



**EFEKTIVITAS BIOSORBEN AMPAS TEBU TERAKTIVASI
KOH UNTUK MENURUNKAN KADAR ZAT WARNA PADA
LIMBAH CAIR ELEKTROPLATING**

SKRIPSI

Oleh

**Rohinoor Intan Berliana
201910601038**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK LINGKUNGAN
JEMBER
2024**



**EFEKTIVITAS BIOSORBEN AMPAS TEBU TERAKTIVASI
KOH UNTUK MENURUNKAN KADAR ZAT WARNA PADA
LIMBAH CAIR ELEKTROPLATING**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S1 Teknik Lingkungan.*

SKRIPSI

Oleh

**Rohinoor Intan Berliana
201910601038**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK LINGKUNGAN
JEMBER
2024**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada pihak-pihak berikut sebagai bentuk rasa terima kasih mendalam.

1. Kedua orang tua saya, Bapak Beny Sumantri (Alm.) dan Ibu Nunung Nurhayati. Saya persembahkan skripsi ini untuk mereka. Saya selamanya bersyukur dengan keberadaan kalian sebagai orang tua saya.
2. Eyang Kakung Ir. Soediro, S.T. dan Eyang Uti, Mursinatun, S.E. yang selalu memberikan dukungan, do'a dan petunjuk selama perkuliahan saya berlangsung.
3. Bapak Dr. Bondan Santoso, S.Si., M.Sc., selaku mentor yang selalu memberikan dukungan, nasihat dan do'a selama masa perkuliahan saya.
4. Kedua kakak saya, Mas Human dan Mas Fajar yang selalu memberikan dukungan waktu, energi dan finansial, serta Uleng selaku kucing tersayang yang membantu kesehatan mental saya tetap terjaga.
5. Dosen Teknik Lingkungan Universitas Jember yang telah membantu, membimbing dan menyumbangkan ilmu serta waktunya kepada saya selama perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.
6. Almamater Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
7. Teman satu penelitian (Calista, Faisal dan Rovy) yang telah bekerjasama dan saling menyemangati selama proses penelitian hingga skripsi ini diselesaikan.
8. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2020 yang saling memberikan dukungan dan bantuan selama penyelesaian skripsi ini.
9. Industri Elektroplating X, selaku lokasi pengambilan sampel limbah cair dalam penelitian ini.

MOTTO

يَسْأَلُهُ مَنْ فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ كُلَّ يَوْمٍ هُوَ فِي شَأْنٍ ﴿٢٩﴾
فَيَايَ الْآءِ رَبِّكُمْ تَكْذِبِينَ ﴿٣٠﴾

Artinya:

(29) Siapa yang ada di langit dan bumi selalu meminta kepada-Nya. Setiap hari Dia menangani urusan; (30) Maka, nikmat Tuhanmu manakah yang kamu dustakan?

-QS Ar Rahman: 29 s/d 30-

Take it one step at a time. You might discover the important things you were missing, and they will reach out to you.

– Jin of BTS-

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rohinoor Intan Berliana

NIM : 201910601038

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: ***“Efektivitas Biosorben Ampas Tebu Teraktivasi KOH untuk Menurunkan Kadar Zat Warna pada Limbah Cair Elektroplating”*** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 Januari 2024

Yang menyatakan,



(Rohinoor Intan Berliana)

NIM 201910601038

...

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Efektivitas Biosorben Ampas Tebu Teraktivasi KOH untuk Menurunkan Kadar Zat Warna pada Limbah Cair Elektroplating* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:


Hari : Kamis
Tanggal : 18 Januari 2024
Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Noven Pramitasari, S.T., M.T.
NIP : 199211062019032017

(.....)

2. Pembimbing Anggota

Nama : Ir. Ririn Endah Badriani, S.T., M.T.
NIP : 197205281998022001

(.....)

Penguji

Penguji Utama

Nama : Ir. Audiananti Meganandi Kartini, S.Si, M.T.
NIP : 198807272022032006

(.....)

Penguji Anggota 1

Nama : Dr. Ir. Yeny Dhokhikah, S.T., M.T.
NIP : 197301271999032002

(.....)

ABSTRACT

Electroplating industry wastewater has the potential to reduce environmental quality. Due to the characteristics with high color concentration resulting from the electroplating process, which is indicated by the dark greenish-blue to deep yellow color of the wastewater caused by the presence of heavy metals such as Cr(VI). The aim of this study is to assess the efficacy of sugarcane bagasse in reducing the color level and Cr(VI) concentration in the electroplating wastewater of industry X. The initial concentration of Pt-Co was 9.890, and the Cr(VI) level was 8,12 mg/L. Adsorption is considered a feasible method for this purpose. The effectiveness of biosorbent from Sugarcane Bagasse in reducing color concentration was tested in a batch system using KOH activation. Biosorbent mass (0,1 g; 0,2 g; 0,3 g; and 0,4 g) and contact time (15 min, 30 min, 45 min, and 60 min) were varied during the adsorption process. The results indicated a color removal efficiency of 98,2%, the highest achieved by the mass of 0,2 grams and contact time of 60 minutes resulted the highest color removal. Color absorption was measured using a UV-Vis spectrophotometer. The color concentration was measured at 180 Pt-Co. The heavy metal content results for Cr(VI) indicate that the optimal removal efficiency was achieved with a contact time of 60 minutes and a biosorbent mass of 0,1 grams. The removal efficiency was 15,1%, and the Cr(VI) concentration was 6,82 mg/L. The statistical test, Two-Way ANOVA, showed that. The efficiency of color removal was significantly impacted by the independent variable at different biosorbent dosage. The $Pr(>F)$ value was 4.77×10^{-8} , which is less than the required $Pr(>F) < 0.05$.

Keywords: *Biosorbent; electroplating; KOH; sugarcane bagasse; wastewater.*

RINGKASAN

Efektivitas Biosorben Ampas Tebu Teraktivasi KOH untuk Menurunkan Kadar Zat Warna pada Limbah Cair Elektroplating, Rohinoor Intan Berliana, 201910601038, 2024: 38 halaman, program Studi S1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Limbah cair yang dihasilkan dari industri elektroplating memiliki potensi untuk mencemari lingkungan. Parameter fisik yang seringkali terlihat secara kasat mata adalah kadar warna yang tinggi dari proses elektroplating yang ditunjukkan dengan limbah cair berwarna biru kehijauan dan kuning pekat yang berasal dari kandungan logam berat. Pengujian awal terhadap salah satu industri elektroplating X menunjukkan kadar warna limbah cair elektroplating sebesar 9.890 Pt-Co dan kadar Cr(VI) sebesar 8,12 mg/L. Keberadaan warna dari logam berat ini dapat menimbulkan potensi kerusakan lingkungan seperti menurunkan kadar penetrasi cahaya matahari ke dalam air, modifikasi perilaku dan pola reproduksi biota air.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar warna dan Cr(VI) adalah metode adsorpsi. Adsorpsi, menawarkan keunggulan dalam penyisihan logam berat dan warna, serta karena efektivitas biaya dan efisiensinya yang tinggi. Penelitian ini berfokus pada penentuan efisiensi biosorben ampas tebu dalam menurunkan kadar warna yang diaktivasi menggunakan KOH. Proses adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan massa biosorben (0,1 gram; 0,2 gram; 0,3 gram dan 0,4 gram) dan waktu kontak (15 menit; 30 menit; 45 menit dan 60 menit). Pengujian kadar warna dan kadar Cr(VI) hasil adsorpsi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 450 nm dan 540 nm. Penurunan warna terbaik ditunjukkan oleh waktu kontak 60 menit dan massa biosorben 0,1 dan 0,2 gram. Kadar Cr(VI) terbaik setelah proses adsorpsi pada waktu kontak 60 menit dan massa biosorben 0,1 gram. Efisiensi penyisihan warna terbaik sebesar 98,2% dan efisiensi penyisihan Cr(VI) terbaik sebesar 15,1%. Analisis pH dan temperatur limbah cair setelah proses adsorpsi menunjukkan bahwa pH limbah cair berada pada rentang 6 hingga 6,5 dan temperatur limbah cair mengalami kenaikan dari temperatur awal 25,1°C menjadi 28°C.

Pengujian terhadap data hasil penelitian dilakukan dengan uji asumsi klasik dan uji statistika. Uji asumsi klasik meliputi Uji normalitas, uji heteroskedastisitas, uji autokorelasi, uji multikolinieritas. Uji normalitas menggunakan metode Chi-Square menunjukkan bahwa nilai rata-rata data terdistribusi secara normal dengan *P-value* 0,1088. Uji autokorelasi dengan metode Breush-Pagan menunjukkan *P-value* 0,101 yang menunjukkan bahwa varians data tersebar secara merata dan tidak terjadi homoskedastisitas data. Uji autokorelasi menunjukkan *P-value* 0,6373 yang menunjukkan tidak adanya hubungan antar variabel bebas. Uji multikolinieritas menunjukkan nilai VIF <1 yang menunjukkan bahwa tidak terjadi multikolerasi pada data. Uji statistik *Two-Way* ANOVA menunjukkan variabel bebas yang berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan warna yaitu variasi massa biosorben dengan nilai $\text{Pr}(>F)$ sebesar 4.77×10^{-8} lebih kecil dari persyaratan $\text{Pr}(>F) < 0,05$.

PRAKATA

Penulis panjatkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul: *Efektivitas biosorben ampas tebu teraktivasi KOH untuk menurunkan kadar zat warna pada limbah cair elektroplating*. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak, karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dekan Fakultas Teknik, Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.;
2. Ibu Ketua Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Ibu Dr. Ir. Yeny Dhokhikah, S.T., M.T.;
3. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Ibu Ir. Noven Pramitasari, S.T., M.T. dan Ibu Ir. Ririn Endah Badriani, S.T., M.T.;
4. Dosen Penguji Tugas Akhir, Ibu Ir. Audiananti Meganandi Kartini, S.Si, M.T. dan Ibu Dr. Ir Yeny Dhokhikah, S.T., M.T.;
5. Teman-teman mahasiswa Teknik Lingkungan, seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik, Universitas Jember,

Penulis berharap, skripsi ini dapat bermanfaat bagi semuanya. Kritik, saran maupun masukan yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk meningkatkan kualitas skripsi ini.

Jember, 18 Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vi
ABSTRACT	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN TEORI.....	5
2.1 Limbah Cair Elektroplating	5
2.2 Konsep dan Mekanisme Adsorpsi	6
2.2.1. Mekanisme Adsorpsi.....	6
2.3 Ampas Tebu sebagai Biosorben	7
2.4 Aktivasi Biosorben	8
2.5 Analisis Kadar Warna dan Cr(VI)	9
2.6 Penelitian Terdahulu	11
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Jenis Penelitian	13
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	13
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	13
3.4 Pengumpulan Data dan Variabel Penelitian	13
3.5 Rancangan Penelitian.....	14
3.6 Prosedur Penelitian	15
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17

4.1 Pembuatan Biosorben Ampas Tebu.....	17
4.2 Aktivasi Biosorben Ampas Tebu dengan KOH 1M	18
4.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Pembuatan Kurva Kalibrasi.....	19
4.4 Kondisi Awal Limbah Cair Elektroplating	20
4.5 Uji Adsorpsi.....	22
4.5.1. Adsorpsi Kadar Warna berdasarkan Waktu Kontak	23
4.5.2 Adsorpsi Kadar Warna berdasarkan Massa Biosorben.....	24
4.5.3 Adsorpsi Kadar Cr(VI).....	25
4.6 Efisiensi Penyisihan Warna	27
4.7 Analisis pH	28
4.8 Temperatur Limbah Cair pada Proses Adsorpsi	29
4.9 Analisis Data.....	31
4.9.1 Uji Asumsi Klasik.....	31
4.9.2 Uji Two-Ways ANOVA	33
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN-LAMPIRAN	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik dan baku mutu limbah cair elektroplating.....	5
Tabel 2.2 Karakteristik umum <i>Physisorption</i> dan <i>Chemosorption</i>	6
Tabel 2.3 Penelitian terdahulu terkait biosorben ampas tebu dan dan adsorpsi zat warna.....	11
Tabel 3.1 Variabel penelitian	14
Tabel 3.2 Rancangan penelitian	14
Tabel 4.1 Karakteristik fisik warna limbah cair elektroplating.....	23
Tabel 4.2 Analisis kadar zat warna dengan pengaruh waktu kontak	23
Tabel 4.3 Analisis zat kadar warna dengan pengaruh massa biosorben	24
Tabel 4.4 Hasil analisis uji Cr(VI) dan Kadar Warna	25
Tabel 4.5 Uji normalitas.....	31
Tabel 4.6 Uji heteroskedastisitas.....	32
Tabel 4.7 Uji autokorelasi	32
Tabel 4.8 Uji multikolinieritas	33
Tabel 4.9 Uji <i>two ways</i> Anova	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme adsorpsi pada permukaan adsorbn	7
Gambar 2.2 Ampas tebu sebagai biosorben	8
Gambar 2.3 Ikatan kimia antara lignin dan selulosa	8
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	15
Gambar 4.1 Proses pembuatan biosorben ampas tebu	17
Gambar 4.2 Proses aktivasi biosorben ampas tebu	18
Gambar 4.3 Penentuan panjang gelombang maksimum dan kurva kalibrasi	20
Gambar 4.4 Kondisi awal limbah cair elektroplating	21
Gambar 4.5 Kondisi limbah cair setelah proses adsorpsi	23
Gambar 4.6 Perubahan warna limbah cair setelah proses adsorpsi	26
Gambar 4.7 Grafik efisiensi penyisihan Cr(VI)	27
Gambar 4.8 Efisiensi adsorpsi warna limbah cair elektroplating	28
Gambar 4.9 Grafik perubahan pH.....	29
Gambar 4.10 Grafik temperatur pada proses adsorpsi	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tahapan Penelitian

Lampiran 2. Dokumentasi Kegiatan dan Proses Adsorpsi

Lampiran 3. Data hasil pengujian Adsorpsi

Lampiran 4. Pengolahan Data Uji Statistika Penyisihan Warna

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri elektroplating merupakan penyumbang polutan limbah cair dalam jumlah besar terhadap lingkungan dan badan air (Shafy dkk., 2022). Air limbah yang dihasilkan oleh industri ini dicirikan dengan warna biru-hijau hingga kuning kecokelatan (Rajoria dkk., 2022) yang berasal dari kandungan logam berat terlarut yang digunakan selama proses pelapisan logam. Warna-warna ini bersifat stabil dan tidak dapat terurai secara hayati dalam air limbah (Kamran, 2022). Potensi pencemaran lingkungan oleh kadar warna dari kandungan logam berat yang dibuang langsung ke lingkungan dapat memberikan efek detrimental pada proses fotosintesis tumbuhan, modifikasi dan perubahan pola reproduksi kehidupan akuatik (Mojiri dkk., 2023; Shafy dkk., 2022). Hasil uji pendahuluan pada salah satu limbah cair industri elektroplating X, menunjukkan kadar warna dan Cr(VI) dalam limbah cair sebesar 9.989 Pt-Co dan 8,10 mg/L.

Metode pengolahan limbah cair elektroplating, meliputi adsorpsi, *ion exchange*, netralisasi, ekstraksi pelarut, pengendapan kimiawi, elektrokimia, koagulasi-flokulasi, reverse osmosis, dan filter membran (Yadav dkk., 2021). Namun, penting untuk diperhatikan bahwa beberapa metode tersebut memerlukan biaya operasional yang mahal dan kompleks (Ali Alatabe & Hussein, 2021) atau menghasilkan timbulan lumpur yang tinggi (Aragaw & Bogale, 2021). Adsorpsi, menawarkan keunggulan dalam penyisihan logam berat dan warna (Rajoria dkk., 2022; Wang dkk., 2020) karena efektivitas biaya dan efisiensinya yang tinggi. Arang aktif adalah adsorben yang banyak digunakan dalam pengolahan air limbah. Biaya produksi dan permintaan yang tinggi, menyebabkan penggunaannya terbatas, terutama di negara berkembang (Aragaw & Bogale, 2021; Ahmed dkk., 2023).

Indonesia sebagai negara agraris menghasilkan limbah biomassa agroindustri yang cukup melimpah tiap tahunnya, termasuk dari sektor pertanian tebu. Hal ini menjadi potensi untuk dimanfaatkan sebagai biosorben yang murah dan ramah

lingkungan. Penelitian ini memanfaatkan limbah ampas tebu (*Saccharum officinarum*) sebagai bahan dasar biosorben. Pemilihan ampas tebu sebagai biosorben didasarkan pada komposisi dari ampas tebu yang meliputi selulosa (42,19%), hemiselulosa (27,6%), lignin (21,56%), zat ekstraktif (5,63%) dan kadar abu (2,84%) (Aruna dkk., 2021). Biosorben murni umumnya memiliki kapasitas adsorpsi yang rendah dan perlu digunakan dalam jumlah besar secara efektif, sehingga perlu dilakukan dimodifikasi secara kimiawi melalui aktivasi asam atau basa untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya (Dewi dkk., 2021).

Penelitian terkait ampas tebu untuk penyisihan zat warna menggunakan ampas tebu sebagai biosorben telah dilakukan oleh Utomo dkk. (2019) mencapai efisiensi 95,81%, sedangkan Apriyani dkk. (2020) mencapai efisiensi 93,38% untuk pewarna Methylene Blue. Costa dan Hadi (2019) melakukan penelitian adsorpsi untuk menyisihkan kadar Cr(VI) dan didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 87,84%. Studi tambahan menunjukkan bahwa adsorben yang dibuat dari ampas tebu secara efektif menghilangkan ion logam dan pewarna (Harripersadth dkk., 2020; Siquera dkk., 2020; Wannasen dkk., 2022).

Penelitian ini menggunakan zat basa KOH sebagai *activating agent*. Pemilihan penggunaan KOH didukung oleh kemampuannya menghasilkan adsorben yang didominasi mikropori yang dapat meningkatkan efektivitas adsorpsi (Andreas dkk., 2015). Penggunaan KOH dalam proses adsorpsi telah dilakukan oleh Robbika dkk. (2015) dan Ahmed dkk. (2023), dengan KOH 1 M untuk menyisihkan kadar Cr(VI) dalam limbah cair batik dan limbah cair buatan. Proses adsorpsi pada penelitian ini dilakukan dengan sistem *batch* berupa variasi massa biosorben dengan waktu kontak. Efisiensi adsorpsi warna dan Cr(VI) oleh biosorben ampas tebu diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan perhitungan kadar warna berdasarkan SNI 6989.80: 2011 dan kadar Cr(VI) berdasarkan SNI 6989.71:2009.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana proses pembuatan biosorben dari ampas tebu teraktivasi basa KOH?
2. Bagaimana efisiensi biosorben ampas tebu teraktivasi basa KOH untuk menyisihkan kadar polutan zat warna dalam limbah cair elektroplating?
3. Bagaimana pengaruh massa biosorben dan waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan kadar zat warna limbah cair industri elektroplating?

1.2 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dalam penelitian ini melingkupi.

1. Sampel air limbah berasal dari Industri Elektroplating X.
2. Biosorben yang digunakan berasal dari ampas tebu berbentuk serbuk yang diaktivasi menggunakan KOH.
3. Parameter yang dianalisis dan direduksi adalah parameter zat warna dalam limbah cair elektroplating.
4. Penelitian berfokus pada efisiensi penurunan polutan zat warna dalam limbah cair elektroplating.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan uraian rumusan masalah yang telah dipaparkan sebagai berikut.

1. Membuat dan mengetahui proses pembuatan biosorben dari ampas tebu yang diaktivasi menggunakan zat basa KOH.
2. Menganalisis efisiensi penyisihan zat warna dalam limbah cair elektroplating menggunakan biosorben ampas tebu teraktivasi

3. Menganalisis efisiensi biosorben ampas tebu dengan variasi massa biosorben dan waktu kontak biosorben terhadap limbah cair elektroplating.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan dari penelitian ini diantaranya sebagai berikut.

1. Mengetahui dan memberikan alternatif terkait pembuatan biosorben ampas tebu teraktivasi basa KOH.
2. Mengetahui dan menganalisis efektivitas aktivasi biosorben ampas tebu menggunakan basa KOH,
3. Mampu menganalisis pengaruh massa biosorben dan waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan zat warna dalam limbah cair industri elektroplating.

BAB 2. TINJAUAN TEORI

2.1 Limbah Cair Elektroplating

Elektroplating adalah proses yang melibatkan pengaliran listrik melalui larutan elektrolit (Rajoria dkk., 2022) yang diikuti dengan pengawetan asam, pembersihan alkali, pelapisan, dan pembilasan. Proses ini menghasilkan air limbah berwarna biru kehijauan hingga kuning pekat kecokelatan (Rajoria dkk., 2022) yang berasal dari kandungan logam berat dan kerak bekas proses (Bankole dkk., 2019). Keberadaan warna dalam air dapat menurunkan kadar penetrasi cahaya matahari ke dalam air, modifikasi perilaku dan pola reproduksi biota air (Mojiri dkk., 2023), mengurangi nilai estetika lingkungan, dan berpotensi merusak ketersediaan air bersih (Aruna dkk., 2021) sementara keberadaan logam berat seperti Cr(VI) bersifat karsinogenik dan mutagenik terhadap makhluk hidup (Ly dkk. 2018). Hal ini dikarenakan keberadaan warna dan Cr(VI) dalam limbah cair cenderung bersifat stabil dan tidak dapat terurai secara alami (Kamran, 2022; Ahmed dkk., 20). Parameter warna dari konsentrasi logam berat adalah karakteristik fisik yang dapat diamati secara visual dalam air limbah elektroplating seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik dan baku mutu limbah cair elektroplating

Parameter	Kondisi Limbah Elektroplating			Baku Mutu [4]
	[1]	[2]	[3]	
pH	0,83	3	2,3	6,0-9,0
Fe (mg/L)	127,5	-	0,065	-
Temperatur (°C)	-5	-	25	-
Ni (mg/L)	106,1	52,6	-	1,0
Cd (mg/L)	3,02	0,95	0,086	0,05
Pb (mg/L)	4,94	3,56	0,295	0,1
Zn (mg/L)	167,6	1,75	15.104 [5]	1,0
Cr(VI) (mg/L)	72,34	65,6	3,5 [6]	0,1
Ar (mg/L)	58,03	-	-	-
Warna	-	-	Kuning pekat kecokelatan, biru kehijauan	

(Sumber: [1] Bankole dkk., 2019; [2] Costa, 2019; [3] Cahyanti & Marwati, 2017;

[4] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014; [5] Atminingtyas dkk. 2016; [6] Rajoria dkk., 2022a)

2.2 Konsep dan Mekanisme Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses terakumulasinya adsorbat pada fase gas/cairan pada permukaan adsorben yang berupa fase padat/cair (Ruthven, 1984). Proses dalam adsorpsi diklasifikasikan berdasarkan interaksi antara adsorbat dengan adsorben, yaitu secara fisika (*physisorption*) dan kimia (*chemisorption*) seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.2. Kapasitas adsorpsi dan laju adsorpsi suatu adsorben dalam menyisihkan polutan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang memengaruhi kapasitas adsorpsi meliputi luas permukaan spesifik adsorben, massa adsorben, lama waktu kontak, konsentrasi larutan, temperatur proses adsorpsi (Siquera dkk., 2020), Nilai pH (Zhou dkk., 2023) dan kecepatan pengadukan (Kusmierek, 2015).

Tabel 2.2 Karakteristik umum dari *Physisorption* dan *Chemisorption*

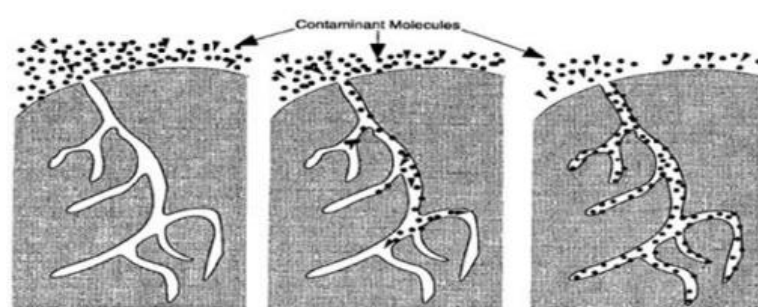
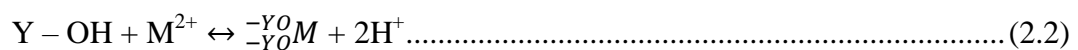
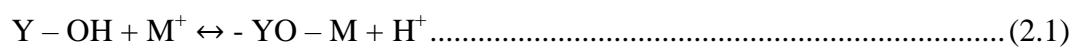
Karakteristik	<i>Physisorption</i>	<i>Chemisorption</i>
Ikatan antar molekul	Ikatan Van der Waals antara adsorbat dengan adsorben lebih besar dibanding adsorbat dengan cairannya	Ikatan kimia (terjadi ikatan orbital)
Spesifikasi	Tidak spesifik pada zat tertentu	Bersifat spesifik dalam membentuk ikatan dengan zat atau molekul tertentu
Pemanasan adsorben	Pemanasan pada temperatur rendah	Pemanasan temperatur tinggi (>2 atau 3 kali lebih tinggi dari panas evaporasi)
Jumlah lapisan yang teradsorpsi	Monolayer atau multilayer	Lapisan monolayer
Reversibilitas	Sangat reversibel, serta memungkinkan terjadinya desorpsi	Tidak reversibel
Perpindahan elektron	Tidak ada transfer elektron meskipun polaritas sorbat dapat terjadi	Terjadi transfer elektron membentuk ikatan kimia antara adsorbat dengan permukaan adsorben

(Sumber: Bergmann & Machado, 2015)

2.2.1. Mekanisme Adsorpsi

Mekanisme perpindahan molekul adsorbat hingga mencapai permukaan bagian dalam pori-pori adsorben melalui empat tahapan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Mekanisme adsorpsi dapat terjadi melalui empat langkah yakni: (1) transpor larutan, (2) transpor difusi lapisan, (3) transpor pori, dan (4)

adsorpsi. Transpor larutan melibatkan pergerakan adsorbat yang akan diserap oleh cairan ke lapisan cairan di sekitar adsorben secara adveksi dan dispersi. Proses adsorpsi dilanjutkan dengan transpor difusi lapisan yang melibatkan difusi adsorbat melalui lapisan cair stagnan yang masuk menuju pori-pori adsorben. Transpor pori melibatkan pengangkutan adsorbat yang akan diserap pori-pori melalui kombinasi difusi molekul melalui cairan pori dan/atau difusi di sepanjang permukaan adsorben (Costa, 2019). Mekanisme pertukaran ion oleh Kusumawardhani dkk. (2018) dalam proses adsorpsi dinyatakan melalui reaksi:



Gambar 2.1 Mekanisme adsorpsi pada permukaan adsorpsi pada permukaan adsorben
(Sumber: Costa, 2019)

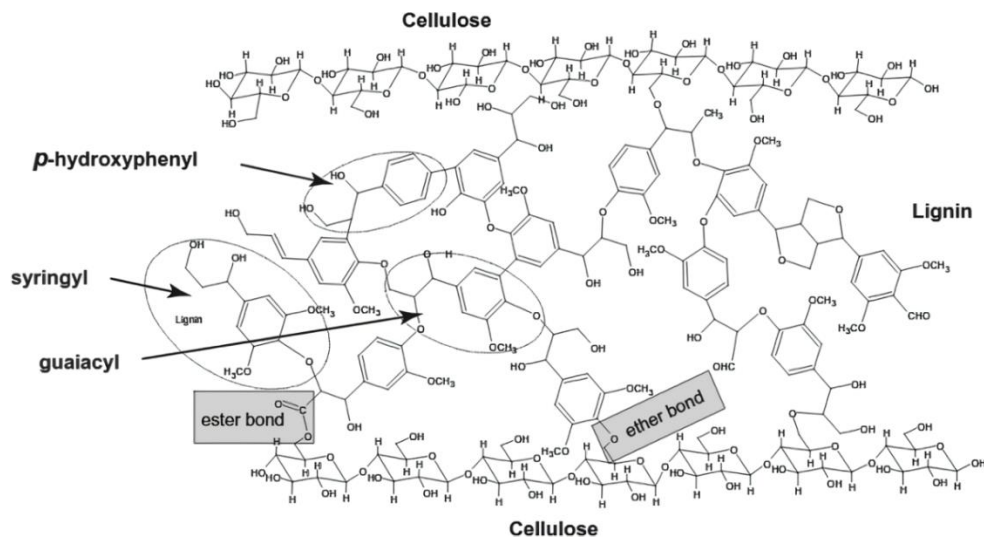
2.3 Ampas Tebu sebagai Biosorben

Adsorben adalah material padat berpori yang memiliki kemampuan menyerap molekul adsorbat dalam proses adsorpsi. Adsorben yang banyak dikenal adalah karbon aktif yang didapatkan dari proses pembakaran tidak sempurna material berbasah dasar karbon pada temperatur tinggi (Utomo dkk., 2019). Karbon aktif yang tersedia secara komersial sebagian besar diproduksi dari bahan baku tak terbarukan yang memiliki sumber daya terbatas (Jawad & Abdulhamed, 2020). Upaya untuk mendapatkan adsorben yang lebih ramah lingkungan, efektif dan ekonomis dengan memanfaatkan bahan yang berasal dari material selulosa (Akl dkk., 2023) salah satunya dari limbah ampas tebu seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1 (Moubarik dkk., 2014; Siquera dkk., 2020; Zhou dkk., 2020; Jawad dkk., 2021; Moharm dkk., 2022).



Gambar 2.2 Ampas tebu sebagai biosorben

Ampas tebu (*Saccharum officinarum*) memiliki komposisi kandungan hemiselulosa (27,6%), selulosa (42,19%), lignin (21,56%), dan zat ekstratif lain (8,47%) (Astuti, 2018). Kandungan selulosa yang tinggi dikaitkan dengan kemampuan menghasilkan struktur mikropori, sifat selulosa yang tahan terhadap proses hidrolisis dan adanya gugus fungsi hidroksil (Gambar 2.3) yang berperan dalam pembentukan rantai ikatan yang kuat dengan ion polutan terhadap sisi aktif adsorben (Anusha dkk., 2023). Ikatan gugus hidroksil-karboksil yang menjadikan biosorben ampas tebu memiliki kemampuan mengikat polutan organik dan anorganik seperti warna dan Cr (Ma, dkk., 2021).



Gambar 2.3 Ikatan kimia antara lignin dan selulosa
(Sumber: Ajala dkk, 2021)

2.4 Aktivasi Biosorben

Aktivasi biosorben dapat dilakukan secara fisik, dengan metode oksidasi seperti O_2 , CO_2 atau proses penguapan dan secara kimia dengan menggunakan senyawa kimia tertentu. Aktivasi kimia menghasilkan struktur pori dan luas permukaan yang lebih baik, serta lebih ekonomis karena prosesnya lebih singkat

karena penggunaan energi yang dibutuhkan lebih rendah dibandingkan aktivasi secara fisik (Dwiyanti dkk., 2020). Mekanisme aktivasi kimia bekerja dengan menggantikan gugus –OH dan gugus fenol dari matriks hidroksil lignoselulosa yang menghasilkan gas dan membentuk struktur karbon berpori (Heidarinejad dkk., 2020; Jawad dkk., 2021).

KOH merupakan senyawa kimia yang telah banyak digunakan sebagai aktivator. Hal tersebut dikarenakan sifat KOH yang dapat menghasilkan luas permukaan dengan struktur mikropori yang lebih banyak, dengan metode yang ekonomis, bersifat kurang korosif dan memiliki efisiensi yang tinggi dalam mengadsorpsi logam berat dibanding aktivator lain (Heidarinejad dkk., 2020; Tounsadi dkk., 2016). Mekanisme aktivasi menggunakan KOH ditunjukkan dengan reaksi 2.3 hingga 2.6 berikut:



2.5 Analisis Kadar Warna dan Cr(VI)

Analisis kadar warna dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu tahap pembuatan larutan induk warna 500 unit Pt-Co, pembuatan larutan kerja dan pengukuran sampel uji. Pembuatan larutan induk dilakukan dengan melarutkan 1,246 gram K_2PtCl_6 dan 1 gram $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan 100 mL HCl pekat ke dalam labu ukur 1000 mL untuk kemudian diencerkan dengan akuades hingga 100 mL. Larutan kerja dibuat dengan mengencerkan larutan induk warna 500 unit Pt-Co dengan konsentrasi 100 ppm; 200 ppm; 300 ppm; 400 ppm dan 500 ppm untuk diukur adsorpsi warnanya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan adalah rentang 450-465 nm (SNI 6989.70:2011) untuk pengukuran absorbansi adsorpsi kadar warna. Nilai absorbansi digunakan untuk kemudian dilakukan perhitungan kadar warna berdasarkan persamaan 2.7. Efisiensi adsorpsi kadar warna oleh biosorben selanjutnya dihitung berdasarkan persamaan 2.8.

$$\text{Warna, unit Pt-Co} = C \times fp \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Kapasitas adsorpsi (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

C : kadar warna

fp : faktor pengenceran

C₀ : kadar warna awal

C_e : kadar warna sesudah adsorpsi

Analisis Cr(VI) dilakukan melalui tiga tahap, yaitu tahap penyiapan sampel larutan uji, pembuatan larutan standar dari larutan baku Cr(VI) dan pengukuran sampel uji. Tahap penyiapan larutan uji dilakukan dengan mengawetkan sampel uji menggunakan NaOH, sampel uji kemudian disaring menggunakan kertas saring berpori 45 µm. Tahap pembuatan larutan standar dari larutan baku Cr(VI) dilakukan untuk dengan pengenceran larutan induk Cr(VI) 500 mg/L untuk kemudian larutan standar dengan konsentrasi 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 dan 0,8 mg/L. Masing-masing larutan standar dan sampel dengan volume 50 mL ditambahkan 0,25 mL H₃PO₄, pH diatur sebesar $2 \pm 0,5$ dengan penambahan H₂SO₄. Selanjutnya ditambahkan akuades 50 mL dan 2 mL larutan 5,3-difenilkarbizida. Larutan sampel uji kemudian diukur adsorpsinya. Panjang gelombang 530-540 nm (SNI 6989.71:2009) digunakan untuk mengukur absorbansi adsorpsi Cr(VI) dalam limbah cair untuk kemudian dilakukan perhitungan kadar Cr(VI) berdasarkan persamaan 2.9. Efisiensi adsorpsi Cr(VI) oleh biosorben selanjutnya dihitung berdasarkan persamaan 2.10.

$$\text{Cr(VI)(mg/L)} = C \times \frac{102}{V} \times fp \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Kapasitas adsorpsi (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

C : kadar Cr(VI)

fp : faktor pengenceran

C₀ : kadar Cr(VI) awal

C_e : kadar Cr(VI) sesudah adsorpsi

2.6 Metode Uji Statistika

Analisis statistika diterapkan pada data penelitian empiris untuk mengidentifikasi adanya eror dalam penarikan kesimpulan dari data yang didapatkan (Andrade dkk., 2019). Data hasil pengujian variabel bebas terhadap variabel kontrol menghasilkan variabel terikat yang selanjutnya dianalisis menggunakan uji asumsi klasik yang meliputi uji normalitas menggunakan metode Chi-Square, uji heteroskedastisitas dengan metode Breusch-Pagan, uji autokorelasi data dengan metode Breusch-Godfrey dan uji multikorelasi yang didasarkan pada nilai toleransi dan nilai toleransi dan VIF (*Variance Inflation Factor*). Uji *Two Ways* Anova selanjutnya digunakan untuk mengetahui hubungan dan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Pengujian data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi Posit Cloud yang merupakan versi website dari software pengolahan data Rstudio.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini merujuk pada penelitian pendahuluan sebagai penunjang dan pembandingan terhadap hasil penelitian. Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan judul dan variabel yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian terdahulu terkait biosorben ampas tebu dan adsorpsi zat warna

No	Referensi	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
1	Gao dkk., 2016	Penelitian terkait adsorben dari cangkang kepiting untuk mengetahui kapasitas adsorpsi terbaik antara aktivasi secara asam (H_3PO_4 dan $H_4P_2O_7$) dan basa (KOH dan NaOH) untuk penyisihan warna.	Adsorpsi zat warna dilakukan dengan melarutkan $25 \pm 0,2$ mg adsorben cangkang kepiting yang telah diaktivasi secara kimia (H_3PO_4 dan $H_4P_2O_7$) ke dalam 50 mL <i>Acid Brilliant Scarlet</i> 500 mg/L	Didapatkan hasil berupa: KOH sebagai aktivator dengan kapasitas adsorpsi terbaik = 1667 mg/L dengan pembentukan mikropori dan gugus fungsi terbanyak.
2	Ly dkk., 2018	Penelitian ini untuk mengetahui potensi ampas tebu sebagai adsorben untuk menurunkan kadar warna dalam limbah cair buatan.	Adsorpsi zat warna dalam limbah cair buatan dengan konsentrasi 40-160 mg/L dengan variasi massa 0,1-1,2 gram/50 mL untuk	Kondisi optimum penyisihan warna ditunjukkan oleh variasi massa 0,4 gram dan waktu kontak 15 menit.

No	Referensi	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
3	Utomo dkk., 2019	Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan adsorben dari ampas tebu dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap zat warna Naphthol Yellow S serta mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi.	penyisihan warna dengan waktu kontak 15 menit - 4 jam. Adsorpsi dilakukan menggunakan metode <i>batch</i> . Variasi massa adsorben sebesar 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; gr dengan waktu kontak 15; 30; 40; 60; 90 menit.	Kapasitas adsorben terbaik dihasilkan dari konsentrasi asam sulfat 0,5 M, jumlah adsorben 0,2 gram, dan waktu kontak optimal adsorpsi dicapai pada 30 menit.
4	Jawad dkk., 2021	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi aktivator KOH untuk aktivasi adsorben ampas tebu dalam penyisihan kadar warna <i>Methylene blue</i> .	Adsorpsi dilakukan pada variasi massa adsorben dari rentang 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1 an 0,12 gram dengan variasi konsentrasi limbah cair antara 50 hingga 250 mg/L, pH antara 2 hingga 12, dan waktu kontak selama 200; 300; 500; 550 dan 650 menit.	Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan penyisihan kadar warna pada pH=8 dengan massa adsorben 0,08 g/L pada temperatur adsorpsi 303°K.
5	Ahmed dkk., 2023	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi dari penggunaan adsorben ampas tebu teraktivasi asam dan basa terhadap penyisihan kadar Cr(VI) dalam pengolahan air limbah.	Adsorpsi Aktivasi adsorben ampas tebu menggunakan H ₂ SO ₄ 3M, HCl 3M, H ₃ PO ₄ 30%, HNO ₃ 30%, KOH 1M dan NaOH 1 M.	Hasil penelitian dengan aktivasi ampas tebu menggunakan H ₂ SO ₄ 3M dan KOH 1M menunjukkan peningkatan luas permukaan dan adsorpsi Cr(VI) terbaik.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian berbasis eksperimental dilakukan pada skala laboratorium. Skala laboratorium meliputi pembuatan biosorben ampas tebu, aktivasi biosorben, *pre-treatment* limbah cair, uji adsorpsi zat warna limbah cair secara *batch*, hingga analisis kadar warna dan Cr(VI) untuk memperoleh hasil optimum dari variasi massa biosorben dan waktu kontak dengan limbah cair elektroplating.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Obyek penelitian berasal dari Industri Elektroplating X, Kabupaten Jember. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fisik, FMIPA dan Laboratorium Remediasi dan Monitoring Kualitas Air, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Penelitian berlangsung selama bulan September-Desember 2023.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi ampas tebu, KOH, HCl, akuades, kertas saring 45 μm , kaliumheksakloroplatinat (K_2PtCl_6), kobal klorida ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), difenilkarbisida, aseton, H_3PO_4 , Kalium dikromat, NaOH, dan H_2SO_4 . Alat penelitian meliputi ayakan ukuran 100 mesh, erlenmeyer, corong, gelas beaker, labu ukur, *magnetic stirrer*, oven, neraca analitik, pH meter, termometer, pipet tetes, *vacuum filtration*, dan spektrofotometer UV-Vis.

3.4 Pengumpulan Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif yang didapatkan dari hasil pengujian dan pengukuran terhadap sampel penelitian. Sumber data kuantitatif terbagi menjadi data primer dan data sekunder. Data primer berupa data hasil penelitian yang didapatkan dari proses penelitian, meliputi kadar warna, kadar Cr(VI), pH dan temperatur limbah cair sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Data sekunder adalah data yang didapatkan dari studi

literatur terkait perlakuan yang akan dilakukan terhadap sampel penelitian. Data sekunder meliputi variasi massa biosorben dan waktu kontak biosorben dengan limbah cair. Variabel penelitian pada penelitian ini terdiri dari variabel kontrol, variabel bebas dan variabel terikat seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Variasi	Referensi
Variabel kontrol	Volume limbah cair elektroplating (100 mL)	Da Costa, 2019 Prमितasari dkk., 2021
	Kecepatan pengadukan (300 rpm)	
Variabel bebas	Massa biosorben ampas tebu (0,1 gr; 0,2 gr; 0,3 gr dan 0,4 gr)	Utomo dkk., 2019
	Waktu kontak biosorben dengan air limbah (15 menit; 30 menit; 45 menit dan 60 menit)	Utami, 2017
Variabel terikat	Nilai konsentrasi warna akhir setelah proses adsorpsi dalam limbah cair (Pt-Co), Cr(VI), pH, dan temperatur limbah cair sebelum dan sesudah perlakuan	-

3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian berfungsi untuk mengetahui jumlah sampel dan jenis perlakuan yang dibutuhkan dari variabel yang telah ditetapkan dalam pelaksanaan penelitian. Penelitian ini dilaksanakan dengan tiga kali pengulangan. Pengujian dilakukan sebanyak 48 sampel variabel bebas dan 12 sampel variabel kontrol seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.2.

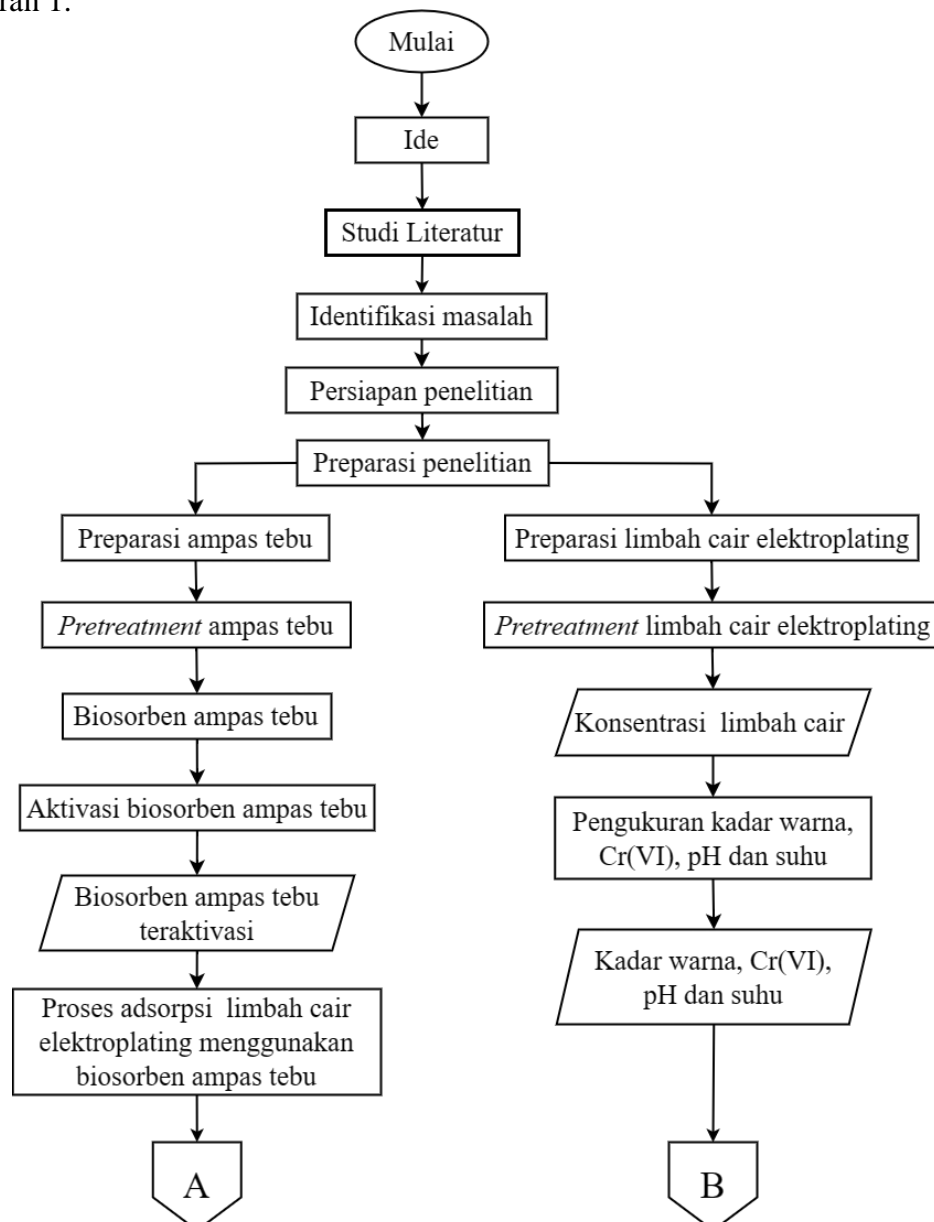
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

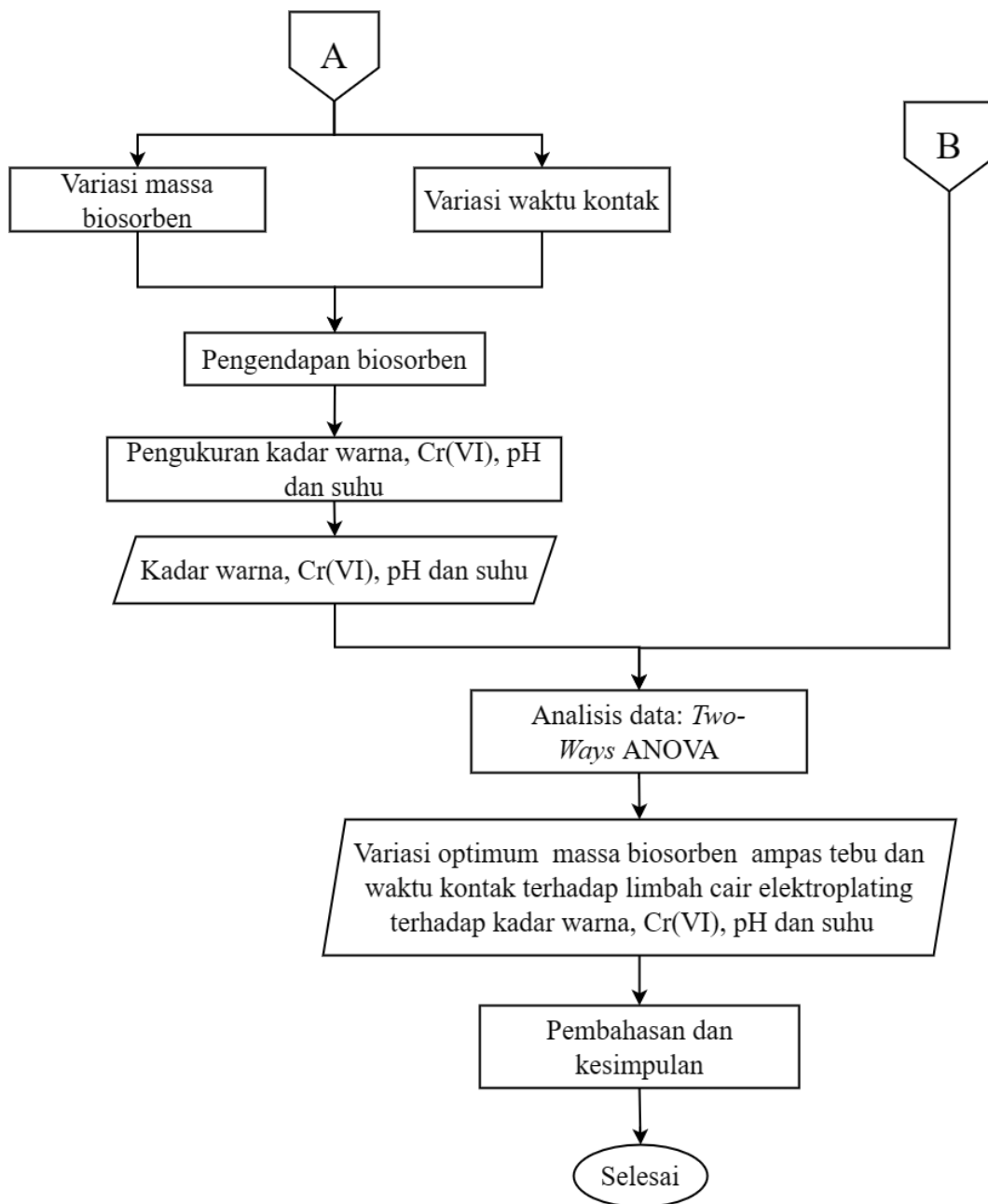
Kontrol	Kecepatan Pemutaran (300 rpm)	K	Massa Biosorben (M)				
			0 gr (M ₀)	1 gr (M ₁)	2 gr (M ₂)	3 gr (M ₃)	4 gr (M ₄)
	Waktu Kontak (T)						
100 mL air limbah	15 menit (T ₁)	T ₁ M ₀	T ₁ M ₁	T ₁ M ₂	T ₁ M ₃	T ₁ M ₄	
	30 menit (T ₂)	T ₂ M ₀	T ₂ M ₁	T ₂ M ₂	T ₂ M ₃	T ₂ M ₄	
	45 menit (T ₃)	T ₃ M ₀	T ₃ M ₁	T ₃ M ₂	T ₃ M ₃	T ₃ M ₄	
	60 menit (T ₄)	T ₄ M ₀	T ₄ M ₁	T ₄ M ₂	T ₄ M ₃	T ₄ M ₄	

- K : Perlakuan variabel kontrol
- Tiap variasi variabel dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian digunakan sebagai pedoman peneliti dalam melakukan penelitian. Tahapan penelitian secara garis besar terdiri dari tahap persiapan pembuatan biosorben ampas tebu, persiapan sampel limbah cair elektroplating, tahap aktivasi biosorben ampas tebu, proses adsorpsi limbah cair menggunakan biosorben ampas tebu teraktivasi KOH 1M, proses pengendapan biosorben pasca-adsorpsi, analisis kadar warna dan analisis kadar Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Prosedur penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.1. Penjelasan rinci dari tiap tahapan penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1.



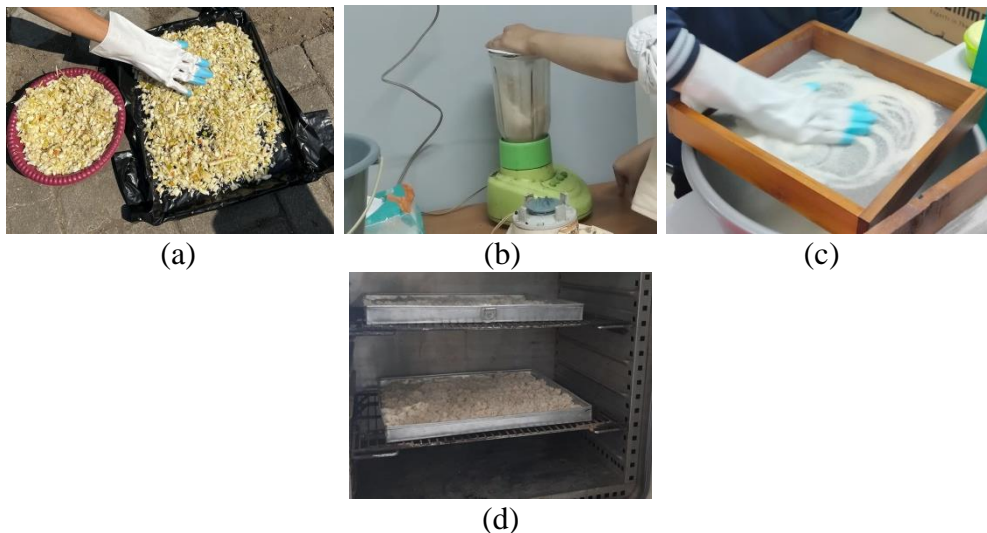


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Biosorben Ampas Tebu

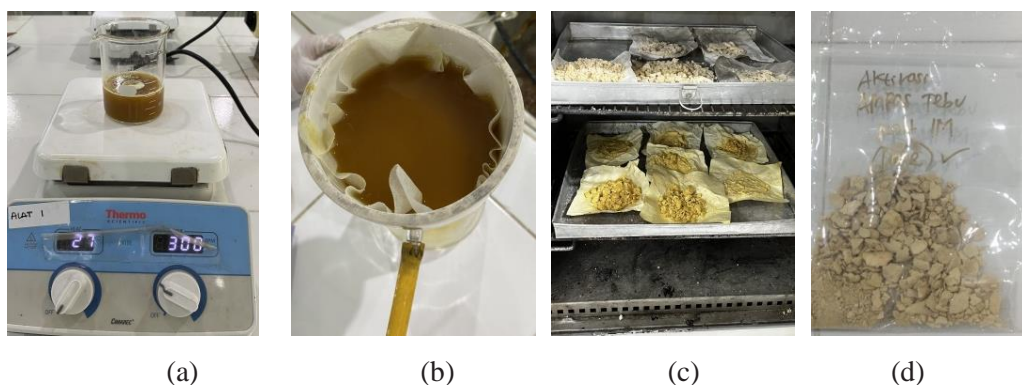
Ampas tebu didapatkan dari limbah ampas tebu yang dihasilkan oleh penjual es tebu disekitar Universitas Jember. Tahap persiapan ini meliputi pencacahan ampas tebu dilanjutkan pembersihan ampas tebu menggunakan akuades untuk menghilangkan kotoran yang terjebak dalam serat-seratnya. Pembersihan ini juga bertujuan untuk memperluas permukaan biosorben sehingga memperbesar kemampuan adsorpsi. Ampas tebu yang telah dicuci selanjutnya dikeringkan dengan dijemur dibawah sinar matahari selama +/- 3 hari (Gambar 4.1a), setelah kering ampas tebu dihaluskan menggunakan blender (Gambar 4.1b) dan diayak menggunakan saringan 100 mesh (Gambar 4.1c) untuk mendapatkan ukuran serbuk biosorben yang seragam. Serbuk dari ampas tebu yang telah didapatkan selanjutnya dilakukan pencucian kembali dengan direndam dalam akuades selama 2 jam untuk menghilangkan partikel pengotor dalam serbuk, lalu difiltrasi dan dikeringkan dengan oven pada temperatur 90°C selama 4 jam (Muis dkk., 2021) untuk menghilangkan kadar air dalam serbuk biosorben (Gambar 4.1d).



Gambar 4.1 (a) Proses penjemuran ampas tebu; (b) Proses menghaluskan ampas tebu; (c) Proses pengayakan serbuk ampas tebu; (d) Proses pengeringan serbuk ampas tebu menggunakan oven

4.2 Aktivasi Biosorben Ampas Tebu dengan KOH 1M

Tahap aktivasi biosorben ampas tebu dilakukan dengan metode *batch* dengan melarutkan 5 gr serbuk biosorben ampas tebu ke dalam 100 mL larutan KOH 1 M. Larutan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 90 menit dengan kecepatan pengadukan 300 rpm (Gambar 4.2a). Biosorben yang telah diaktivasi selanjutnya difiltrasi dan dicuci menggunakan akuades (Gambar 4.2b). Proses pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan partikel pengotor memperoleh biosorben pada kondisi pH netral (Jawad dkk., 2022). Filtrat biosorben selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada temperatur 90°C (Gambar 4.2c) untuk menghilangkan kadar air dalam biosorben. Biosorben yang telah diaktivasi selanjutnya digiling dan diayak kembali menggunakan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan biosorben teraktivasi dengan ukuran yang seragam.



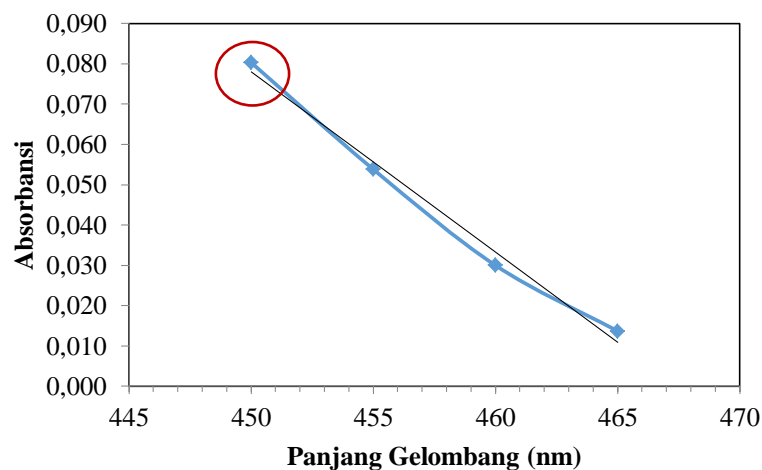
Gambar 4.2 (a) Proses aktivasi biosorben; (b) Proses filtrasi biosorben teraktivasi; (c) Proses pengeringan biosorben teraktivasi; (d) Biosorben teraktivasi KOH.

Aktivasi dengan senyawa KOH merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan struktur pori, yang dapat meningkatkan luas adsorpsi adsorbat pada adsorben (Zhou dkk., 2023). KOH bereaksi secara efektif dengan berbagai polimer dan material karbon, menghasilkan gugus fungsi yang bertindak sebagai tempat pengikatan berbagai ion logam berat pada permukaan adsorben (Dwiyanti dkk., 2020; Ahmed dkk., 2022). Penelitian Zhou dkk. (2023) menjelaskan proses aktivasi menggunakan KOH menghasilkan pembentukan pori-pori adsorben melalui tiga tahap: (1) pembentukan jaringan berpori pada struktur ikatan karbon oleh KOH, menciptakan struktur jaringan pori yang belum sempurna, (2)

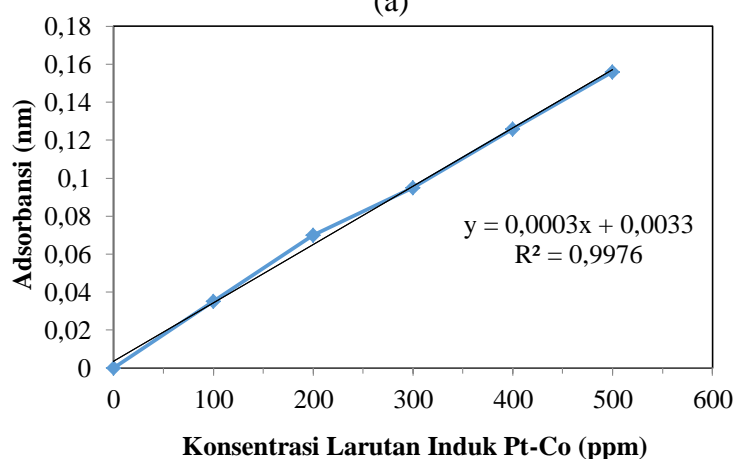
pengembangan pori-pori adsorben melalui proses gasifikasi karbon, menghasilkan CO₂ dan CO dan (3) terikatnya unsur K dari KOH ke dalam matriks karbon dan perluasan jaringan karbon. Unsur K yang terikat ke dalam matriks karbon kemudian dihilangkan melalui pencucian menggunakan akuades.

4.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Pembuatan Kurva Kalibrasi

Tahapan pengujian warna diawali dengan penentuan panjang gelombang maksimum menggunakan reagen larutan induk warna 500 Pt-Co. Panjang gelombang maksimum dipilih untuk meminimalisir kesalahan dalam pengukuran absorbansi karena pada kondisi ini sensitivitas cahaya yang diemisikan berada pada kondisi paling tinggi dengan batas deteksi terendah (Wenzel, 2023). Panjang gelombang maksimum didapatkan dengan mengukur adsorpsi warna deret larutan kerja Pt-Co pada rentang panjang gelombang 450 hingga 465 nm (SNI 6989.11, 2011). Penelitian ini menggunakan lima konsentrasi deret larutan pada rentang 0 ppm; 100 ppm; 200 ppm; 300 ppm; 400 ppm dan 500 ppm pada panjang gelombang 450 nm, 455, nm, 460 nm dan 465 nm. Hasil pengukuran berupa kurva hubungan absorbansi dengan panjang gelombang pada Gambar 4.1a. Panjang gelombang maksimum memiliki syarat nilai koefisien korelasi regresi linier (r) \geq 0,995. Nilai koefisien (r) yang memenuhi dengan nilai sebesar 0,9976, dihasilkan oleh panjang gelombang 450 nm. Persamaan regresi linier dari kurva kalibrasi yang telah dibuat digunakan untuk menentukan konsentrasi warna dari air limbah yang akan diuji.



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Kurva panjang gelombang maksimum Larutan Induk Pt-Co;
 (b) Grafik hubungan adsorbansi dan konsentrasi larutan induk Pt-Co.

4.4 Kondisi Awal Limbah Cair Elektroplating

Kondisi awal limbah cair elektroplating dari industri Elektroplating X memiliki karakteristik fisik warna coklat dalam kondisi homogen (Gambar 4.2a) dengan bau khas asam. Limbah cair diberikan *pretreatment* dengan didiamkan selama +/- 1 jam untuk mengendapkan partikel-partikel terlarut. Hasil pengendapan limbah cair seperti ditunjukkan Gambar 4.2b. Tampilan fisik menunjukkan limbah cair elektroplating memiliki perpaduan warna hijau-kuning jernih dengan endapan berwarna coklat didasar wadah. Hasil wawancara dengan pihak industri Elektroplating X, logam berat yang digunakan dalam proses elektroplating meliputi logam Nikel (Ni), Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr(VI)).

Penelitian terkait karakteristik fisik limbah cair berdasarkan warna logam berat dalam proses elektroplating ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Fisik Warna Limbah Cair Elektroplating

Karakteristik Warna	Kandungan Logam Berat	Referensi
Cokelat	Kerak hasil proses	Marwati dkk. (2007); Cahyono dan Yuliasuti (2019); Wahyuni dkk. (2018)
Kuning kecokelatan – kuning terang	Cr dan Cr (VI)	Ahmed dkk. (2023);
Biru – kehijauan	Ni, Cd, Cu	Benvenuti dkk. (2014); Cahyono dan Yuliasuti (2019); Wahyuni dkk. (2018)
Putih atau silver	Cd	Kumar dkk. (2019)



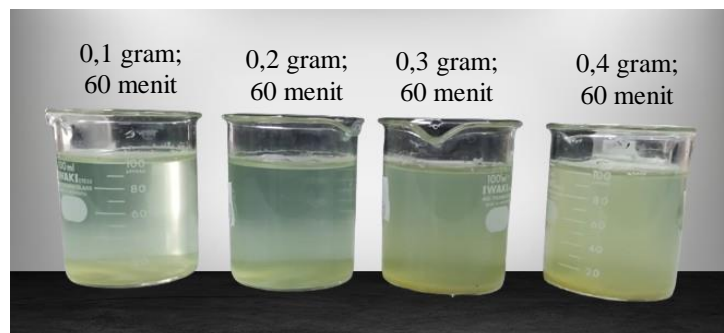
Gambar 4.4 (a) Kondisi limbah cair homogen; (b) Limbah cair setelah didiamkan +/- 1 Jam; (c) fase padatan cair air limbah.

Pengujian awal kadar warna dalam limbah cair elektroplating dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi homogen dan kondisi setelah pengendapan partikel terlarut. Kondisi homogen menunjukkan kadar warna sebesar 9.989 Pt-Co, pH 5,08 dan temperatur 28,04°C, sementara kondisi setelah pengendapan didapatkan kadar warna sebesar 6.302 Pt-Co, pH 5,36 dan temperatur 27,8°C. Proses pengendapan memberikan hasil penurunan kadar warna sebesar 36,87% dari kadar warna awal. Kadar Cr(VI) awal sebesar 8,10 mg/L, pH 5,37 dan temperatur 27,8°C. Pengujian kondisi awal ini bertujuan sebagai pembandingan antara nilai parameter sebelum dan sesudah perlakuan sehingga efisiensi penurunan setelah proses pengolahan dapat diketahui.

4.5 Uji Adsorpsi

Proses adsorpsi sistem *batch* dilakukan dengan variasi massa biosorben terhadap waktu kontak antara biosorben dengan limbah cair. Secara umum, interaksi antara polutan dan permukaan biosorben dapat terjadi melalui interaksi elektrostatis, penggabungan, kompleksasi/koordinasi, mikropresipitasi, pertukaran ion, reduksi, atau oksidasi (Qaseem dkk., 2021). Biosorben ampas tebu teraktivasi KOH dengan massa 0,1 gr; 0,2 gr; 0,3 gr dan 0,4 gram dilarutkan ke dalam 100 mL limbah cair dengan konsentrasi 100%. Larutan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 300 rpm selama 15 menit; 30 menit dan 60 menit. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam proses adsorpsi karena memengaruhi distribusi zat terlarut dan menyebabkan peningkatan bilangan Reynolds. Penelitian Kusmierek (2015) menunjukkan kecepatan pengadukan <150 rpm cenderung menunjukkan kapasitas adsorpsi warna yang lebih rendah dibanding pada rentang kecepatan pengadukan 200 hingga 300 rpm.

Pengukuran absorbansi warna menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan tepat setelah proses adsorpsi dan sesudah pengendapan biosorben selama +/-1 jam. Pengendapan biosorben dilakukan untuk menghindari terjadinya pelepasan kembali ikatan adsorben dengan adsorbat sehingga mengurangi efisiensi adsorpsi zat warna oleh biosorben. Hal ini diakibatkan oleh ikatan *van der Waals* yang terbentuk antara adsorben dengan adsorbat (Bergmann & Machado, 2015). Limbah cair kemudian disaring untuk memisahkan adsorben dengan adsorbat. Limbah cair yang telah disaring kemudian diukur adsorpsi absorbansi warna menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Hasil adsorpsi limbah cair pada variasi waktu 60 menit untuk massa 0,1 hingga 0,4 secara berurutan dari kiri ke kanan seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kondisi limbah setelah proses adsorpsi

4.5.1. Adsorpsi Kadar Warna berdasarkan Waktu Kontak

Pengaruh waktu kontak dipelajari pada variasi waktu kontak 15 menit; 30 menit; 45 menit dan 60 menit untuk menentukan waktu kontak optimum. Waktu kontak dibutuhkan bagi molekul polutan supaya dapat berikatan pada gugus fungsi permukaan biosorben (Jawad dkk., 2021). Hasil pengukuran pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi kadar warna pada limbah cair elektroplating dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.2 Analisis Kadar Warna dengan Pengaruh Waktu Kontak

Waktu Kontak (menit)	Massa Biosorben (gram)	Kadar Warna Awal (Pt-Co)	Kadar Warna Akhir (Pt-Co)	Efisiensi
15	0 (kontrol)	9.989	1.278	87,11%
30			938	73,36%
45			1.347	65,21%
60			826	77,79%
15	0,1	9.989	548	94,41%
	0,2		269	97,2%
	0,3		184	98,05%
	0,4		350	96,39%
30	0,1	9.989	212	97,87%
	0,2		285	97,15%
	0,3		226	97,74%
	0,4		231	97,69%
45	0,1	9.989	194	98,06%
	0,2		213	97,87%
	0,3		199	98,01%
	0,4		196	98,04%
60	0,1	9.989	180	98,2%
	0,2		180	98,2%
	0,3		201	97,99%
	0,4		231	97,69%

Perbandingan adsorpsi warna antara limbah cair pada waktu kontak 15 setelah proses adsorpsi menunjukkan nilai yang sangat berbeda jauh dibanding sebelum proses adsorpsi. Pengukuran adsorbansi warna limbah cair sebelum proses adsorpsi menunjukkan nilai sebesar 9.989 Pt-Co. Adsorpsi warna terbaik setelah proses adsorpsi ditunjukkan oleh waktu kontak 60 menit, dengan rata-rata adsorpsi zat warna sebesar 323 Pt-Co. Hasil adsorpsi warna terendah, sebesar 180 Pt-Co ditunjukkan pada variasi waktu kontak 60 menit dengan massa biosorben 0,1 dan 0,2 gram.

4.5.2 Adsorpsi Kadar Warna berdasarkan Massa Biosorben

Massa biosorben dalam sistem adsorpsi memengaruhi efisiensi penyisihan polutan target dan menentukan biaya keseluruhan jika digunakan dalam aplikasi skala besar (Jawad dkk.,2021). Pengaruh massa biosorben terhadap adsorpsi zat warna diamati pada variasi massa 0,1 gram; 0,2 gram; 0,3 gram dan 0,4 gram. Hasil pengukuran pengaruh massa biosorben terhadap adsorpsi kadar warna pada limbah cair elektroplating dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Analisis Kadar Warna dengan Pengaruh Massa Biosorben

Massa Biosorben (gram)	Waktu Kontak (menit)	Kadar Warna Awal (Pt-Co)	Kadar Warna Akhir (Pt-Co)
0 (Kontrol)	15	9.989	1.278
	30		938
	45		1.347
	60		826
0,1	15	9.989	548
	30		212
	45		194
	60		180
0,2	15	9.989	269
	30		285
	45		213
	60		180
0,3	15	9.989	184
	30		226
	45		199
	60		201
0,4	15	9.989	350
	30		231
	45		196
	60		231

Pengukuran kadar warna limbah cair sebelum proses adsorpsi sebesar 9.989 Pt-Co. Kadar warna terendah setelah proses adsorpsi ditunjukkan oleh massa biosorben 0,3 gram, dengan rata-rata kadar warna sebesar 200 Pt-Co. Kadar warna terendah, sebesar 180 Pt-Co ditunjukkan oleh variasi massa biosorben 0,1 dan 0,2 gram pada waktu kontak 60 menit. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ahmed dkk. (2023) menunjukkan perlakuan 0,1 gram biosorben ampas tebu telah penurunan warna pada limbah cair buatan untuk penyisihan kadar Cr(VI). Peningkatan jumlah zat warna yang teradsorpsi pada variasi tersebut juga berkaitan dengan ketersediaan gugus fungsi biosorben, dalam kondisi dosis massa maksimum, efisiensi adsorpsi zat warna memasuki fase adsorpsi lambat karena gugus fungsi adsorpsi yang tersedia telah penuh berikatan dengan partikel adsorbat (Ahmed dkk., 2023).

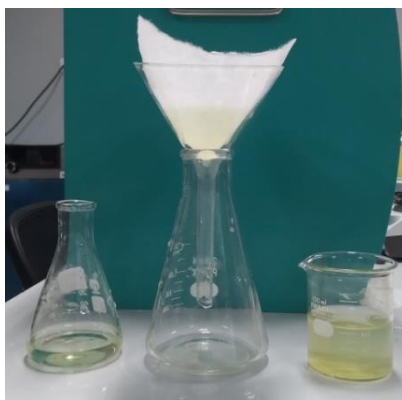
4.5.3 Adsorpsi Kadar Cr(VI)

Pengujian kadar Cr(VI) dilakukan pada variasi massa 0,1 gram dan 0,4 gram pada waktu kontak 15 menit dan 60 menit untuk mengetahui tren penyisihan kadar Cr(VI) pada waktu kontak dan massa biosorben minimum dan maksimum. Penurunan kadar Cr(VI) terjadi seiring dengan penurunan kadar warna secara visual sejalan dengan penelitian Ahmed dkk. (2023) dengan perubahan warna limbah cair sesudah proses adsorpsi memiliki warna yang lebih jernih dan terang dibanding sebelum adsorpsi seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.6.. Penurunan kadar Cr(VI) terbaik ditunjukkan oleh variasi massa 0,1 gram pada waktu kontak 60 menit dengan nilai Cr(VI) 6,82 mg/L dari kadar awal 8,10 mg/L seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.4

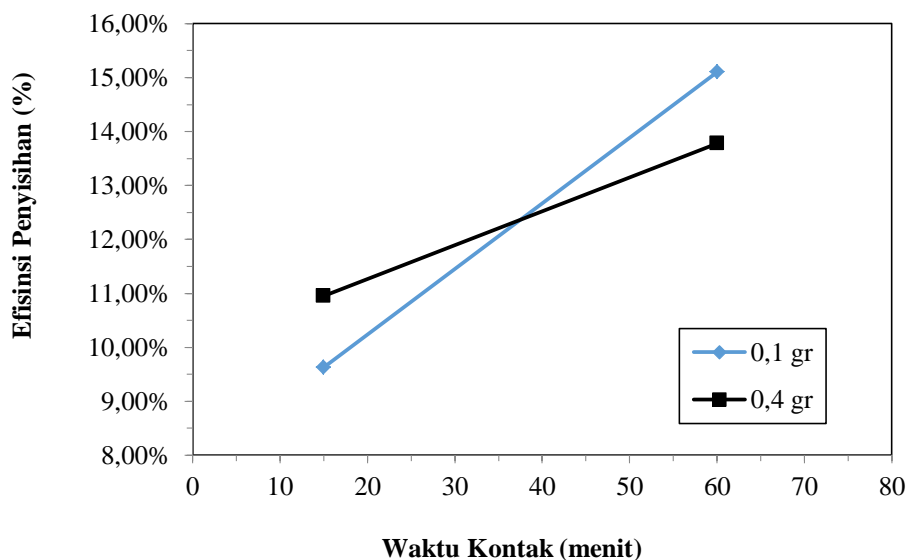
Tabel 4.4 Hasil Analisis Cr(VI) dan Kadar Warna

Massa Biosorben (gram)	Waktu Kontak (menit)	Kadar Cr(VI) Awal (mg/L)	Kadar Cr(VI) Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kadar Warna Awal (Pt-Co)	Kadar Warna Akhir (Pt-Co)	Efisiensi Penyisihan (%)
0,1	15	8,10	7,09	12,46	9.989	976	90,12
	15		7,55	6,80		223	97,66
0,4	15	8,10	6,88	15,1	9.989	547	94,41
	15		7,55	6,8		209	97,8
0,1	60		6,94	14,35		189	98,11

Massa Biosorben (gram)	Waktu Kontak (menit)	Kadar Cr(VI) Awal (mg/L)	Kadar Cr(VI) Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kadar Warna Awal (Pt-Co)	Kadar Warna Akhir (Pt-Co)	Efisiensi Penyisihan (%)
0,4	60		6,82	15,86		169	98,17
	60	8,10	6,97	13,97	9.989	319	96,81
	60		7	13,59		117	98,22



Gambar 4.6 Perubahan warna sebelum (kanan) dan sesudah proses adsorpsi (kiri)



Gambar 4.7 Pengaruh Massa Biosorben terhadap Efisiensi Adsorpsi Cr(VI) Limbah Cair Elektroplating

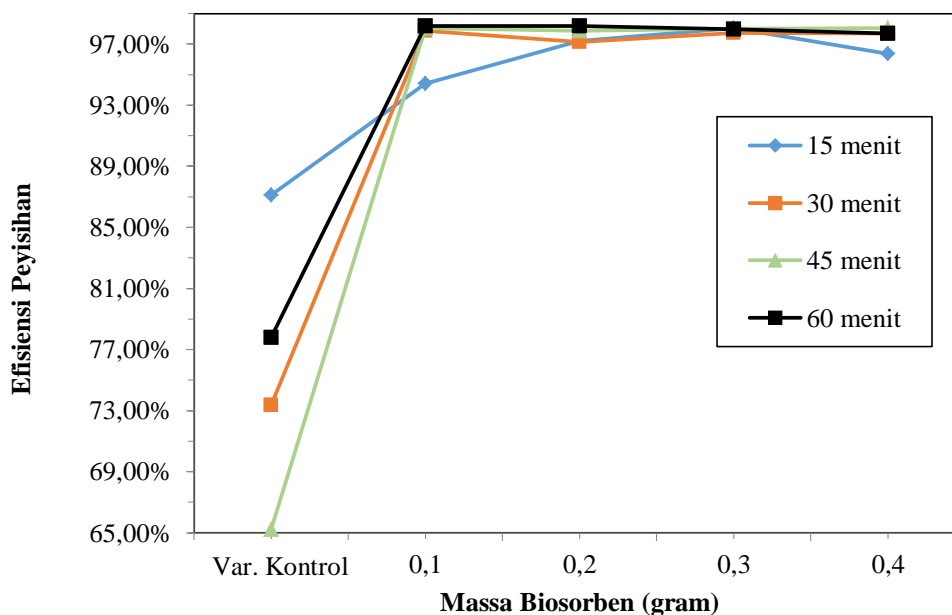
Hasil adsorpsi menunjukkan penurunan kadar Cr(VI) seiring dengan pertambahan waktu kontak dan massa biosorben seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.7. Hasil adsorpsi kadar Cr(VI) dalam penelitian ini belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, dari nilai baku mutu 0,1 mg/L walaupun efisiensi penyisihan warna

menunjukkan nilai yang tinggi. Hal ini dapat dijelaskan melalui penelitian oleh Ahmed dkk. (2023), dan Bankole dkk. (2019) terkait persentase Cr(VI) yang menunjukkan efisiensi penyisihan terbesar pada kondisi sangat asam (2,0 atau lebih rendah). Souza dan Blaquez (2009) dalam Lopez dkk. (2021) menerangkan bahwa mekanisme utama dalam penyisihan Cr(VI) terjadi dalam dua kondisi yang secara simultan, yaitu: reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) dalam kondisi asam dan proses retensi keduanya ke dalam permukaan biosorben.

4.6 Efisiensi Penyisihan Warna

Efisiensi penyisihan warna oleh biosorben ampas tebu diaktivasi KOH ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Grafik adsorpsi menunjukkan bahwa massa biosorben memberikan pengaruh terhadap penyisihan zat warna. Hal ini ditunjukkan dengan kadar zat warna limbah cair dengan kondisi tanpa penambahan biosorben memiliki penurunan kadar warna terbaik sebesar 87,11%. Penurunan zat warna pada massa 0,1 hingga 0,4 gram menunjukkan efisiensi 94,41% dan 98,2%. Efisiensi penurunan kadar warna berlangsung secara cepat sejak penambahan dosis massa adsorben dan mencapai adsorpsi optimum pada massa 0,2 gram.

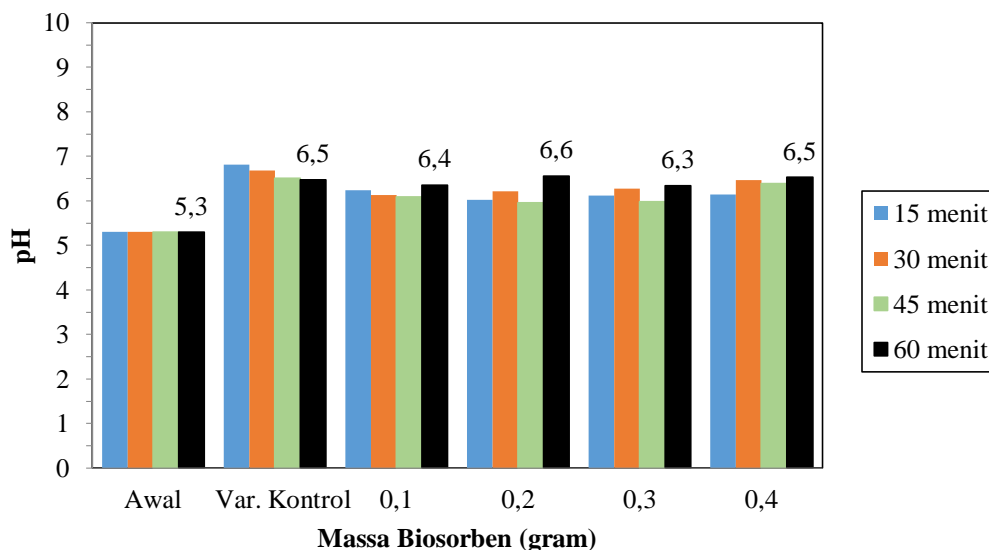
Permukaan biosorben memiliki struktur gugus fungsi adsorben yang bermuatan negatif, termasuk gugus fungsi oksigen, karbonil, alkohol, fenol, eter, dan gugus ester yang dapat berinteraksi dengan limbah cair elektroplating dengan muatan positif (Siquera dkk., 2020). Adsorpsi kadar warna tidak mengalami penurunan warna yang lebih besar setelah 15 menit pertama, hal ini menunjukkan bahwa gugus fungsi adsorben telah jenuh karena adanya persaingan yang kuat antara logam berat dalam limbah dan gugus fungsi aktif adsorben. Kondisi jenuh ini disebut dengan kondisi kesetimbangan yang menunjukkan bahwa adsorpsi laju penyisihan mulai memasuki fase adsorpsi lambat (Bankole dkk., 2019; Jawad dkk., 2021; Zhou dkk., 2023).



Gambar 4.8 Efisiensi Adsorpsi Warna Limbah Cair Elektroplating

4.7 Analisis pH

Tingkat keasaman atau pH larutan merupakan salah satu faktor penting yang ikut berperan dalam proses adsorpsi karena berpengaruh dalam perubahan muatan dari permukaan biosorben dan tingkat ionisasi molekul adsorbat (Jawad *dkk.*, 2021). Di sisi lain nilai pH yang lebih tinggi, menyebabkan penurunan kelarutan kation logam dengan kemungkinan terjadinya fenomena pengendapan (Qaseem *dkk.*, 2021). Nilai pH setelah adsorpsi pada penelitian ini menunjukkan rentang pH pada rentang 6-6,5 dari nilai awal pH 5,3. Kenaikan nilai pH ini berasal dari proses pengendapan limbah cair sebelum proses adsorpsi. Nilai pH limbah cair setelah proses adsorpsi pada penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik perubahan pH

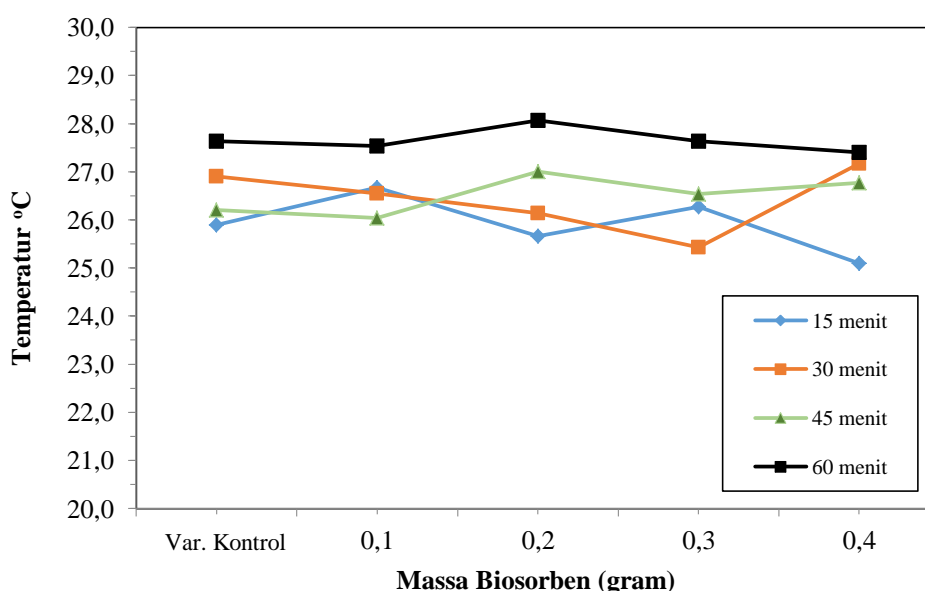
Kapasitas adsorpsi terbaik pada variasi massa 0,2 gram dan waktu kontak 60 menit menunjukkan pH limbah cair 6,6. Penelitian Lopes dkk. (2021) menerangkan bahwa kemampuan adsorpsi optimum dari ampas tebu berada pada rentang 5.0 hingga 6.0. Limbah cair yang digunakan dalam proses adsorpsi ini berasal dari proses pencucian benda-benda setelah proses elektroplating. Studi pendahuluan oleh Marwati dkk. (2014) menunjukkan bahwa limbah cair elektroplating berada di rentang nilai 6-10 yang didasarkan dari kandungan logam berat yang digunakan dan bergantung dari proses mana limbah cair berasal.

4.8 Temperatur Limbah Cair pada Proses Adsorpsi

Pengukuran temperatur limbah cair pada proses adsorpsi dilakukan untuk mengetahui perubahan temperatur limbah cair setelah proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan temperatur memainkan peran penting dalam mengendalikan kekuatan gaya adsorptif antara molekul adsorben dan adsorbat (Ghouti dkk., 2020). Temperatur limbah cair dalam penelitian ini tidak mengalami modifikasi dan berlangsung pada temperatur ruang, hal ini didasarkan pada kondisi limbah cair dalam kondisi eksisting yang tidak mengalami perubahan suhu secara kondisional.

Adsorpsi limbah cair menghasilkan peningkatan temperatur dari temperatur awal 25°C. Temperatur limbah cair hasil adsorpsi cenderung meningkat seiring

dengan penambahan waktu kontak antara limbah cair dengan biosorben. Temperatur rata-rata tertinggi $27,7^{\circ}\text{C}$ diamati pada waktu kontak 60 menit dengan hasil kapasitas adsorpsi warna sebesar 198 Pt-Co dan efisiensi penyisihan 93%. Temperatur tertinggi ditunjukkan oleh variasi massa 0,2 pada waktu kontak selama 60 menit yaitu $28,1^{\circ}\text{C}$ menunjukkan kapasitas adsorpsi warna sebesar 180 Pt-Co dan efisiensi penyisihan 180 Pt-Co. Grafik temperatur limbah cair hasil adsorpsi pada penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik temperatur pada proses adsorpsi

Penelitian Lopez dkk. (2021) terkait kapasitas adsorpsi adsorben ampas tebu pada berbagai logam berat menyatakan bahwa adsorpsi logam berat optimum terjadi pada rentang temperatur 30°C , sementara Moharm dkk (2022) menyatakan adsorpsi warna optimum pada rentang temperatur pada temperatur 25°C hingga 30°C dan Bankole dkk. (2019) menyatakan adsorpsi logam berat Cr(VI) pada temperatur $24,8^{\circ}\text{C}$. Kapasitas adsorpsi ini berkaitan dengan interaksi elektrostatis antara logam berat dengan adsorben dimana semakin tinggi temperatur kondisi adsorpsi, tingkat adsorpsi akan mengalami penurunan (Qaseem dkk., 2021). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi kemampuan adsorpsi biosorben ampas tebu dalam temperatur ruang (25°C hingga 30°C) memiliki tingkat efisiensi yang tinggi.

4.9 Analisis Data

Analisis statistik menggunakan *P-value* terkait sebagai batas yang menunjukkan “signifikansi statistik” yang artinya ukuran tingkat kompatibilitas data dengan hipotesis nol tidak dapat ditolak. Teori uji statistika mensyaratkan tingkat signifikansi sebagai suatu konstanta seperti nilai $P\text{-value} > 0,05$ yang ditentukan dari variabel independen (Andrade, 2019; Greenland, 2019). Penelitian ini menggunakan konstanta $P\text{-value} > 0,05$ sebagai batas “signifikansi statistik”. Hal ini didasarkan pada ukuran data yang tidak terlalu besar (<100) sejalan dengan Wasserstein dkk. (2019) bahwa dengan $P\text{-value} > 0,05$ memberikan hasil yang lebih mudah direplikasi. Nilai *P-value* yang lebih kecil dari 0,05 memberikan tingkat penolakan hipotesis nol yang bersifat lebih ketat namun idela untuk ukuran data yang besar (lebih besar dari 100).

4.9.1 Uji Asumsi Klasik

a) Uji Normalitas

Uji normalitas berfungsi untuk menguji apakah varians dari sampel berbeda secara signifikan dari varians populasi (Schumacker & Tomek, 2013). Data dikatakan terdistribusi normal apabila data dapat ditampilkan dalam bentuk rata-rata dengan membandingkan nilai antar kelompok data terhadap level signifikansi (*P-value*). Populasi data terdistribusi secara normal ketika nilai hipotesis nol memiliki nilai $P\text{-value} > 0,05$ (Mishra dkk., 2019). Data dalam penelitian ini diuji menggunakan metode Chi-Square menunjukkan nilai $P\text{-value} = 0,1088 > 0,05$, sehingga residual data dianggap terdistribusi secara normal. Normalitas data ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Uji Normalitas

Residu	P	<i>P-value</i>	Keterangan
	10,4	0,1088	Terdistribusi normal

b) Uji Heteroskedastisitas

Heteroskedastisitas data dalam penelitian ini menggunakan metode Breusch-Pagan. Metode ini menguji hipotesis nol, bahwa semua variasi galat semuanya sama versus alternatif bahwa variasi kesalahan adalah fungsi perkalian dari satu

atau lebih variabel (Williams, 2020). Heteroskedastisitas data ditunjukkan dalam Tabel 4.6. Nilai P -value menunjukkan nilai P -value = 0,1233 > 0,05, sehingga varians data tersebar secara merata dan tidak terjadi homoskedastisitas pada data penelitian.

Tabel 4.6 Hasil Uji Heteroskedastisitas

BP	df	P-value	Keterangan
6,2281	3	0,101	Tidak terjadi homoskedastisitas

c) Uji Autokorelasi

Autokorelasi data dalam penelitian ini menggunakan metode Breusch-Godfrey. Data menunjukkan autokorelasi apabila nilai P -value < 0,05. Autokorelasi bertujuan untuk mengetahui apakah suatu model regresi linier memiliki korelasi dengan residual data. Hasil uji autokorelasi dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.7, memiliki nilai P -value = 0,6373 > 0,05 sehingga dapat diasumsikan bahwa variabel dalam data memiliki korelasi dengan hasil penelitian.

Tabel 4.7 Hasil Uji Autokorelasi

LM-Test	df	P-value	Keterangan
0,22225	1	0,6373	Terjadi Autokorelasi

d) Uji Multikolinieritas

Multikolinieritas data dalam penelitian ini didasarkan pada nilai toleransi dan VIF (*Variance Inflation Factor*) seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.8. Nilai toleransi biasanya dihitung berdasarkan *variance inflation factor*, dan jika nilainya 10 atau lebih, maka dianggap memiliki hubungan yang bermasalah antara dua variabel independe. Nilai VIF mengukur seberapa besar varians data meningkat ketika terdapat multikolinieritas (Pennstate, 2018). Multikolinieritas dapat mengakibatkan perubahan besar berdasarkan variabel independen dalam suatu model dan mengurangi kekuatan koefisien yang digunakan dalam suatu model. Hubungan antar variabel menjadi sulit untuk diinterpretasikan menggunakan model dan dapat membuat hasilnya menjadi nol.

Tabel 4.8 Hasil Uji Multikorelasi

Variabel	Toleransi	VIF
Waktu kontak	0,923	1,08
Massa biosorben	0,527	1,89
Kadar Warna Awal	0,504	1,98

Hasil uji multikoreliniaritas dalam penelitian ini memiliki nilai VIF variabel independen kurang dari 10 dan nilai toleransi kurang dari 1. Hal ini menunjukkan hubungan antar variabel independen tidak terjadi masalah multikolinieritas. Batas derajat korelasi 10 dipilih karena derajat korelasi yang cukup tinggi antar variabel, maka dapat menimbulkan masalah saat memasang dan menafsirkan model regresi (Seltman, 2018).

4.9.2 Uji *Two-Ways* ANOVA

Analisis *Two-Ways* Anova adalah metode analisis untuk menguji hubungan antara dua variabel kategoris atau lebih dan variabel terikat. Analisis ini melibatkan evaluasi nilai *P-value* yang terkait dengan efek utama dari masing-masing variabel kategoris dan interaksinya. Jika nilai *P-value* kurang dari tingkat signifikansi yang ditentukan ($\alpha < 0,05$), maka hipotesis nol bahwa faktor variabel dependen dipengaruhi variabel kategoris (Seltman, 2018). Variabel kategoris dalam penelitian ini meliputi waktu kontak dan massa biosorben, sementara variabel terikat meliputi kadar warna limbah cair elektroplating hasil dari proses adsorpsi. Hasil uji Anova penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Hasil Uji *Two Ways* Anova

	Df	Sum	Sq-Mean	F Value	Pr>(f)	Keterangan
Waktu kontak	1	20,6	20,6	20,6	0,334	Tidak terdapat signifikansi
Massa biosorben	1	1015,8	1015,8	47,29	$4,77 \times 10^{-8}$	Terdapat signifikansi ^{***}
Warna awal	1	567,1	567,1	26,40	$9,85 \times 10^{-6}$	Terdapat signifikansi ^{***}
Residuals	36	773,3	21,5			

- Kode signifikansi: 0^(***)

Hasil pengujian data penelitian menunjukkan variabel waktu kontak tidak menunjukkan nilai signifikansi, hal ini ditunjukkan dengan nilai $Pr>(F) > 0,05$. Sementara variabel massa biosorben menunjukkan signifikansi yang ditunjukkan dengan nilai $Pr>(F)$ sebesar $1,41 \times 10^{-8}$ dan variabel kadar warna awal limbah cair sebesar $9,85 \times 10^{-6}$. Nilai $Pr(F)$ ini sebagai pembanding kumulatif dari tingkat kepastian data, dimana semakin kecil nilai $Pr(F)$, maka semakin besar pengaruh variabel terhadap hasil pengujian.

Hasil pengujian statistik dalam penelitian ini menunjukkan bahwa massa biosorben dan kadar warna awal lebih berpengaruh signifikan terhadap hasil efisiensi adsorpsi zat warna. Waktu kontak merupakan variabel yang berpengaruh dalam pengujian adsorpsi, namun dalam penelitian ini variasi waktu kontak yang terlalu singkat antar variasi menjadikan variabel ini kurang berpengaruh signifikan terhadap penyisihan kadar warna dalam limbah cair. Kurang berpengaruhnya waktu kontak dapat dikaitkan dengan faktor lain yang juga ikut berperan dalam proses adsorpsi warna seperti kecepatan pengadukan, komposisi limbah cair dan volume limbah cair (Rapo and Tonk, 2021).

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Biosorben yang berasal dari ampas tebu yang diaktivasi menggunakan KOH 1 M memiliki potensi untuk digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi zat warna yang berasal dari kandungan logam berat pada limbah cair elektroplating. Hasil penelitian yang telah dilakukan penulis dapat disimpulkan bahwa.

1. Proses pembuatan biosorben ampas tebu yang diaktivasi oleh KOH 1 M meliputi persiapan pembuatan biosorben (pencacahan-pencucian ampas tebu-penjemuran ampas tebu-pencucian-penggilingan). Aktivasi kimiawi dengan melarutkan 5 gram ampas tebu ke dalam 100 mL larutan KOH 1 M selama 90 menit dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 300 rpm. Biosorben difiltrasi dan dikeringkan dengan oven dan siap digunakan.
2. Efisiensi adsorpsi zat warna terbaik terjadi pada waktu kontak 60 menit dengan efisiensi 98,2% dan kadar warna 180 Pt-Co. Efisiensi adsorpsi zat warna terbaik dengan pengaruh massa biosorben terjadi pada massa 0,3 gram dengan kadar warna 203 Pt-Co.
3. Variabel massa biosorben bersifat signifikan terhadap efisiensi penyisihan kadar zat warna limbah cair elektroplating. Hasil uji statistika dengan model *Two Ways Anova* menunjukkan nilai $Pr(>F)=1,41 \times 10^{-8}$.

5.2 Saran

1. Diharapkan pada penelitian selanjutnya memperhatikan volume air limbah yang digunakan, sehingga dapat digunakan variasi massa dengan rentang yang lebih besar. Penambahan volume limbah juga dapat meningkatkan kemungkinan signifikansi antar variabel bebas.
2. Perlu penelitian lebih lanjut terkait variasi perlakuan awal limbah cair, pengkondisian pH, dan temperatur adsorpsi.
3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian parameter logam berat berdasarkan karakteristik warna awal dari limbah cair elektroplating.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, Hussein & Monir, et al. (2022). Treatment of industrial electroplating wastewater for metals removal via electrocoagulation continous flow reactors. *Water Practice and Technology*. 17..
- Ahmed R, Block I, Otte F, Günter C, Duarte-Rodrigues A, et al. (2023). Activated carbon from sugarcane bagasse: a low-cost approach towards cr(vi) removal from wastewater. *Chemistry*. 5(2): 1124-1137.
- Alatabe, M. J. A., & Hussein, A. A. (2021). Utilization of low-cost adsorbents for the adsorption process of chromium ions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1076(1): p. 012095. IOP Publishing.
- Andreas, A. (2015). Sintesis karbon aktif dari kulit salak aktivasi kimia-senyawa KOH sebagai adsorben proses adosprsi zat warna metilen biru. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia" Kejuangan"*. 18 Maret 2015. UPNYK Press: 3-1.
- Andrade C. (2019). The *P* value and statistical significance: misunderstandings, explanations, challenges, and alternatives. *Indian journal of psychological medicine*. 41(3): 210–215.
- Andrade Siqueira, Thaisa Caroline, Isabella Zanette da Silva, et al. (2020). Sugarcane bagasse as an efficient biosorbent for methylene blue removal: kinetics, isotherms and thermodynamics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. (17(2): 526.
- Amine Moubarik, Nabil Grimi (2015). Valorization of olive stone and sugar cane bagasse by-products as biosorbents for the removal of cadmium from aqueous solution. *Food Research International*. 73: 169-175.
- Aragaw, T. A., & Bogale, F. M. (2021). Biomass-based adsorbents for removal of dyes from wastewater: a review. *Frontiers in Environmental Science*. 9: 558.
- Astuti, W. (2018). *Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. Semarang: Unnes Press.
- Atminingtyas, S., Oktiwawan, W., & Wardhana, I. W. (2016). Pengaruh konsentrasi aktivator NaOH dan tinggi kolom pada arang aktif dari kulit pisang terhadap efektivitas penurunan logam berat tembaga (Cu) dan seng (Zn) limbah cair industri electroplating. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(1): 1-11.
- Bankole, M. T., Abdulkareem, A. S., Mohammed, et al. (2019). Selected heavy metals removal from electroplating wastewater by purified and polyhydroxylbutyrate functionalized carbon nanotubes adsorbents. *Scientific reports*. 9(1): 4475.
- Benvenuti, T., Rodrigues, M., Moura B., et al. (2014). Electrodialysis treatment of nickel wastewater. *Electrodialysis and Water Reuse: Novel Approaches*. 133-144.
- Bergmann, C. P., & Machado, F. M. (Eds.). (2015). *Carbon nanomaterials as adsorbents for environmental and biological applications*. New York: Springer International Publishing.
- Cahyanti, E. D., & Marwati, S. (2017). Optimasi kondisi elektrokoagulasi ion logam timbal (ii) dalam limbah cair electroplating. *Jurnal Kimia Dasar*.

- 6(4): 143–150.
- Cahyono, H. B., & Yuliastuti, R. (2020). pemanfaatan limbah cair industri pcb sebagai larutan elektrolit copper plating elektrolite. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 14(1): 27-35.
- Da Costa, M., & Hadi, W. (2019). Adsorption studies of removal chromium from electroplating artificial wastewater using activated carbon. *Journal of Physics: Conference Series*. 1(124).
- Dewi, R., Azhari, A., & Nofriadi, I. (2021). Aktivasi karbon dari kulit pinang dengan menggunakan aktivator kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 9(2): 12-22.
- Dwiyanti, M., A.G, Baruna E, R, Naufal M., et al. (2020). Extremely high surface area of activated carbon originated from sugarcane bagasse. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 909 012018.
- Gao, Y., Xu, S., Yue, Q., Wu, Y., & Gao, B. (2016). Chemical preparation of crab shell-based activated carbon with superior adsorption performance for dye removal from wastewater. *Journal of the Taiwan institute of chemical engineers*. 61: 327-335.
- Heidarinejad, Z., Dehghani, MH., Heidari, M., Sillanpaa G. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 18: 393-415.
- Jawad, AH., Abdulhameed, A., Bahrudin, N., et al. (2021). Microporous activated carbon development from KOH activated biomass waste: surface mechanistic study of methylene blue dye adsorption. *Water Science & Technology*. 84(8): 1859.
- Kumar, A., Balouch, A., Pathan, A. et al. (2019). Remediation of Nickel ion from wastewater by applying various techniques: a review. *Acta Chemica Malaysia*. 3(1): 1-15.
- Kusumawardani, R., Zaharah, T. A., & Destiarti, L. (2018). Adsorpsi Kadmium(II) menggunakan Adsorben Selulosa Ampas Tebu Teraktivasi Asam Nitrat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 7(3): 75–83.
- Ly, H. T. Y., Dieu, H. T. K., & Sang, T. M. T. (2018). Chemically modified sugarcane bagasse as a biosorbent for dye removal from aqueous solution. *VNUHCM Journal of Natural Sciences*. 2(6): 175-181.
- Malamis, S., Katsou, E., Kosanovic, T. et al. (2012). Combined adsorption and ultrafiltration processes employed for the removal of pollutants from metal plating wastewater. *Separation Science and Technology*. 47(7): 983-996.
- Muis, L., Sanova, A., & Suryadri, H. (2021). Karakterisasi Zeolite dari Ampas Tebu yang dihasilkan dari Reaktor Hidrotermal dan Aplikasinya pada Penyerapan Ion Logam Pb²⁺. *Chempublish Journal*. 6(1): 1-11.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 05 Tahun 2014. 15 Oktober 2014. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 1815. Jakarta.
- Pramitasari, N., Dhokhikah, Y., Sukarmawati, Y., & Kartini, A. M. (2017). Analisis Pengaruh Adsorben Limbah Kulit Kopi Pertanian Jember pada Proses Adsorpsi Logam Tembaga (Cu).
- Qasem, N.A.A., Mohammed, R.H. & Lawal, D.U. (2021). Removal of heavy

- metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *npj Clean Water*.4: 36.
- Rajoria, S., Vashishtha, M., & Sangal, V. K. (2022). Treatment of electroplating industry wastewater: a review on the various techniques. *Environmental Science and Pollution Research*. 29(48): 72196-72246.
- Rápó, E., & Tonk, S. (2021). Factors affecting synthetic dye adsorption; desorption studies: a review of results from the last five years (2017–2021). *Molecules*. 26(17): 5419.
- Robbika, F. (2022). Sintesis karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivasi kimia menggunakan koh sebagai adsorben logam berat Cr-VI. *Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu, dan Produk Kulit*. 21(1): 24-33.
- Ronald L. Wasserstein, Allen L. Schirm & Nicole A. Lazar. (2019). Moving to a World Beyond “ $p < 0.05$ ”. *The American Statistician*. 7(1): 1-19.
- Rosmawati, A. (2019). Adsorpsi Cr (VI) pada limbah elektroplating menggunakan biokitin hasil fermentasi limbah kulit udang *L. vannamei* oleh *Lactobacillus plantarum* dan *Bacillus thuringiensis*. *Disertasi Doktorat*. Malang: Program Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.
- Ruthven, D. M. (1984). *Principles of adsorption and adsorption processes*. John Wiley & Sons.
- Sander Greenland. (2019). Valid P-Values behave exactly as they should: some misleading criticisms of p-values and their resolution with S-Values. *The American Statistician*. 73(1): 106-114.
- Schumacker & Tomek. (2013). *Understanding Statistics Using R*. New York: Springer. Halaman: 116-117.
- Seltman, Howard J. (2018). *Experimental Design and Analysis*. Carnegie Mellon University. Halaman 267-271.
- Tounsadi H, Khalidi A, Farnane M. et al. (2016). Experimental design for the optimization of preparation conditions of highly efficient activated carbon from *Glebionis coronaria* L. and heavy metals removal ability. *Process Saf Environ Protection*. 102:710–723.
- Utami, U., Elystia, S., & Aziz, Y. (2017). *Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Karbon Aktif Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (Elaeis Guneensis Jac)*. *Disertasi Doktorat*. Riau: Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Utomo, W. P., Santoso, E., Yuhaneka, et al. (2019). Studi adsorpsi zat warna naphthol yellow s pada limbah cair menggunakan karbon aktif dari ampas tebu. *Jurnal kimia (journal of chemistry)*. 13(1): 104-116.
- Wahyuni, S., & Padmaningrum, R. T. (2018). Aplikasi hidroksida logam kadmium (ii) hasil elektrokoagulasi limbah cair elektroplating untuk pewarna gelasir keramik. *Jurnal Elemen Kimia*. 7(2): 66-73.
- Yadav, M., Singh, G., & Jadeja, R. N. (2021). Physical and chemical methods for heavy metal removal. *Pollutants and Water Management: Resources, Strategies and Scarcity*. 377-397.
- Zhang, J., Shan, W., Ge, J., Shen, Z., Lei, Y., & Wang, W. (2012). Kinetic and equilibrium studies of liquid-phase adsorption of phosphate on modified sugarcane bagasse. *Journal of Environmental Engineering*. 138(3): 252-2.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran dalam Tugas Akhir ini terlampir dalam link berikut:



<https://unej.id/LampiranTugasAkhirRohinoorIntanBerliana>