

TESIS

Aplikasi Batang Sorgum (*Sorghum bicolor L.*) sebagai Adsorben Ion Cu(II) dan Pb(II) untuk Penanggulangan Limbah Laboratorium

"Application of Sorghum Stalks (*Sorghum bicolor L.*) as Adsorbent for Metal Ions Cu(II) and Pb(II) for Laboratory Waste Treatment"



RIKA WAHYUNI RUSTI ANNISA

P032222001



PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

**Aplikasi Batang Sorgum (*Sorghum bicolor L.*) sebagai Adsorben Ion Cu(II)
dan Pb(II) untuk Penanggulangan Limbah Laboratorium**

RIKA WAHYUNI RUSTI ANNISA

P032222001



**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**Application of Sorghum Stalks (*Sorghum bicolor* L.) as Adsorbent for
Metal Ions Cu(II) and Pb(II) for Laboratory Waste Treatment**

RIKA WAHYUNI RUSTI ANNISA

P032222001



ENVIRONMENTAL MANAGEMENT STUDY PROGRAM

GRADUATE SCHOOL

HASANUDDIN UNIVERSITY

MAKASSAR, INDONESIA

2024

Aplikasi Batang Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) sebagai Adsorben Logam Berat Cu(II) dan Pb(II) untuk Penanggulangan Limbah Laboratorium

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Pengelolaan Lingkungan Hidup

Disusun dan Diajukan oleh

RIKA WAHYUNI RUSTI ANNISA

P032222001

Kepada

PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

TESIS

APLIKASI BATANG SORGUM (*Sorghum bicolor* L.) SEBAGAI ADSORBEN ION Cu(II) DAN Pb(II) UNTUK PENANGGULANGAN LIMBAH LABORATORIUM

RIKA WAHYUNI RUSTI ANNISA

P032222001

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Magister pada tanggal 17 Mei 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

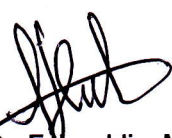
pada

UNIVERSITAS HASANUDDIN
Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup
Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Fahrudin, M.Si.
NIP. 19650915 199103 1 002


Prof. Dra. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D.
NIP. 19571115 198810 2 001

Ketua Program Studi
Pengelolaan Lingkungan Hidup

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,


Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si.
NIP. 19650810 199103 1 006


Prof. dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K), M.Med.Ed.
NIP. 19661231 199503 1 009



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Aplikasi Batang Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) sebagai Adsorben Ion Cu(II) dan Pb(II) untuk Penanggulangan Limbah Laboratorium" adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing Prof. Dr. Fahrudin, M.Si. sebagai Pembimbing Utama dan Prof. Dra. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D. sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal Journal of Ecological Engineering, Vol. 25(5), 165-174, DOI: 10.12911/229989931185771 sebagai artikel dengan judul "Removal of Divalent Copper Ions from Aqueous Solution using *Sorghum bicolor* L. Stem Waste as an Effective Adsorbent". Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 5 Mei 2024
Yang menyatakan



Rika Wahyuni Rusti Annisa
P032222001

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, penulis berterima kasih kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang telah memberinya kekuatan dan kasih sayang untuk menyelesaikan tesis ini. "Aplikasi Batang Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) Sebagai Adsorben Logam Berat Cu(II) dan Pb(II) untuk Penanggulangan Limbah Laboratorium". Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister dalam Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, tesis ini disusun berdasarkan temuan penelitian yang dilakukan.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua orang yang telah membantu dan mendorong proses penyusunan tesis ini hingga selesai, terutama mereka yang telah memberikan bantuan moril dan materil:

1. Bapak Prof. Dr. Fahrudin, M.Si. sebagai dosen pembimbing utama saya yang senantiasa meluangkan waktu, dedikasi, dan bimbingan yang luar biasa dalam menuntun saya dengan sangat sabar melalui setiap langkah penelitian ini. Beliau telah memberikan masukan yang berharga, memberi dorongan ketika saya merasa ragu, dan memberikan arah yang jelas untuk menyelesaikan tesis ini.
2. Ibu Prof. Dra. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D. sebagai dosen pembimbing pendamping saya yang telah memberikan pemahaman yang mendalam tentang topik penelitian ini dan memberikan bantuan yang berharga dalam memecahkan setiap tantangan yang saya hadapi. Dukungan beliau telah memberi saya kepercayaan diri dan semangat untuk terus maju dalam perjalanan penelitian ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Eymal B. Demmalino, M.Si., Bapak Dr.Sci. Muhammad Zakir, M.Si., dan Bapak Dr. Miswar Tumpu, S.T., M.T. sebagai penguji. Kehadiran mereka tidak hanya sebagai penilai, tetapi juga sebagai mentor yang memberikan wawasan dan pandangan baru yang sangat berharga. Kritik, saran, dan masukan yang mereka berikan telah membantu saya untuk melihat tesis ini dari berbagai sudut pandang dan memperbaikinya menjadi lebih baik.
4. Bapak Prof. dr. Budu., Ph.D., Sp.M(K).M.MedEd. selaku Dekan Sekolah Pascasarjana, dan Bapak Dr. Ir. Muh. Farid Samawi., M.Si. selaku Ketua Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup, beserta semua dosen dan karyawan yang telah memberikan dukungan dan pengetahuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Kerja keras dan kontribusi mereka telah sangat berarti dalam proses penelitian ini.
5. Ishar, S.Si., M.Ling. selaku teman satu bimbingan saya yang senantiasa memberikan dukungan, bantuan, dan semangat yang tiada hentinya selama proses penelitian ini. Kehadirannya sebagai rekan satu bimbingan telah memberikan kontribusi yang berarti dalam memperkaya diskusi dan memperluas pemahaman saya terhadap topik ini.
6. Siti Maifa Diapati B. selaku kakak tingkat yang telah saya anggap seperti saudara sendiri. Dukungan, bantuan, dan semangat yang diberikan sungguh luar biasa dan tak terlupakan.

7. Orang tua saya, yang selalu mendukung, mendorong, dan memberikan cinta tanpa syarat sepanjang perjalanan hidup saya. Doa, nasihat, dan pengorbanan mereka telah menjadi pendorong utama dalam setiap langkah saya.
8. Kakak dan kakak ipar saya yang tercinta yang selalu membantu dan memenuhi kebutuhan saya selama kuliah sampai sekarang.
9. Andi Yusniar, Andi Nurfadilla, Rismawati, dan Ar Aflah Rizq Athamimi, yang telah memberikan dukungan, semangat, dan bantuan selama perjalanan penelitian ini maupun dalam kehidupan sehari-hari.
10. Teman-teman kelas program studi Pengelolaan Lingkungan Hidup Angkatan 2022 genap. Yang senantiasa memberikan semangat, saran dan solusi terhadap proses mulai kuliah sampai tahap penyelesaian tugas akhir.

Saya ingin mengungkapkan rasa terima kasih kepada semua orang yang telah mendoakan dan memberikan dukungan moril serta materiil kepada saya, baik yang saya kenal maupun tidak. Semoga Allah SWT memberkahi mereka semua dengan kesehatan, kekuatan, dan kesempatan untuk terus berbuat kebaikan.

Makassar, 5 Mei 2024



Penulis

ABSTRAK

RIKA WAHYUNI RUSTI ANNISA. **Aplikasi Batang Sorgum (*Sorghum Bicolor L.*) Sebagai Adsorben Ion Cu(II) Dan Pb(II) Untuk Penanggulangan Limbah Laboratorium** (dibimbing oleh Fahrudin dan Paulina Taba)

Berbagai limbah dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan adsorben. Batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) merupakan limbah pertanian yang belum dimanfaatkan secara maksimal, padahal batang sorgum mengandung selulosa yang tinggi. Gugus hidroksil (OH-) dan karboksil (-COOH) pada selulosa memiliki kemampuan untuk mengikat logam berat, oleh karena itu batang sorgum berpeluang untuk digunakan sebagai adsorben untuk menyerap logam berat khususnya ion Cu(II) dan Pb(II) yang dapat mencemari lingkungan. Metode yang digunakan meliputi pembuatan adsorben batang sorgum, aktivasi adsorben batang sorgum dengan HNO₃, penentuan pH optimum, waktu kontak optimum, kapasitas adsorpsi, efektivitas adsorpsi, serta aplikasinya terhadap ion Cu(II) dan Pb(II) pada limbah laboratorium. Karakterisasi adsorben batang sorgum menggunakan FTIR dan SEM-EDS. Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi pH (4-9), variasi waktu kontak (2-180 menit), dan variasi konsentrasi (10-100 mg/L). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH optimum pada adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II) berada pada pH 6 dengan daya adsorpsi pada ion Cu(II) sebesar 99,87% dan ion Pb(II) sebesar 99,80%. Waktu kontak Optimum pada adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II) berada pada waktu 10 dan 30 menit. Kapasitas adsorpsi ion Cu(II) dengan konsentrasi 10, 30, 50 dan 100 mg/L berturut-turut adalah 0,90 mg/g; 2,33 mg/g; 2,58 mg/g dan 2,69 mg/g. Ion Pb(II) dengan kapasitas adsorpsi berturut-turut adalah 0,86 mg/g; 2,47 mg/g; 3,96 mg/g dan 6,88 mg/g. Model isoterm Freundlich lebih sesuai untuk adsorpsi ion Cu(II) dengan nilai $R^2 = 0,9039$, model isoterm Sips lebih sesuai untuk ion Pb(II) dengan nilai $R^2 = 0,9980$. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa adsorben batang sorgum teraktivasi lebih efektif mengadsorpsi ion Pb(II) dibanding ion Cu(II).

Kata Kunci : Batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*), limbah cair laboratorium, adsorpsi, ion Cu(II), ion Pb(II)



 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa. Tanggal : _____	Para Ketua / Sekretaris, 

ABSTRACT

RIKA WAHYUNI RUSTI ANNISA. **Application of Sorghum Stalks (*Sorghum bicolor* L.) as Adsorbent for Metal Ions Cu(II) and Pb(II) for Laboratory Waste Treatment** (Supervised by Fahrudin and Paulina Taba)

Various wastes can be utilized to produce adsorbents. Sorghum stalks (*Sorghum bicolor* L.) are agricultural waste that has not been maximally utilized, even though sorghum stalks contain high cellulose. The hydroxyl (OH-) and carboxyl (-COOH) groups on cellulose have the ability to bind heavy metals, therefore sorghum stems have the opportunity to be used as an adsorbent to absorb heavy metals, especially Cu(II) and Pb(II) ions that can pollute the environment. The method used includes the preparation of sorghum stem adsorbent, activation of sorghum stem adsorbent with HNO₃, determination of optimum pH, optimum contact time, adsorption capacity, adsorption effectiveness, and its application to Cu(II) and Pb(II) ions in laboratory waste. Characterization of sorghum stem adsorbent using FTIR and SEM-EDS. The adsorption process was carried out with pH variation (4-9), contact time variation (2-180 minutes), and concentration variation (10-100 mg/L). The results showed that the optimum pH on the adsorption of Cu(II) and Pb(II) ions was at pH 6 with adsorption power on Cu(II) ions of 99.87% and Pb(II) ions of 99.80%. The optimum contact time on adsorption of Cu(II) and Pb(II) ions was at 10 and 30 minutes. The adsorption capacity of Cu(II) ions with concentrations of 10, 30, 50 and 100 mg/L were 0.90 mg/g; 2.33 mg/g; 2.58 mg/g and 2.69 mg/g, respectively. Pb(II) ions with adsorption capacity were 0.86 mg/g; 2.47 mg/g; 3.96 mg/g and 6.88 mg/g, respectively. The Freundlich isotherm model is more suitable for adsorption of Cu(II) ions with R² value = 0.9039, Freundlich isotherm model is more suitable for Pb(II) ions with R² value = 0.9980. Based on the results obtained, it can be concluded that activated sorghum stem adsorbent is more effective in adsorbing Pb(II) ions than Cu(II) ions.

Keywords: Sorghum stalk (*Sorghum bicolor* L.), laboratory wastewater, adsorption, Cu(II) ion, Pb(II) ion

	
GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua / Sekretaris.
Tanggal : _____	

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	4
2.1. Pencemaran Lingkungan.....	4
2.2. Dampak Limbah Laboratorium.....	5
2.3. Parameter Limbah	6
2.4. Pencemaran Logam Berat.....	7
2.5. Timbal (Pb).....	9
2.6. Tembaga (Cu)	9
2.7. Metode Pengolahan Limbah.....	10
2.8. Adsorpsi	11
2.9. Potensi Batang Sorgum sebagai Adsorben Ion Logam Berat	13
2.10. Kerangka Penelitian.....	15
BAB III. METODE PENELITIAN.....	16
3.1. Rancangan Penelitian	16

3.2. Jenis Penelitian.....	16
3.3. Sumber Data	16
3.4. Tempat dan Waktu.....	16
3.5. Bahan dan Alat Penelitian	16
3.5.1. Bahan	16
3.5.2. Alat	16
3.6. Prosedur Kerja.....	17
3.6.1. Prosedur pengambilan sampel air limbah laboratorium.....	17
3.6.2. Penentuan awal parameter kualitas air limbah	17
3.6.2.1. Penentuan pH (<i>Potential Hydrogen</i>).....	17
3.6.2.2. Penentuan BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>)	17
3.6.2.3. Penentuan COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	18
3.6.2.4. Penentuan TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	18
3.6.2.5. Penentuan kandungan logam berat.....	18
3.6.3. Preparasi sampel batang sorgum	19
3.6.4. Aktivasi adsorben	19
3.6.5. Karakterisasi adsorben batang sorgum.....	19
3.6.5.1. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	19
3.6.5.2. <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	19
3.6.6. Pembuatan larutan induk ion Cu(II) 1000 mg/L.....	20
3.6.7. Pembuatan larutan induk ion Pb(II) 1000 mg/L.....	20
3.6.8. Penentuan kondisi pH optimum adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II).....	20
3.6.9. Penentuan kondisi waktu optimum adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II).....	20
3.6.10. Penentuan kapasitas adsorpsi.....	20
3.6.11. Penentuan efektivitas adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II).....	21
3.6.12. Aplikasi batang sorgum pada pengolahan limbah laboratorium.....	21
3.7. Analisis Data.....	22
3.8. Diagram Alir Penelitian	23
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1. Pembuatan Adsorben Batang Sorgum	24
4.2. Karakterisasi Material Adsorben	25
4.3. Morfologi Permukaan Adsorben dengan SEM-EDS.....	26

4.4. Penentuan pH optimum.....	27
4.5. Penentuan Waktu optimum	29
3.2. Penentuan Kapasitas Adsorpsi	31
4.6. Efektivitas Adsorpsi Ion Cu(II) dan Pb(II).....	37
4.7. Aplikasi Batang Sorgum Pada Limbah Laboratorium	37
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1. Kesimpulan.....	40
5.2. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR TABEL

nomor	halaman
1.	Karakteristik limbah cair domestik (Nugraha, 2016).....7
2.	Perbandingan persentase (%berat) unsur-unsur penyusun material adsorben ..26
3.	Model isoterm adsorpsi oleh adsorben batang sorgum dari persamaan linier34
4.	Parameter isoterm adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II) oleh adsorben batang sorgum dari persamaan non-linier (program solver)36
5.	Jumlah ion Pb(II) dan Cu(II) yang teradsorpsi pada campuran bilogam37
6.	Jumlah ion yang teradsorpsi pada ion Pb(II) dan Cu(II) serta pada logam Pb dan Cu dari limbah cair laboratorium38

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Lapisan monolayer pada Isoterm Langmuir (Mohamed dan Mehana, 2020).....	12
2.	Sorgum (<i>Sorghum bicolor</i> L.).....	13
3.	Adsorben batang sorgum tanpa aktivasi (a) dan (b) adsorben batang sorgum teraktivasi.....	24
4.	Spektrum FTIR (a) batang sorgum tanpa aktivasi dan (b) batang sorgum teraktivasi.....	25
5.	Morfologi permukaan dari analisis SEM pada perbesaran 3000x (a) batang sorgum tanpa aktivasi dan (b) batang sorgum teraktivasi.....	26
6.	Pengaruh pH terhadap jumlah adsorpsi ion Cu(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi.....	27
7.	Pengaruh pH terhadap jumlah adsorpsi ion Cu(II) oleh batang sorgum teraktivasi.....	27
8.	Pengaruh pH terhadap jumlah adsorpsi ion Pb(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi.....	28
9.	Pengaruh pH terhadap jumlah adsorpsi ion Pb(II) oleh batang sorgum (a) tanpa aktivasi dan (b) teraktivasi.....	28
10.	Pengaruh waktu terhadap jumlah adsorpsi ion Cu(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi.....	29
11.	Pengaruh waktu terhadap jumlah adsorpsi ion Pb(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi.....	29
12.	Pengaruh waktu terhadap jumlah adsorpsi ion Cu(II) oleh batang sorgum teraktivasi.....	30
13.	Pengaruh waktu terhadap jumlah adsorpsi ion Pb(II) oleh batang sorgum teraktivasi.....	30
14.	Pengaruh konsentrasi awal terhadap adsorpsi ion Cu(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi dan teraktivasi.....	31
15.	Pengaruh konsentrasi awal terhadap adsorpsi ion Pb(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi dan teraktivasi.....	32
16.	Plot isoterm (a) Langmuir dan (b) Freundlich ion Cu(II).....	33
17.	Plot isoterm (a) Langmuir dan (b) Freundlich ion Pb(II).....	33
18.	Plot isoterm sips (a) ion Cu(II) dan (b) ion Pb(II).....	34
19.	Pemodelan isoterm Langmuir, Freundlich dan Sips dari persamaan non-linier (Program solver) untu ion Cu(II) dan Pb(II) pada batang sorgum tanpa aktivasi.....	35
20.	Pemodelan isoterm Langmuir, Freundlich dan Sips dari persamaan non-linier (Program solver) untuk ion Cu(II) dan Pb(II) pada batang sorgum teraktivasi.....	35

DAFTAR LAMPIRAN

nomor	halaman
1. Bagan Kerja Penelitian	54
2. Dokumentasi Penelitian	65
3. Data Karakterisasi FTIR.....	69
4. Hasil Analisis SEM Batang Sorgum	71
5. Data SEM-EDS	72
6. Data Absorbansi Untuk penentuan Waktu Optimum, pH Optimum dan Kapasitas adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II).....	74
7. Data Hasil Penentuan Waktu optimum.....	76
8. Data Hasil Penentuan pH Optimum	80
9. Data Hasil Penentuan Kapasitas Adsorpsi	84
10. Data Hasil Efektivitas adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II)	85
11. Data hasil aplikasi batang sorgum pada adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II), BOD, COD, TSS, dan pH dari limbah cair laboratorium	86
12. Perhitungan Kapasitas adsorpsi ion Cu(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi .87	
13. Perhitungan Kapasitas adsorpsi ion Pb(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi...89	
14. Perhitungan Kapasitas adsorpsi ion Cu(II) oleh batang sorgum teraktivasi	91
15. Perhitungan Kapasitas adsorpsi ion Pb(II) oleh batang sorgum tanpa aktivasi...93	
16. Isoterm Adsorpsi Ion Cu(II) oleh Batang Sorgum Tanpa Aktivasi Bentuk Non-Linear (Program Solver).....	95
17. Isoterm Adsorpsi Ion Pb(II) oleh Batang Sorgum Tanpa Aktivasi Bentuk Non-Linear (Program Solver).....	97
18. Isoterm Adsorpsi Ion Pb(II) oleh Batang Sorgum Teraktivasi Bentuk Non-Linear (Program Solver)	99
19. Isoterm Adsorpsi Ion Cu(II) oleh Batang Sorgum Teraktivasi Bentuk Non-Linear (Program Solver)	101

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan populasi dan perkembangan industri yang pesat menyebabkan peningkatan limbah industri baik limbah cair, limbah padat maupun limbah gas. Hal ini dapat menimbulkan dampak yang serius yaitu tercemarnya lingkungan. Limbah cair yang dihasilkan dalam proses industri dibuang ke perairan sehingga dapat menyebabkan pelepasan logam berat beracun ke dalam air. Hal tersebut berdampak negatif pada makhluk hidup di lingkungan sekitarnya (Komarawidjaja, 2017).

Kehadiran logam berat dalam air yang melebihi ambang batas menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius (Nurhidayati et al., 2021). Beberapa contoh logam berat Pb, Cd, Hg, Cr, Cu, Fe dan Ti sering ditemukan dalam lingkungan perairan (Jacob et al., 2018). Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990), sifat toksisitas logam berat dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama adalah logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi yang meliputi unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Kelompok kedua adalah logam berat dengan tingkat toksisitas sedang yang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co. Sedangkan kelompok ketiga adalah logam berat dengan tingkat toksisitas rendah yang terdiri dari unsur Mn dan Fe.

Pencemaran lingkungan oleh logam berat menjadi masalah yang serius seiring dengan penggunaan logam berat dalam industri yang semakin meningkat. Limbah yang dibuang langsung ke badan air tidak hanya membahayakan kehidupan biota di perairan, tetapi juga dapat mengganggu kesehatan manusia (Iqbal et al., 2023). Pencemaran lingkungan akibat logam berat berasal dari aktivitas manusia yang merupakan penyebab utama polusi, terutama terkait dengan penambangan logam, peleburan, pengecoran, dan industri lain yang menggunakan logam yang langsung di buang ke badan perairan (Briffa et al., 2020). Logam berat bersifat persisten sehingga limbah cair yang mengandung logam akan terakumulasi di perairan dan akan masuk ke dalam rantai makanan (Ali dan Khan, 2018). Logam berat tersebut yang telah masuk ke dalam rantai makanan akan berdampak buruk pada lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia (Rahman dan Singh, 2019).

Salah satu logam yang berbahaya yaitu tembaga (Cu) (Tóth et al., 2016). Selain logam tembaga (Cu), terdapat pula logam timbal (Pb) (Levin et al., 2021). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 menetapkan bahwa nilai ambang batas dari logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb) adalah 0,008 mg/L. Salah satu sumber logam berat adalah limbah laboratorium.

Laboratorium biasanya digunakan untuk melakukan proses percobaan atau analisis kimia yang menghasilkan limbah. Kegiatan pengujian yang dilakukan menggunakan bahan-bahan kimia untuk melakukan sintesis maupun analisis. Timbal dan tembaga digunakan dalam banyak reaksi kimia, sintesis organik, elektrokimia, dan analisis laboratorium. Misalnya, timbal sering digunakan dalam elektroda untuk elektrolisis, sementara tembaga digunakan sebagai katalis dalam beberapa reaksi kimia. Ketika reaksi berlangsung, logam-logam ini dapat larut dalam pelarut dan akhirnya

masuk ke dalam limbah cair laboratorium (X. Li dan Binnemans, 2021).

Limbah laboratorium mengandung logam-logam seperti besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu), kromium (Cr), dan timbal (Pb) yang termasuk dalam kategori limbah berbahaya dan berpotensi mencemari air tanah. Meskipun volume limbah cair yang dihasilkan oleh laboratorium relatif kecil, namun pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar tetap signifikan. Oleh karena itu, limbah cair tersebut harus diolah sebelum dibuang ke lingkungan (Rachman et al., 2020). Selain mengandung logam berat, limbah laboratorium juga mengandung senyawa organik dan anorganik yang dapat menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan dan mempengaruhi parameter lingkungan seperti BOD dan COD apabila dibuang tanpa perlakuan terlebih dahulu.

Beberapa teknologi telah dikembangkan dan efektif dalam mengurangi dan memisahkan logam berat dari air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Metode konvensional yang digunakan umumnya adalah pertukaran ion, ekstraksi pelarut, elektrolisis, pengendapan, pemisahan membran dan adsorpsi. Namun, sebagian besar metode ini seringkali menghasilkan lumpur yang dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu adsorpsi merupakan pilihan yang efektif, ramah lingkungan serta menggunakan peralatan yang relatif sederhana dalam pengolahan air limbah (Dharmapriya et al., 2021).

Penggunaan biomassa sebagai adsorben ion logam berat merupakan alternatif yang dapat digunakan karena biayanya yang terjangkau, ramah lingkungan dan ketersediaannya yang melimpah. Biomassa dapat menjadi alternatif daripada penggunaan bahan sintesis yang digunakan dalam proses penghilangan logam berat (Zhao et al., 2019). Serbuk gergaji kayu pinus (*Pinus merkusii*), kulit biji bunga matahari dan limbah jagung telah digunakan sebagai bahan penyerap logam berat dalam air limbah (Simón et al., 2022). Berbagai penelitian telah dilakukan mengenai biomassa yang digunakan sebagai adsorben. Limbah jerami padi sebagai adsorben ion logam Pb (II) (Safrianti et al., 2012), adsorben selulosa ampas tebu digunakan sebagai adsorben berat Cd (II) (Kusumawardani et al., 2018) dan kulit jengkol sebagai adsorben logam berat Pb (II) (Wardani et al., 2017). Salah satu biomassa yang dapat digunakan sebagai adsorben ion logam berat adalah batang sorgum.

Sorgum merupakan salah satu tanaman pangan yang banyak dibudidayakan di dunia, termasuk Indonesia (Wahyu Anggita et al., 2022). Di Indonesia, sorgum telah ditanam di berbagai wilayah seperti Lampung di Sumatera, serta Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Barat (NTB), dan Nusa Tenggara Timur (NTT) (Saurina et al., 2023.). Setelah sorgum dipanen akan menghasilkan limbah pertanian berupa batang sorgum yang dianggap sebagai sampah sehingga langsung dibakar. Batang sorgum berpotensi menjadi adsorben karena mempunyai kadar selulosa yang tinggi sebesar 50% (Hennet et al., 2020).

Adewoye et al (2017) melakukan penelitian mengenai kemampuan batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) dalam menurunkan konsentrasi ion logam berat Ni(III) dan Cr(III) dan didapatkan hasil bahwa batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) dapat menurunkan konsentrasi ion logam Ni(III) dan Cr(III) pada air yang terkontaminasi. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Fomina et al (2020) yang membuktikan bahwa batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) dengan modifikasi termal dapat menurunkan konsentrasi ion Cu(II) secara signifikan. Hasil yang sama juga diperoleh dari penelitian

yang dilakukan oleh Andini et al (2023) yang menunjukkan bahwa batang sorgum dapat digunakan sebagai adsorben dalam mengurangi ion logam Co(II) dengan modifikasi ZnCl₂. Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) bermanfaat dalam penurunan konsentrasi ion logam berat pada air, tetapi bagaimana pengaruhnya setelah dimodifikasi dengan HNO₃ belum diketahui.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa kapasitas adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II) oleh batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) tanpa dan dengan aktivasi?
2. apakah adsorben batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) tanpa dan dengan aktivasi mempunyai perbedaan efektivitas pada adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II) pada limbah laboratorium?
3. apakah aplikasi batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) tanpa dan dengan aktivasi mempunyai pengaruh terhadap kualitas air limbah laboratorium meliputi pH, BOD, COD, dan TSS?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. mengalisis kapasitas adsorpsi ion Cu(II) dan Pb(II) oleh batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) tanpa dan dengan aktivasi terhadap penurunan konsentrasi ion Cu(II) dan Pb(II).
2. membandingkan efektivitas batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) tanpa dan dengan aktivasi dalam menurunkan konsentrasi ion Cu(II) dan Pb(II) pada limbah laboratorium.
3. menganalisis pengaruh batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) tanpa dan dengan aktivasi terhadap parameter lingkungan meliputi pH, BOD, COD, dan TSS pada limbah laboratorium.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, terutama memberikan informasi ilmiah mengenai pemanfaatan batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) sebagai adsorben sehingga mempunyai nilai ekonomi dan sebagai sumber kepada instansi terkait dan masyarakat mengenai pemanfaatan batang sorgum (*Sorghum bicolor L.*) sebagai media yang dapat digunakan untuk pencegahan pencemaran logam berat.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Percobaan adsorpsi dilakukan secara batch menggunakan sampel limbah laboratorium;
2. Melakukan percobaan adsorpsi dengan adsorben tanpa aktivasi sebagai pembanding;

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan bukan hal baru yang masih menjadi tantangan utama di seluruh dunia hingga saat ini dan menjadi penyebab utama dalam masalah kesehatan dan kematian. Aktivitas seperti urbanisasi, industrialisasi, pertambangan dan eksplorasi merupakan faktor utama yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Meskipun negara maju telah lebih sadar dan memiliki hukum yang lebih ketat dalam melindungi lingkungan mereka. Baik negara maju maupun negara berkembang turut berbagi tanggung jawab atas masalah ini. Upaya global telah dilakukan untuk mengatasi pencemaran pada lingkungan tetapi dampaknya masih terasa hingga sekarang karena konsekuensi jangka panjangnya yang serius (Ukaogo et al., 2020).

Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (UU PPLH 32 Tahun 2009). Peningkatan ekonomi berupa pembangunan diketahui sebagai salah satu faktor yang berkontribusi pada penurunan kualitas lingkungan. Kegiatan pembangunan untuk meningkatkan ekonomi seringkali menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan. Di sisi lain, pembangunan di Indonesia masih tergantung pada pemanfaatan sumber daya alam. Menurut Badan Pusat Statistik pada tahun 2018, sektor industri menyumbang 19,86 persen dari perekonomian nasional, sektor pertanian menyumbang 12,81 persen, dan sektor pertambangan 8,08 persen. Ketiga sektor ini menggunakan sumber daya alam sebagai bahan baku untuk produksi mereka. Akibatnya, degradasi sumber daya alam terjadi karena eksploitasi berlebihan dan pencemaran (Ilham, 2021).

Air merupakan sumber daya alam yang paling banyak dimanfaatkan oleh masyarakat. Dengan melihat pemanfaatan air tersebut, maka kualitas air perlu mendapat perhatian yang lebih karena jika kualitas air buruk, maka akan memiliki dampak negatif baik itu terhadap lingkungan maupun masyarakat yang berada disekitarnya (Situmorang et al., 2017). Menurut PP 82 tahun 2001 bahwa pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air menurun hingga ke tingkat tertentu yang menyebabkan tidak lagi berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Air limbah yang berasal dari aktivitas manusia seperti aktivitas industri, pertanian dan rumah tangga merupakan sumber utama pencemaran air jika tidak dikelola dengan baik sebelum dibuang ke perairan (Chowdhary et al., 2020). Salah satu bahan pencemar pada air adalah logam berat (Ridhowati, 2013). Pencemaran logam berat dapat ditemukan di badan air, atau dalam bentuk padat, seperti sedimen. Sungai merupakan salah satu media yang sering tercemar oleh logam berat. Limbah yang mengandung logam berat menyebabkan kerusakan sungai. Logam berat yang ada pada perairan lama kelamaan akan turun dan mengendap pada dasar perairan membentuk sedimen (Abhibhawa et al., 2022). Menurut Putri dan Afdal (2017), apabila akumulasi logam berat di sedimen terangkut kembali ke permukaan air, maka hal ini akan mengakibatkan

penurunan kualitas air sungai sehingga sungai tidak dapat digunakan sesuai peruntukannya.

2.2. Dampak Limbah Laboratorium

Limbah laboratorium merupakan salah satu limbah cair yang paling berbahaya. Air limbah laboratorium termasuk dalam kategori limbah yang berbahaya dan dapat mencemari air tanah. Meskipun kuantitas air limbah yang dihasilkan oleh laboratorium relatif kecil, namun memiliki dampak yang nyata terhadap lingkungan sekitar laboratorium. Penggunaan bahan kimia dalam kegiatan praktikum atau penelitian di laboratorium tentunya akan menghasilkan air limbah. Air limbah yang dihasilkan dari laboratorium digolongkan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Berdasarkan zat-zat yang terkandung dalam air limbah laboratorium dari segi jumlah yang terakumulasi dan jangka waktu yang lama, air limbah akan mencemari lingkungan dan akan berdampak pada makhluk hidup yang ada disekitarnya jika langsung dibuang ke badan air (Wijayanti dan Kurniawati, 2019)

Menurut PERMENPAN No. 3 tahun 2010, laboratorium terbagi dalam 4 kategori yaitu Tipe I, Tipe II, Tipe III dan Tipe IV.

1. Laboratorium Tipe I adalah laboratorium ilmu dasar yang terdapat di sekolah pada jenjang pendidikan menengah, atau unit pelaksana teknis yang menyelenggarakan pendidikan atau pelatihan dengan fasilitas penunjang peralatan kategori I dan II, dan bahan yang dikelola adalah bahan kategori umum untuk melayani kegiatan pendidikan siswa.
2. Laboratorium Tipe II adalah laboratorium ilmu dasar yang terdapat di perguruan tinggi tingkat persiapan (semester I, II), atau unit pelaksana teknis yang menyelenggarakan pendidikan pelatihan dengan fasilitas penunjang peralatan kategori I dan II, dan bahan yang dikelola adalah bahan kategori umum untuk melayani kegiatan pendidikan mahasiswa.
3. Laboratorium Tipe III adalah laboratorium bidang keilmuan terdapat di jurusan atau program studi, atau unit pelaksana teknis yang menyelenggarakan pendidikan atau pelatihan dengan fasilitas penunjang peralatan kategori I, II, dan III, dan bahan yang dikelola adalah bahan kategori umum dan khusus untuk melayani kegiatan pendidikan, dan penelitian mahasiswa dan dosen.
4. Laboratorium Tipe IV adalah laboratorium terpadu yang terdapat di pusat studi fakultas atau universitas, atau unit pelaksana teknis yang menyelenggarakan pendidikan atau pelatihan dengan fasilitas penunjang peralatan kategori I, II, dan III, dan bahan yang dikelola adalah bahan kategori umum dan khusus untuk melayani kegiatan penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat, mahasiswa dan dosen.

Berdasarkan fungsinya, laboratorium dibagi menjadi laboratorium klinis, laboratorium perguruan tinggi dan laboratorium rumah sakit.

1. Laboratorium klinis merupakan laboratorium yang mendukung dokter dalam proses diagnosis, perawatan, dan manajemen pasien. Para profesional di laboratorium ini adalah teknisi medis berpengalaman (ahli laboratorium klinis) yang telah terlatih untuk melakukan beragam uji pada sampel biologis yang diperoleh dari pasien (Bayot et al., 2023).

2. Laboratorium perguruan tinggi merupakan laboratorium di universitas yang bertanggung jawab untuk menyediakan sarana bagi kegiatan praktik dan riset ilmiah. Cara pengelolaannya dapat berdampak langsung pada mutu penelitian dan kinerja riset di lingkungan universitas (Zhang dan Li, 2021).
3. Laboratorium Rumah Sakit merupakan laboratorium pendukung dengan risiko signifikan terkait dengan aspek keselamatan dan kesehatan. Ada berbagai potensi bahaya yang dapat terjadi karena berbagai faktor seperti bakteri, virus dan reagen (Susilowati, 2021).

Menurut Sunarti dan Ferdinandus (2021) kegiatan di laboratorium akan menghasilkan buangan berupa limbah cair yang bersumber dari kegiatan penelitian, praktikum dan analisis sampel yang dilakukan secara berkelanjutan sehingga menyebabkan penuhnya penampungan limbah. Jika hal ini tidak segera di atasi, maka masalah pada lingkungan akan timbul.

Limbah cair yang dihasilkan setelah melakukan praktikum atau pengujian di laboratorium mempunyai sifat yang berbahaya (Sari, 2019). Limbah cair dari laboratorium seringkali mengandung zat kimia yang termasuk dalam kategori limbah B3 yang sulit diuraikan, sehingga dianggap sebagai jenis limbah paling berbahaya (Pabbenteng dan Alwina, 2020)

Air limbah laboratorium berpotensi mencemari air tanah meskipun dalam jumlah yang sedikit serta mempunyai dampak yang serius terhadap lingkungan di sekitar laboratorium. Salah satu kandungan dalam limbah laboratorium adalah logam berat yang jika dilepaskan dilingkungan akan sulit dihilangkan karena sulit untuk terdegradasi (Dula Chaemiso Tamirat dan Nefo Tariku, 2019). Polutan kimia organik maupun anorganik yang dilepaskan ke udara, laut, dan tanah, menimbulkan potensi risiko kesehatan bagi tanaman, hewan dan manusia (Okereafor et al., 2020)

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah laboratorium adalah sisa dari kegiatan praktikum yang mengandung bahan berbahaya dan beracun karena sifat maupun konsentrasinya, yang baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemari dan merusak lingkungan hidup serta berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya.

2.3. Parameter Limbah

Limbah cair merujuk pada zat-zat pencemar yang berada dalam bentuk cairan. Air limbah mengacu pada air yang membawa berbagai jenis sampah dan limbah dari aktivitas rumah tangga, bisnis dan industri termasuk campuran air dengan padatan terlarut atau terendap, dan juga termasuk air hasil proses yang dibuang ke lingkungan (Suhaerin et al., 2020). Klasifikasi limbah cair yaitu terdiri dari limbah industri, limbah domestic dan limbah pertanian.

1. Limbah industri

Air limbah industri merupakan air buangan yang mengandung zat-zat yang telah terlarut atau terendap dalam air, umumnya dihasilkan selama proses produksi industri atau kegiatan pembersihan yang berlangsung bersamaan dengan proses tersebut (Woodard dan Curran, 2006).

2. Limbah domestik

Air limbah domestik merupakan air buangan yang berasal dari berbagai aktivitas rumah tangga, seperti mencuci pakaian dan peralatan. Air limbah dari rumah tangga ini dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu air limbah berwarna kuning (mengandung air seni), coklat (mengandung tinja dengan air yang disiram), hitam (mengandung air seni, tinja, dan aktivitas bakteri), serta air abu-abu (mengandung air dari dapur, cucian, pancuran, dan air untuk mencuci tangan) (Koul et al., 2022).

3. Limbah pertanian

Air limbah pertanian merupakan air buangan dari aktivitas pertanian yang mengalami pencemaran sehingga menyebabkan bau dan perubahan warna yang tidak menyenangkan bagi penduduk setempat. Sebagian pencemaran sungai disebabkan oleh air limbah yang berasal dari sektor pertanian, khususnya pertanian ladang padi seperti padatan tersuspensi, bahan organik dan amoniak (Elbehiry Alshaal, 2023).

Limbah cair yang dibuang secara langsung ke perairan tanpa melalui pengolahan menimbulkan dampak yang serius terhadap lingkungan (Ricky et al., 2022). Parameter fisik limbah cair meliputi kekeruhan, suhu, warna, bau, rasa, zat padat dan daya hantar listrik. Kekeruhan merupakan ukuran dari kemampuan cahaya untuk menembus air yang terjadi karena adanya bahan-bahan tersuspensi seperti tanah liat, lumpur, materi organik, plankton dan partikel lainnya di dalam air yang akan mempengaruhi kehidupan biota air (Alley, 2007). Proses-proses seperti sedimentasi, klorinasi dan kebutuhan oksigen biologis (BOD) dipengaruhi oleh Suhu juga memengaruhi proses biosorpsi logam berat yang terlarut dalam air. Warna berbanding lurus dengan kandungan pencemar limbah yang berasal dari bahan-bahan organik dan anorganik. Bau dan rasa pada air limbah timbul karena dekomposisi mikroba dari bahan organik yang terlarut. Kehadiran bau tersebut menjadi indikator pencemaran air akibat limbah (Weerakoon et al., 2023). Agar dapat menentukan pengolahan yang tepat agar tidak mencemari lingkungan maka karakteristik dari air limbah harus diketahui seperti yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah cair domestik

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi
1	BOD	mg/L	31,52-675,33
2	COD	mg/L	46,62-1183,4
3	KmnO ₄	mg/L	69,84-739,56
4	Amonia	mg/L	10,79-158,73
5	Nitrit	mg/L	0,013-0,274
6	Nitrat	mg/L	2,25-8,91
7	pH	-	4,92-8,99
8	Zat padat tersuspensi (SS)	mg/L	27,5-211
9	Minyak/lemak	mg/L	1-125
10	Timbal		0,002-0,04
11	Besi	mg/L	0,19-70
12	Wama	-	31-150

Sumber: Nugraha (2016)

2.4. Pencemaran Logam Berat

Logam berat didefinisikan sebagai logam yang memiliki densitas lebih besar dari 5 g cm^{-3} (H. Ali dan Khan, 2018). Logam berat menjadi salah satu fokus perhatian utama sebagai pencemar dalam perairan saat ini. Beberapa jenis logam berat memiliki peran penting dalam metabolisme makhluk hidup dalam kadar yang rendah, tetapi menjadi berbahaya jika terdapat dalam konsentrasi yang tinggi. Kadar logam berat yang tinggi bersifat toksik dan dapat membahayakan makhluk hidup. Logam berat sulit terdegradasi dan cenderung terakumulasi di tubuh makhluk hidup yang terpapar padanya (Purnawati et al., 2015). Logam berat juga merupakan polutan yang paling berbahaya di perairan karena bersifat toksik, karsinogenik, dan memberikan efek bioakumulatif dan biomagnifikasi pada makhluk hidup. Timbal (Pb) adalah salah satu logam yang paling beracun dibandingkan dengan logam berat lainnya (Usman et al., 2020). Logam berat yang berada di perairan akan terakumulasi di dalam jaringan biota air sehingga dapat merusak semua komponen melalui rantai dan sulit terurai secara alami (Razak et al., 2021).

Logam berat menjadi polutan di perairan, dan kehadirannya dapat berasal dari limbah rumah tangga, air tanah yang tercemar, dan limbah industri. Beberapa logam berat yang telah diidentifikasi sebagai polutan dalam badan air meliputi arsenik (Ar), tembaga (Cu), kadmium (Cd), timbal (Pb), kromium (Cr), nikel (Ni), merkuri (Hg), dan seng (Zn). Sekitar 20 jenis logam termasuk dalam kategori senyawa beracun dengan konsentrasi tinggi yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia (Aktor dan Muchie, 2010). Beberapa logam yang dilepaskan ke lingkungan bersumber dari berbagai sektor industri, seperti produksi baterai, kegiatan pertambangan, pelapisan listrik, dan pembangkit listrik tenaga batu bara (Jadaa dan Mohammed, 2023). Limbah industri merupakan salah satu sumber utama yang mengandung logam berat karena senyawa-senyawa ini sering digunakan dalam berbagai kegiatan industri, baik sebagai bahan baku, bahan tambahan, maupun katalis (Dewi et al., 2019). Kehadiran logam berat ini menimbulkan ancaman serius terhadap manusia, makhluk hidup lainnya dan ekosistem karena sifatnya yang sangat toksik.

Logam berat dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu logam berat esensial dan non-esensial. Logam berat esensial merupakan jenis logam yang sangat diperlukan oleh organisme hidup, namun ketika berada dalam jumlah yang berlebihan, logam ini dapat menyebabkan efek toksik (Shaheen et al., 2016). Logam berat non-esensial merupakan jenis logam yang tidak memberikan manfaat bagi tubuh atau bahkan dapat menjadi racun dalam konsentrasi yang rendah, contohnya Cd (Nguyen et al., 2019).

Industri-industri yang terkait pelapisan logam, metalurgi, kertas, pertambangan, penyamakan kulit, pertanian, bahan kimia, manufaktur baterai, dan berbagai industri lainnya merupakan sumber utama dari logam berat (Burakov et al., 2018). Kadmium (Cd), timbal (Pb), nikel (Ni), kromium (Cr), merkuri (Hg) dan metaloid seperti arsenik (As) termasuk dalam kelompok logam beracun (Witkowska et al., 2021). Air limbah yang mengandung logam berat termasuk ke dalam limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) (Widayatno et al., 2017).

Masalah utama yang menjadi perhatian adalah polusi lingkungan laut dan darat dengan logam berat beracun. Tingkat pembuangan limbah dari pabrik-pabrik yang semakin meningkat dari hari ke hari menjadi perhatian besar dalam menghadapi

masalah ini. Oleh karena itu, polusi logam berat merupakan isu lingkungan yang krusial dan perlu di atasi dengan serius (Aliff et al., 2020).

2.5. Timbal (Pb)

Timbal adalah logam berat berwarna abu-abu kebiruan yang terbentuk secara alami di kerak bumi (Rees et al., 2020). Unsur timbal memiliki nomor atom tertinggi dari semua unsur stabil yaitu 82 dengan konfigurasi elektron $[\text{Xe}] 4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$. Simbol kimia Pb diberikan kepada timbal sebagai singkatan dari kata bahasa Latin "*plumbum*". Timbal bersifat lunak dan mudah dibentuk serta memiliki titik leleh yang relatif rendah (Boldyrev, 2018). Timbal banyak digunakan dalam produksi baterai, kabel dan keperluan konstruksi. Dalam bentuk serbuk, timbal juga banyak dimanfaatkan dalam sektor industri seperti pembuatan cat, pewarna, produk kaca, dan keramik. Saat ini, asupan harian timbal di negara-negara industri berkisar antara 8 - 282 μg , dengan rata-rata asupan harian yang umumnya kurang dari 100 μg (Abdulla, 2020).

Timbal merupakan logam yang paling beracun dan umumnya berasal dari limbah industri yang masuk ke lingkungan (Dongre, 2020). Risiko keberadaan logam berat yang beracun semakin meningkatkan perhatian terhadap dampaknya terhadap lingkungan dan makhluk hidup termasuk manusia dan hewan. Toksisitas logam berat menjadi perhatian yang serius. Saat ini, banyak upaya penelitian dilakukan untuk menganalisis sejauh mana kontaminasi timbal yang berasal dari tanah, saluran-saluran air, dan limbah cair (Khan et al., 2023). Secara umum timbal merupakan salah satu logam yang paling beracun di lingkungan (Raj dan Das, 2023). Logam ini dapat berasal dari berbagai sumber seperti udara, makanan, minuman dan dapat juga masuk melalui kontak mata. Penumpukan timbal dalam tubuh dapat menimbulkan dampak yang merugikan seperti kerusakan pada gigi, kekurangan sel darah merah dan gangguan fungsi ginjal. Jika timbal berhasil menyebar ke jaringan lunak hingga ke tulang dan gigi maka berpotensi memicu terjadinya osteoporosis (Samsiyah et al., 2019). Sedangkan pada hewan, timbal dapat terserap ke dalam serum darah, paru-paru, hati, ginjal, tulang, otak, rambut dan tulang rusuk (Stoklasová et al., 2020).

2.6. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah unsur kimia dengan simbol Cu (dari bahasa Latin: cuprum) dan nomor atom 29. Ini merupakan logam yang memiliki sifat ulet, serta memiliki tingkat termal dan konduktivitas listrik yang tinggi. Tembaga murni memiliki sifat lembut dan lunak; permukaan yang baru terkena memiliki warna kemerahan-oranye (Rudianto et al., 2022). Tembaga juga bersifat mudah ditempa, meleleh pada suhu 1083°C, memiliki berat jenis sebesar 7,84 dan dapat bereaksi dengan udara pada suhu kamar (Murdiyanto dan Ismail, 2020). Bentuk senyawa tembaga seperti CuCO_3 dan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ umumnya terdapat di perairan (Indah et al., 2021). Tembaga (Cu) merupakan logam esensial yang penting bagi manusia, hewan dan tumbuhan karena memiliki peran penting dalam berbagai proses biokimia dan fisiologis. Meskipun tembaga merupakan berfungsi bagi makhluk hidup tetapi jika konsentrasi melewati ambang batas maka dapat berbahaya bagi makhluk hidup (Shabbir et al., 2020).

Polutan tembaga pada perairan menjadi isu yang semakin serius karena berdampak serius bagi kesehatan manusia dan ekosistem perairan. Tingginya tingkat

polusi tembaga dapat berdampak negatif pada kehidupan organisme di dalam perairan termasuk ikan, hewan air lainnya dan tanaman air. Tembaga yang melebihi ambang batas dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan dan merusak populasi hewan dan tumbuhan yang hidup di dalamnya (Liu et al., 2023). Paparan kronis terhadap tembaga menyebabkan anemia, toksisitas hati dan cacat neurologis yang parah (Karim, 2018). Terdapat metode konvensional untuk mengurangi kadar logam berat pada limbah cair yaitu presipitasi, pertukaran ion, penyerapan secara biologis, filtrasi membran, elektrokimia dan adsorpsi. Di antara metode tersebut adsorpsi merupakan metode yang sederhana, efektif dan ekonomis (Lestari et al., 2020).

2.7. Metode Pengolahan Limbah

Menurut Shah (2023) Air limbah merupakan air tercemar yang mengandung polutan dari berbagai sumber seperti rumah tangga, pertanian dan industri. Sebelum dibuang ke badan air, air limbah harus menjalani proses dekontaminasi untuk mencegah pencemaran lebih lanjut. Jenis air limbah dapat diklasifikasikan berdasarkan beragam aktivitas manusia dan berbagai sumbernya, seperti air hujan, banjir, kegiatan domestik sehari-hari dan juga dari berbagai sumber komersial seperti pabrik industri. Teknologi pengolahan air limbah berperan penting dalam mengurangi degradasi lingkungan (Khan et al., 2022). Terdapat tiga jenis teknologi pengolahan air limbah yaitu secara fisik, kimia dan biologis (Z. Li dan Yang, 2018). Pengolahan air limbah secara kimia dapat digunakan untuk mengurangi limbah seperti logam berat, partikel tersuspensi, bahan organik dan koloid (Al-Ghouthi et al., 2019).

Berdasarkan Undang-Undang No. 11 Tahun 2020 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (P3LH) pada Bab VII. Pengelolaan Limbah B3 dan Pengelolaan Limbah non B3 pada pasal 59 ayat:

1. Setiap orang yang menghasilkan Limbah B3 wajib melakukan Pengelolaan Limbah B3 yang dihasilkannya.
2. Dalam hal B3 telah kedaluwarsa, pengelolaannya mengikuti ketentuan Pengelolaan Limbah B3
3. Dalam hal setiap orang tidak mampu melakukan sendiri Pengelolaan Limbah B3, pengelolaannya diserahkan kepada pihak lain.
4. Pemerintah Pusat atau Pemerintah Daerah wajib mencantumkan persyaratan lingkungan hidup yang harus dipenuhi dan kewajiban yang harus dipatuhi pengelola limbah B3 dalam Perizinan Berusaha, atau persetujuan Pemerintah Pusat atau Pemerintah Daerah.
5. Keputusan pemberian Perizinan Berusaha wajib diumumkan.
6. Ketentuan lebih lanjut mengenai Pengelolaan Limbah B3 diatur dalam Peraturan Pemerintah

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara Dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun bahwa Pengelolaan Limbah B3 adalah kegiatan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan/atau penimbunan limbah B3.

2.8. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan metode yang efektif dalam mengatasi masalah pencemaran lingkungan. Adsorpsi adalah terserapnya suatu zat (molekul atau ion) pada permukaan adsorben (Wijayanti dan Kurniawati, 2019). Metode adsorpsi bergantung pada daya tarik permukaan adsorben terhadap molekul-molekul gas, uap, atau cairan. Proses adsorpsi berlangsung jika suatu permukaan padatan dan molekul-molekul gas dan cairan dikontakkan dengan molekul-molekul tersebut, maka di dalamnya terdapat gaya kohesif termasuk gaya hidrostatis dan gaya ikatan hidrogen yang bekerja di antara molekul seluruh material (Putra et al., 2022). Adsorben adalah zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida (Djunaidi et al., 2020). Kemudian adsorbat akan teradsorpsi dan kemudian akan terikat di permukaan (Irawan, 2018). Gugus fungsi hidroksil dan karboksil pada selulosa dapat melakukan pengikatan dengan logam (A. A. Rahman dan Difinubun, 2023). Adsorpsi berbeda dengan absorpsi. Pada absorpsi zat yang diserap masuk ke dalam adsorben sedang pada adsorpsi, zat yang diserap hanya pada permukaan (Sukardjo, 2002).

Berbagai jenis adsorben karbon aktif telah dikembangkan yang terbukti efektif dalam mengadsorpsi ion logam berat, namun demikian, proses produksinya tergolong mahal dan rumit (Al-Ghouthi dan Da'ana, 2020). Untuk itu, selama sepuluh tahun terakhir penelitian secara ekstensif diarahkan untuk mencari jenis adsorben yang relatif lebih murah dan mudah didapatkan (Nurdila et al., 2015).

Jumlah zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben merupakan proses berkesetimbangan, sebab laju adsorpsi disertai dengan terjadinya desorpsi. Pada awal reaksi, peristiwa adsorpsi lebih dominan dibandingkan dengan peristiwa desorpsi, sehingga adsorpsi berlangsung cepat. Pada waktu tertentu peristiwa adsorpsi cenderung berlangsung lambat, dan sebaliknya laju desorpsi cenderung meningkat. Ketika laju adsorpsi adalah sama dengan laju desorpsi sering disebut sebagai keadaan berkesetimbangan. Waktu tercapainya keadaan setimbang pada proses adsorpsi berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat. Secara umum waktu tercapainya kesetimbangan adsorpsi melalui mekanisme fisika (fisisorpsi) lebih cepat dibandingkan dengan melalui mekanisme kimia atau kemisorpsi (Dewi et al., 2019).

Sifat dan jenis adsorpsi ditentukan oleh tingkat interaksi yang terjadi ketika molekul adsorbat terakumulasi pada adsorben. Berdasarkan kekuatan interaksinya, yaitu fisisorpsi (adsorpsi fisik) dan kemisorpsi (adsorpsi kimia). Fisisorpsi terjadi ketika interaksi molekuler antara molekul adsorbat dan adsorben didominasi oleh gaya van der Waals, sedangkan kemisorpsi melibatkan pembentukan ikatan kimia antara molekul adsorbat dan adsorben. Dengan kata lain, kemisorpsi terjadi jika ada ikatan kimia yang terbentuk dalam proses adsorpsi (Agboola dan Benson, 2021).

Laju dan jumlah adsorbat yang dapat diserap dalam suatu proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Luas Permukaan

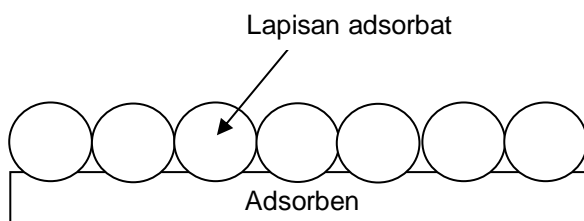
Semakin luas permukaan adsorben maka semakin banyak zat yang dapat diserap. Luas permukaan dipengaruhi oleh ukuran partikel dan jumlah adsorben (Lamuru et al., 2023).

2. Temperatur
Pemanasan pada adsorben dapat meningkatkan daya serap adsorben dalam mengadsorpsi adsorbat (Almajali et al., 2021).
3. Derajat Keasaman (pH)
Derajat keasaman (pH) memiliki peran penting dalam proses adsorpsi karena mempengaruhi muatan situs aktif pada adsorben serta mempengaruhi spesies logam yang ada dalam larutan (Pratiwi dan Fauzi, 2022).
4. Waktu Kontak
Waktu kontak berpengaruh terhadap daya serap adsorben (Zunifer dan Ayu, 2020).
5. Konsentrasi Adsorben
Kemampuan penyerapan adsorbat meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi adsorben, karena peningkatan konsentrasi adsorben menghasilkan peningkatan jumlah situs aktif adsorben (Iftekhar et al., 2018).

Adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan metode *batch* yang terdiri atas tiga tahap yaitu penentuan ukuran adsorben, penentuan massa adsorben, dan penentuan konsentrasi limbah buatan (Hariyanti dan Razif, 2019). Kemudian memasukkan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah yang berisi adsorben lalu diaduk dan juga mengamati perubahan kualitasnya dalam waktu tertentu. Pada umumnya metode adsorpsi secara *batch* menggunakan adsorben dalam bentuk powder atau serbuk yang telah diayak terlebih dahulu. Dalam proses penyerapan, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penyerapan logam secara *batch* diantaranya adalah ukuran adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi (Rahayu et al., 2021).

Proses penyerapan atau adsorpsi oleh suatu adsorben dipengaruhi banyak faktor dan juga memiliki pola isoterm adsorpsi tertentu yang spesifik. Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Karena dipengaruhi faktor-faktor adsorpsi, maka setiap adsorben yang menyerap suatu zat satu dengan zat lain tidak akan mempunyai pola isoterm adsorpsi yang sama. Diketahui bahwa terdapat dua jenis persamaan pola isoterm adsorpsi yang sering digunakan pada proses adsorpsi dalam larutan yaitu persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich (Wijayanti dan Kurniawati, 2019).

Isoterm Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorben maksimum tercapai karena terbentuknya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat pada permukaan adsorben seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Lapisan monolayer pada Isoterm Langmuir (Mohamed dan Mehana, 2020).

Persamaan Langmuir berdasarkan asumsi bahwa adsorpsi terjadi secara monolayer, bersifat reversibel dan dinyatakan sebagai berikut (Mittal et al., 2007)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} \cdot b} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (1)$$

Model isotermal Freundlich tidak terbatas pada adsorpsi satu layer saja, sehingga walaupun adsorben telah mencapai titik jenuh, proses adsorpsi masih tetap dapat berlangsung hingga tahap tertentu. Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich (Mittal et al., 2007) :

$$q_e = k_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Persamaan di atas dapat diubah ke dalam bentuk linier dengan mengambil bentuk logaritmanya :

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

Dimana, C_e adalah konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L), k_f adalah konstanta adsorpsi Freundlich, n adalah konstanta empiris, dan q_e adalah jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g)

2.9. Potensi Batang Sorgum sebagai Adsorben Ion Logam Berat

Sorgum (*Sorghum bicolor L.*) merupakan salah satu tanaman penghasil karbohidrat urutan kelima di dunia. Tanaman ini memerlukan jumlah air yang lebih sedikit dan mampu bertahan dalam kondisi yang ekstrem dibandingkan dengan tanaman penghasil karbohidrat lainnya (Balakrishna et al., 2020). Di Indonesia, sorgum telah lama ditanam dengan cara konvensional dan telah menjadi bahan makanan utama di beberapa wilayah, khususnya di Jawa, Nusa Tenggara Barat, dan Nusa Tenggara Timur. Menurut Kartini dan Pandebesie (2016) setelah sorgum dipanen akan menghasilkan limbah pertanian berupa batang sorgum yang umumnya belum memiliki nilai ekonomis dan ketersediannya cukup melimpah. Batang sorgum seperti yang terlihat pada gambar 2 dapat digunakan sebagai adsorben karena merupakan limbah pertanian dengan ketersediaan yang melimpah, lebih ramah lingkungan dan ekonomis (Kwikima et al., 2021).



Gambar 2. Sorgum (*Sorghum bicolor L.*)

Menurut Global Biodiversity Information Facility, tanaman sorgum dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Filum : Tracheophyta
Kelas : Liliopsida
Sub Kelas : Commelinidae
Ordo : Poales
Famili : Poaceae
Genus : *Sorghum* Moench
Spesies : *Sorghum bicolor* subsp. *bicolor* (L.) Moench

Menurut Kusumah et al (2017) bahwa batang sorgum mengandung selulosa 34,87%, hemiselulosa 30,95%, lignin 24,90% dan abu 4,51% sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan yang mampu mengurangi kadar logam berat. Lignin dan selulosa yang terdapat pada batang sorgum mengandung gugus fungsi yang dapat mengikat logam berat dengan cara menyumbangkan pasangan elektronnya (Edbert dan Akunna, 2017). Selulosa yaitu bahan yang dapat digunakan sebagai adsorben. Selulosa umumnya mengandung gugus fungsional COOH dan -OH dimana terjadi interaksi antara logam dengan gugus fungsional yang ada dipermukaan adsorben sehingga dapat digunakan sebagai media penyerap logam berat (Djunaidi et al., 2020). Logam-logam yang dapat diserap seperti timbal (Pb^{2+}), tembaga (Cu^{2+}) dan kadmium (Cd^{2+}). Disebut logam berat berbahaya karena konsentrasi kecil dapat bersifat racun dan berbahaya. Pemanfaatan kandungan selulosa pada bahan organik merupakan salah satu cara yang dapat digunakan dalam pengolahan air limbah (Peng et al., 2020)

2.10. Kerangka Penelitian

