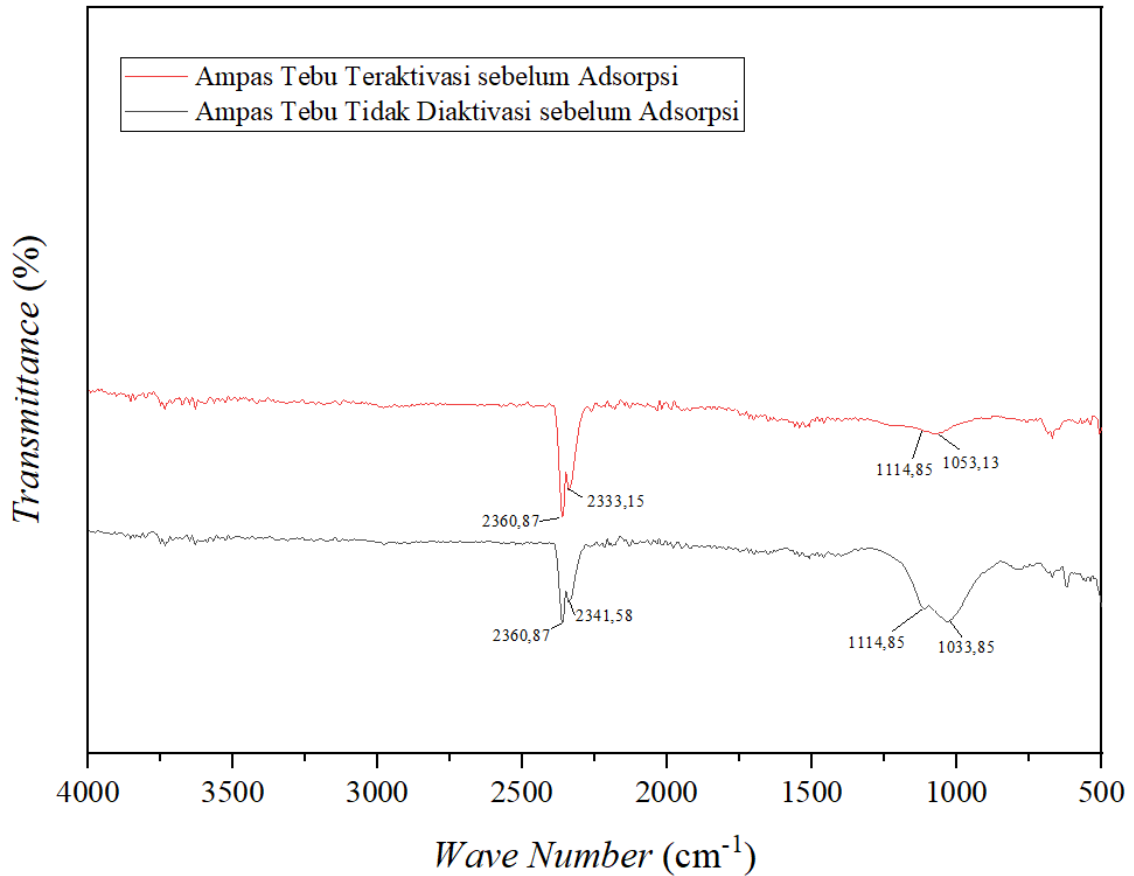


Gambar 4. 3 Hasil Karakterisasi SEM Ampas Tebu Teraktivasi HCl 1% pada Perbesaran 2000×  
(Sumber: Data Primer, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 terlihat bahwa perbedaan dari kedua gambar tersebut adalah adsorben ampas tebu yang diaktivasi dengan HCl 1% memiliki jumlah pori yang lebih banyak dibandingkan adsorben ampas tebu yang tidak diaktivasi, yang berarti tujuan dilakukannya aktivasi pada adsorben telah tercapai, yaitu membuka pori baru pada adsorben agar dapat menyerap lebih banyak adsorbat sehingga proses adsorpsi akan menjadi lebih optimal.

#### 4.2.2 Karakterisasi Adsorben menggunakan *Fourier Transform-Infra-Red* (FTIR)

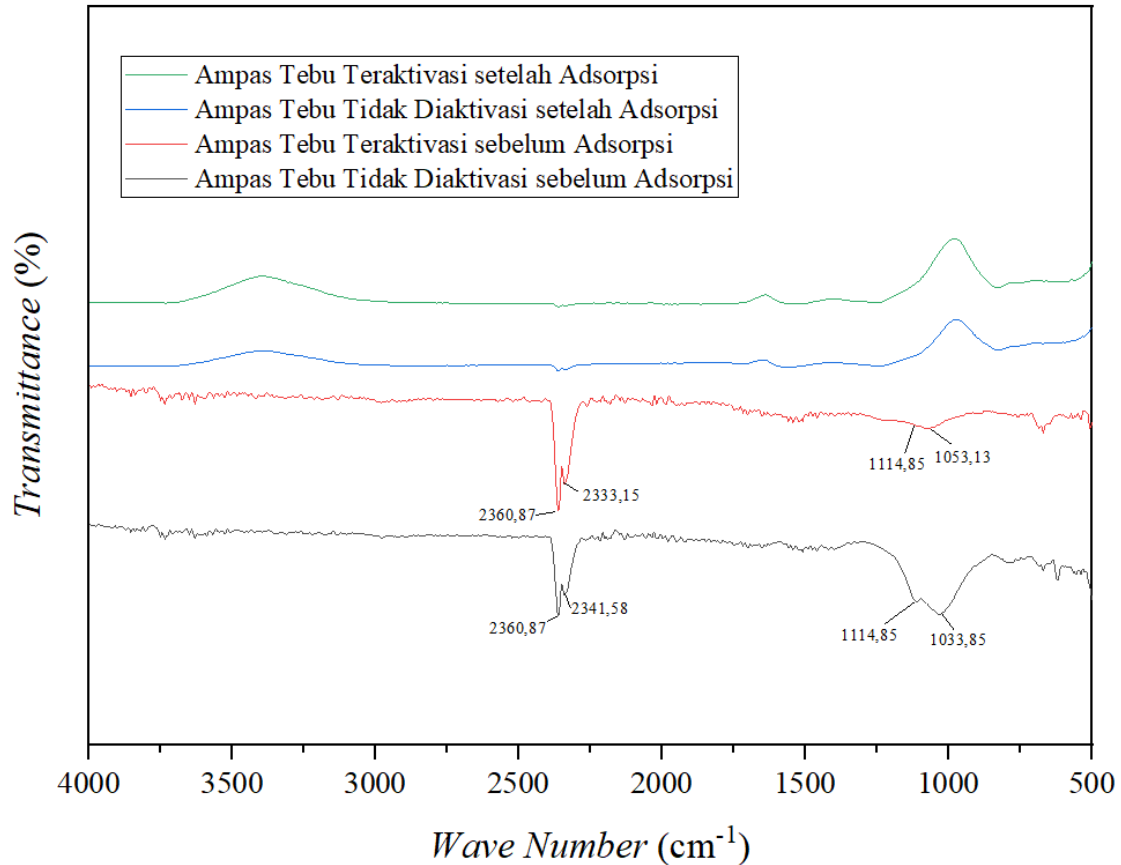
Karakterisasi dengan menggunakan *Fourier Transform-Infra-Red* (FTIR) ini bertujuan agar gugus fungsi adsorben dapat diketahui serta membandingkan gugus fungsi adsorben yang tidak diaktivasi dan yang diaktivasi dengan HCl 1%. Dengan mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada adsorben kita dapat mengetahui gugus fungsi apakah yang berperan penting dalam membantu proses adsorpsi. Hasil dari karakterisasi dengan FTIR ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Perbandingan Hasil Karakterisasi FTIR Adsorben Ampas Tebu Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1% sebelum Proses Adsorpsi  
(Sumber: Data Primer, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa gugus fungsi yang dimiliki oleh adsorben yang tidak diaktivasi dan telah diaktivasi adalah sama, yaitu gugus C-O yang terdapat pada *wave number* 1114,85  $\text{cm}^{-1}$ , 1033,85  $\text{cm}^{-1}$ , dan 1053,13  $\text{cm}^{-1}$ , namun memiliki intensitas yang berbeda. Adsorben yang tidak diaktivasi memiliki gugus C-O dengan intensitas lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben yang diaktivasi dengan HCl 1%. Selain itu, terdapat juga *peak* pada *wave number* 2360,87, 2333,15, dan 2341,58 yang merupakan O=C=O ( $\text{CO}_2$ ).





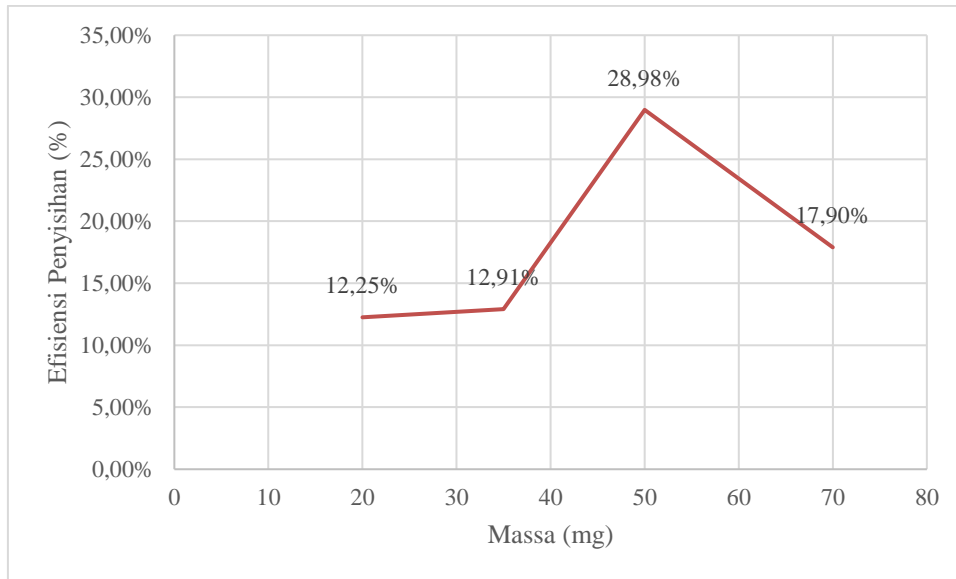
Gambar 4. 5 Perbandingan Hasil Karakterisasi FTIR Adsorben Ampas Tebu Tidak Teraktivasi dan Teraktivasi HCl 1% sebelum dan setelah Proses Adsorpsi  
(Sumber: Data Primer, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa setelah proses adsorpsi tidak ada lagi *peak* gugus C-O, yang berarti gugus fungsi tersebut berperan dalam mengikat ion  $\text{Cu}^{2+}$ .

### 4.3 Proses Adsorpsi

#### 4.3.1 Hasil Pengujian Vatriasi Massa Adsorben

Massa merupakan salah satu hal penting dalam proses adsorpsi ion logam berat. Semakin tinggi massa adsorben yang digunakan tidak selalu membuat proses adsorpsi semakin meningkat. Hal ini dikarenakan jika massa adsorben yang digunakan terlalu tinggi maka akan terjadi proses desorpsi, yaitu proses di mana terjadinya pelepasan proses partikel pada adsorben selama proses adsorpsi (Takarani et al., 2019). Hasil pengujian dari pengaruh massa terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.6.



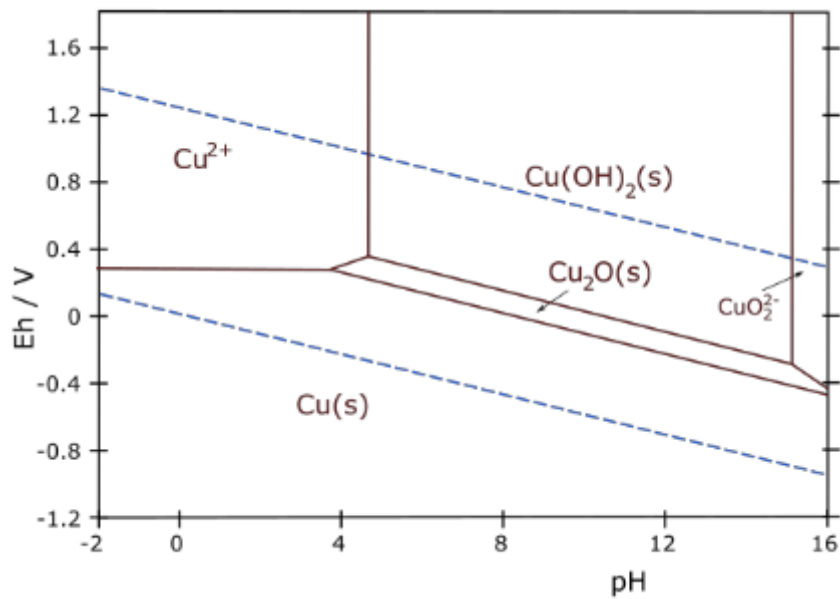
Gambar 4. 6 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Proses Adsorpsi

(Sumber: Data Primer, 2023)

Variasi massa yang digunakan pada pengujian ini adalah 20 mg, 35 mg, 50 mg, dan 70 mg dengan waktu kontak selama 120 menit dan konsentrasi larutan awal  $\text{Cu}^{2+}$  sebesar 17,03 ppm sebanyak 25 mL tanpa pengkondisian pH. Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan  $\text{Cu}^{2+}$  secara berturut-turut, yaitu 12,25%, 12,91%, 28,98%, dan 17,90%. Sehingga massa optimum yang didapatkan dari hasil pengujian ini adalah 50 mg.

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Variasi pH Larutan $\text{Cu}^{2+}$

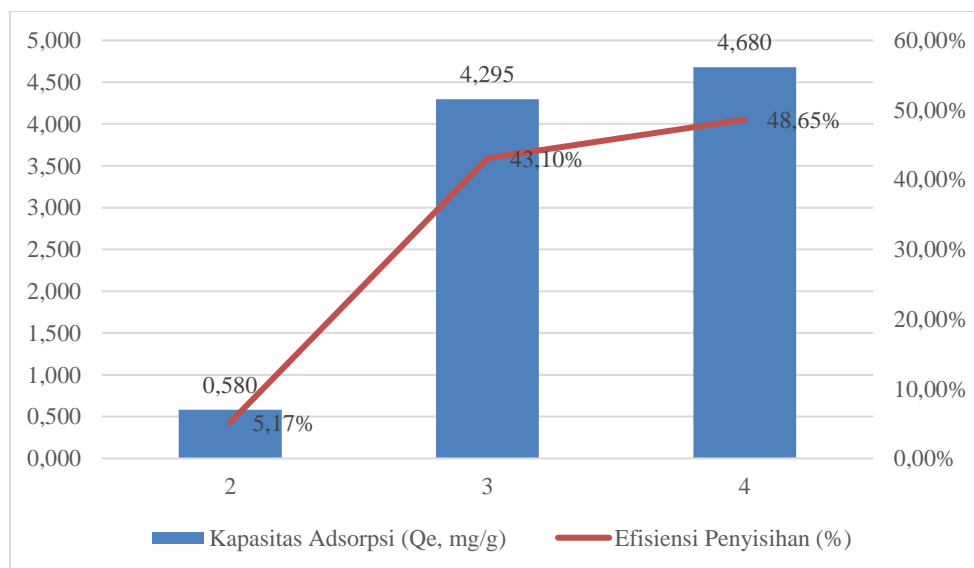
pH berperan penting dalam melakukan proses adsorpsi. Untuk ion  $\text{Cu}^{2+}$  ini berada pada rentang pH 1 – 4 (Sari et al., 2018).



Gambar 4. 7 Diagram *Pourbaix* Cu

*Sumber: (Sari et al., 2018)*

Pengujian ini dilakukan dengan variasi pH 2, 3, dan 4 dengan pengondisian pH menggunakan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Selain itu, pengujian ini dilakukan dengan menggunakan larutan Cu<sup>2+</sup> 20 ppm sebanyak 25 mL, dengan massa adsorben sebanyak 50 mg, dan waktu kontak selama 120 menit. Hasil pengujian dari pengaruh pH terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.8.



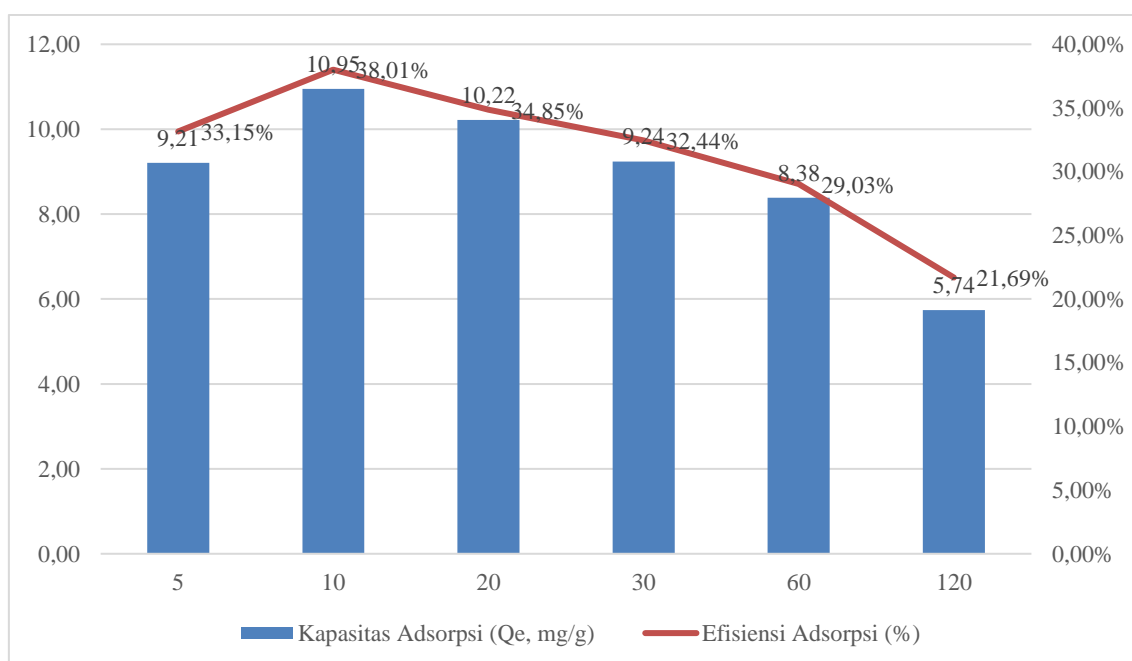
Gambar 4. 8 Pengaruh pH Larutan Cu<sup>2+</sup> Terhadap Proses Adsorpsi

*(Sumber: Data Primer, 2023)*

Berdasarkan Gambar 4.8, dapat disimpulkan bahwa pH 4 merupakan pH yang paling optimum, yaitu dengan efisiensi penyisihan sebesar 48,65% dan kapasitas adsorpsi sebesar 4,680 mg/g. Jika dibandingkan dengan variasi pH lainnya, pH 4 memiliki kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan lebih tinggi, hal ini dapat terjadi karena pada pH 2 dan pH 3 memiliki ion H<sup>+</sup> yang lebih tinggi dan adsorben yang digunakan diaktivasi dengan menggunakan HCl sehingga menyebabkan pH 2 dan pH 3 lebih sulit untuk dijerap oleh adsorben.

### 4.3.3 Hasil Pengujian Variasi Waktu Kontak

Waktu kontak merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi. Pada pengujian ini dilakukan variasi waktu kontak selama 5, 10, 20, 30, 60, dan 120 menit, dengan massa adsorben 50 mg, larutan artifisial Cu<sup>2+</sup> 20 ppm dengan pH 4 sebanyak 80 mL. Hasil pengujian dari pengaruh massa terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Proses Adsorpsi

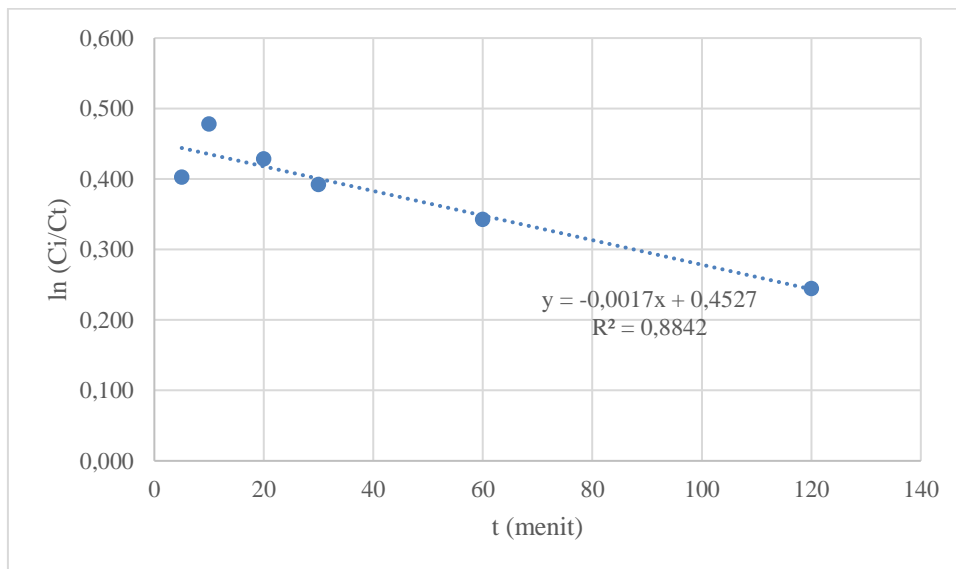
(Sumber: Data Primer, 2023)

Pada Gambar 4.9 terlihat bahwa efisiensi penyisihan tertinggi terdapat di waktu kontak 10 menit, namun pada variasi waktu 10 – 60 menit terlihat bahwa efisiensi

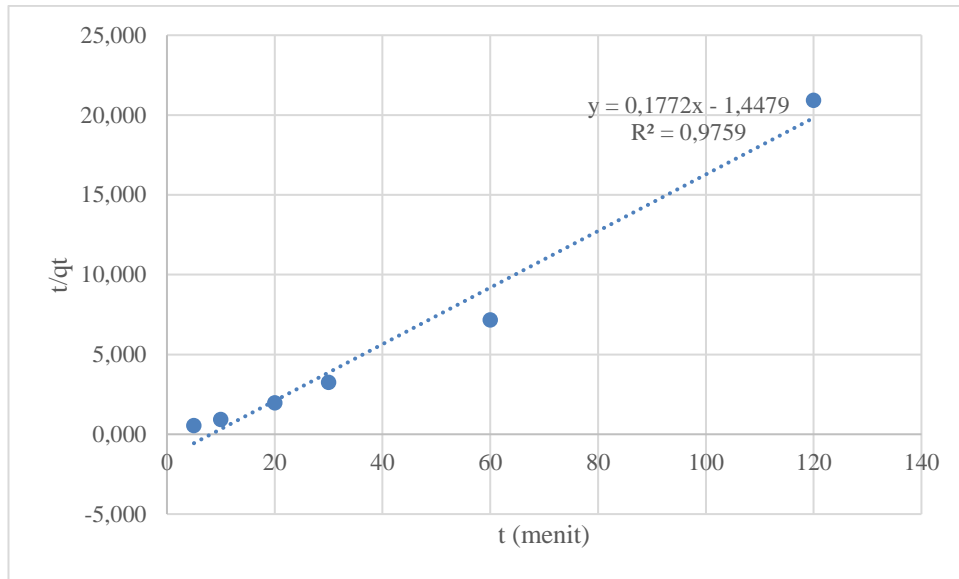
penyisihannya hampir sama yang menunjukkan bahwa pada rentang waktu tersebut terjadi kesetimbangan. Sedangkan pada waktu kontak 120 menit terjadi penurunan efisiensi penyisihan, hal ini dapat terjadi karena terjadi titik jenuh sehingga menyebabkan terjadinya desorpsi.

#### 4.3.3.1 Kinetika Adsorpsi

Setelah melakukan proses adsorpsi dengan variasi waktu kontak, dilakukan analisis model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua untuk menentukan kinetika adsorpsi yang paling sesuai dengan proses adsorpsi yang dilakukan. Model kinetika adsorpsi yang paling sesuai dapat dilihat dari nilai  $R^2$  yang paling mendekati angka 1. Hasil dari analisis model kinetika adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan Tabel 4.1.



Gambar 4. 10 Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Satu  
(Sumber: Data Primer, 2023)



Gambar 4. 11 Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Dua

(Sumber: Data Primer, 2023)

Tabel 4. 1 Perbandingan Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Satu dan *Pseudo* Orde Dua

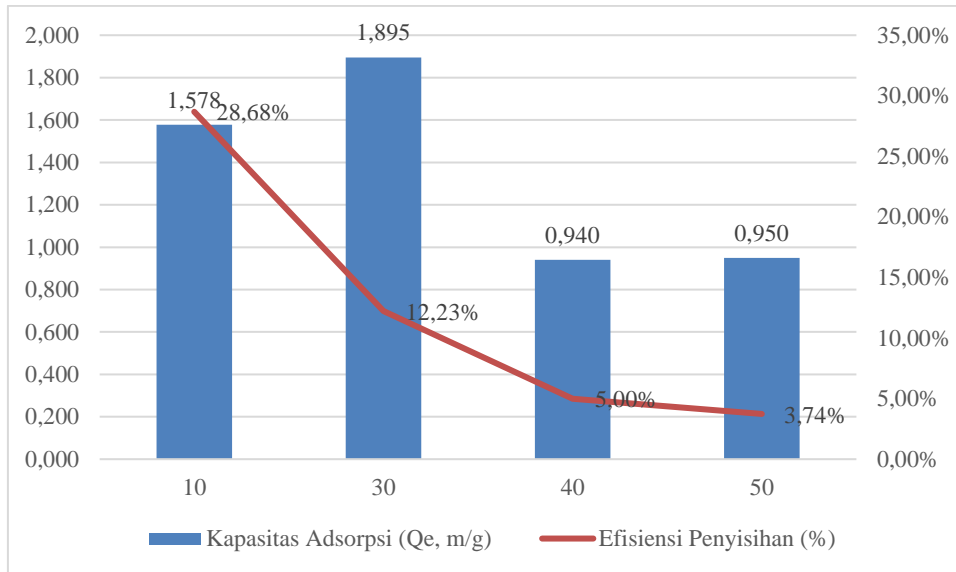
Model Kinetika	R <sup>2</sup>	k	qe (mg/g)
<i>Pseudo</i> orde satu	0,8842	0,002 menit <sup>-1</sup>	1,57
<i>Pseudo</i> orde dua	0,9759	0,031 g/mg.min	5,64

(Sumber: Data Primer, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua memiliki nilai R<sup>2</sup> yang lebih mendekati angka 1. Berarti proses adsorpsi ini terjadi secara kemisorpsi.

#### 4.3.4 Hasil Pengujian Variasi Konsentrasi Larutan Artifisial Cu<sup>2+</sup>

Konsentrasi merupakan faktor krusial dalam proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan kita dapat mengetahui kapasitas adsorpsi dari adsorben yang digunakan untuk menyerap ion Cu<sup>2+</sup>. Pada pengujian ini dilakukan dengan variasi konsentrasi 10 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm dengan volume larutan sebanyak 25 mL dengan pH 4, massa adsorben 50 mg, dan waktu kontak selama 10 menit. Hasil pengujian dari pengaruh konsentrasi larutan terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Proses Adsorpsi

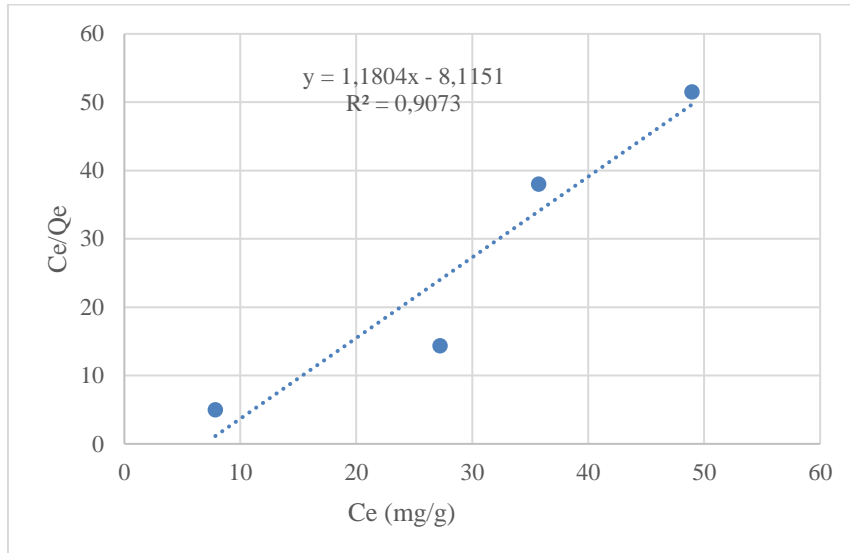
(Sumber: Data Primer, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.12 terlihat bahwa konsentrasi optimum larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$  adalah pada konsentrasi 30 ppm, setelah itu terjadi penurunan kemampuan penjerapan adsorbat oleh adsorben pada konsentrasi larutan 40 ppm dan 50 ppm, hal ini dapat terjadi karena adsorben yang digunakan telah menjerap adsorbat secara maksimal sehingga tidak mampu lagi untuk menjerap adsorbat pada konsentrasi larutan yang lebih tinggi (Arif & Mawardi, 2020). Sedangkan pada konsentrasi larutan 10 ppm kapasitas adsorpsinya lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi 30 ppm, hal ini dikarenakan perbandingan jumlah massa adsorben yang terlalu tinggi untuk konsentrasi larutan 10 ppm menyebabkan adsorben saling menumpuk sehingga menutupi sisi aktif karbon aktif yang menyebabkan kemampuan adsorben dalam menjerap adsorbat tidak optimal.

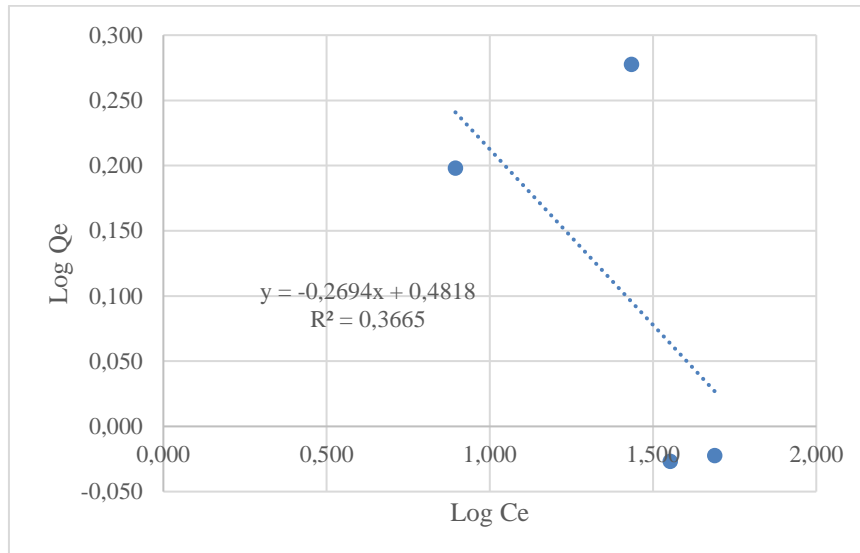
#### 4.3.4.1 Isoterm Adsorpsi dari Hasil Pengujian Proses Adsorpsi

Setelah didapatkan kondisi optimum adsorben, mulai dari massa adsorben, pH larutan, waktu kontak, serta konsentrasi larutan maka akan dilakukan analisis isoterm adsorpsi manakah yang paling sesuai. Dalam analisis ini akan membandingkan antara isoterm *Langmuir* dan isoterm *Freundlich*, isoterm yang memiliki  $R^2$  yang paling mendekati 1 adalah isoterm yang paling sesuai dengan pengujian ini. Perbandingan

antara isoterm *Langmuir* dan isoterm *Freundlich* dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.



Gambar 4. 13 Isoterm *Langmuir*  
(Sumber: Data Primer, 2023)



Gambar 4. 14 Isoterm *Freundlich*  
(Sumber: Data Primer, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa isoterm adsorpsi yang paling sesuai adalah isoterm *Langmuir*, yang berarti dapat diasumsikan bahwa: 1) setiap sisi adsorben bersifat homogen dan memiliki kemampuan yang sama dalam



menjerap adsorbat; 2) setiap sisi aktif adsorben hanya dapat menjerap satu molekul adsorbat; 3) molekul yang telah diadsorp tidak akan berinteraksi dengan sisi adsorben di sekitarnya; dan 4) kapasitas maksimum adsorben akan terjadi ketika adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat pada permukaan adsorben (Nurhidayati et al., 2022).

#### 4.3.5 Perbandingan Efektivitas Penyisihan Adsorben Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1% pada Larutan Artifisial Cu<sup>2+</sup>

Setelah mendapatkan kondisi optimum adsorben yang teraktivasi HCl 1%, maka kondisi optimum ini diterapkan pada adsorben yang tidak diaktivasi, yaitu massa adsorben 50 mg, pH 4 pada larutan artifisial Cu<sup>2+</sup>, waktu kontak 10 menit, serta konsentrasi larutan Cu<sup>2+</sup> 10 ppm. Meskipun konsentrasi larutan optimumnya adalah 30 ppm, namun pada perbandingan ini menggunakan konsentrasi larutan 10 ppm karena setelah proses adsorpsi ini dilakukan proses adsorpsi pada limbah cair batik yang memiliki kadar logam Cu<sup>2+</sup> yang rendah, sehingga variasi konsentrasi larutan yang digunakan adalah variasi konsentrasi terkecil, yaitu 10 ppm. Perbandingan hasil dari efektivitas penyisihan logam Cu<sup>2+</sup> oleh adsorben ampas tebu tidak diaktivasi dan teraktivasi HCl 1% dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perbandingan Efektivitas Penyisihan Adsorben Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1% pada Larutan Artifisial Cu<sup>2+</sup>

Keterangan	Variasi Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Setelah Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
Aktivasi	10	11,28	11	7,845	1,578	28,68%
Non Aktivasi	10	11,28	11	4,105	5,500	62,68%

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa adsorben ampas tebu yang tidak diaktivasi memiliki efektivitas penyisihan yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben ampas tebu yang teraktivasi HCl 1%, hal itu dikarenakan gugus C – O yang terdapat pada adsorben yang tidak diaktivasi memiliki intensitas yang lebih tinggi sehingga penjerapan menjadi lebih optimal.

#### 4.3.6 Penerapan Kondisi Optimum Adsorben pada Limbah Cair Batik

Setelah dilakukan pengujian kondisi optimum adsorben pada larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$ , maka kondisi optimum adsorben akan diterapkan pada proses adsorpsi limbah cair batik. Kadar  $\text{Cu}^{2+}$  yang terkandung dalam limbah cair batik adalah sebesar 0,225 ppm, yang berarti masih sesuai dengan standar baku mutu Peraturan Daerah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah, di mana dalam peraturan tersebut baku mutu Cu adalah sebesar 2 ppm. Meskipun telah memenuhi baku mutu lingkungan, namun proses adsorpsi tetap dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorben dalam menjerap parameter Cu pada limbah cair industri batik.

Proses adsorpsi ini dilakukan dengan massa adsorben sebesar 50 mg selama 10 menit dengan volume limbah batik sebesar 25 mL pada pH 4. Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa efisiensi penyisihan kadar  $\text{Cu}^{2+}$  pada limbah batik hanya sebesar 2,22%, rendahnya efisiensi penyisihan ini dapat terjadi karena limbah cair batik memiliki parameter pencemar yang kompleks sehingga menyebabkan kadar tembaga tidak dapat teradsorpsi secara optimal.

Tabel 4. 3 Penerapan Adsorben Teraktivasi HCl 1% dengan Kondisi Optimum pada Limbah Cair Batik

Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
0,225	0,22	0,008	2,22%

(Sumber: Data Primer, 2023)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi optimum ampas tebu pada proses adsorpsi Cu adalah pada massa 50 mg, pH 4 pada larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$ , waktu kontak 10 menit, dan konsentrasi larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$  30 ppm.
2. Adsorben ampas tebu memiliki gugus fungsi C–O. Dalam hal ini, gugus fungsi C–O yang dimiliki oleh adsorben ampas tebu yang tidak diaktivasi lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben ampas tebu teraktivasi HCl 1%.
3. Isoterm yang sesuai adalah isoterm *Langmuir* yang memiliki nilai  $R^2 = 0,9073$ , sedangkan isoterm *Freundlich* sendiri memiliki nilai  $R^2 = 0,3665$ .
4. Adsorben ampas tebu teraktivasi HCl 1% yang digunakan untuk mengadsorpsi larutan artifisial  $\text{Cu}^{2+}$  10 ppm memiliki efisiensi penyisihan 28,58% dengan kapasitas adsorpsi 1,578 mg/g. Sedangkan adsorben ampas tebu yang tidak diaktivasi memiliki efisiensi penyisihan 62,68% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 5,500 mg/g. Pada limbah cair batik, proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas tebu teraktivasi HCl 1% memiliki efisiensi penyisihan 2,22%, efisiensi penyisihan yang rendah ini dapat terjadi karena limbah cair batik memiliki parameter pencemar yang kompleks sehingga menyebabkan kadar tembaga tidak dapat teradsorpsi secara optimal.

#### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memahami sifat logam Cu agar ketika melakukan proses adsorpsi, logam Cu dapat dijerap secara lebih optimal
2. Melakukan karakterisasi secara mendetail mengenai ampas tebu untuk mengetahui komponen yang berperan penting dalam melakukan penjerapan suatu polutan.
3. Mempelajari secara mendetail sifat aktivator yang akan digunakan agar dapat membantu adsorben untuk menjerap polutan secara lebih optimal.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahda, M., Perwitasari, D. A., Faridah, I. N., dan Jannah, Y. N. (2019). Pemahaman pembatik terhadap bahaya bahan kimia dan pewarna di area pembatik Gunungkidul. *Seminar Nasional Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan*, 437–442.
- Alonso, D. M., Bond, J. Q., & Dumesic, J. A. (2010). Catalytic conversion of biomass to biofuels. *Green Chemistry*, 12(9), 1493–1513. <https://doi.org/10.1039/c004654j>.
- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>.
- Arif, M. D., & Mawardi. (2020). Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Terhadap Penyerapan Ion Logam  $Cr^{+6}$  Menggunakan Biomassa Alga Hijau *Mougeotia Sp* yang Diimobilisasi Dengan Natrium Silika. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, 9(2), 50–54.
- Bakar, N. A., Othman, N., Yunus, Z. M., Altowayti, W. A. H., Tahir, M., Fitriani, N., & Mohd-Salleh, S. N. A. (2021). An insight review of lignocellulosic materials as activated carbon precursor for textile wastewater treatment. *Environmental Technology and Innovation*, 22, 101445. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101445>
- Dian, R. (2020). *Aplikasi Kolom Adsorpsi Konfigurasi Seri dengan Sekam Padi Sebagai Adsorben Untuk Penyisihan Logam Tembaga (Cu) Dan Seng (Zn) Dari Air Tanah Artifisial*. <http://scholar.unand.ac.id/59398/>.
- Handayani, D. P. & Rusmini. (2019). Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Karbon Aktif Utilization of Bagasse an Activated Carbon. *Unesa Journal of Chemistry*, 8(1), 13–16.
- Imani, A., Sukwika, T., & Febrina, L. (2021). Karbon Aktif Ampas Tebu sebagai Adsorben Penurun Kadar Besi dan Mangan Limbah Air Asam Tambang. *Jurnal Teknologi*, 13(1).
- Indah, D. R. (2020). Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) Pada Karbon Baggase Teraktivasi Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram*, 7(1), 12–26.
- Khaira, K. (2014). Analisis Kadar Tembaga dan Seng Air Minum Isi Ulang Lima Kaum

- Tanah Datar. *Jurnal Sainstek*, 6(2), 116–123.
- Liu, B., Luo, H., Rong, H., Zeng, X., Wu, K., Chen, Z., Lu, H., & Xu, D. (2019). Temperature-induced adsorption and desorption of phosphate on poly(Acrylic acid-co-N-[3-(dimethylamino)propyl]acrylamide) hydrogels in aqueous solutions. *Desalination and Water Treatment*, 260–267. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24351>
- Masta, N. (2020). *Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy*. Jakarta: Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Kristen Indonesia.
- Muhammad. (2014). Penyerapan  $\beta$ -Keroten Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit: Kajian Kinetika. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 3(2), 53–63.
- Naat, J. N., Neolaka, Y. A. B., Lapailaka, Tj, R. T., Sabarudin, A., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2021). Adsorption of Cu(II) and Pb(II) using silica@mercpto (hs@m) hybrid adsorbent synthesized from silica of Takari sand: Optimization of parameters and kinetics. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(1), 550–560. <https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1415803>.
- Nuha, S. L. (2021). *Efektivitas Penyisihan Ion Logam Pb 2+ Menggunakan Pasir Silika Sebagai Adsorben*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/31074>
- Nurhidayati, I., Mellisani, B., Puspita, F., & Putri, F. A. R. (2022). Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben. *Warta Akab*, 46(1). <https://doi.org/10.55075/wa.v46i1.98>.
- Oktaviandra, R. R. R., Nurlaeli, P. D., & Billah, M. (2020). Pemanfaatan Tempurung Kluwak Sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Tembaga. *ChemPro*, 1(01), 41–45. <https://doi.org/10.33005/chempro.v1i01.40>
- Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/11581>.
- Rizky, S., & Silalahi, R. (2022). Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi Ion Logam Cu ( II ) Pada Karbon Aktif Bunga Pinus Merkusii. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 3(3), 1–4.
- Rompegading, A. B., Muhlis, N. F., Arfadilla, R., Sari, N. I., Muliana, A., Rahmawati, Gani, M., Rinaldy, A., S, M. F., Mirjawanda, Gusfira, A., Tantu, Z., Syah, U. T., & Irfandi, R. (2021). Deteksi Awal Kandungan Logam Tembaga (Cu) pada Tanaman

- Kangkung Darat (*Ipomoea reptans*). *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 4(2), 246–250. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v4i2.2790>.
- SAFC. (2021). *Lembar Data Keselamatan menurut Peraturan (EC) No. 1907/2006*, 1–12.
- Sari, N. V., Susatyo, E. B., & Mahatmanti, F. W. (2018). Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Ion  $\text{Cu}^{2+}$  oleh Polifenol Kluwak (*Pangium edule R.*) dengan Pembentukan Kompleks. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>.
- Sitinjak, P. D. R., & Husin, A. (2021). Studi Adsorpsi Furfural Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian Termodifikasi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(1), 19–24. <https://doi.org/10.32734/jtk.v10i1.3624>
- SNI 6989.59:2008 Tentang Air dan Air Limbah - Bagian 59 : Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah.
- SNI 6989.84:2019 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 84: Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total secara Spektrometri Serapam Atom (SSA) - nyala.
- Syauqiah, I., Amalia, M., dan Kartini, H. A. (2011). Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Arang Aktif *Info Teknik*, 12(1), 11–20.
- Takarani, P., Novita, S. F., & Fathoni, R. (2019). Pengaruh Massa dan Waktu Adsorben Selulosa dari Kulit Jagung terhadap Konsentrasi Penyerapan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, 2(1), 117–121. <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/SEMNASTEK/article/view/2816>.
- Wibowo, M. M. (2021). *Penggunaan Arang Aktif Dari Bambu Hijau (Gigantochloa verticillata Willd. Munro) Sebagai Penyerap Ion Logam Berat Fe(III) Dan Cu(II) Dalam Limbah Cair*. <http://scholar.unand.ac.id/94324/>.
- Widayatno, T., Yuliatwati, T., Susilo, A. A. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 17–23.
- Yulianti, A., Taslimah, & Sriatun. (2010). Pembuatan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit untuk Pemucatan Minyak Goreng Sisa Pakai. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13(2), 36–40. <https://doi.org/10.14710/jksa.13.2.36-40>.
- Yuliyanti, M. (2018). *Review E-Book Nanotechnologies : Principles*,



*Applications, Implications and Hands-On Activities.* 1–17.

Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., & AB, S. (2019). Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Jurnal KONVERSI*, 9(1), 17–28. <https://doi.org/10.24853/konversi.9.1.12>.

Yuwono, M. Peningkatan Nilai Manfaat Ampas Tebu Sebagai Sumber Bahan Baku Halal Komoditas Ekspor. <https://news.unair.ac.id/2021/06/07/peningkatan-nilai-manfaat-ampas-tebu-sebagai-sumber-bahan-baku-halal-komoditas-ekspor/>.

Diakses pada tanggal 10 Juni 2022.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Efisiensi Penyisihan Logam Cu pada Variabel Bebas untuk Mengetahui Kondisi Optimum Adsorben

### Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Massa

Konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  = 20 ppm

Volume Larutan = 25 mL

Tabel Lampiran 1. 1 Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Massa Adsorben

No	Massa (mg)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Setelah Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
1	20	17,03	13,63	11,96	2,09	12,25%
2	35	17,03	13,63	11,87	1,26	12,91%
3	50	17,03	13,63	9,68	1,98	28,98%
4	70	17,03	13,63	11,19	0,87	17,90%

Variasi massa 50 mg

Efisiensi Penyisihan

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{13,63 \text{ mg/L} - 9,68 \text{ mg/L}}{13,63 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = 28,98\%$$

Perhitungan variasi massa lainnya dilakukan dengan cara yang sama.

### Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi pH Larutan Artifisial $\text{Cu}^{2+}$

Konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  = 20 ppm

Volume Larutan = 25 mL

Tabel Lampiran 1. 2 Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi pH Larutan Artifisial  $\text{Cu}^{2+}$

No	pH	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Setelah Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
1	2	23,65	22,45	21,29	0,580	5,17%
1	3	21,13	19,93	11,34	4,295	43,10%
2	4	20,44	19,24	9,88	4,680	48,65%

#### Variasi pH 4

##### Efisiensi Penyisihan

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{19,24 \text{ mg/L} - 9,88 \text{ mg/L}}{19,24 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = 48,65\%$$

##### Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}}$$

$$q_e = \frac{(19,24 \text{ mg/L} - 9,88 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 4,680 \text{ mg/g}$$

Perhitungan variasi pH lainnya dilakukan dengan cara yang sama.

#### **Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Waktu Kontak**

$$\text{Konsentrasi Cu}^{2+} = 20 \text{ ppm}$$

$$\text{Volume Larutan} = 80 \text{ mL}$$

Tabel Lampiran 1. 3 Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Waktu Kontak

No	Waktu Kontak (Menit)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Setelah Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
1	5	19,24	17,36	11,61	9,21	33,15%
2	10	19,24	18,01	11,17	10,95	38,01%
3	20	19,24	18,32	11,94	10,22	34,85%

No	Waktu Kontak (Menit)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Setelah Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
4	30	19,24	17,80	12,03	9,24	32,44%
5	60	19,24	18,05	12,81	8,38	29,03%
6	120	19,24	16,53	12,95	5,74	21,69%

#### Waktu Kontak 10 menit

#### Efisiensi Penyisihan

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{18,01 \text{ mg/L} - 11,17 \text{ mg/L}}{18,01 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = 38,01\%$$

#### Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}}$$

$$q_e = \frac{18,01 \text{ mg/L} - 11,17 \text{ mg/L} \times 0,08 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 10,95 \text{ mg/g}$$

Perhitungan variasi waktu kontak lainnya dilakukan dengan cara yang sama.

#### **Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Konsentrasi Larutan Artifisial Cu<sup>2+</sup>**

$$\text{Konsentrasi Cu}^{2+} = 30 \text{ ppm}$$

$$\text{Volume Larutan} = 25 \text{ mL}$$

Tabel Lampiran 1. 4 Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Konsentrasi Larutan Artifisial Cu<sup>2+</sup>

No	Variasi Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Setelah Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
1	10	11,28	11	7,845	1,578	28,68%
2	30	31,03	31	27,21	1,895	12,23%
3	40	42,04	37,6	35,72	0,940	5,00%

No	Variasi Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Setelah Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
4	50	57,15	50,85	48,95	0,950	3,74%

### Efisiensi Penyisihan

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{31 \text{ mg/L} - 27,21 \text{ mg/L}}{31 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = 12,23\%$$

### Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}}$$

$$q_e = \frac{(31 \text{ mg/L} - 27,21 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 1,895 \text{ mg/g}$$

Perhitungan variasi konsentrasi larutan lainnya dilakukan dengan cara yang sama.

Lampiran 2 Perbandingan Efisiensi Penyisihan  $\text{Cu}^{2+}$  pada Larutan Artifisial menggunakan Adsorben Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1%

Konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  = 10 ppm

Volume Larutan = 25 mL

Tabel Lampiran 2. 1 Perbandingan Efisiensi Penyisihan  $\text{Cu}^{2+}$  pada Larutan Artifisial menggunakan Adsorben Tidak Diaktivasi dan Teraktivasi HCl 1%

Keterangan	Variasi Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Setelah Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
Aktivasi	10	11,28	11	7,845	1,578	28,68%
Non Aktivasi	10	11,28	11	4,105	5,500	62,68%

### Adsorben Teraktivasi HCl 1%

#### Efisiensi Penyisihan

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{11,28 \text{ mg/L} - 7,845 \text{ mg/L}}{11,28 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = 28,68\%$$

#### Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}}$$

$$q_e = \frac{(11,28 \text{ mg/L} - 7,845 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 1,578 \text{ mg/g}$$

### Adsorben Tidak Diaktivasi

#### Efisiensi Penyisihan

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{11,28 \text{ mg/L} - 4,105 \text{ mg/L}}{11,28 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = 62,68\%$$

### Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}}$$

$$q_e = \frac{(11,28 \text{ mg/L} - 4,105 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 5,500 \text{ mg/g}$$



Lampiran 3. Perhitungan Efisiensi Penyisihan pada Limbah Cair Batik dengan Adsorben Ampas Tebu Teraktivasi HCl 1%

$$\text{Konsentrasi Cu}^{2+} = 0,225 \text{ ppm}$$

$$\text{Volume Larutan} = 25 \text{ mL}$$

Tabel Lampiran 3. 1 Perhitungan Efisiensi Penyisihan pada Limbah Cair Batik dengan Adsorben Ampas Tebu Teraktivasi HCl 1%

Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)
0,225	0,22	0,008	2,22%

Efisiensi Penyisihan

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = \frac{0,225 \text{ mg/L} - 0,22 \text{ mg/L}}{0,225 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan konsentrasi Cu} = 2,22\%$$

Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}}$$

$$q_e = \frac{(0,225 \text{ mg/L} - 0,22 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 0,008 \text{ mg/g}$$

Lampiran 4 Perhitungan Kinetika Adsorpsi

**Kinetika Adsorpsi *Pseudo Orde Satu***

Tabel Lampiran 4. 1 Perhitungan Kinetika Adsorpsi *Pseudo Orde Satu*

t (menit)	qt (mg/g)	Ci (mg/L)	Ct (mg/L)	ln(Ci/Ct)
5	9,21	17,36	11,61	0,403
10	10,95	18,01	11,17	0,478
20	10,22	18,32	11,94	0,429
30	9,24	17,80	12,03	0,392
60	8,38	18,05	12,81	0,343
120	5,74	16,53	12,95	0,244

Waktu Kontak 10 menit

Kapasitas Adsorpsi pada Waktu t

$$q_t = \frac{(C_i - C_t) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}}$$

$$q_t = \frac{(18,01 \text{ mg/L} - 11,17 \text{ mg/L}) \times 0,08 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_t = 10,95 \text{ mg/g}$$

ln (Ci/Ct)

$$\ln \left( \frac{C_i}{C_t} \right) = \ln \left( \frac{18,01}{11,17} \right)$$

$$\ln \left( \frac{C_i}{C_t} \right) = 0,478$$

Tabel Lampiran 4. 2 Perhitungan Konstanta Laju Persamaan *Pseudo Orde Satu*

Slope (a)	Intercep (b)	K <sub>1</sub> (menit <sup>-1</sup> )	qe (mg/g)	R <sup>2</sup>	Log qe
-0,0017	0,4527	0,0017	1,57	0,8842	0,45

Konstanta Laju Persamaan *Pseudo Orde Satu*

$$k_1 = - \text{slope}$$

$$k_1 = - (-0,0017)$$

$$k_1 = 0,0017 \text{ menit}^{-1}$$

### Kapasitas Adsorpsi saat Setimbang

$$q_e = e^{\text{intercep}}$$

$$q_e = e^{0,4527}$$

$$q_e = 1,57 \text{ mg/g}$$

### log qe

$$\log q_e = \log (1,57)$$

$$\log q_e = 0,45$$

### **Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Dua**

Tabel Lampiran 4. 3 Perhitungan Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Dua

t (menit)	Massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	C (Ce-Co)	V (L)	qt (mg/g)	t/qt
5	0,05	17,36	11,61	5,76	0,08	9,21	0,54
10	0,05	18,01	11,17	6,85	0,08	10,95	0,91
20	0,05	18,32	11,94	6,39	0,08	10,22	1,96
30	0,05	17,80	12,03	5,78	0,08	9,24	3,25
60	0,05	18,05	12,81	5,24	0,08	8,38	7,16
120	0,05	16,53	12,95	3,59	0,08	5,74	20,92

### Waktu Kontak 10 menit

#### Nilai C

$$C = C_e - C_o$$

$$C = 18,01 - 11,17$$

$$C = 6,85 \text{ mg/L}$$

### Kapasitas Adsorpsi pada Waktu t

$$q_t = \frac{(C_e - C_o) \times \text{Volume larutan}}{\text{Massa adsorben}}$$

$$q_t = \frac{(18,01 \text{ mg/L} - 11,17 \text{ mg/L}) \times 0,08 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_t = 10,95 \text{ mg/g}$$

Nilai t/qt

$$t/qt = 10/10,95$$

$$t/qt = 0,91$$

Tabel Lampiran 4. 4 Perhitungan Konstanta Laju Persamaan *Pseudo* Orde Dua

Slope (a)	Intercep (b)	qe	qe <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> (g/mg.min)	R <sup>2</sup>
0,1772	-1,4479	5,64	31,85	0,031	0,9759

Kapasitas Adsorpsi saat Setimbang

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

$$q_e = \frac{1}{0,1772}$$

$$q_e = 5,64 \text{ mg/g}$$

Nilai qe<sup>2</sup>

$$qe^2 = 5,64^2$$

$$qe^2 = 31,85$$

Konstanta Laju Persamaan *Pseudo* Orde Dua

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

$$k_2 = \frac{1}{5,64^2}$$

$$k_2 = 0,031 \text{ g/mg.min}$$

Lampiran 5 Perhitungan Isoterm Adsorpsi

Tabel Lampiran 5. 1 Perhitungan Isoterm Adsorpsi

Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kontrol (mg/L)	Konsentrasi Akhir (Ce, mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe, mg/g)	Efisiensi Penyisihan (%)	Ce/Qe	Log Ce	Log Qe
11,28	11	7,845	1,578	28,68%	4,973	0,895	0,198
31,03	31	27,21	1,895	12,23%	14,359	1,435	0,278
42,04	37,6	35,72	0,940	5,00%	38,000	1,553	-0,027
57,15	50,85	48,95	0,950	3,74%	51,526	1,690	-0,022

**Perhitungan Isoterm *Langmuir***

Tabel Lampiran 5. 2 Perhitungan Isoterm *Langmuir*

<i>Langmuir</i>	
Qo/slope	1,1804
n/intercept	-8,1151
Qmax (mg/g)	0,84717
K <sub>L</sub>	1,1804
R <sub>L</sub>	0,02660
R <sup>2</sup>	0,9073

Perhitungan nilai Q max

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

$$Q_{\max} = \frac{1}{1,1804}$$

$$Q_{\max} = 0,847 \text{ mg/g}$$

Perhitungan nilai K<sub>L</sub>

$$K_L = \text{Slope}$$

$$K_L = 1,1804$$

Perhitungan nilai  $R_L$

$$R_L = \frac{1}{1 + C_i \times K_L}$$

$$R_L = \frac{1}{1 + 31 \times 1,1804}$$

$$R_L = 0,027$$

**Perhitungan Isoterm *Freundlich***

Tabel Lampiran 5. 3 Perhitungan Isoterm *Freundlich*

<i>Freundlich</i>	
Slope	-0,2694
Intercept	0,4818
1/n	-0,2694
Kf	3,03249
R <sup>2</sup>	0,3665

Perhitungan nilai 1/n

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

$$\frac{1}{n} = -0,269$$

Perhitungan nilai Kf

Kf = antilog intercept

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

$$Kf = 10^{0,4818}$$

$$Kf = 3,032 \text{ mg/g}$$

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis bernama lengkap Ajeng Zahra Afifah, lahir di Pontianak pada Tanggal 12 Maret 2001. Penulis merupakan anak satu-satunya dari Bapak Drs. Didik Krismanto dan Ibu Supri Hartini. Penulis bersekolah di SMAN 1 Gamping, setelah itu penulis melanjutkan studinya di Prodi S1 Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia pada Tahun 2019.

Selama berkuliah di Universitas Islam Indonesia penulis mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Media. Selain itu penulis juga melakukan kerja praktik di salah satu TPS 3R yang berada di Kabupaten Sleman, dan menulis opini terkait TPA Piyungan yang diterbitkan di koran *online* SUARA KALBAR pada Tahun 2021.