

FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN TANAMAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*) UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT KROMIUM HEKSAVALEN (Cr^{6+}) DENGAN SISTEM *BATCH*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)
Program Studi Teknik Lingkungan



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh

RAHMA OKTARINA RAMLI

NIM. H05219012

Dosen Pembimbing

Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL

Abdul Hakim, M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Rahma Oktarina Ramli
Nim : H05219012
Program Studi : Teknik Lingkungan
Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul **“FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN TANAMAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*) UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT KROMIUM HEKSAVALEN (Cr^{6+}) DENGAN SISTEM *BATCH*”**. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan tindakan plagiat maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 14 Juli 2023
Yang Menyatakan



(Rahma Oktarina Ramli)
NIM. H05219012



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031 - 8410298 Fax. 031 - 8413300
E-Mail : saintek@uinsby.ac.id Website : www.uinsby.ac.id

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING
SIDANG TUGAS AKHIR**

Nama : Rahma Oktarina Ramli
NIM : H05219012
Judul Tugas Akhir : Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) Dengan Sistem *Batch*

Telah disetujui untuk pendaftaran Sidang Tugas Akhir

Surabaya, 26 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1

Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL
NIP. 198512112014031002

Dosen Pembimbing 2

Abdul Hakim, M.T
NIP. 198008062014031002

PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG AKHIR

Nama : Rahma Oktarina Ramli
NIM : H05219012
Judul : Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*)
Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr^{6+})
Dengan Sistem *Batch*

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Di Surabaya, Kamis 06 Juli 2023

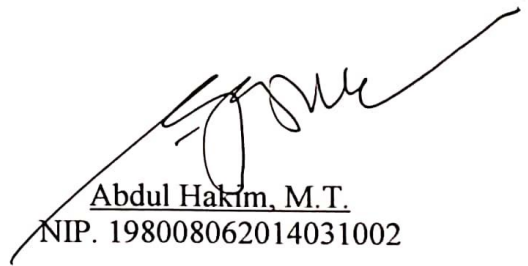
Mengesahkan,
Dewan Penguji,

Penguji I



Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL
NIP. 198512112014031002

Penguji II



Abdul Hakim, M.T.
NIP. 198008062014031002

Penguji III



Widya Nilandita, M.KL
NIP. 198410072014032002

Penguji IV



Rr. Diah Nugraheni S., M.T.
NIP. 198205012014032001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
LIIN Sunan Ampel Surabaya



Abdul Hamdani, M. Pd
NIP. 198507312000031002



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : RAHMA OKTARINA RAMLI
NIM : H05219012
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : rahma.oktarinar1110@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Sekripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul:

**FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN TANAMAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*)
UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT KROMIUM HEKSAVALEN
(Cr⁶⁺) DENGAN SISTEM *BATCH***

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 14 Juli 2023

Penulis

(Rahma Oktarina Ramli)

ABSTRAK

Fitoremediasi Menggunakan Tanaman *Hydrilla verticillata* Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) Dengan Sistem *Batch*

Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) merupakan salah satu jenis logam yang bersifat korosif dan karsinogenik dimana keberadaannya dapat menurunkan kualitas air yang menyebabkan terganggunya organisme akuatik dan membahayakan kesehatan manusia. Logam ini memiliki daya yang 1000 kali lebih aktif dibandingkan dengan jenis kromium lainnya. Untuk mengatasi permasalahan akibat paparan logam kromium heksavalen (Cr^{6+}) dapat dilakukan dengan teknologi fitoremediasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi penyerapan logam Cr^{6+} oleh tanaman *Hydrilla verticillata*. Metode penelitian ini bersifat kuantitatif eksperimental laboratorium menggunakan sistem *batch* dengan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 9,78 mg/L. Variasi berat yang digunakan yaitu 0 tanaman pada reaktor kontrol, 100 gr pada reaktor A dan B dan 200 gr tanaman pada reaktor C dan D dengan waktu kontak selama 0, 3, 6, dan 9 hari. Hasil penelitian menunjukkan tanaman *Hydrilla* mengalami perubahan morfologi dibuktikan dengan adanya daun yang menguning, kerontokkan, serta terdapat pertumbuhan tunas dan daun baru. Efisiensi penyerapan logam Cr^{6+} setelah 9 hari perlakuan pada reaktor kontrol sebesar 9,18%, pada reaktor A sebesar 70,76%, reaktor B sebesar 69,94%, reaktor C sebesar 86,40%, dan reaktor D sebesar 85,89%. Sedangkan hasil analisis uji *One Way Anova* menunjukkan nilai sig 0,222 dimana nilai ini $> 0,05$ sehingga H_0 diterima dan dapat dikatakan tidak terdapat perbedaan terhadap variasi berat tanaman *Hydrilla* dalam menurunkan logam berat kromium Cr^{6+} .

Kata Kunci: Fitoremediasi, *Hydrilla verticillata*, Kromium Heksavalen (Cr^{6+}), Sistem *Batch*

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

*Phytoremediation Using Hydrilla Plant (*Hydrilla verticillata*) To Reduce The Levels Of The Heavy Metal Chromium Hexavalent (Cr^{6+}) Using The Batch System*

*Chromium Hexavalent (Cr^{6+}) is a corrosive and carcinogenic heavy metal that can deteriorate water quality, disrupt aquatic organisms, and pose a health risk to humans. This metal is 1000 times more active than other types of chromium. Overcoming the problems caused by exposure to hexavalent chromium (Cr^{6+}) can be done with phytoremediation technology. This study aimed to determine the efficiency of Cr^{6+} absorption by *Hydrilla verticillata* plants. This research method is a quantitative experimental laboratory that uses a batch system with a Cr^{6+} concentration of 9,78 mg/L. The weight variations used were 0 plants in the control reactor, 100 g in reactors A and B, and 200 g of plants in reactors C and D with contact times of 0, 3, 6, and 9 days. The results showed that the *Hydrilla* plant underwent morphological changes, as evidenced by yellowing leaves, drooping, and growth of new shoots and leaves. The absorption efficiency of Cr^{6+} metal after nine days of treatment was 9,18% in the control reactor, 70,76% in reactor A, 69,94% in reactor B, 86,40% in reactor C, and 85,89% in reactor D. The One-Way Anova test analysis showed a sig value of 0.222, where this value was $> 0,05$, so H_0 was accepted there was no difference in the variation in the weight of the *Hydrilla* plant in reducing the heavy metal chromium Cr^{6+} .*

Keywords: *Phytoremediation, *Hydrilla verticillata*, Hexavalen Chromium (Cr^{6+}), Batch System*

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR SINGKATAN.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	xiii
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Fitoremediasi	6
2.1.1 Kelebihan kekurangan Fitoremediasi.....	6
2.1.2 Mekanisme Fitoremediasi	7
2.1.3 Aklimatisasi	9
2.2 Tanaman Hiperakumulator.....	10
2.3 <i>Hydrilla verticillata</i>	12
2.4 Logam Berat	14
2.4.1 Logam Berat Kromium (Cr).....	15
2.4.2 Karakteristik Logam Berat Kromium (Cr).....	16
2.4.3 Dampak Logam Berat Kromium (Cr).....	17
2.5 Baku Mutu Logam Kromium Heksavalen	18
2.6 Sistem <i>Batch</i>	20
2.7 Integrasi Keislaman	21

2.8	Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III METODE PENELITIAN		29
3.1	Rancangan Penelitian	29
3.2	Waktu Penelitian	29
3.3	Lokasi Penelitian	30
3.4	Alat dan Bahan Penelitian	30
3.5	Variabel Penelitian	30
3.6	Kerangka Pikir Penelitian.....	31
3.7	Tahapan Penelitian	32
3.7.1	Tahap Persiapan Penelitian	33
3.7.2	Tahap Pelaksanaan Penelitian	33
3.7.3	Tahap Pengolahan Data dan Penyusunan Laporan	39
3.8	Hipotesis Penelitian	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Aklimatisasi Tanaman	41
4.2	Uji Fitoremediasi Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	43
4.3	Analisis pH dan Suhu pada uji Fitoremediasi	55
4.4	Analisis Kandungan Logam Kromium Heksavalen (Cr ⁶⁺) Pada Air	59
4.5	Efisiensi Removal Logam Kromium Heksavalen (Cr ⁶⁺).....	60
4.6	Analisis Perbedaan Variasi Berat Tanaman Hydrilla Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Kromium Heksavalen Cr ⁶⁺	66
4.6.1	Uji Normalitas.....	66
4.6.2	Uji Homogenitas	67
4.6.3	Uji <i>One Way Anova</i>	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		70
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN A: HASIL LABORATORIUM		80
LAMPIRAN B: VALIDASI TANAMAN		101
LAMPIRAN C: DOKUMENTASI.....		103
LAMPIRAN D: ANALISIS SPSS		107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya	18
Tabel 2.2 Kriteria Air Berdasarkan Peruntukannya	20
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	29
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan	37
Tabel 4.1 Proses Aklimatisasi Tanaman	41
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Fitoremediasi Tanaman Hydrilla.....	45
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran pH	56
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Suhu	58
Tabel 4.5 Analisis Kadar Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor	59
Tabel 4.6 Efisiensi Removal Penyerapan Logam (Cr ⁶⁺).....	64
Tabel 4.7 Hasil Uji Normalitas.....	67
Tabel 4.8 Uji Homogenitas	67
Tabel 4.9 Uji <i>One Way Anova</i>	68

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Fitoremediasi.....	8
Gambar 2.2 Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	13
Gambar 3.1 Kerangka Pikir Peneiltian	31
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian	32
Gambar 3.3 Desain Reaktor <i>Batch</i>	36
Gambar 3.4 Reaktor Kontrol (0 tanaman).....	38
Gambar 3.5 Reaktor 100 gr tanaman.....	38
Gambar 3.6 Reaktor 200 gr tanaman.....	38
Gambar 4.1 Kondisi Tanaman Sebelum dan Setelah Perlakuan.....	54
Gambar 4.2 Grafik Perubahan Nilai pH	57
Gambar 4.3 Grafik Perubahan Nilai Suhu	58
Gambar 4.4 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor Kontrol	61
Gambar 4.5 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor A	61
Gambar 4.6 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor B	62
Gambar 4.7 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor C	63
Gambar 4.8 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor D	63
Gambar III-1. Pembuatan Larutan Kromium	104
Gambar III- 2. Penimbangan massa tanaman Hydrilla.....	104
Gambar III-3. Pengukuran pH Air	104
Gambar III-4. Pengukuran Suhu Air.....	105
Gambar III-5. Kondisi Tanaman Sebelum dan Setelah Perlakuan	105
Gambar III-6. Kondisi Pertumbuhan Tunas Pada Hari Terakhir.....	105
Gambar III-7. Daun baru yang tumbuh pada hari ke-6 fitoremediasi.....	106
Gambar III-8. Kondisi Batang Tanaman	106
Gambar III-9. Pengawetan Dengan HNO ₃	106
Gambar III-10. Hasil Uji Normalitas	108
Gambar III-11. Hasil Uji Homogenitas	108
Gambar III-12. Hasil Analisis Uji <i>One Way Anova</i>	108

DAFTAR SINGKATAN

AAS	: <i>Automatic Absorption Spectrofotometer</i>
Ag	: Perak
As	: Arsenik
Cu	: Tembaga
Cd	: Kadmium
cm	: Sentimeter
Co	: Kobalt
Cr	: Kromium
Cr ³⁺	: Kromium Trivalen
Cr ⁶⁺	: Kromium Heksavalen
Fe	: Besi
gr	: gram
Hg	: Merkuri
L	: Liter
Mn	: Mangan
Mg/L	: Miligram per liter
ml	: Mililiter
mm	: Milimeter
Ni	: Nikel
OH ⁻	: Ion Hidroksida
PDAM	: Perusahaan Daerah Air Minum
Pb	: Timbal
pH	: <i>Potensi Hydrogen</i>
Sig.	: Signifikasi
SPSS	: <i>Statistical Product and Service Solution</i>
Zn	: Seng

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A: HASIL LABORATORIUM	80
LAMPIRAN B: VALIDASI TANAMAN	101
LAMPIRAN C: DOKUMENTASI.....	103
LAMPIRAN D: ANALISIS SPSS	107



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan adanya kemajuan teknologi pertumbuhan industri terus mengalami perkembangan secara pesat. Saat ini logam berat hampir ditemui pada semua limbah industri dan limbah domestik (Afdila & Helmiady, 2020). Pertumbuhan industri manufaktur pada tahun 2015 sebesar 4,37%, dan naik pada tahun 2022 menjadi 4,89% (BPS, 2023). Banyaknya industri di Indonesia ini menyebabkan bertambahnya kuantitas limbah yang dihasilkan.

Logam berat adalah suatu zat pencemar berbahaya yang tidak dapat didegradasi (*non degradable*) maupun dihancurkan yang tersebar di air, tanah dan udara (Irianti dkk., 2017). Logam berat yang ada pada perairan dapat masuk ke dalam tubuh dan terakumulasi di dalamnya (Ulumudin & Purnomo, 2022). Salah satu bahan pencemar industri yang sangat membahayakan adalah logam berat Kromium (Cr) (Lestari & Aminatun, 2018).

Logam Kromium, Timbal, dan Kadmium merupakan jenis logam berat yang sangat toksik dibandingkan dengan logam berat lainnya (Pujananto, 2020). Kromium kerap dimanfaatkan sebagai bahan baku industri (Afdila & Helmiady, 2020) yang terbentuk dalam dua bentuk oksida yaitu Cr^{3+} yang bersumber pada kegiatan industri tekstil, kulit, dan baja. Sedangkan limbah Cr^{6+} dari kegiatan industri pelapisan logam, tekstil, dan kulit (Agustina dkk., 2018).

Apabila limbah diatas mengkontaminasi perairan maka akan mengakibatkan toksisitas dan menyebabkan pencemaran lingkungan yang sangat berbahaya bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Hal ini tentu bertentangan dengan firman Allah SWT yang telah dijelaskan dalam surah Al-A'raf ayat 56 yang berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: *Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.*

Pencemaran logam kromium ditemukan pada wilayah perairan Sungai Opak yang menyebabkan turunnya kualitas air. Logam kromium terdistribusi di daerah desa Banyakan sebesar 1,538 mg/l dan berdampak pada matinya ribuan ikan pada Sungai Opak akibat logam berat kromium (Cr). Hadirnya logam kromium pada lingkungan akibat pembuangan limbah akan menyebabkan terjadinya pencemaran yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan (Rahardjo & Prasetyaningsih, 2018). Selain itu, logam kromium dengan jumlah besar dapat terakumulasi pada tubuh manusia dan menyebabkan gangguan pada ginjal, organ hati, gangguan janin, hingga kanker (USEPA, 2000 dalam Rahardjo & Prasetyaningsih, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh (Sumantri & Rahmani, 2020) menganalisis kadar logam berat kromium Cr^{6+} di hulu sungai Citarum akibat kegiatan 1500 industri yang menghasilkan limbah hingga 2.800 ton per harinya. Limbah Kromium Cr^{6+} dari kegiatan industri ini menimbulkan pencemaran pada sungai Citarum dan telah melebihi baku mutu menurut PP No. 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 0,093 mg/L. Hal ini dapat membahayakan kesehatan karena sungai ini dimanfaatkan warga untuk kebutuhan sehari-hari dan menjadi sumber air baku air minum.

Terpaparnya logam kromium (Cr) terhadap tubuh manusia dalam jumlah yang besar dapat mengakibatkan penyakit berbahaya seperti kanker, gangguan organ hati, serta menghambat pertumbuhan janin. Selain itu hadirnya logam kromium (Cr) pada perairan menyebabkan turunnya kualitas air dan dapat mengganggu organisme akuatik sehingga kerja enzim dalam proses fisiologis terganggu (Darmawan dkk., 2021). Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan produktivitas akibat ketidakseimbangan fungsi tubuh karena paparan dari logam kromium yang berlebih (Astuti dkk., 2022).

Untuk memperbaiki permasalahan limbah logam berat Kromium (Cr) pada perairan, dapat dilakukan pengolahan limbah secara biologi yaitu fitoremediasi. Fitoremediasi adalah teknik untuk mengatasi permasalahan pencemaran pada suatu wilayah dengan memanfaatkan tumbuhan yang dapat menyerap logam berat ke dalam sel jaringannya sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan (Lucyan, 2021). Fitoremediasi menggunakan metode yang sederhana, efisien,

dan ramah lingkungan. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan proses fitoremediasi untuk mengurangi kadar logam berat pada perairan.

Secara umum tumbuhan dapat bertindak sebagai hiperakumulator untuk menghilangkan kontaminan logam berat bersama polutan lainnya melalui proses fitoremediasi. Pengolahan biologi secara fitoremediasi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, pemilihan tanaman, dan pertumbuhan tanaman (Tan et al, 2023).

Makrofit akuatik ditemukan memiliki potensi besar untuk mengakumulasi logam berat hingga 100.000 kali lebih besar dari jumlah air yang terkait (Muthusaravanan et al., 2018). Tumbuhan air memiliki kemampuan untuk mengakumulasi unsur yang diperlukan dan tidak diperlukan, sehingga kemampuan ini digunakan untuk menghilangkan logam yang ada pada perairan (Ahmed et al., 2018). Salah satu jenis tanaman yang mampu mengurangi logam berat dengan fitoremediasi adalah tanaman air *Hydrilla (Hydrilla verticillata)*.

Tanaman *Hydrilla* merupakan jenis tanaman terendam yang mampu menyerap logam berat dalam jumlah besar, memiliki siklus pertumbuhan yang panjang, area kontak yang luas dan toleransi terhadap suhu, dan pH (Zhang et al., 2020). Seluruh tubuhnya yang terendam air menyebabkan *Hydrilla* mampu menyerap kontaminan logam berat seperti Kromium (Cr) dari akar hingga tajuknya. Penelitian yang dilakukan oleh (Ahmed et al., 2018) menganggap tanaman ini sebagai salah satu tanaman perairan penting yang terbukti efisiensinya di banyak bidang dan mampu mengurangi berbagai jenis polutan baik senyawa kimia beracun atau logam berat. Efisiensi merupakan suatu usaha untuk mencapai tujuan secara maksimal dengan meminimalkan sumber daya.

Menurut studi terdahulu penggunaan tanaman *Hydrilla* mampu menghilangkan kadar limbah logam berat Timbal (Pb) hingga 83,7% yang menunjukkan potensinya sebagai penyerap logam yang baik (Ahmed et al., 2018). Selain itu, (Lucyan, 2021) mengungkapkan bahwa *Hydrilla* mampu menyerap Tembaga hingga 92%. Penelitian serupa juga dilakukan (Novi dkk., 2019) dimana *Hydrilla* efektif dalam menurunkan logam berat seng (Zn) hingga 50%.

Oleh karena itu, tanaman *Hydrilla* dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya dalam menyerap logam berat yang dapat memulihkan kualitas

air dengan proses fitoremediasi. Sehingga penelitian ini diharapkan dapat mengurangi kadar logam kromium (Cr).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana perubahan fisik yang terjadi pada tanaman *Hydrilla verticillata* selama proses fitoremediasi berlangsung?
2. Bagaimana nilai efisiensi *removal* dalam menurunkan logam Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) dengan menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata*?
3. Bagaimana perbedaan variasi berat tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan kadar logam Kromium Heksavalen (Cr^{6+})

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perubahan fisik yang terjadi pada tanaman *Hydrilla verticillata* selama proses fitoremediasi berlangsung
2. Mengetahui nilai efisiensi *removal* dalam menurunkan Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) dengan menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata*
3. Menganalisis perbedaan variasi berat tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan kadar logam Kromium Heksavalen (Cr^{6+})

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagi Akademisi

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai wawasan dan referensi ilmu pengetahuan mengenai fitoremediasi dan pemanfaatan tanaman *Hydrilla verticillata*.

2. Bagi Instansi

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai alternatif untuk instansi dalam mengurangi kadar limbah yang masih melebihi sebelum dibuang ke perairan dengan biaya yang relatif murah.

3. Bagi Masyarakat

Penelitian ini dapat memberikan informasi pada masyarakat mengenai dampak berbahaya dari pencemaran limbah logam berat serta pemanfaatan tanaman *Hydrilla* yang sering dianggap sebagai Gulma.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dalam penelitian ini yaitu:

1. Air limbah yang digunakan adalah limbah artifisial Cr^{6+} dengan konsentrasi 9,78 mg/L
2. Tanaman yang digunakan adalah tanaman *Hydrilla verticillata*
3. Penelitian bersifat eksperimental dan dilakukan selama 16 hari termasuk proses aklimatisasi selama 7 hari dan 9 hari penelitian fitoremediasi
4. Air yang digunakan untuk proses aklimatisasi adalah air PDAM
5. Variasi berat tanaman yang digunakan adalah 0, 100 gram, dan 200 gram
6. Parameter yang diukur meliputi pH, suhu, morfologi, dan logam kromium
7. Reaktor yang digunakan menggunakan sistem *batch* sebanyak 5 buah dengan panjang 40 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 20 cm.
8. Pengukuran morfologi tanaman, pH, dan suhu tanaman dilakukan setiap hari
9. Pengukuran kandungan limbah Cr^{6+} dilakukan selama 9 hari yaitu pada hari ke- 0, 3, 6, dan 9
10. Pada penelitian ini hanya dilakukan pengujian pada logam berat kromium heksavalen Cr^{6+}

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fitoremediasi

Teknologi fitoremediasi adalah salah satu metode bioremediasi menggunakan tanaman sebagai media untuk mengakumulasi atau menguraikan kontaminan menjadi bentuk yang tidak berbahaya (Venskateswarlu et al., 2019). Pemanfaatan tanaman dalam pengolahan limbah merupakan salah satu teknik penting dalam penghilangan polutan karena tidak memiliki efek buruk terhadap lingkungan dengan biaya yang rendah. Hal ini berbeda dengan pengolahan yang menggunakan metode fisika dan kimia yang berbahaya bagi lingkungan dan membutuhkan biaya yang cukup besar (Ahmed et al., 2018). Logam berat pada proses ini akan diserap oleh daun Hydrilla dan kemudian terakumulasi pada bagian lainnya. Fitoremediasi tergantung pada kemampuan tanaman untuk mengakumulasi kadar logam beracun di dalam jaringannya (Hasan et al., 2019).

Beberapa keuntungan dengan proses fitoremediasi ialah metode ini dapat menjadi alternatif dalam mengatasi permasalahan pencemaran pada lingkungan secara ekonomis, sederhana, dan efektif dalam menurunkan kontaminan sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan (Astuti dkk., 2022). Metode ini aman digunakan dan memanfaatkan teknologi lahan basah seperti kolam atau tempat dangkal yang ditanami tumbuhan (Elmiyyah., 2022). Teknologi fitoremediasi sangat efektif dan berguna untuk mengatasi berbagai macam kontaminan lingkungan dan menjadi alternatif dari metode lainnya yang memiliki biaya yang cukup tinggi (Sukono dkk., 2020).

2.1.1 Kelebihan kekurangan Fitoremediasi

Beberapa kelebihan dari proses fitoremediasi menurut (Galadima et al., 2018) antara lain:

1. Tidak memerlukan peralatan yang mahal dan keahlian yang tinggi
2. Mengurangi penyebaran kontaminan pada lingkungan
3. Dapat dilakukan pada wilayah yang terkontaminasi oleh campuran organik dan anorganik

4. Tingkat gangguan tanah yang rendah selama proses teknik *In Situ*

Adapun kelemahan dari proses fotoremediasi menurut (Galadima et al., 2018) yaitu:

1. Membutuhkan proses pembuangan tanaman yang tepat setelah proses pengujian
2. Dapat mengganggu keanekaragaman hayati karena adanya spesies tanaman baru ke dalam lingkungan
3. Sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu dan iklim

2.1.2 Mekanisme Fitoremediasi

Fitoremediasi mencakup berbagai proses seperti fitoekstraksi, fitostabilisasi, rizofiltrasi, fitodegradasi, dan fitovolatilisasi. Proses penyimpanan logam berat terjadi pada bagian vakuola sel akar tanaman yang kemudian dibawa ke *xilem* dan *floem* kemudian didistribusikan ke bagian daun (Sulastri dkk., 2019). Air yang menguap dari daun tanaman berfungsi sebagai pompa untuk menyerap unsur hara dan zat lainnya ke dalam akar tanaman. Ion logam yang diangkut dari akar ke pucuk disebut evapotranspirasi yaitu proses yang bertanggung jawab untuk memindahkan kontaminasi ke pucuk tanaman. Proses evapotranspirasi ini dapat meningkatkan kinerja fitoremediasi suatu tumbuhan, khususnya mekanisme fitoekstraksi (Tangahu et al., 2011).

Beberapa tumbuhan yang digunakan dalam strategi fitoremediasi disebut hiperakumulator yaitu jenis tanaman yang memiliki kemampuan dalam menyerap kontaminan pada konsentrasi tinggi (Irhamni dkk., 2019). Pada tanaman terendam seperti *Hydrilla*, jalur utama proses penyerapan logam berat dilakukan melalui daunnya (Tan et al, 2023). Hal ini karena kemampuan adsorpsi oleh dinding sel pada daun yang lebih besar sehingga logam lebih banyak terakumulasi pada daun (HS, 2019). Mekanisme fitoremediasi dalam menyerap polutan menurut adalah sebagai berikut (DalCorso et al., 2019):

1. Fitoekstraksi

Biasa disebut juga fitoakumulasi merupakan proses penyerapan kontaminan dari lingkungan sehingga berakumulasi di sekitar akar tanaman

2. Fitostabilisasi

Pengendapan kontaminan pada akar tanaman tanpa adanya penyerapan atau akumulasi ke dalam jaringan tanaman

3. Rizofiltrasi

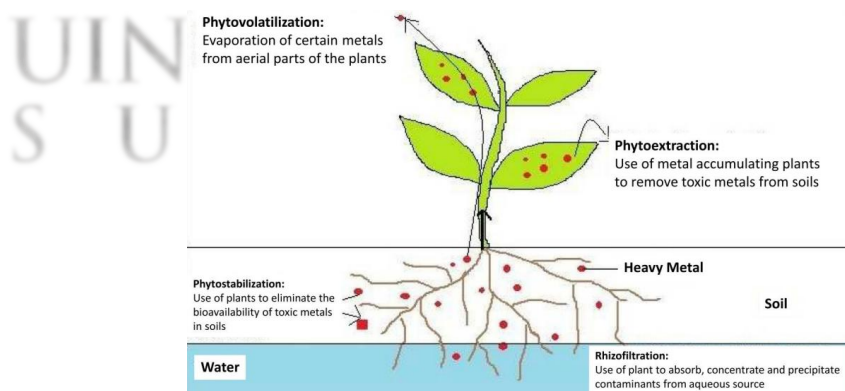
Proses adsorpsi atau pengendapan kontaminan oleh akar tanaman yang berada di sekitar akar sehingga zat kontaminan menempel pada akar

4. Fitodegradasi

Penguraian zat kontaminan oleh tanaman yang diserap melalui proses metabolisme yang melibatkan enzim kemudian mendegradasinya menjadi senyawa yang tidak berbahaya

5. Fitovolatilisasi

Penyerapan kontaminan oleh tanaman dan kemudian dilepaskan dalam bentuk senyawa volatil ke atmosfer. Kontaminan ini akan terbawa ke daun dan menguap ke atmosfer pada konsentrasi yang relatif rendah.



Gambar 2.1 Mekanisme Fitoremediasi

Sumber: Tan et al., 2023

Dalam proses penghilangan polutan dari air, tanah, maupun udara, tanaman akan mendegradasi atau mengurai polutan organik dan menstabilkan polutan anorganik dengan bertindak sebagai filter atau adsorben (Sukono dkk., 2020). Tanaman akan membentuk enzim reduktase pada akar yang berfungsi untuk mereduksi logam. Kemudian dari akar, logam akan diangkut pada jaringan *xilem* dan *floem*. Tanaman akan menghasilkan zat *fitokhelatin* yang bekerja sebagai akumulasi dan toleransi logam berat (Sulastri dkk., 2019)

Akar tanaman dibantu oleh zat pengkhelat yang dihasilkan dengan merubah pH yang diinduksi tanaman sehingga mampu melarutkan dan mengambil mikronutrien dari tingkat yang sangat rendah. Tumbuhan juga telah mengembangkan mekanisme yang sangat spesifik untuk mentranslokasi dan menyimpan mikronutrien. Mekanisme yang sama ini juga terlihat dalam penyerapan, translokasi, dan penyimpanan unsur-unsur beracun. Kontaminan yang diserap oleh akar selanjutnya disimpan atau dimetabolisme oleh tanaman (Tangahu et al., 2011).

2.1.3 Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah proses dimana suatu organisme menyesuaikan diri atau beradaptasi dengan lingkungan baru. Tingkat proses penyesuaian ini bervariasi dilihat dari seberapa jauh perbedaan antara kondisi lingkungan baru organisme dan lingkungan sebelumnya (HS, 2019). Proses aklimatisasi bertujuan agar tanaman yang digunakan sebagai penelitian dapat melakukan penyesuaian dan beradaptasi dengan lingkungan baru sehingga dapat hidup secara normal (Sari dkk., 2021). Sebelum dilakukan aklimatisasi, tanaman dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran yang masih menempel baik pada bagian akar, batang, dan daun. Aklimatisasi secara *ex situ* berhubungan dengan lingkungan baru sehingga dapat mempengaruhi hasil penelitian. Aklimatisasi dilakukan untuk mengetahui dampak yang dihasilkan saat tanaman tumbuh di lingkungan baru (Lucyan, 2021).

2.2 Tanaman Hiperakumulator

Tanaman hiperakumulator merupakan tanaman yang memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat dengan konsentrasi yang tinggi (Lucyan, 2021). Beberapa jenis tanaman dari banyak famili telah terbukti mampu mengakumulasi logam berat dari jaringan akar hingga pucuk daun dengan konsentrasi yang tinggi sehingga tanaman ini bersifat hipotoleran atau disebut tanaman hiperakumulator.

Tanaman hiperakumulator memiliki kemampuan untuk bertahan hidup tanpa mengalami gangguan dalam mengakumulasi logam berat dengan konsentrasi yang tinggi. Salah satu jenis makrofit yang hidup di air dengan kemampuan sebagai hiperakumulator logam berat adalah tanaman *Hydrilla* (HS, 2019). Tanaman hiperakumulator mampu tumbuh subur di lingkungan beracun, membutuhkan sedikit perawatan, menghasilkan biomassa yang tinggi (Tangahu et al, 2011) dan mampu menyerap logam 100 kali lebih banyak dibandingkan dengan jenis tanaman biasanya (Sukono dkk., 2020).

Tidak semua tanaman yang menyerap kontaminan dapat disebut sebagai tanaman hiperakumulator. Tanaman hiperakumulator memiliki siklus hidup yang pendek, tahan terhadap logam berat, memiliki distribusi yang luas dan biomassa yang besar (Mazumdar et al, 2015 dalam Widyasari, 2021). Mekanisme akumulasi kontaminan logam berat oleh tanaman hiperakumulator terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. Penyerapan oleh akar tanaman

Pada tahap ini, unsur logam yang diserap berupa larutan sehingga dapat diserap dengan mudah oleh akar tanaman. Akar akan menyerap senyawa yang terlarut bersama air sedangkan senyawa yang tidak larut akan diserap oleh permukaan tanaman

2. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman

Unsur logam akan menembus lapisan endodermis akar kemudian akan disalurkan melalui *xilem* dan *floem* yang merupakan jaringan pengangkut menuju bagian tanaman lainnya

3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan

Logam di dalam organ tertentu seperti akar akan ditimbun oleh tanaman untuk mencegah terjadinya keracunan logam terhadap sel, sehingga proses metabolisme tanaman tidak terhambat (Widyasari, 2021).

Karakteristik tanaman yang terpapar pencemar adalah sebagai berikut (Shrivastava & Srivastava, 2021):

1. Tercemar Ringan

Pada tingkat ini, tanaman masih terlihat tumbuh hijau dan segar karena kontaminan yang terserap hanya sedikit sehingga tidak ada gejala yang tampak. Namun, akan terus mengalami perubahan kondisi tanaman seiring dengan bertambahnya kontaminan yang diserap oleh tanaman.

2. Tercemar Sedang

Terpaparnya zat pencemar dengan tingkat sedang dapat memperlambat pertumbuhan tanaman dan panjang tanaman dengan konsentrasi Cr lebih dari 1 mg/L. Selain itu, pada daun tanaman akan terjadi perubahan warna menjadi kuning atau mengalami klorosis. Tanaman juga akan mengalami kerontokan baik pada daun ataupun akar hingga 50%.

3. Tercemar Berat

Tanaman yang terpapar kontaminan dengan kandungan yang tinggi menyebabkan terhentinya kinerja enzim dan produksi protein. Hal ini juga akan menurunkan proses akumulasi oleh tanaman karena penghambatan enzim. Selain itu, adanya kontaminan yang tinggi akan menghambat pertumbuhan dan proses fotosintesis sehingga tanaman tidak tumbuh subur dan kemudian mati. Batas penyerapan logam Cr pada tanaman yaitu kurang dari 30 mg/L.

Tanaman hiperakumulator berfungsi sebagai wadah untuk menyimpan logam berat yang terserap melalui mekanisme yang kompleks tanpa menghancurkan atau menguraikan kontaminan logam berat, sehingga proses pasca fitoremediasi perlu dilakukan melalui metode pematatan, pengomposan, pembakaran dan gasifikasi (Mohanti, 2019 dalam Tan et al, 2023).

2.3 *Hydrilla verticillata*

Hydrilla verticillata adalah tanaman air terendam yang dapat tumbuh hingga ke permukaan dan menutupi badan air (Vankateswarlu et al., 2019). Tanaman *Hydrilla* mampu bertahan di lingkungan yang memiliki konsentrasi logam tinggi pada jaringan akar hingga tajuknya (Haudakassove dkk., 2022). Tanaman ini menyerap unsur hara dalam air untuk pertumbuhannya yang tumbuh terendam di dalam air (Sangwijit et al, 2022). Tanaman ini hidup dengan baik pada level sinar matahari yang sangat rendah untuk fotosintesis, sehingga proses fotosintesis dapat dilakukan lebih awal pada pagi hari dibandingkan dengan tanaman lainnya hal ini yang menjadikan pemilihan tanaman *Hydrilla* untuk mengolah limbah sangat tepat (Ruhmawati dkk., 2018). *Hydrilla* mampu tumbuh pada intensitas cahaya yang lebih rendah daripada kebanyakan gulma air terendam lainnya dan hanya membutuhkan 1% sinar matahari (Kaufman et al., 2014).

Hydrilla memiliki daun dengan kutikula tipis, yang memberikan area permukaan yang luas untuk penyerapan logam pada perairan (Shrivastava & Srivastava, 2021). *Hydrilla* memiliki batang bercabang dan ramping dengan akar yang kekuningan yang hidup secara vertikal. *Hydrilla* merupakan jenis tanaman bereproduksi secara vegetatif sehingga memungkinkan untuk tumbuh dengan cepat. Pada umumnya *Hydrilla* memiliki akar dengan lebar 2-4 mm serta panjang 6–20 mm dan jarang memiliki bunga (Falah, 2021).

Bagian akar tanaman *Hydrilla* mampu melakukan penyerapan logam karena terdapat proses penyerapan unsur zat hara bagi tanaman oleh mikroorganisme mikhoriza (Putriarti dkk., 2021). Selain itu, pada *Hydrilla* terdapat senyawa fitokelatin yang dapat menyerap logam berat yang terbentuk seiring dengan adanya logam berat pada lingkungan (Lucyan, 2021). *Hydrilla* telah digunakan sebagai pengolahan air limbah karena efektif dalam mengakumulasi dan meremediasi zat pencemar (Sangwijit et al, 2022). Hal ini juga didukung oleh penelitian (Shrivastava & Srivastava, 2021) yang mengatakan *Hydrilla* memiliki potensi untuk mengakumulasi sejumlah logam seperti kromium (Cr), kadmium (Cd), merkuri (Hg), seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe), arsenik (As), timbal (Pb), dan mangan (Mn).

Tanaman *Hydrilla verticillata* telah banyak digunakan dalam mengolah limbah cair industri. Tanaman ini memiliki harga yang relatif murah, dapat ditemui dengan mudah di perairan, tidak memerlukan perawatan khusus serta pemeliharaan yang sangat mudah (Yadav & Srivastava, 2020). *Hydrilla* pada umumnya mampu tumbuh pada pH 6-7,2 dengan suhu optimal berkisar antara 18-28⁰C (Falah, 2021). Klasifikasi tanaman *Hydrilla verticillata* adalah sebagai berikut (Kumar et al., 2029):

Kingdom : Plantae
Subkingdom : Tracheobionta
Super Divisi : Spermatophyta
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Hydrocharitales
Famili : Hydrocharitaceae
Genus : *Hydrilla* Rich (hydrilla)
Spesies : *Hydrilla verticillata*



Gambar 2.2 Tanaman *Hydrilla verticillata*

Sumber: Kaufman et al., 2014

Hydrilla tumbuh di semua habitat air tawar termasuk mata air, sungai, danau, kolam, waduk, dan kanal. Morfologi tanaman Hydrilla dapat dilihat pada uraian di bawah ini (Kaufman et al., 2014).

1. Batang

Batang Hydrilla tumbuh tegak dan biasanya memiliki nodus yang mengelompok rapat, dengan masing-masing simpul memuat hingga delapan daun.

2. Daun

Daun berbentuk vertikal, dan tumbuh di sepanjang batang. Daun Hydrilla biasanya bergerigi halus dan setiap daun berujung pada duri kecil.

3. Bunga

Bunga Hydrilla tumbuh pada pucuk batang yang mengapung di permukaan. Bunga betina berwarna keputihan dengan panjang 4 mm, sedangkan bunga jantan berwarna kehijauan dan tumbuh di dekat ketiak daun yang kemudian lepas dan mengapung dipermukaan air.

4. Akar

Akar Hydrilla panjang dan tipis, berwarna keputihan hingga coklat muda, dan berlabuh di sedimen. Akar juga dapat terbentuk pada buku di sepanjang batang atau di ujung fragmen batang yang lepas.

2.4 Logam Berat

Logam berat merupakan suatu jenis kontaminan berbahaya jika ditemukan keberadaannya di lingkungan. Logam berat bersifat *non biodegradable* yang menyebabkan limbah ini sulit terakumulasi oleh tanah dan air (Widyasari, 2021). Logam berat terdiri dari logam berat *esensial* dan *non esensial*. Logam berat *esensial* merupakan logam yang dibutuhkan oleh organisme hidup dengan jumlah yang terbatas seperti tembaga (Cu), mangan (Mn), zink (Zn), kobalt (Co), dan nikel (Ni). Sedangkan logam *non esensial* adalah logam beracun yang berbahaya yang tidak terdapat manfaatnya seperti merkuri (Hg), cadmium (Cd), timbal (Pb), kromium (Cr) dan lain-lain. Logam berat ini dapat menimbulkan efek negatif bagi kesehatan manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh (Siwi dkk., 2019).

Pencemaran akibat logam berat meningkatkan aktivitas antropogenik yang menyebabkan terjadi ekotoksitas. Keracunan logam berat dapat ditemui di ekosistem tanah dan perairan, sedangkan sebagian kecil logam tersedia di atmosfer dalam bentuk uap atau partikulat air (Hasan et al., 2019). Setidaknya terdapat beberapa jenis logam yang diklasifikasikan sangat beracun apabila terakumulasi secara berlebihan. Logam berat Cd, Hg, Ag, Pb dan Cr merupakan logam *non essential* yang menunjukkan toksisitas bahkan pada konsentrasi rendah (Dalcorso, 2019). Akumulasi logam berat pada tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti perubahan pH, peningkatan atau penurunan aktivitas enzim, kegiatan fotosintesis, massa tanaman, gangguan pada keseimbangan air, dan penurunan kesuburan tanaman (Hafizhah, 2019).

2.4.1 Logam Berat Kromium (Cr)

Logam Kromium (Cr) dapat dijumpai di tanah, udara maupun perairan yang berasal dari kegiatan perindustrian, limbah rumah tangga serta pembakaran bahan kendaraan. Logam kromium sangat berbahaya karena mampu bertahan terhadap korosi dan perubahan warna (Sembel, 2015). Pencemaran logam berat dianggap sebagai masalah serius bagi produksi tanaman. Logam ini merupakan unsur *non essential* dan dianggap sebagai agen fitotoksik bagi tanaman yang mempengaruhi proses morfologi dan fisiologis tanaman (Hasan et al., 2019).

Logam kromium sering dijumpai dari limbah industri tekstil yang digunakan dalam proses pewarnaan. Beberapa jenis logam kromium yang diindikasikan terkandung dalam pewarna tekstil antara lain K_2CrO_7 (orange), $CuCr_2O_4$ (hitam), $Cr(NO_3)_3$ (hitam), $CrCl_3$ (hijau), dan $PbCrO_4$ (kuning) (Safarrudin & Oktasari, 2022). Adanya logam kromium pada perairan menyebabkan timbulnya proses kimia yaitu dari proses pengompleksan hingga reaksi redoks yang akan terlarut di dalam air. Paparan logam krom pada industri dikeluarkan melalui cerobong gas melalui proses penguapan yang kemudian terbawa angin dan jatuh bersama hujan ke bumi. Selain itu, pembuangan limbah industri yang

ada pada hulu sungai menyebabkan limbah kromium terbawa oleh arus air dan mengendap di sedimen (Afdila & Helmiady, 2020).

Kromium dianggap sebagai salah satu logam yang berbahaya karena tidak dapat terurai secara hayati dan keberadaannya yang tidak dibutuhkan oleh tanaman (Malaviya et al., 2020). Pencemaran dari logam berat ini dapat bersifat polutan yang berbahaya bagi lingkungan dan berdampak negatif bagi kesehatan manusia.

2.4.2 Karakteristik Logam Berat Kromium (Cr)

Logam Kromium memiliki nomor atom 24 dengan berat atom 51.996, titik didih sebesar 2.665°C , titik cair sebesar 1.875°C , dan massa jenis $7,19 \text{ g/cm}^3$. Logam kromium memiliki sifat yang tahan panas, keras, dan merupakan penghantar panas yang baik. Kromium biasanya ditemukan sebagai kromium trivalen (III) dan kromium heksavalen (VI) (Siwi dkk., 2019).

Kromium heksavalen (Cr^{6+}) merupakan jenis logam yang bersifat korosif dan karsinogenik pada jaringan tubuh dibandingkan dengan ion kromium lainnya (Astuti dkk., 2022). Kromium jenis ini bersifat asam dan bersifat lebih karsinogenik. Kromium heksavalen pada umumnya dihasilkan dari kegiatan industri yang lebih aktif 1000 kali dibandingkan dengan jenis kromium lainnya (Afdila & Helmiady, 2019).

Kromium (Cr) merupakan jenis logam berat berwarna putih, mudah teroksidasi, dan tidak stabil. Logam ini memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan sering dijumpai pada industri pelapisan logam, tekstil, dan cat (Wulandari dkk., 2021). Logam Kromium sulit didegradasi sehingga logam ini dapat bertahan didalam perairan dalam waktu yang lama (Gafur & Abbas, 2022). Logam Kromium (Cr) bersifat mudah larut, bersifat karsinogenik, dan jika digunakan secara terus menerus dapat mengakibatkan kematian (Safaruddin dkk., 2022).

2.4.3 Dampak Logam Berat Kromium (Cr)

Keberadaan logam berat dapat mengganggu ekosistem biota yang hidup didalamnya karena kemampuannya dalam menurunkan kualitas wilayah yang ditempatinya (Widyasari, 2021). Logam Kromium (Cr), Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) merupakan logam berat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak berbahaya bagi tubuh seperti gagal ginjal, masalah fisiologis paru-paru, masalah pernapasan, kanker, dan sistem saraf jika melebihi ambang batas (Wulandari dkk., 2021). Efek yang ditimbulkan akibat paparan logam berat ini tergantung dosis yang diberikan yang dipengaruhi oleh bentuk logam didalam air, bentuk oksidasi logam, suhu, pH, dan kemampuan organisme untuk beraklimatisasi terhadap logam berat (Lu, 1995 dalam Afdila & Helmiady, 2020).

Polutan logam berat sulit untuk diuraikan dan memiliki jumlah atom yang tidak stabil, polutan tersebut memiliki banyak efek yang merugikan lingkungan. Ikatan logam dengan unsur lain dapat mengakibatkan berbagai proses kimia berbahaya. Kualitas racun logam berat menyebabkan kerusakan pada sistem ekskresi dan jaringan detoksifikasi. Banyak logam berat bersifat teratogenik yang mengubah fungsi atau struktur organ selama perkembangan dan pertumbuhan janin, serta bersifat karsinogenik atau menyebabkan kanker (Ansori, 2020). Selain itu menurut (Sambel, 2015) senyawa kromium yang masuk ke dalam sel menyebabkan kerusakan pada DNA serta menyebabkan peradangan seliput lendir hidung, bronkitis, keratitis, iritasi, kanker paru-paru, dan pemborokan pada kelopak mata apabila menghirup senyawa kromium.

Pada perairan, logam kromium akan terakumulasi dalam tubuh dan membahayakan organisme yang hidup didalamnya. Hal ini menyebabkan toksisitas pada tanaman seperti penurunan pertumbuhan dan biomassa, klorosis daun, pengerdilan dan akhirnya mengalami kematian tanaman (Malaviya et al., 2020).

2.5 Baku Mutu Logam Kromium Heksavalen

Air limbah berupa logam berat yang dihasilkan industri merupakan salah satu permasalahan utama dalam pencemaran lingkungan (Prabhu & Prabhu., 2018). Kegiatan ini dapat menimbulkan terjadinya pencemaran karena masuknya zat atau komponen dari kegiatan manusia yang menyebabkan kualitas air menurun (Batubara, 2019).

Jenis limbah yang paling sering menjadi permasalahan di Indonesia adalah adanya limbah cair. Limbah cair yang mengandung konsentrasi pencemar yang tinggi akan mengubah kualitas air menjadi buruk. Zat berbahaya yang ada di dalam air limbah dapat mengganggu keseimbangan lingkungan dan organisme yang hidup apabila tidak dikelola dengan baik. Pencemaran air akibat limbah industri dianggap sebagai salah satu penyebab utama pencemaran lingkungan, sehingga penting dilakukan pengolahan untuk mengurangi dampak yang dihasilkan (Ahmed et al., 2018). Pengolahan limbah diperlukan untuk mengubah karakteristik dan komposisi limbah guna menghilangkan atau mengurangi sifat bahaya limbah serta memastikan bahwa limbah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga aman untuk dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, batas maksimum limbah yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya

Parameter	Unit	Kelas				Keterangan
		1	2	3	4	
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas permukaan air
TDS	mg/L	1000	1000	1000	2000	Tidak berlaku untuk muara
TSS	mg/L	40	50	100	400	
Warna	Pt-Co	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut
pH		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	40	80	
DO	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal

Parameter	Unit	Kelas				Keterangan
		1	2	3	4	
Sulfat	mg/L	300	300	300	400	
Klorida	mg/L	300	300	300	400	
Nitrat	mg/L	10	10	20	20	
Nitrit	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
Amonia	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
Total Fosfat	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
Fluorida	mg/L	1	1,5	1,5	-	
Belerang	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
Klorin Bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
Barium (Ba)	mg/L	1,0	-	-	-	
Boron	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
Merkuri (Hg)	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Arsen (As)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
Selenium (Se)	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Besi (Fe)	mg/L	0,3	-	-	-	
Kadmium (Cd)	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Kobalt (Co)	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Mangan (Mn)	mg/L	0,1	-	-	-	
Nikel (Ni)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
Seng (Zn)	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	
Tembaga (Cu)	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	
Timbal (Pb)	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	
Kromium heksavalen (Cr-(VI))	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
Minyak dan lemak	mg/L	1	1	1	10	
Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	
Fenol	mg/L	0,002	0,005	0,01	0,02	
Aldrin	µg/L	17	-	-	-	
BHS	µg/L	210	210	210	-	
Chlordane	µg/L	3	-	-	-	
DDT	µg/L	2	2	2	2	
Endrin	µg/L	1	4	4	-	
Heptachlor	µg/L	18	-	-	-	
Lindane	µg/L	56	-	-	-	
Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
Toxapan	µg/L	5	-	-	-	
Fecal Coliform	MPN/100 mL	100	1000	2000	2000	

Parameter	Unit	Kelas				Keterangan
		1	2	3	4	
Total Coliform	MPN/100 mL	1000	5000	10000	10000	
Sampah	mg/m ³	nihil	nihil	nihil	nihil	
Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	

Sumber: Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

Kriteria kualitas air terdiri dari empat kelas yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 Kriteria Air Berdasarkan Peruntukannya

Klasifikasi Air Berdasarkan Kelas	Keterangan
Dev 1	Air yang digunakan sebagai air baku air minum
Dev 2	Air yang digunakan untuk sarana/prasarana rekreasi air, budidaya ikan, peternakan, dan air untuk mengairi tanaman
Dev 3	Air yang digunakan untuk budidaya ikan, peternakan, mengairi tanaman
Dev 4	Air yang digunakan untuk mengairi tanaman

Sumber: Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

2.6 Sistem Batch

Reaktor *batch* merupakan suatu pengolahan dimana reaktan dimasukkan kedalam reaktor saat awal proses tanpa ada penambahan hingga akhir menggunakan bak tunggal (Fatoni, 2020). Dalam prosesnya, reaktor *batch* tidak mempunyai aliran masuk dan aliran keluar reaktan ataupun produk ketika reaksi sedang berlangsung (Yuliani, 2019). Sistem kerja reaktor *batch* yaitu dengan pengadukan kontaminan dalam waktu tertentu. Jenis reaktor ini menggunakan pengoperasian yang mudah serta waktu yang efisien (Amalia dkk., 2022). Penggunaan reaktor sistem *batch* digunakan pada penelitian skala kecil yang bertempat di laboratorium. Sedangkan untuk skala besar seperti perencanaan IPAL dapat dilakukan dengan sistem Kontinyu (Nurdijanto dkk., 2011). Beberapa kelebihan dan kekurangan sistem *batch* menurut (Rachmawati, 2020) antara lain:

Kelebihan:

- a. Biaya yang dibutuhkan untuk perlengkapan alat tidak terlalu tinggi
- b. Dapat memantau hasil uji dengan baik
- c. Minim terjadinya gangguan pada reaktan karena tidak ada penambahan nutrien baru selama proses penelitian yang dapat mempengaruhi mikroorganisme
- d. Pengontrolan yang dilakukan secara manual sehingga menghasilkan produk yang lebih akurat

Kekurangan:

- a. Membutuhkan waktu pengujian yang cukup lama
- b. Hanya dapat dilakukan pada industri skala kecil

2.7 Integrasi Keislaman

Pencemaran lingkungan merupakan hal yang dilarang oleh Allah SWT karena suatu perbuatan yang merusak bumi yang dapat merugikan manusia serta makhluk hidup lainnya. Pencemaran yang terjadi apabila tidak diatasi akan merusak lingkungan dan merugikan makhluk hidup di bumi. Hal ini telah disebutkan oleh Allah SWT dalam firmanNya pada surah Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ
يَرْجِعُونَ

Artinya: *Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).*

Ayat tersebut menjelaskan larangan untuk membuat kerusakan di bumi karena akan merugikan makhluk yang tinggal didalamnya. Segala sesuatu yang telah diciptakan oleh Allah SWT sudah seharusnya dirawat dan dijaga sehingga dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Banyak manusia yang tidak sadar bahwa bentuk kerusakan ini merupakan suatu perbuatan tidak taat kepada Allah SWT. Seperti limbah-limbah yang langsung dibuang ke badan perairan tanpa

pengolahan yang dapat mengganggu makhluk hidup yang tinggal didalamnya dan mencemari perairan yang merupakan sumber kehidupan. Seperti yang dijelaskan pada surah Al-Anbiya ayat 30:

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ

Artinya: *Dan kami jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air. Maka mengapakah mereka tiada juga beriman?*

Segala sesuatu yang diciptakan Allah SWT selalu mempunyai hikmah yang besar. Segala hikmah yang diberikan oleh Allah SWT sudah seharusnya dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya karena merupakan bentuk rasa syukur kepada Allah SWT. Sehingga perlu adanya kesadaran serta upaya untuk mencegah dan memperbaiki kerusakan pada lingkungan. Salah satunya yaitu dengan memanfaatkan tumbuh-tumbuhan sebagai agen fitoremediasi. Hal ini yang dijelaskan dalam surah Asy-Syu'ara ayat 7 yang berbunyi:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَيْفَ أَخْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: *Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik.*

Ayat ini menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu di bumi dengan segala kebaikan dan manfaat. Allah yang menciptakan segala tumbuhan, buah, dan hewan yang beragam yang seharusnya dimanfaatkan dengan baik oleh manusia. Sehingga dalam hal ini memanfaatkan tanaman *Hydrilla verticillata* untuk mengurangi pencemaran dengan teknik fitoremediasi merupakan hal yang dapat dilakukan karena merupakan hal yang mulia. *Hydrilla verticillata* merupakan tanaman hiperakumulator yang sering dianggap sebagai gulma yang mengganggu perairan, padahal setiap yang diciptakan oleh Allah SWT selalu memiliki manfaat yang baik yang dapat menyelesaikan permasalahan di lingkungan.

2.8 Penelitian Terdahulu

Untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan, diperlukan penelitian terdahulu yang dapat menjadi rujukan dan sebagai data sekunder. Berikut penelitian terdahulu yang digunakan sebagai rujukan dalam penelitian ini:

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis dan Judul	Tujuan	Hasil
1.	Yohana Puji Lestari dan Dr. Tien Aminatun (2018) “Efektivitas Variasi Biomassa Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> Dalam Fitoremediasi Limbah Batik”	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> yang efektif untuk mengurangi zat kontaminan pada limbah batik	Penelitian ini menggunakan variasi tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> untuk mereduksi kandungan yang ada pada limbah batik melalui proses fitoremediasi. Parameter yang digunakan yaitu pengukuran suhu, pH, BOD, COD, logam berat kromium (Cr), biomassa tanaman, dan tingkat kehidupan ikan. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> efektif untuk menurunkan kadar BOD, COD, dan logam berat pada limbah batik. Nilai BOD yang sebelumnya sebesar 541 mg/L turun dengan nilai terbesar sebesar 24,5 mg/L pada variasi tanaman sebanyak 250 gram. Nilai COD turun dari 1546 mg/L menjadi 205,5 mg/L pada variasi tanaman sebesar 250 gram. Kandungan logam berat kromium (Cr) mengalami penurunan dari 8,225 mg/kg menjadi < 4,569 mg/kg. Sehingga pada penelitian ini biomassa tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> yang paling efektif untuk menurunkan kontaminan adalah sebesar 250 gram.
2.	Azura Afrina dan Lazulva (2018) “Reduction of Heavy Metals Level in the Waste Water Using Phytoremediation Technique”	Untuk mengetahui kemampuan reduksi logam berat tembaga (Cu) oleh tanaman Eceng gondok dan Hydrilla menggunakan teknik fitoremediasi	Pada penelitian ini menggunakan tanaman eceng gondok dan hydrilla untuk menurunkan kadar limbah yang mengandung logam tembaga (Cu). Penelitian ini menunjukkan kemampuan kedua jenis tanaman dalam menurunkan tembaga. Eceng gondok lebih efisien penurunan kadar logam berat Cu dibandingkan dengan tanaman Hydrilla. Dimana efisiensi penurunan kadar Cu pada eceng

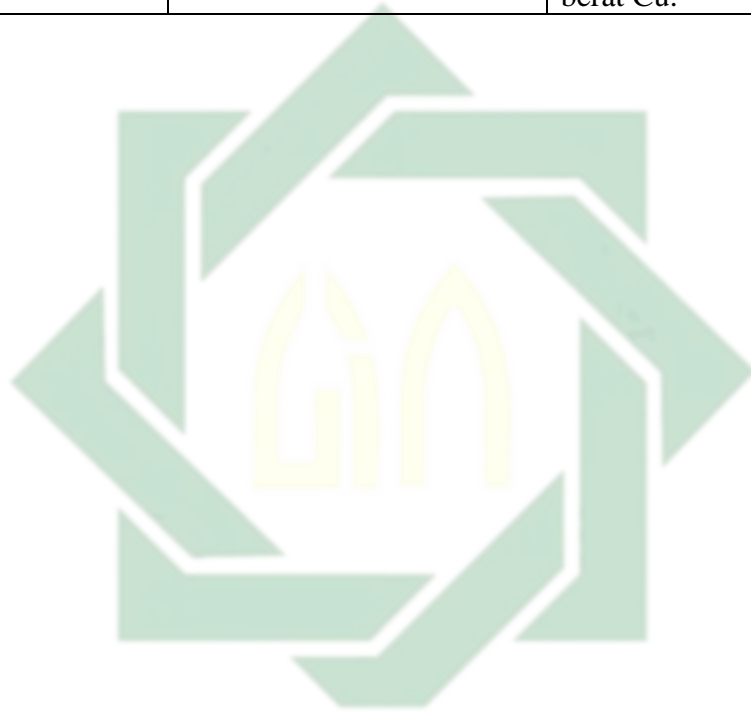
No.	Penulis dan Judul	Tujuan	Hasil
			gondok sebesar 82,8368% dan pada tanaman Hydrilla sebesar 63,4042%. Hal ini karena ukuran tanaman eceng gondok yang lebih besar dibandingkan Hydrilla yang mempunyai luas permukaan tubuh yang kecil. Namun, tanaman hydrilla tetap memiliki kemampuan sebagai fitoremediator karena akar tanaman hydrilla yang ikut berperan dalam penyerapan logam tembaga (Cu).
3.	Zena F. Ahmed, Qusay A. Abdul Ameer, Saa H.K (2018) "Release Cumulative Power between (<i>Ceratophyllum demersum</i> L) and (<i>Hydrilla verticillata</i>) plant to Phytoremediation lead in the polluted water aquatic ecosystem"	Membandingkan kemampuan tanaman <i>Ceratophyllum demersum</i> L dan <i>Hydrilla verticillata</i> dalam memulihkan perairan yang tercemar logam berat timbal (Pb)	Penelitian ini menggunakan tanaman <i>Ceratophyllum demersum</i> L dan <i>Hydrilla verticillata</i> . Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>Hydrilla verticillata</i> memiliki kemampuan lebih besar dalam menyerap kontaminan logam timbal dibandingkan dengan <i>Ceratophyllum demersum</i> L. Hydrilla dapat menghilangkan timbal sebesar 31,1% pada hari ketiga dengan konsentrasi 20 mg/liter dan terus meningkat hingga hari ke-28 yaitu mencapai 83,7% sehingga pada perairan konsentrasi timbal tersisa 16,1%. Sedangkan tanaman <i>C. Demersum</i> mampu menghilangkan timbal pada hari ke- 3 sebesar 29,2% dan 81,9% pada hari ke- 28 sehingga pada perairan kadar timbal yang tersisa adalah sebesar 18%. Hal ini dapat terjadi karena luas permukaan tubuh Hydrilla lebih besar dibandingkan tanaman <i>C. Demersum</i> .
4.	Mohammad Risyidul Aqli HS (2019) "Fitoremediasi Oleh Tumbuhan Hydrilla (<i>Hydrilla Verticillata</i> (L.F.) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan Dengan Variasi Konsentrasi Logam Tembaga (Cu)"	Untuk mengetahui kemampuan tanaman <i>Hydrilla Verticillata</i> dalam menurunkan kadar pencemar logam berat Cu sebagai tanaman hiperakumulator	Penelitian ini menggunakan tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dengan penambahan larutan CuSO ₄ selama 7 hari. Pengujian kadar logam berat Cu dilakukan dengan metode destruksi basah dan dianalisis menggunakan instrumentasi SSA dengan metode kurva standar. Hasil penelitian menunjukkan Hydrilla mampu menyerap logam Cu sebesar 0,9208 mg/L atau 92,08% dari konsentrasi total logam dalam larutan yaitu 1

No.	Penulis dan Judul	Tujuan	Hasil
			<p>mg/L. Pada konsentrasi logam Cu 3 mg/L <i>Hydrilla</i> mengalami peningkatan penyerapan dimana <i>Hydrilla</i> menyerap sebesar 2,9421 mg/L atau sebesar 98,07%. Namun, <i>Hydrilla</i> mengalami penurunan pada konsentrasi logam Cu 5 mg/L dan 7 mg/L yaitu sebesar 89,47%. Tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> merupakan tanaman hiperakumulator karena mampu menyerap logam Cu lebih dari 280 mg/kg.</p>
5.	<p>Cory Novi, Sartika, dan Afifah Nur Shobah (2019) "Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan <i>Hydrilla</i> sp. Pada Limbah Industri Kertas"</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi <i>Hydrilla</i> sp. dalam menurunkan logam seng (Zn) pada limbah industri kertas dengan menggunakan <i>Range Finding Test</i> (RFT) dalam menumbuhkan <i>Hydrilla</i> sp.</p>	<p>Penelitian ini menggunakan <i>Hydrilla</i> sp. dalam proses nya dimana dilakukan pengamatan terhadap perubahan pH, suhu, dan perubahan fisik tanaman seperti warna daun. Penelitian dilakukan selama 18 hari. Analisa logam seng (Zn) menggunakan <i>ICP-OES</i>. Hasil dari penelitian ini adalah <i>Hydrilla</i> sp. mampu mengakumulasi logam seng (Zn) ke dalam jaringan tubuhnya. pH mengalami peningkatan dan penurunan yang terjadi secara fluktuatif. Peningkatan disebabkan karena adanya proses fotosintesis dan penurunan pH akibat adanya pembusukan pada bagian tumbuhan. Kemampuan <i>Hydrilla</i> sp. dalam menyerap logam seng (Zn) sebesar 50% dan turun pada hari ke-18 menjadi sebesar 25%.</p>
6.	<p>S.K.K. Al-Zurfi, H.H.M Al-Tabatabi (2020) "Aquatic Plant (<i>Hydrilla verticillata</i>) Roles In Bioaccumulation Of Heavy Metals"</p>	<p>Untuk menguji kemampuan tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dalam mengakumulasi logam berat kadmium dan timbal dalam jaringannya</p>	<p>Penelitian ini menggunakan tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> untuk menurunkan kadar logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb). Hasil penelitian menunjukkan presentase penyisihan kadmium (Cd) tertinggi yaitu pada hari ke-21 sebesar 72% dengan konsentrasi sebesar 4 ppm dan terendah sebesar 3% dengan konsentrasi 2 ppm pada hari pertama. Sedangkan konsentrasi unsur timbal (Pb) tercatat nilai removal ratio yang lebih tinggi oleh <i>Hydrilla verticillata</i> sebesar 88% dengan konsentrasi 10</p>

No.	Penulis dan Judul	Tujuan	Hasil
			ppm pada hari ke- 7 percobaan dan terendah adalah 4,4% pada perlakuan 20 ppm pada hari ke-1. Serapan logam lebih tinggi pada konsentrasi sedang (4 ppm untuk Cd dan 10 ppm untuk pb) dan menurun setelahnya dengan peningkatan konsentrasi logam.
7.	Manavi Sulakkana Ekanayake, Dhanushka Udayanga, Isuru Wijesekara, Pathmalal Manage (2021) “Phytoremediation of synthetic textile dyes: biosorption and enzymatic degradation involved in efficient dye decolorization by <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms and <i>Pistia stratiotes</i> L.”	Untuk mengidentifikasi tanaman air potensial untuk penghilangan warna pewarna tekstil secara efisien dan identifikasi jalur potensial fitoremediasi oleh tanaman air terpilih: <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms (<i>water hyacinth</i>) dan <i>Pistia stratiotes</i> L. (kubis air).	Penelitian ini menggunakan tanaman terapung <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , <i>Lemna minor</i> , <i>Salvinia sp.</i> , dan tanaman terendam <i>Hydrilla sp.</i> Untuk menurunkan kadar warna pada industri tekstil. Hasil penelitian menunjukkan tanaman <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i> mampu menurunkan kadar warna hingga (96,9–99,6%) <i>Salvinia sp.</i> (79–86%), <i>L. minor</i> (16–24%), dan <i>Hydrilla sp.</i> (6–13%). <i>Hydrilla sp.</i> dan <i>L. minor</i> ditemukan sebagai spesies tumbuhan air yang paling tidak toleran terhadap dekolorisasi pewarna tekstil.
8.	Anggra Lucyan (2021) “Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan NaOH Dan Fitoremediasi <i>Hydrilla verticillata</i> Untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) Dan Nikel (Ni)”	Untuk mengetahui kemampuan tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dalam menurunkan kadar logam tembaga (Cu) dan Nikel (Ni) yang dihasilkan oleh laboratorium	Penelitian ini menggunakan tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dengan variasi waktu kontak limbah adalah selama 5, 10, dan 15 hari. Parameter yang diuji adalah pH, BOD dan COD dan kadar Cu serta Ni sampel diukur menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan kadar BOD pada laboratorium sebelum perlakuan fitoremediasi adalah sebesar 40001 mg/L dan setelah perlakuan fitoremediasi turun menjadi 60,55 mg/L dimana hasil ini sudah sesuai dengan baku mutu yang ditentukan. Untuk kadar COD, menunjukkan sebelum perlakuan sebesar 6490 mg/L dan setelah dilakukan perlakuan fitoremediasi turun menjadi 181,8 mg/L. Penurunan nilai COD ini diakibatkan adanya padatan yang telah mengendap. Hasil ini telah memenuhi baku mutu Perda Jatim Nomor 72 Tahun 2013 yakni

No.	Penulis dan Judul	Tujuan	Hasil
			sebesar 300 mg/L. Kadar limbah logam Cu menghasilkan penyerapan berturut-turut sebesar 92%, 84,9%, dan 72,75%. Nilai BCF dan TF >1 sehingga tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam pada perairan.
9.	Nizar Najila dan George Anila (2022) "Heavy Metal Absorption and Phytoremediation Capacity of Macrophytes of Polachira Wetland of Kollam District, Kerala, India"	Untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat dalam air menggunakan tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> , <i>Salvinia minima</i> dan <i>Eichornia crassipes</i>	Pada penelitian ini menggunakan tiga jenis tanaman yaitu <i>Hydrilla verticillata</i> , <i>Salvinia minima</i> dan <i>Eichornia crassipes</i> . Hasil penelitian, menunjukkan bahwa kandungan logam berat pada perairan terbanyak yaitu Fe, Zn, Pb, Cu, Cr, dan Cd. Tanaman yang memiliki penyerapan tertinggi untuk logam seng (Zn), timbal (Cu), dan besi (Fe) adalah <i>Salvinia minima</i> dan akumulasi krom terbanyak dilakukan oleh <i>Hydrilla verticillata</i> . Pada penelitian ini, kadar logam berat tembaga, kadmium, dan kromium melebihi batas maksimum yang ditentukan. Penyerapan logam kromium oleh <i>Hydrilla verticillata</i> mencapai hingga 15,8 mg/kg. Kandungan timbal diserap oleh <i>Salvinia minima</i> hingga 18 mg/kg. <i>Eichornia crassipes</i> mampu menyerap logam krom hingga (4,3 mg/kg) dan timbal sebesar (12,5 mg/kg). Sehingga pada penelitian ini kemampuan penyerapan logam oleh tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dan <i>Salvinia minima</i> lebih baik dibandingkan <i>Eichornia crassipes</i> .
10.	Haudukassove, Elly Purwanti, Diani Fatmawati, Fendy Hardian Permana (2022) "Penggunaan <i>Pistia stratiotes</i> dan <i>Hydrilla verticillata</i> sebagai fitoremediasi logam tembaga (Cu) pada limbah produksi batik dan	Untuk mengetahui kemampuan tanaman <i>Pistia stratiotes</i> dan <i>Hydrilla verticillata</i> dalam menyerap logam tembaga (Cu) menggunakan fitoremediasi	Penelitian ini menggunakan tanaman <i>Pistia stratiotes</i> dan <i>Hydrilla verticillata</i> untuk menyerap logam Cu. Hasil penelitian menunjukkan kedua tanaman efektif dan dapat menjadi tanaman fitoakumulator. Tanaman <i>Pistia stratiotes</i> mampu menyerap logam tembaga hingga 0,2332 ppm dalam 21 hari, dan penyerapan terendah sebesar 0,0858 ppm pada hari ke- 7 hari. Sedangkan

No.	Penulis dan Judul	Tujuan	Hasil
	pemanfaatannya sebagai sumber belajar biologi”		tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> mampu menyerap logam Cu tertinggi sebesar 0,2058 ppm pada hari ke- 21 dan penyerapan terendah sebesar 0,0631 ppm pada hari ke- 14. Kedua tanaman mengalami kerusakan morfologi pada hari ke- 14 hingga hari ke- 21 pada bagian tubuhnya akibat adanya penyerapan logam berat Cu.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yaitu metode yang dijalankan dengan menggunakan suatu perlakuan (*treatment*) tertentu yang dilakukan dibawah kondisi buatan dan diatur oleh peneliti. Penelitian ini menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata* sebagai fitoremediator logam kromium (Cr^{6+}) menggunakan sistem *batch*.

3.2 Waktu Penelitian

Penyusunan laporan penelitian dilakukan pada bulan Februari – Maret 2023. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan April – Juni 2023 yang terdiri dari 7 hari aklimatisasi dan 9 hari proses fitoremediasi. Jadwal pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Jadwal Kegiatan	Bulan																											
		Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1.	Penyusunan Proposal	■	■	■	■	■	■	■	■																				
2.	Seminar Proposal							■																					
3.	Revisi Proposal							■	■																				
4.	Persiapan Penelitian											■																	
5.	Proses Aklimatisasi											■	■																
6.	Proses Fitoremediasi											■	■	■	■														
7.	Penyusunan Laporan													■	■	■	■	■	■	■	■								
8.	Pelaksanaan Review Hasil																							■					
9.	Perbaikan Review Hasil																							■	■				
10.	Pelaksanaan Sidang Akhir																											■	

3.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan. Pengambilan tanaman *Hydrilla verticillata* dilakukan di Sentra Ikan Gunungsari Surabaya. Pembuatan limbah artifisial kromium dilakukan di Laboratorium Kampus II UIN Sunan Ampel Surabaya. Untuk pengujian limbah logam Kromium (Cr^{6+}) dilakukan di laboratorium AXO Green Lab Surabaya.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu bak reaktor berukuran 40 cm x 20 cm x 20 cm sebanyak 5 buah yang terdiri dari reaktor kontrol, 2 reaktor dengan 100 gr tanaman, dan 2 reaktor 200 gr tanaman, labu ukur, pH meter, spatula, Thermometer, cawan petri, botol sampel pengujian laboratorium, pipet tetes, gelas ukur, gelas beker, oven, furnace dan timbangan digital.

3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Aquades, label, limbah artifisial kromium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) dan tanaman *Hydrilla verticillata* Dengan kriteria tanaman memiliki berat 5-10 gr, dan panjang 15-30 cm.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat sebagai berikut:

3.5.1 Variabel Bebas

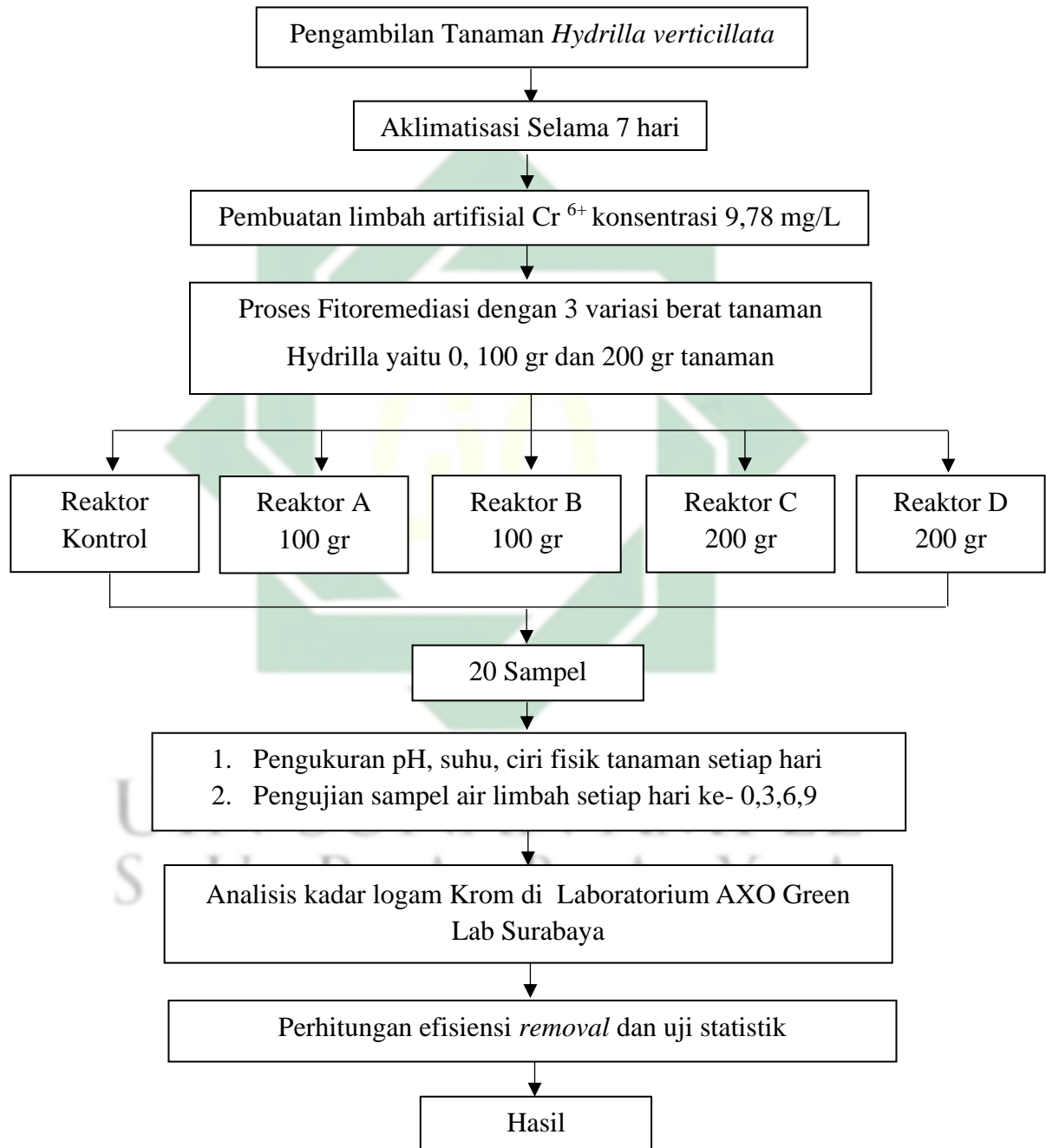
Variabel bebas adalah yang membawa perubahan terhadap suatu penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variasi berat tanaman yang digunakan yaitu *Hydrilla verticillata*.

3.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu dampak akibat adanya perubahan dari variabel bebas. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi limbah artifisial Kromium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dengan konsentrasi 9,78 mg/L.

3.6 Kerangka Pikir Penelitian

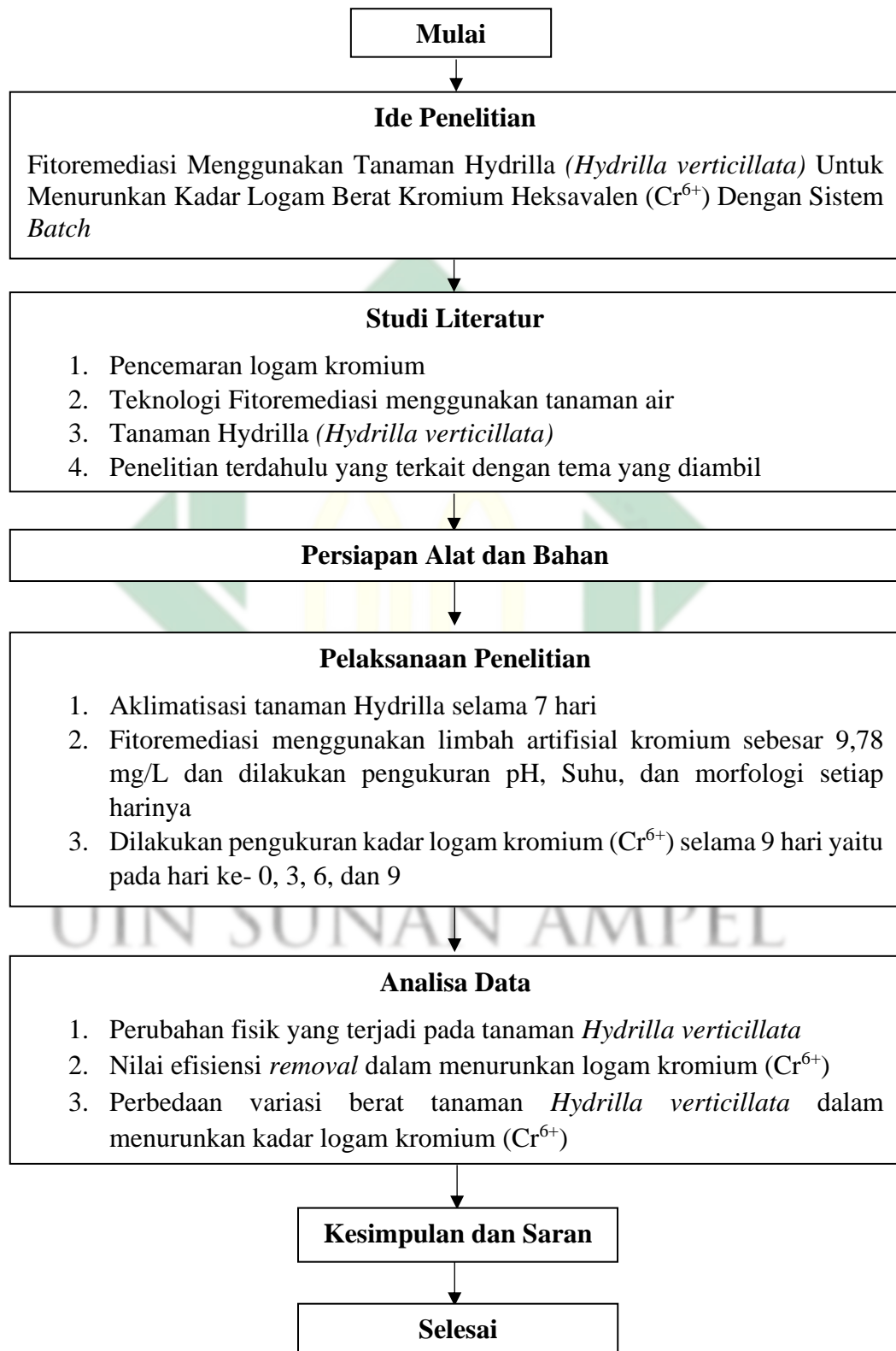
Kerangka pikir penelitian disusun untuk mengetahui alur dari tahap penelitian yang akan dilakukan. Berikut disajikan diagram kerangka pikir penelitian pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Pikir Penelitian

3.7 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.7.1 Tahap Persiapan Penelitian

Tahap persiapan penelitian dilakukan dengan melakukan studi pendahuluan mengenai permasalahan tema penelitian terkait. Selain itu juga dilakukan observasi tanaman yang akan digunakan untuk penelitian.

3.7.2 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahap pelaksanaan penelitian ini dilakukan pengumpulan data-data yang berkaitan dengan penelitian yang akan diuji yang terdiri dari data primer dan sekunder sebagai berikut:

a. Data Primer

1. Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan reaktor sebanyak 5 buah berukuran 40 cm x 20 cm x 20 cm dengan kapasitas 10 liter (Novi dkk., 2019) yang terdiri dari reaktor kontrol, 2 reaktor dengan 100 gr tanaman, dan 2 reaktor 200 gr tanaman. Pemilihan variasi berat tanaman ini karena pada penelitian (Fatikasari & Purnomo, 2022) menggunakan variasi berat tanaman 100 gr Hydrilla efektif untuk menurunkan kontaminan pada limbah hingga 96%, sehingga dilakukan pengembangan dengan range kelipatan menjadi 200 gr tanaman untuk penurunan kontaminan diwaktu yang lebih cepat. Hal ini didukung oleh penelitian (Nursagita & Sulistyaningsih, 2021) yang mengatakan bahwa, semakin banyak tanaman Hydrilla yang digunakan, semakin banyak kontaminan yang dapat diturunkan dan semakin cepat waktu yang diperlukan.

Bahan yang digunakan yaitu aquades, tanaman Hydrilla dan limbah artifisial kromium ($K_2Cr_2O_7$) dengan konsentrasi yang melebihi baku mutu yaitu sebesar 9,78 mg/L. Penggunaan kromium $K_2Cr_2O_7$ karena zat ini memiliki kemurnian yang tinggi, stabil, dan merupakan standar yang sangat baik.

2. Aklimatisasi Tanaman

Tanaman Hydrilla dikumpulkan dicuci bersih dari kotoran yang menempel untuk menghilangkan segala jenis kontaminan. Selanjutnya dilakukan proses aklimatisasi selama 7 hari karena dalam waktu ini Hydrilla masih dapat tumbuh dengan baik dibuktikan dengan adanya akar baru yang tumbuh (HS, 2019). Aklimatisasi ini bertujuan untuk melakukan pengadaptasian pada tanaman terhadap limbah yang akan diberikan sehingga tidak mati ketika proses fitoremediasi (Kasman dkk., 2019).

Wadah yang digunakan adalah bak plastik dengan ukuran seragam. Tanaman Hydrilla yang dipilih untuk penelitian ini adalah tanaman yang tumbuh sehat, segar dan hijau yang telah divalidasi oleh Laboratorium Karakterisasi Botani di Badan Riset dan Inovasi Nasional dengan kriteria tanaman memiliki berat 5-10 gr, dan panjang 15-30 cm.

3. Pembuatan Limbah Artifisial

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah artifisial logam kromium dengan konsentrasi sebesar 9,78 mg/L dimana menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup batas maksimum kadar logam kromium adalah sebesar 0,05 mg/L. Penentuan konsentrasi ini karena menurut (Munawwaroh & Pangestuti, 2018) pengolahan dengan metode fitoremediasi dengan konsentrasi tinggi tanaman tidak dapat hidup dalam waktu yang lama dan efektivitas untuk menyerap logam rendah.

Tiap reaktor akan diberikan 10 liter air limbah dengan konsentrasi logam kromium sebesar 9,78 mg/L dan melarutkannya dengan aquades. Perhitungan air limbah artifisial $K_2Cr_2O_7$ mengikuti perhitungan molaritas dan konsentrasi yang diinginkan dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

Ar Cr = 52

Mr $K_2Cr_2O_7$ = 294

Kemurnian = 99%

Volume = 500 ml

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{mol}}{L}$$

$$M = \frac{n}{v}, \quad n = \frac{gr}{Ar Cr}$$

$$M = \frac{gr}{52}$$

$$\frac{gr}{L} = 0,0192 \text{ M}$$

Larutan induk $K_2Cr_2O_7$ dengan molaritas 0,0192 M, 500 ml

$$M = \frac{gr}{Mr. K_2Cr_2O_7} \times \frac{1000}{mL}$$

$$0,0192 \text{ M} = \frac{gr}{294} \times \frac{1000}{500}$$

$$gr = \frac{0,0192 \times 294}{2}$$

$$= 2,82 \text{ gram } K_2Cr_2O_7$$

Penimbangan $K_2Cr_2O_7$

$$gr = \frac{gr}{\% \text{ kemurnian}}$$

$$= \frac{2,82}{0,99} = 2,85 \text{ gr}$$

Jadi, jumlah serbuk $K_2Cr_2O_7$ yang dibutuhkan adalah sebesar 2,85 gr untuk dilarutkan dalam 500 ml aquades. Selanjutnya dilakukan pembuatan larutan sampel dengan konsentrasi 9,78 mg/L yang kemudian diencerkan kembali dengan aquades.

Pembuatan larutan konsentrasi 9,78 mg/l, 10000 ml

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ mg/l} \cdot V_1 = 9,78 \text{ mg/l} \cdot 10000 \text{ ml}$$

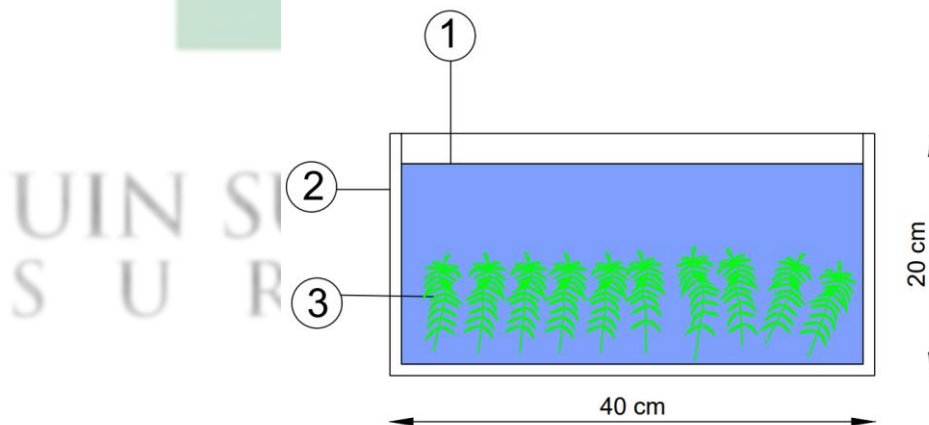
$$V_1 = 97,8 \text{ ml}$$

Sehingga untuk membuat 10 liter limbah artifisial kromium dengan konsentrasi 9,78 mg/L dibutuhkan larutan induk sebesar 97,8 mL. Limbah yang dibutuhkan setiap reaktornya adalah sebesar 10 liter.

4. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan selama 9 hari menggunakan limbah artifisial kromium dimana setiap reaktor diberikan limbah dengan konsentrasi 9,78 mg/L. Kemudian dimasukkan tanaman yang telah diaklimatisasi ke dalam reaktor masing-masing 0 (tanpa tanaman), 100 gr tanaman, dan 200 gr tanaman secara duplo. Tanaman yang akan digunakan adalah tanaman yang tumbuh sehat, segar dan hijau. Penelitian dilakukan selama 9 hari dengan pengambilan sampel setiap hari ke- 0, 3, 6, dan 9. Penelitian ini menggunakan sistem *batch* dimana selama proses penelitian tidak ada penambahan dan pengurangan larutan (Fatoni, 2020). Selain itu, pengoperasian sistem *batch* lebih mudah dan efisien waktu (Amalia dkk., 2022).

Pengujian air limbah menggunakan menggunakan metode AAS (*Automatic Absorption Spectrofotometer*) di laboratorium AXO Green Lab Surabaya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi awal logam berat kromium sebelum dilakukannya perlakuan.



Gambar 3.3 Desain Reaktor Batch

Keterangan:

1. Reaktan
2. Reaktor
3. Tanaman Hydrilla

5. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan terdiri dari dua variabel yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu tanaman Hydrilla dengan variasi berat 0 tanaman yang merupakan kontrol, 100 gr tanaman, dan 200 gr tanaman secara Duplo. Sedangkan variabel terikat yaitu logam berat kromium (Cr^{6+}). Rancangan percobaan penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan

Massa Tanaman (X)	Waktu Pengambilan Sampel (Y)			
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
0 (X ₁)	X ₁ Y ₁	X ₁ Y ₂	X ₁ Y ₃	X ₁ Y ₄
100 gr (X ₂)	X ₂ Y ₁	X ₂ Y ₂	X ₂ Y ₃	X ₂ Y ₄
200 gr (X ₃)	X ₃ Y ₁	X ₃ Y ₂	X ₃ Y ₃	X ₃ Y ₄

Keterangan:

X = Massa Tanaman

X₁= Kontrol, X₂= 100 gr, X₃= 200 gr

Y = Waktu Pengambilan Sampel

Y₁ = Hari ke 0, Y₂ = hari ke 3, Y₃ = hari ke 6, Y₄ = hari ke 9

X₁Y₁ = Kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-0

X₁Y₂ = Kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-3

X₁Y₃ = Kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-6

X₁Y₄ = Kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-9

X₂Y₁ = 100 gr dengan pengambilan sampel hari ke-0

X₂Y₂ = 100 gr dengan pengambilan sampel hari ke-3

X₂Y₃ = 100 gr dengan pengambilan sampel hari ke-6

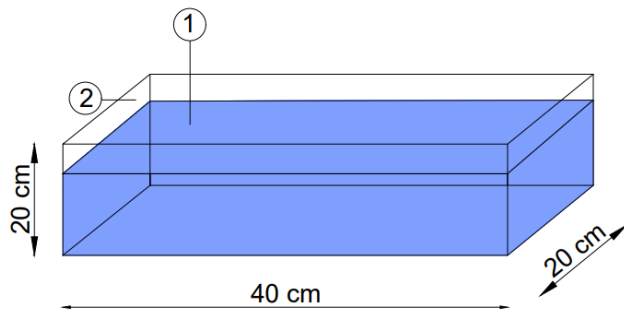
X₂Y₄ = 100 gr dengan pengambilan sampel hari ke-9

X₃Y₁ = 200 gr dengan pengambilan sampel hari ke-0

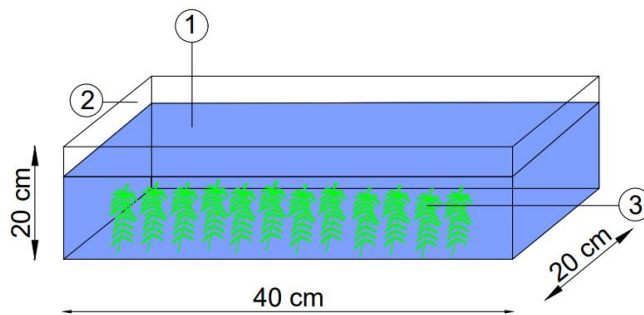
X₃Y₂ = 200 gr dengan pengambilan sampel hari ke-3

X₃Y₃ = 200 gr dengan pengambilan sampel hari ke-6

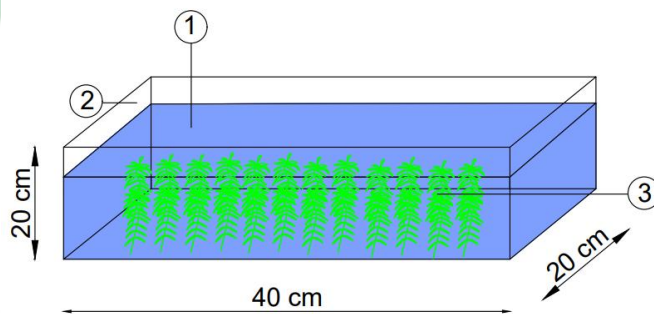
X₃Y₄ = 200 gr dengan pengambilan sampel hari ke-9



Gambar 3.4 Reaktor Kontrol (0 tanaman)



Gambar 3.5 Reaktor 100 gr tanaman



Gambar 3.6 Reaktor 200 gr tanaman

Keterangan:

1. Reaktan
2. Reaktor
3. Tanaman Hydrilla

6. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setiap harinya untuk pengukuran pH, suhu, dan morfologi tanaman di Laboratorium kampus II UIN Sunan Ampel Surabaya. Sedangkan limbah logam kromium diambil pada hari ke- 0, 3, 6, dan 9 penelitian

sebanyak 300 ml dengan pengambilan secara duplo karena pengulangan pengambilan dapat meningkatkan ketepatan percobaan sehingga lebih akurat (Afrissa, 2019). Waktu penelitian ini dipilih karena waktu tinggal 9 hari merupakan waktu optimum untuk mendapatkan hasil konsentrasi yang dibutuhkan dan pada waktu ini limbah masih dapat ditolerir oleh tanaman dimana tanaman masih tumbuh hijau dan segar (Novi dkk., 2019).

b. Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari studi pendahuluan yang mendukung tema terkait yang meliputi artikel, skripsi, buku, dan laporan penelitian terdahulu.

3.7.3 Tahap Pengolahan Data dan Penyusunan Laporan

Setelah dilakukannya penelitian, dilakukan pengolahan data dan penyusunan laporan yang merupakan tahap akhir dalam penelitian fitoremediasi tanaman *Hydrilla* (*Hydrilla verticillata*) dalam menurunkan logam berat kromium (Cr^{6+}). Data ini berupa penurunan kadar logam kromium (Cr^{6+}), pH, dan suhu dengan metode deskriptif dan statistik sebagai berikut:

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif pada penelitian ini yaitu menjelaskan mengenai penurunan kadar logam kromium dengan tanaman *Hydrilla verticillata* selama 9 hari penelitian dengan menggunakan variasi berat tanaman. Konsentrasi penurunan kadar logam kromium dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Lucyan, 2021):

$$\text{Efisiensi} = \frac{Cr\ \text{awal} - Cr\ \text{akhir}}{Cr\ \text{awal}} \times 100\%$$

2. Analisis Statistik

Analisis statistik pada penelitian menggunakan uji komparatif ANOVA satu jalur (*one-way ANOVA*) pada *software* SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) versi 20 yang bertujuan

untuk mengetahui perbedaan berat tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan logam berat kromium heksavalen (Cr^{6+}). Sebelum dilakukan pengolahan data, dilakukan uji normalitas terlebih dahulu dan setelah data normal dilanjutkan dengan uji homogenitas. Hasil data pengamatan harus bersifat normal dan homogen ditandai dengan dengan nilai signifikan $>0,05$. Uji ini digunakan apabila pada penelitian hanya menganalisis satu variabel bebas dan satu variabel terikat (Kesumawati dkk., 2018). Apabila data tidak berdistribusi secara normal dapat dialihkan dengan melakukan uji non parametik *Kruskal-Wallis* untuk mengetahui perbedaan pada setiap perlakuan.

3.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Hipotesis merupakan hasil penelitian sementara karena hanya ditentukan berdasarkan teori belum berdasarkan fakta. Jawaban sementara dalam hipotesis diperoleh atau didasari atas rangkuman tinjauan pustaka. Adapun hipotesis dalam penelitian ini yaitu:

1. H_0 : Tidak ada perbedaan terhadap variasi berat tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan kadar logam kromium (Cr^{6+})
2. H_1 : Terdapat perbedaan terhadap variasi berat tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan kadar logam kromium (Cr^{6+})



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN






4.1 Aklimatisasi Tanaman

Penelitian ini diawali dengan tahap aklimatisasi tanaman yang dilakukan sebelum proses fitoremediasi. Tahap ini bertujuan untuk proses adaptasi atau penyesuaian tanaman sehingga tanaman dapat hidup pada lingkungan baru. Tanaman Hydrilla dicuci bersih dengan air untuk menghilangkan segala kontaminan yang menempel (Lestari & Aminatun, 2018). Proses aklimatisasi dilakukan selama 7 hari yaitu pada tanggal 30 Maret 2023 – 06 April 2023 menggunakan wadah dengan ukuran seragam berisikan air bersih sebelum dipindah ke reaktor uji sesungguhnya, kemudian diamati perubahan fisik yang terjadi pada tanaman tersebut.

Hydrilla diletakkan pada ruangan dengan cahaya yang cukup sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik. Pada tahap ini, Hydrilla dapat tumbuh dengan baik hingga hari terakhir aklimatisasi ditandai dengan adanya tunas baru yang tumbuh. Setelah 7 hari aklimatisasi, Hydrilla dipilih dengan kriteria yang masih berwarna hijau segar kemudian ditimbang masing-masing reaktor dengan berat 100 gram dan 200 gram tanaman. Keadaan tanaman selama proses aklimatisasi disajikan pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Proses Aklimatisasi Tanaman

Hari	Keterangan	Gambar
Ke-1	Pada hari pertama, tidak terdapat perubahan yang signifikan pada tanaman Hydrilla. Tanaman terlihat berwarna hijau segar, dengan daun yang tumbuh lebat di sepanjang batang tanaman. Kondisi pH pada hari ke-1 sebesar 7,63 dengan suhu 27 ^o C.	
Ke-2	Tanaman Hydrilla masih terlihat sama seperti hari pertama aklimatisasi, dimana tanaman berwarna hijau segar, dengan daun yang tumbuh lebat di sepanjang batang tanaman, dan tanaman dapat tumbuh dengan baik. Kondisi pH pada hari ke-2 sebesar 7,18 dengan suhu 26 ^o C.	

Hari	Keterangan	Gambar
Ke-3	Tanaman Hydrilla masih terlihat berwarna hijau segar, dengan kondisi daun yang tumbuh lebat disepanjang batang dan dapat tumbuh dengan baik. Kondisi pH pada hari ke-3 sebesar 6,75 dengan suhu 25 ⁰ C.	
Ke-4	Tanaman Hydrilla terlihat tidak mengalami perubahan dan terlihat warna daun yang masih tumbuh lebat dengan warna hijau segar. Terdapat akar baru yang muncul pada tanaman. Kondisi pH pada hari ke-4 sebesar 7,07 dengan suhu 25 ⁰ C.	
Ke-5	Tanaman terlihat masih berwarna hijau segar dan tidak mengalami perubahan morfologi yang signifikan. Terdapat tunas baru yang tumbuh. Kondisi pH pada hari ke-5 sebesar 6,82 dengan suhu 26 ⁰ C.	
Ke-6	Beberapa tanaman mengalami perubahan warna pada daun yang mulai menguning. Terdapat pertumbuhan tunas baru pada beberapa tanaman. Kondisi pH pada hari ke-6 sebesar 6,69 dengan suhu 26 ⁰ C.	
Ke-7	Kondisi tanaman masih terlihat sama seperti hari ke-6, dan ditemui pertumbuhan tunas baru. Kondisi tanaman dapat tumbuh dengan baik. Kondisi pH pada hari ke-7 sebesar 6,31 dengan suhu 26 ⁰ C.	

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Dari proses aklimatisasi pada tanaman Hydrilla selama 7 hari, dapat diketahui bahwa tanaman ini mengalami perkembangan dan pertumbuhan dengan baik hingga akhir proses aklimatisasi dimana tidak terdapat tanaman yang mati. pH pada proses aklimatisasi berkisar antara 6,31 – 7,63 dan suhu air berkisar antara 25⁰C – 27⁰C. Beberapa tanaman mengalami perubahan pada

warna daun namun tetap dapat hidup dengan baik. Selain itu, tumbuhan mengalami perkembangan ditandai dengan adanya tunas baru yang muncul pada hari ke-5. Hal ini didukung oleh penelitian (Yasmin dkk, 2018 dalam Farobi, 2019) yang mengatakan bahwa salah satu faktor penentu keberhasilan proses aklimatisasi adalah tanaman dapat tumbuh dengan baik serta bertambahnya ukuran batang, daun, dan akar pada tanaman.

4.2 Uji Fitoremediasi Tanaman *Hydrilla verticillata*

Dalam penelitian ini, uji fitoremediasi tanaman *Hydrilla* untuk menurunkan kadar logam berat kromium dilakukan selama 9 hari. Tanaman *Hydrilla* dipaparkan pada reaktor kaca berukuran 40 cm x 20 cm x 20 cm yang kemudian diamati perubahan fisik pada tanaman dan diukur kondisi pH, dan suhu air setiap harinya. Pengukuran pH dan suhu dilakukan karena nilai pH dan suhu berkaitan erat dengan konsentrasi logam berat (Avrina & Lazulfa, 2018). Terjadinya peningkatan suhu selama proses fitoremediasi akan mempengaruhi proses penyerapan kontaminan karena suhu mempengaruhi metabolisme dan proses fotosintesis tumbuhan (Rahayuningtyas dkk., 2018). Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 300 ml pada hari ke- 0, 3, 6 dan 9 penelitian dan diujikan di laboratorium lingkungan Axo Green Lab Surabaya.

Tanaman *Hydrilla* yang digunakan adalah tanaman yang masih tumbuh dengan baik dan segar selama proses aklimatisasi. Bagian akar tanaman tidak digunakan dalam penelitian ini karena akar yang tumbuh sedikit, namun penyerapan kontaminan tetap dapat dilakukan karena seluruh tubuh *Hydrilla* dapat melakukan penyerapan, dan penyerapan kontaminan terbesar terjadi pada daun (Lucyan, 2021). Hal ini juga didukung oleh penelitian (Tan et al, 2023) yang mengatakan tanaman terendam menggunakan daun sebagai jalur utama dalam penyerapan logam berat. Daun *Hydrilla* memiliki luas permukaan dinding sel yang lebih lebar dibandingkan akarnya (Putriarti dkk., 2021). Logam akan masuk ke dalam daun tanaman secara langsung dari air dan selanjutnya ditranslokasikan ke jaringan tanaman lainnya (Harguinteguy et al., 2016).

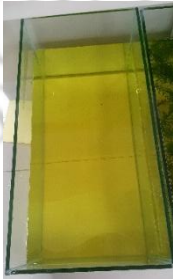
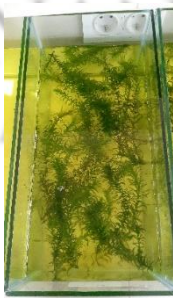

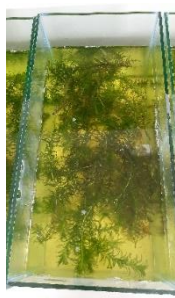

Adapun pembagian tanaman yang digunakan setiap reaktor secara duplo yang terdiri dari reaktor kontrol (tanpa tanaman), reaktor A 100 gr tanaman,

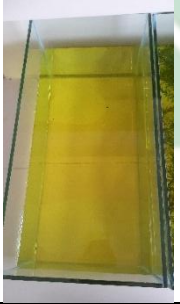


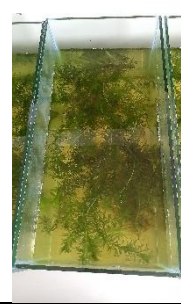

reaktor B 100 gr tanaman, reaktor C 200 gr tanaman, dan reaktor D 200 gr tanaman dengan konsentrasi limbah kromium sebesar 9,78 mg/L. Setiap reaktor akan berisikan 97,8 ml limbah artifisial kromium (Cr^{6+}) dan 9,9 liter aquades. Hasil uji konsentrasi logam berat Cr^{6+} yang didapatkan tidak sesuai dengan konsentrasi yang telah direncanakan yaitu sebesar 10 mg/L dimana hasil uji laboratorium adalah sebesar 9,78 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena adanya kesalahan ketika penghomogenan labu ukur, tidak memasukkan larutan yang sesuai dengan tanda batas, dan adanya larutan yang tertinggal dalam cawan petri (Sari & Saputri, 2020).




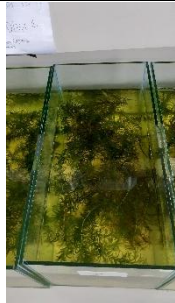

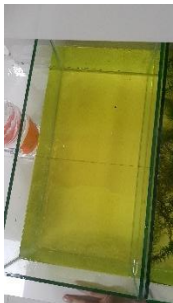




Pada proses uji fitoremediasi tanaman Hydrilla pada hari ke-4, beberapa daun tanaman mengalami perubahan fisik ditandai dengan warna yang semula berwarna hijau menjadi warna kuning kecoklatan dan beberapa daun mengalami kerontokan. Hal ini juga terjadi pada penelitian (Aulia, 2020) dimana warna daun tanaman Hydrilla mengalami perubahan yang ditandai dengan daun yang menguning serta mengalami kerontokkan akibat adanya zat pencemar logam berat Timbal (Pb) pada air limbah. Perubahan fisik ini terjadi karena adanya logam krom pada air yang diserap oleh tanaman dan menyebabkan terjadinya klorosis pada tanaman yaitu perubahan warna daun akibat adanya penurunan kadar klorofil sehingga daun menjadi kuning atau pucat (Fatikasari & Purnomo, 2022). Penyerapan logam kromium heksavalen oleh Hydrilla ini dilakukan oleh zat khelat yang melakukan penyerapan dan angkutan unsur logam esensial yang kemudian ditranslokasikan pada organ tertentu tanaman seperti daun, batang, dan akar (Lucyan, 2021).

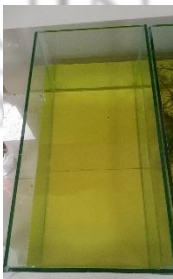
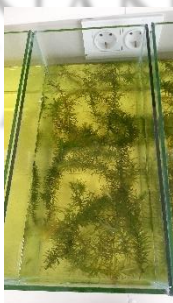

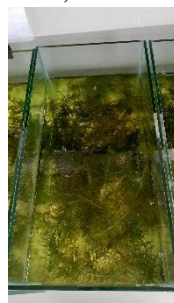
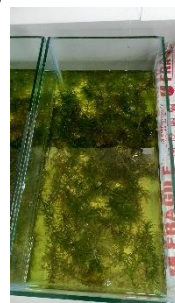
Penyerapan kontaminan oleh zat khelat pada tanaman Hydrilla dilakukan oleh unsur asam mugienik yang dapat mengikat logam. Zat khelat ini terdiri dari banyak ligan yang mampu melakukan pengikatan terhadap logam dan menstabilkan logam beracun (Avrina & Lazulfa, 2018). Setelah terjadi pengikatan logam oleh zat khelat, logam akan ditranslokasikan menuju organ lainnya dan disimpan pada vakuola sehingga tanaman masih dapat hidup dengan baik dan mampu melakukan penyerapan logam kembali (Aulia, 2020). Hasil pengamatan proses fitoremediasi tanaman Hydrilla dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini:



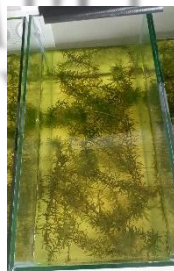
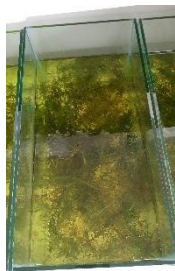
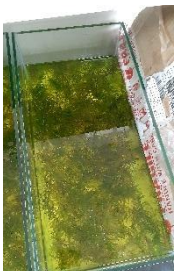
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Fitoremediasi Tanaman Hydrilla


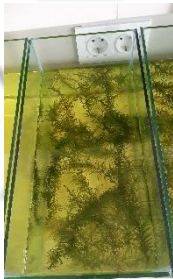
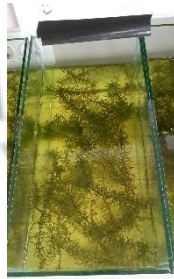

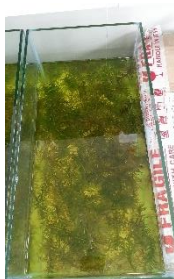
Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
0	<p>Air limbah pada reaktor kontrol berwarna kuning kehijauan dan tidak berbau.</p> 	<p>Pada hari ke-0 penelitian, kondisi tanaman masih dalam kondisi yang baik dan berwarna hijau segar karena waktu kontak yang singkat sehingga tidak terjadi perubahan secara fisiologis pada tanaman.</p> 	<p>Pada hari ke-0 penelitian, kondisi tanaman masih dalam kondisi yang baik dan berwarna hijau segar karena waktu kontak yang singkat sehingga tidak terjadi perubahan secara fisiologis pada tanaman.</p> 	<p>Pada hari ke-0 penelitian, kondisi tanaman masih dalam kondisi yang baik dan berwarna hijau segar karena waktu kontak yang singkat sehingga tidak terjadi perubahan secara fisiologis pada tanaman.</p> 	<p>Pada hari ke-0 penelitian, kondisi tanaman masih dalam kondisi yang baik dan berwarna hijau segar karena waktu kontak yang singkat sehingga tidak terjadi perubahan secara fisiologis pada tanaman.</p> 
1	<p>Air limbah pada reaktor kontrol berwarna kuning kehijauan namun terdapat sedikit perubahan dimana air terlihat sedikit keruh dibandingkan</p>	<p>Pada hari ke-1 fitoremediasi, kondisi tanaman masih terlihat baik dengan warna hijau tua dan masih terlihat segar. Kondisi air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh</p>	<p>Pada hari ke-1 fitoremediasi, kondisi tanaman masih terlihat baik dengan warna hijau tua dan masih terlihat segar. Kondisi air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh</p>	<p>Pada hari ke-1 fitoremediasi, kondisi tanaman masih terlihat baik dengan warna hijau tua dan masih terlihat segar. Kondisi air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh</p>	<p>Pada hari ke-1 fitoremediasi, kondisi tanaman masih terlihat baik dengan warna hijau tua dan segar. Air limbah pada reaktor ini terlihat berwarna kuning kehijauan dan</p>

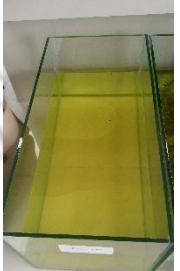
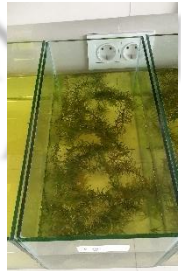

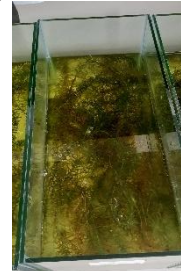
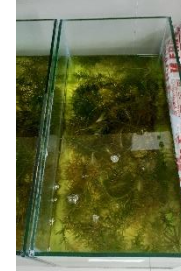
Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
	dengan hari sebelumnya. 	dibandingkan dengan hari sebelumnya. 	dibandingkan dengan hari sebelumnya. 	dibandingkan dengan hari sebelumnya. 	dibandingkan dengan hari sebelumnya, air limbah terlihat lebih keruh. 
2	Air limbah pada reaktor kontrol di hari ke-2 tidak mengalami banyak perubahan dan terlihat seperti hari ke-1. Air limbah pada reaktor berwarna kuning kehijauan sedikit keruh dan tidak berbau.	Pada hari ke-2 fitoremediasi, kondisi tanaman tidak mengalami banyak perubahan dengan kondisi daun berwarna hijau. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh dibandingkan dengan hari ke-1. Terdapat tunas baru pada beberapa tanaman yang menunjukkan bahwa tanaman masih tumbuh dengan baik dengan panjang 2,5 cm.	Pada hari ke-2 fitoremediasi, tanaman tidak mengalami banyak perubahan dengan daun berwarna hijau. Terdapat tunas baru pada beberapa tanaman yang menunjukkan tanaman masih tumbuh dengan baik dengan panjang 2,4 cm. Air limbah pada hari ke-2 berwarna kuning kehijauan dan agak keruh.	Tanaman masih dalam kondisi yang baik dan tidak menunjukkan banyak perubahan dari hari ke-1. Beberapa tunas yang tumbuh saat masa aklimatisasi mengalami penambahan panjang menjadi 4,2 cm.	Pada hari ke-2 fitoremediasi, tanaman masih dalam kondisi yang baik dan tidak mengalami banyak perubahan dari hari ke-1. Tunas yang tumbuh memiliki panjang 3,1 cm dengan warna putih yang tumbuh pada bagian batang tanaman.

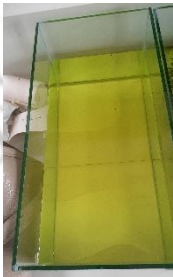


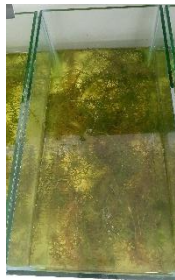

Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
					
3	<p>Air limbah pada reaktor di hari ke-3 tidak mengalami banyak perubahan dan masih terlihat sama dari hari ke-2. Limbah berwarna kuning kehijauan, sedikit keruh dan tidak berbau.</p> 	<p>Pada reaktor A, tanaman tidak mengalami banyak perubahan yang berarti di hari ke-3. Tanaman dalam kondisi daun yang berwarna hijau segar. Tunas yang tumbuh terlihat tumbuh dengan baik. Kondisi air limbah sedikit keruh berwarna kuning kehijauan.</p> 	<p>Pada hari ke-3 fitoremediasi, tanaman tidak mengalami banyak perubahan dengan kondisi daun yang berwarna hijau segar dan tunas yang berwarna putih. Kondisi air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 	<p>Pada hari ke-3 fitoremediasi, tanaman masih dalam kondisi yang baik dan tidak mengalami banyak perubahan dari hari ke-2. Tanaman berwarna hijau segar dengan tunas berwarna putih. Kondisi air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 	<p>Pada reaktor D, tanaman masih dalam kondisi yang baik dan tidak banyak berubah dari hari ke-2. Tunas berwarna putih dan tanaman berwarna hijau segar. Air limbah sedikit keruh dan memiliki warna kuning kehijauan.</p> 

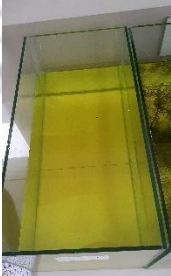
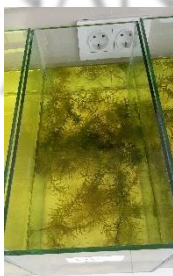
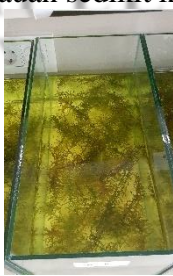
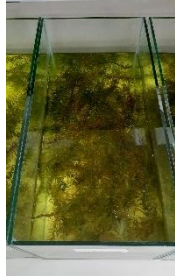
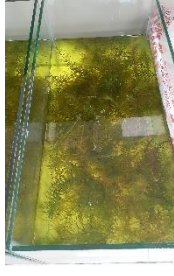
Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
4	<p>Reaktor kontrol pada hari ke-4 berwarna sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan dan tidak berbau.</p> 	<p>Pada hari ke-4 fitoremediasi, tanaman mulai mengalami perubahan pada warna daun menjadi kuning kecoklatan. Air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan. Tunas yang tumbuh berwarna putih dan dapat hidup dengan baik.</p> 	<p>Kondisi tanaman mulai mengalami perubahan pada hari ke-4. Warna daun mulai menguning dan terdapat tunas baru yang tumbuh. Air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan. Tunas yang tumbuh berwarna putih dan dapat hidup dengan baik.</p> 	<p>Pada hari ke-4 fitoremediasi, kondisi tanaman mulai mengalami perubahan warna pada daun menjadi kuning kecoklatan. Tunas yang tumbuh tidak berbeda jauh dengan hari sebelumnya. Kondisi air limbah berwarna kuning kehijauan, sedikit keruh.</p> 	<p>Pada hari ke-4 fitoremediasi, kondisi tanaman mulai mengalami perubahan warna pada daun menjadi kuning kecoklatan. Tunas yang tumbuh mengalami banyak perubahan. Air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 
5	<p>Air limbah pada reaktor kontrol di hari ke-5 masih tidak mengalami banyak perubahan dengan kondisi daun berwarna kuning</p>	<p>Pada hari ke-5 fitoremediasi, beberapa tanaman masih terlihat sama seperti hari sebelumnya. Beberapa tanaman yang mengalami perubahan pada warna</p>	<p>Pada hari ke-5 fitoremediasi, beberapa tanaman mengalami perubahan pada warna daun yang mulai menguning. Hal ini karena tanaman yang</p>	<p>Pada hari ke-5 fitoremediasi, beberapa tanaman yang mengalami perubahan warna terjadi kerontokan pada daun yang dapat disebabkan</p>	<p>Pada hari ke-5 fitoremediasi, beberapa tanaman masih terlihat mengalami perubahan pada warna daun yang menguning. Selain itu terdapat beberapa daun</p>

Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
	kehijauan dan tidak berbau. 	daun dan mengalami kerontokan. Hal ini disebabkan karena tanaman mulai menyerap kontaminan pada air. Tunas yang tumbuh berwarna putih pucat. Air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan. 	mulai menyerap zat pencemar pada air. Tunas yang tumbuh tidak berbeda jauh dari hasil sebelumnya dengan warna putih pucat. Air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan. 	oleh gejala klorosis. Tunas yang tumbuh berwarna putih pucat. Kondisi Air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan. 	yang mengalami kerontokan yang dapat disebabkan oleh gejala klorosis dimana tanaman yang mulai menyerap kontaminan pada air. Tunas yang tumbuh berwarna putih pucat. Kondisi air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan. 
6	Kondisi air limbah tidak mengalami banyak perubahan dari hari sebelumnya dengan warna kuning kehijauan, sedikit keruh dan tidak berbau.	Pada hari ke-6 fitoremediasi, beberapa tanaman mengalami perubahan pada warna daun yang mulai menguning. Pangkal batang mengalami perubahan warna menjadi	Pada hari ke-6 fitoremediasi, tanaman yang mengalami gejala klorosis bertambah terutama tanaman yang berada pada dasar reaktor. Batang tanaman mulai mengalami	Pada hari ke-6 fitoremediasi, tanaman yang mengalami perubahan pada warna daun bertambah. Beberapa pangkal batang muncul warna kuning kecoklatan	Pada hari ke-6 fitoremediasi, beberapa tanaman mengalami perubahan pada warna daun bertambah, yang semula hijau menjadi kuning kecoklatan. Tunas yang tumbuh

Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
	<p>berwarna putih pucat. Beberapa pangkal batang muncul warna kuning kecoklatan akibat adanya zat pencemar pada air. Tunas yang tumbuh berwarna putih pucat. Terdapat daun baru yang tumbuh pada beberapa tanaman dengan warna hijau muda. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.</p> 	<p>perubahan warna menjadi kecoklatan. Tunas yang tumbuh berwarna putih, dan air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 	<p>akibat adanya zat pencemar pada air. Tunas yang tumbuh berwarna putih pucat. Terdapat daun baru yang tumbuh pada beberapa tanaman. Air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 	<p>berwarna putih pucat. Beberapa pangkal batang muncul warna kuning kecoklatan akibat adanya zat pencemar pada air. Kondisi air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 	<p>berwarna putih pucat. Beberapa pangkal batang muncul warna kuning kecoklatan akibat adanya zat pencemar pada air. Kondisi air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 
7	<p>Reaktor kontrol pada hari ke-7 berwarna sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan dan tidak berbau.</p>	<p>Pada hari ke-7 fitoremediasi, kondisi tanaman yang menguning mengalami kerontokan dan pangkal batang tanaman berwarna kehitaman, hal ini karena adanya kandungan logam kromium pada air yang diserap oleh tanaman.</p>	<p>Pada hari ke-7 fitoremediasi, kondisi tanaman yang menguning mengalami kerontokan dan pangkal batang tanaman berwarna kehitaman, hal ini karena adanya kandungan logam kromium pada air yang</p>	<p>Pada hari ke-7 fitoremediasi, kondisi tanaman yang menguning mengalami kerontokan yang disebabkan oleh kandungan logam kromium pada air yang diserap oleh tanaman. Terdapat perubahan</p>	<p>Pada hari ke-7 fitoremediasi, kondisi tanaman yang menguning mengalami kerontokan yang disebabkan oleh kandungan logam kromium pada air yang diserap oleh tanaman. Tunas yang tumbuh</p>

Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
	<p>Jumlah daun baru yang tumbuh bertambah dengan warna hijau muda dan terlihat tumbuh dengan baik. Tunas terlihat berwarna putih pucat. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.</p> 	<p>Jumlah daun baru yang tumbuh bertambah dengan warna hijau muda dan terlihat tumbuh dengan baik. Tunas terlihat berwarna putih pucat. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.</p> 	<p>diserap oleh tanaman. Tunas yang tumbuh mengalami perubahan warna pada ujung menjadi kecoklatan, dan terdapat daun baru yang tumbuh berwarna hijau muda. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.</p> 	<p>warna pada ujung tunas menjadi kecoklatan. Daun baru yang tumbuh berwarna hijau muda dan tumbuh dengan baik. Pangkal batang tanaman berwarna kecoklatan dan air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 	<p>berwarna putih dengan kecoklatan pada ujung tunas. Pangkal batang tanaman berwarna kecoklatan dan air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 
8	<p>Kondisi air limbah masih sama dengan hari sebelumnya yaitu berwarna kuning kehijauan dan tidak berbau.</p>	<p>Pada hari ke-8 fitoremediasi, kondisi tanaman yang menguning mengalami kerontokan semakin bertambah dibandingkan hari sebelumnya. Pangkal batang dan ujung tunas tanaman berwarna</p>	<p>Pada hari ke-8 fitoremediasi, kondisi tanaman yang menguning mengalami kerontokan semakin bertambah dibandingkan dengan hari sebelumnya. Pangkal batang dan</p>	<p>Pada hari ke-8 fitoremediasi, kondisi tanaman yang menguning mengalami kerontokan yang disebabkan oleh kandungan logam kromium pada air yang diserap oleh tanaman.</p>	<p>Pada hari ke-8 fitoremediasi, kondisi tanaman yang menguning mengalami kerontokan yang disebabkan oleh kandungan logam kromium pada air yang diserap oleh tanaman.</p>

Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
	<p>kehitaman akibat kandungan logam kromium pada air yang diserap oleh tanaman. Daun baru yang tumbuh masih terlihat berwarna hijau muda dan segar. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.</p> 	<p>kehitaman akibat kandungan logam kromium pada air yang diserap oleh tanaman. Daun baru yang tumbuh masih terlihat berwarna hijau muda dan segar. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.</p> 	<p>ujung tunas berwarna kehitaman akibat kandungan logam kromium pada air yang diserap oleh tanaman. Daun baru yang tumbuh masih terlihat berwarna hijau muda dan segar. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.</p> 	<p>Bagian ujung tunas yang tumbuh berwarna kehitaman dan terdapat daun baru yang tumbuh dengan warna hijau muda serta kondisi air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 	<p>Bagian ujung tunas mengalami perubahan warna menjadi kehitaman. Air limbah sedikit keruh dengan warna kuning kehijauan.</p> 
9	<p>Air limbah pada reaktor kontrol di hari ke-9 tidak mengalami banyak perubahan dan terlihat seperti hari sebelumnya. Air limbah pada reaktor berwarna kuning</p>	<p>Pada hari ke-9 fitoremediasi, kondisi tanaman tidak jauh berbeda dengan hari sebelumnya. Terdapat beberapa tanaman yang mengalami perubahan pada warna daun dan pangkal batang menjadi</p>	<p>Pada hari ke-9 fitoremediasi, kondisi tanaman tidak jauh berbeda dengan hari sebelumnya. Dimana terdapat beberapa tanaman yang mengalami perubahan pada warna daun dan</p>	<p>Pada hari ke-9 fitoremediasi, kondisi tanaman tidak jauh berbeda dengan hari sebelumnya. Dimana terdapat beberapa tanaman yang mengalami perubahan pada warna daun dan</p>	<p>Pada hari ke-9 fitoremediasi, kondisi tanaman tidak jauh berbeda dengan hari sebelumnya. Dimana terdapat beberapa tanaman yang mengalami perubahan pada warna daun dan</p>

Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
	kehijauan sedikit keruh dan tidak berbau.	kuning kecoklatan dan daun yang mengalami kerontokan pada dasar reaktor. Daun baru yang tumbuh terlihat berwarna hijau muda dan segar. Ujung tunas berwarna kehitaman dengan panjang 2,3 cm. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.	pangkal batang menjadi kuning kecoklatan serta daun yang mengalami kerontokan pada dasar reaktor. Ujung tunas yang tumbuh berwarna kehitanaman dengan panjang 2,1 cm dan daun baru yang tumbuh terlihat berwarna hijau muda dan segar. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.	pangkal batang menjadi kecoklatan karena tanaman yang terkontaminasi zat pencemar. Daun baru yang tumbuh bertambah dan terlihat berwarna hijau dan segar. Panjang tunas pada hari terakhir sebesar 3,7 cm. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.	pangkal batang menjadi kecoklatan karena tanaman yang terkontaminasi zat pencemar. Tunas baru yang tumbuh berwarna putih pucat dan kecoklatan pada bagian ujung tunas dengan panjang 2,8 cm. Air limbah berwarna kuning kehijauan sedikit keruh.
					

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Perubahan morfologi terjadi selama proses fotoremediasi menggunakan tanaman *Hydrilla* berlangsung. Beberapa daun dan pangkal batang tanaman menunjukkan gejala klorosis dimana warna daun terlihat kuning kecoklatan, selain itu terdapat tunas dan daun baru yang tumbuh. Tunas baru yang tumbuh mengalami perubahan warna terlihat kehitaman dengan panjang masing-masing 2,3 cm, 2,1 cm, 3,7 cm, dan 2,8 cm pada hari terakhir. Tunas yang tumbuh ini muncul ketika proses aklimatisasi dan semakin bertambah jumlahnya ketika proses fitoremediasi. Selain itu juga terdapat daun baru yang tumbuh pada hari ke-6 dengan kondisi berwarna hijau segar yang menunjukkan bahwa tanaman masih dapat hidup dengan baik hingga hari terakhir fitoremediasi. Tanaman *Hydrilla* mampu mentolerir toksisitas logam berat meskipun berada pada wilayah yang terkontaminasi logam berat (Avrina & Lazulfa, 2018).

Pada reaktor dengan 200 gr tanaman, kandungan logam berat Cr^{6+} mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan reaktor dengan 100 gr tanaman. Hal ini dapat terjadi karena adanya jumlah tanaman yang lebih banyak pada reaktor 200 gram dibandingkan dengan reaktor 100 gram tanaman. Jumlah tanaman yang lebih banyak dan waktu kontak yang lebih lama akan menurunkan kontaminan yang semakin besar. Hal ini karena jumlah tanaman akan mempengaruhi proses fitoremediasi dan akan mempengaruhi tanaman dalam memperoleh nutrisi (Nugroho dkk., 2019). Selain itu, semakin lama proses pemaparan tumbuhan perubahan warna daun dan batang semakin kecoklatan (Aulia, 2020).



Gambar 4.1 Kondisi Tanaman Sebelum dan Setelah Perlakuan

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Kadar logam berat yang tinggi akan merusak dan mengubah susunan sel tanaman. Semakin tinggi kadar kontaminan pada air semakin tinggi pula tingkat kerusakan seperti klorosis pada tanaman. Kerusakan ini akan menyebabkan terganggunya proses fotosintesis pada tanaman (Fatikasari & Purnomo, 2022). Konsentrasi logam krom pada air yang semakin tinggi juga akan meningkatkan proses akumulasi oleh *Hydrilla*. Hal ini terjadi karena adanya senyawa fitokelatin yang terbentuk seiring dengan bertambahnya pencemar pada lingkungan (Farobi, 2019).

Senyawa fitokelatin akan mengikat kromium ke dalam sel tanaman dan selanjutnya diangkut oleh jaringan xilem dan floem. Kromium yang masuk ke dalam jaringan tanaman akan dieksresikan sehingga menggugurkan daun tanaman dan menyebabkan terjadinya kerusakan jaringan epidermis yang ditandai dengan terjadinya klorosis sehingga terjadi perubahan morfologi seperti menguning dan rontoknya daun. Selain itu, kondisi lingkungan seperti pH, suhu, kerapatan tanaman, dan cahaya matahari juga dapat mempengaruhi proses fitoremediasi (Rahayuningtyas dkk., 2018). Perubahan morfologi ini menunjukkan bentuk respon tanaman *Hydrilla* dalam beradaptasi terhadap bahan pencemar seperti kromium pada lingkungan.

4.3 Analisis pH dan Suhu pada uji Fitoremediasi

1. pH

Analisis pH dilakukan untuk mengetahui kondisi keasaman pada suatu lingkungan yang dilakukan penelitian dan pengaruh proses fitoremediasi oleh tanaman *Hydrilla*. Alat pH meter digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur pH pada setiap reaktor setiap harinya. Selama proses fitoremediasi, tanaman *Hydrilla* berkontribusi dalam menurunkan dan menaikkan pH hingga mendekati nilai netral. Nilai pH berkisar antara 6,23 – 6,91 dengan nilai tertinggi pada reaktor C yaitu 6,91 pada hari ke-9. Kondisi pH ini telah sesuai untuk pertumbuhan optimal tanaman *Hydrilla* yang mampu hidup pada pH antara 6 – 7,2 (Falah, 2021).

Naiknya nilai pH dapat disebabkan karena adanya proses fotosintesis yang menghasilkan CO_2 dan melepaskan ion OH^- di dalam air dan mengikat

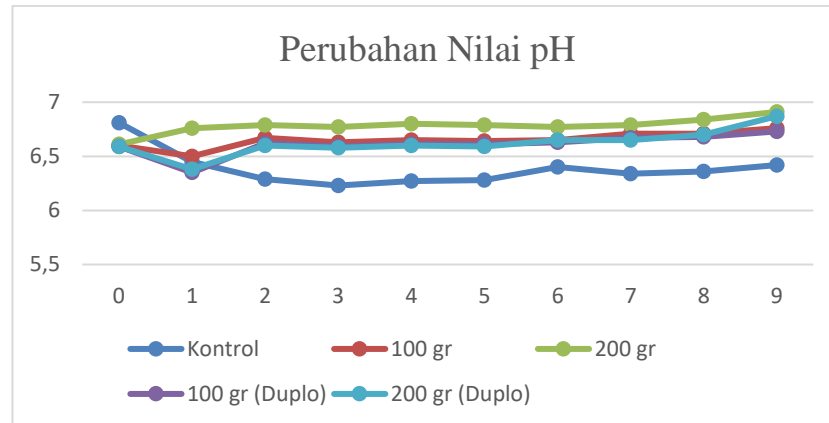
ion H^+ yang ada pada air (As'ari dkk., 2022). Semakin lama waktu kontak tanaman Hydrilla untuk meremediasi kromium maka akan membuat nilai pH semakin netral. Sedangkan turunnya pH terjadi karena adanya bagian tanaman yang mengalami pembusukan oleh mikroba penghasil asam. Ion yang menyebabkan pH basa seperti OH^+ berikatan dengan ion kromium sehingga ion OH^+ berkurang dan pH menurun (Billah dkk., 2020). Hal ini berbeda dengan reaktor kontrol, dimana nilai pH yang tidak menunjukkan angka yang mendekati nilai netral akibat tidak adanya kontak oleh tanaman. Penelitian ini membuktikan dengan adanya proses fitoremediasi oleh tanaman Hydrilla memberikan peningkatan nilai pH mendekati netral jika dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak diberikan perlakuan tanaman Hydrilla.

Nilai pH dapat mempengaruhi kelarutan logam berat karena naiknya nilai pH pada perairan akan memperkecil kelarutan dari senyawa logam. Turunnya nilai pH akan menyebabkan toksisitas logam berat yang lebih besar (Rahayuningtyas dkk., 2018). Kadar pH yang rendah akan berpengaruh pada kelarutan logam kromium sehingga semakin tinggi dan toksisitas semakin besar (Sumantri & Rahmani, 2020). Pengukuran nilai pH yang diperoleh selama proses fitoremediasi tanaman Hydrilla disajikan pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran pH

Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
0	6,81	6,6	6,59	6,61	6,59
1	6,45	6,5	6,35	6,76	6,38
2	6,29	6,67	6,62	6,79	6,6
3	6,23	6,63	6,59	6,77	6,58
4	6,27	6,65	6,61	6,8	6,6
5	6,28	6,64	6,61	6,79	6,59
6	6,4	6,65	6,63	6,77	6,65
7	6,34	6,71	6,67	6,79	6,65
8	6,36	6,71	6,68	6,84	6,7
9	6,42	6,76	6,73	6,91	6,87

Sumber: Hasil analisis, 2023



Gambar 4.2 Grafik Perubahan Nilai pH

Sumber: Hasil analisis, 2023

2. Suhu

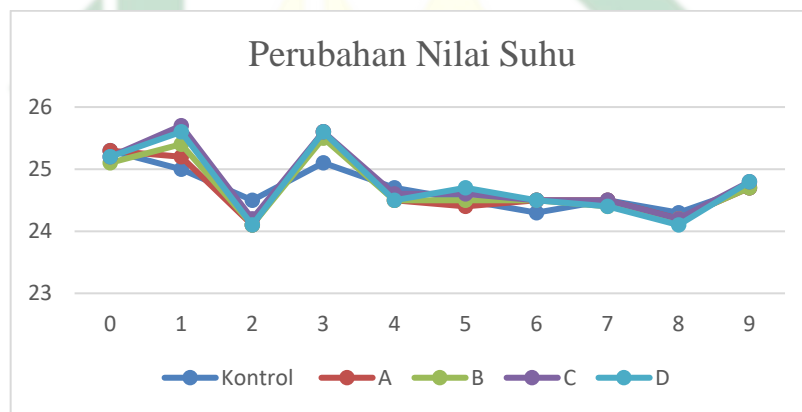
Selain pengukuran pH, juga dilakukan pengukuran suhu yang dilakukan setiap hari dan menunjukkan adanya perubahan suhu air yang mengalami kenaikan dan penurunan selama proses fitoremediasi. Kondisi suhu mempengaruhi tingkat penyerapan kontaminan oleh tanaman dalam proses metabolisme dan fotosintesis (Nugroho, 2021). Suhu air yang diukur berkisar antara $24,1^{\circ}\text{C}$ – $25,7^{\circ}\text{C}$ dimana suhu ini masih memenuhi batas toleransi pertumbuhan tanaman *Hydrilla* yaitu berkisar antara 18°C – 28°C (Falah, 2021).

Suhu tertinggi terjadi sebesar $25,7^{\circ}\text{C}$ dan suhu terendah yaitu sebesar $24,1^{\circ}\text{C}$. Nilai suhu pada setiap reaktor mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak begitu signifikan karena peletakan reaktor yang berada pada satu lokasi yang sama dan dipengaruhi kondisi lingkungan. Perubahan suhu dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya matahari yang tidak tetap serta kondisi cuaca sehingga suhu selama proses fitoremediasi tidak stabil. Suhu mempengaruhi tingkat penyerapan kontaminan karena berkaitan dengan kegiatan fotosintesis dan metabolisme pada tanaman (Rahayuningtyas dkk., 2018). Kondisi suhu air pada penelitian ini telah memenuhi kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman *Hydrilla*. Hasil pengukuran suhu selama proses fitoremediasi tanaman *Hydrilla* dapat dilihat pada tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Suhu

Hari Ke-	Reaktor				
	Kontrol	A	B	C	D
0	25,3	25,3	25,1	25,2	25,2
1	25	25,2	25,4	25,7	25,6
2	24,5	24,1	24,1	24,2	24,1
3	25,1	25,6	25,5	25,6	25,6
4	24,7	24,5	24,5	24,6	24,5
5	24,5	24,4	24,5	24,6	24,7
6	24,3	24,5	24,5	24,5	24,5
7	24,5	24,5	24,4	24,5	24,4
8	24,3	24,2	24,2	24,2	24,1
9	24,7	24,7	24,7	24,8	24,8

Sumber: Hasil analisis, 2023



Gambar 4.3 Grafik Perubahan Nilai Suhu

Sumber: Hasil analisis, 2023

Berdasarkan hasil analisis pengukuran pH dan suhu selama masa fitoremediasi, terdapat perbedaan nilai antara reaktor kontrol, reaktor 100 gr tanaman, dan reaktor 200 gr tanaman. Nilai pH mengalami kenaikan dan mendekati nilai netral pada hari terakhir fitoremediasi, dan nilai suhu mengalami nilai yang naik turun yang dipengaruhi oleh kondisi cahaya dan suhu laboratorium (Nugroho, 2021). Menurut (Jayampathi et al., 2019) suhu lingkungan dapat mempengaruhi laju transpirasi tumbuhan selama proses fitoremediasi. Tanaman akan mengalami kematian apabila suhu berada dibawah 10⁰C dan diatas 40⁰C (Putra, 2018).

4.4 Analisis Kandungan Logam Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) Pada Air

Penelitian fitoremediasi menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata* ini berlangsung selama 9 hari dengan pengujian kadar logam berat kromium setiap 3 hari yaitu pada hari ke- 0, 3, 6, dan 9 secara duplo dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometer*) di laboratorium lingkungan AXO Green Lab Surabaya. Kadar logam berat Cr⁶⁺ yang dihasilkan selama proses fitoremediasi dapat dilihat pada tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Analisis Kadar Logam Cr⁶⁺ Pada Reaktor

Hari Ke-	Nilai kadar Cr ⁶⁺ (mg/L)				
	Reaktor Kontrol	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C	Reaktor D
0	9,78	9,78	9,78	9,78	9,78
3	9,62	7,21	7,26	5,22	5,27
6	9,44	5,67	5,72	3,55	3,61
9	9,18	2,86	2,94	1,33	1,38

Sumber: Hasil analisis, 2023

Berdasarkan hasil uji fitoremediasi selama 9 hari, hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman *Hydrilla* mampu meningkatkan kualitas air secara signifikan. Hal ini dilihat dari perbedaan nilai kadar logam berat Cr⁶⁺ pada hari ke 0 (sesaat sebelum perlakuan) dengan hari ke-9 (hari terakhir perlakuan).

Pada reaktor kontrol terjadi penurunan konsentrasi logam berat krom dari 9,78 mg/L menjadi 9,18 mg/L pada hari terakhir. Pada reaktor A dengan massa tanaman *Hydrilla* sebesar 100 gr, terjadi penurunan konsentrasi logam berat krom dari 9,78 mg/L menjadi 2,86 mg/L. Pada reaktor B sebagai duplo reaktor A dengan massa tanaman 100 gr terjadi penurunan dari kadar 9,78 mg/L menjadi 2,94 mg/L. Pada reaktor C dengan massa tanaman 200 gr tanaman terjadi penurunan kontaminan dari 9,78 mg/L menjadi 1,33 mg/L. Kemudian pada reaktor D sebagai duplo reaktor C dengan massa tanaman 200 gr, penurunan logam berat Cr⁶⁺ terjadi dari konsentrasi sebesar 9,78 mg/L menjadi 1,38 mg/L.

Penurunan kadar logam Cr^{6+} pada reaktor kontrol tidak menunjukkan penurunan yang signifikan. Hal ini dapat disebabkan karena tidak adanya kontak tanaman dengan air pada reaktor. Penurunan kadar logam kromium terbesar terjadi pada reaktor C dengan variasi berat 200 gr tanaman sebesar 1,33 mg/L yang menunjukkan perlakuan fitoremediasi menggunakan tanaman *Hydrilla* berpengaruh terhadap penurunan logam berat kromium (Cr^{6+}) dibandingkan dengan reaktor yang tidak diberi perlakuan tanaman. Namun, penurunan konsentrasi logam berat kromium (Cr^{6+}) masih belum memenuhi baku mutu menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Hal ini dapat disebabkan karena kemampuan tanaman *Hydrilla* dalam mendegradasi senyawa pencemar belum optimal sehingga dibutuhkan waktu kontak yang lebih lama (Hapsari dkk., 2018).

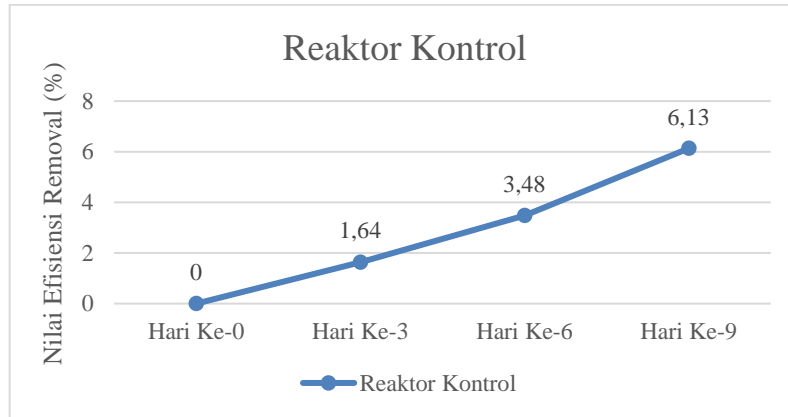
Penurunan kadar Cr^{6+} pada air terjadi karena tanaman *Hydrilla* sebagai tanaman hiperakumulator yang menyerap kontaminan sehingga kadar logam berat Cr^{6+} pada air mengalami penurunan. Penurunan kadar kontaminan juga terjadi pada penelitian (Billah dkk., 2020) yang menunjukkan adanya variasi berat tanaman yang lebih banyak akan menyebabkan penyerapan logam yang dilakukan semakin besar.

Penurunan kontaminan ini terjadi karena adanya proses penyerapan kontaminan dimana zat kontaminan akan diurai menjadi susunan molekul yang lebih sederhana oleh unsur asam mugienik yang ada pada tanaman *Hydrilla* sehingga tidak berbahaya (Irhamni dkk., 2019). Molekul ini kemudian akan disimpan pada vakuola tanaman sehingga tanaman masih dapat bertahan dan melakukan penyerapan kontaminan kembali (Aulia, 2020). Semakin lama waktu kontak dan variasi berat tanaman di dalam air, semakin cepat dan baik proses fitoremediasi berlangsung. Pada proses ini tanaman akan menyimpan logam pada organnya seperti akar dan daun untuk mencegah terjadinya keracunan akibat logam berat (Rahayuningtyas dkk., 2018).

4.5 Efisiensi Removal Logam Kromium Heksavalen (Cr^{6+})

Penelitian fitoremediasi ini dilakukan dengan sistem *batch* untuk menurunkan konsentrasi logam kromium heksavalen (Cr^{6+}) menggunakan tanaman

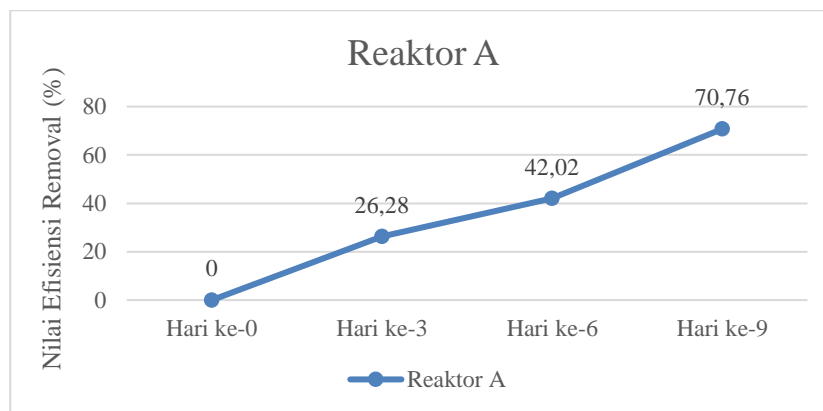
Hydrilla (*Hydrilla verticillata*). Tanaman Hydrilla mampu menurunkan kadar kontaminan terbukti dengan besarnya nilai efisiensi removal yang dihasilkan. Efisiensi removal tanaman Hydrilla pada reaktor kontrol dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini:



Gambar 4.4 Efisiensi Removal Logam Cr^{6+} Pada Reaktor Kontrol

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

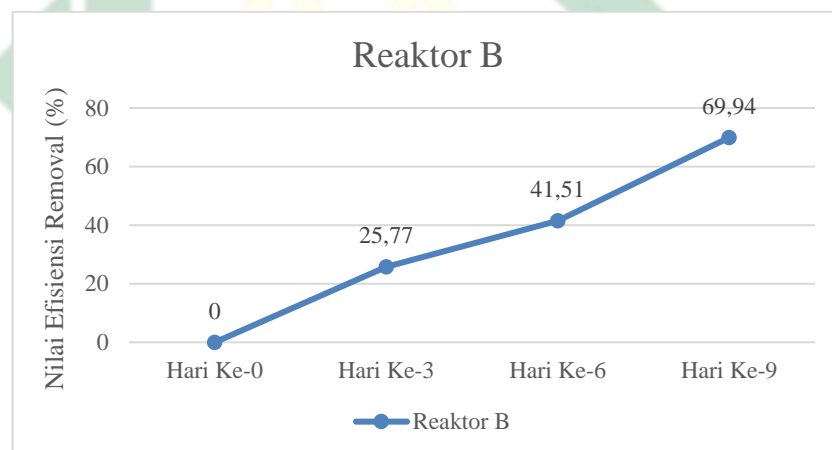
Pada reaktor kontrol, konsentrasi logam kromium Heksavalena Cr^{6+} adalah sebesar 9,78 mg/L. Penyerapan logam berat Cr^{6+} menghasilkan presentase efisiensi removal sebesar 6,13% pada hari terakhir dan mengalami penurunan Cr^{6+} menjadi 9,18 mg/L. Penurunan konsentrasi pada reaktor kontrol ini dapat disebabkan karena adanya proses pengendapan dan penguapan pada air dimana ion logam berikatan dengan oksigen (Lidiana, 2022). Selain itu, adapun reaktor A dengan berat 100 gr tanaman dengan hasil efisiensi removal sebagai berikut:



Gambar 4.5 Efisiensi Removal Logam Cr^{6+} Pada Reaktor A

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

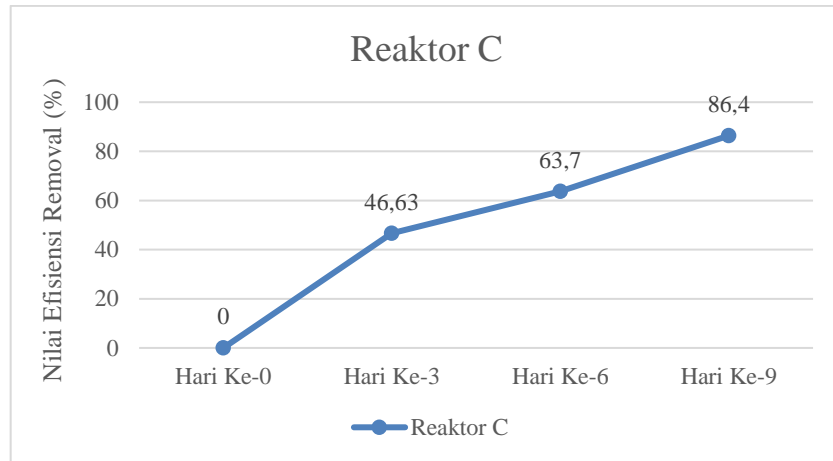
Pada reaktor A (100 gr tanaman), konsentrasi logam Cr^{6+} adalah sebesar 9,78 mg/L. Kadar logam kromium Heksavalen (Cr^{6+}) terjadi penurunan pada hari ke-3 sebesar 26,28% dengan kadar logam kromium sebesar 7,21 mg/L. Kemudian terjadi penurunan kembali pada hari ke-6 dengan kadar logam kromium sebesar 5,67 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 42,02%. Selanjutnya, pada hari ke-9 penurunan kadar logam kromium heksavalen sebesar 2,86 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 70,76%. Penurunan kadar logam Cr^{6+} ini terjadi karena adanya tanaman Hydrilla sebagai tanaman hiperakumulator yang menyerap kontaminan sehingga kadar logam berat pada tanaman mengalami penurunan (Fatikasari & Purnomo, 2022). Kemudian terdapat reaktor B sebagai duplo reaktor A dengan berat 100 gram tanaman dengan nilai efisiensi removal sebagai berikut:



Gambar 4.6 Efisiensi Removal Logam Cr^{6+} Pada Reaktor B

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

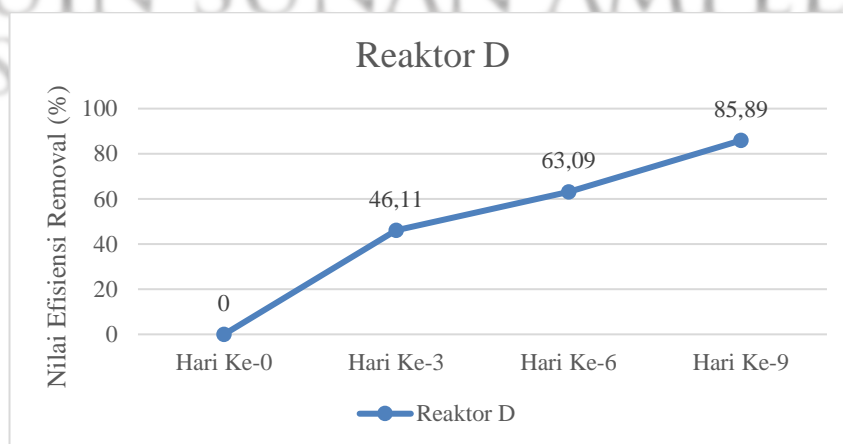
Penurunan logam Cr^{6+} pada reaktor ini tidak berbeda jauh dengan reaktor A. Nilai efisiensi removal pada reaktor B (duplo 100 gram tanaman) pada hari ke-3 adalah sebesar 25,77% dengan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 7,26 mg/L. Kemudian terjadi penurunan pada hari ke-6 sebesar 5,72 mg/L dengan nilai efisiensi removal 41,51%, dan pada hari ke-9 nilai efisiensi removal sebesar 69,94% dengan konsentrasi akhir sebesar 2,94 mg/L. Adapun penurunan efisiensi removal dengan menggunakan variasi berat 200 gram tanaman dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 4.7 Efisiensi Removal Logam Cr⁶⁺ Pada Reaktor C

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Selain variasi berat tanaman Hydrilla sebesar 100 gram tanaman, dilakukan juga perlakuan penyerapan kontaminan logam Cr⁶⁺ menggunakan variasi berat 200 gram tanaman. Berdasarkan hasil penelitian, penyerapan logam Cr⁶⁺ pada hari ke-3 mengalami penurunan sehingga kadar Cr⁶⁺ yang tersisa sebesar 5,22 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 46,63%. Konsentrasi logam berat Cr⁶⁺ juga mengalami penurunan pada hari ke-6 sebesar 3,55 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 63,70%. Pada hari ke-9 penurunan logam Cr⁶⁺ berada pada angka 1,33 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 86,40%. Reaktor C menjadi reaktor dengan removal Cr⁶⁺ terbesar. Selain itu, terdapat reaktor duplo 200 gram tanaman dengan hasil efisiensi removal sebagai berikut:



Gambar 4.8 Efisiensi Removal Logam Cr⁶⁺ Pada Reaktor D

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan gambar 4.8 di atas, konsentrasi logam Cr^{6+} pada reaktor D sebesar 9,78 mg/L. Penurunan logam berat Cr^{6+} terjadi pada hari ke-3 sebesar 4,51 mg/L sehingga kadar logam berat Cr^{6+} pada hari ke-3 sebesar 5,27 mg/L dengan nilai efisiensi removal sebesar 46,11%. Pada hari ke-6 penurunan logam berat Cr^{6+} sebesar 3,61 mg/L dengan nilai efisiensi removal sebesar 63,09%, dan pada hari ke-9 kadar logam berat Cr^{6+} sebesar 1,38 mg/L dengan nilai efisiensi removal sebesar 85,89%. Penurunan kadar Cr^{6+} pada reaktor ini tidak berbeda jauh dengan reaktor C yang juga menggunakan variasi berat 200 gram tanaman. Perbedaan ini terjadi karena adanya perbedaan kualitas tanaman yang digunakan pada kedua reaktor dimana hal ini dapat mempengaruhi proses penyerapan kontaminan oleh tanaman. Menurut (Fitriana, 2018) semakin tua umur tanaman akan menyebabkan penyerapan kontaminan semakin tinggi. Hasil efisiensi removal pada setiap reaktor disajikan pada tabel 4.6 di bawah ini yang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Lucyan, 2021):

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{\text{Cr awal} - \text{Cr akhir}}{\text{Cr awal}} \times 100\%$$

Keterangan:

Cr awal: Konsentrasi awal Cr^{6+}

Cr akhir: Konsentrasi akhir Cr^{6+}

Tabel 4.6 Efisiensi Removal Penyerapan Logam (Cr^{6+})

Reaktor	Efisiensi Removal Cr^{6+}						
	Hari ke-0 (mg/L)	Hari ke-3		Hari ke-6		Hari ke-9	
		Penurunan Cr^{6+} (mg/L)	Efisiensi Removal (%)	Penurunan Cr^{6+} (mg/L)	Efisiensi Removal (%)	Penurunan Cr^{6+} (mg/L)	Efisiensi Removal (%)
Kontrol	9,78	9,62	1,64	9,44	3,48	9,18	6,13
Reaktor A	9,78	7,21	26,28	5,67	42,02	2,86	70,76
Reaktor B	9,78	7,26	25,77	5,72	41,51	2,94	69,94
Reaktor C	9,78	5,22	46,63	3,55	63,70	1,33	86,40
Reaktor D	9,78	5,27	46,11	3,61	63,09	1,38	85,89

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan data yang didapatkan, metode fitoremediasi mampu menurunkan kadar kromium heksavalen dalam air, namun penurunan

konsentrasi logam berat kromium Cr^{6+} selama 9 hari belum sepenuhnya menurunkan konsentrasi hingga dibawah ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu sebesar 0,05 mg/L. Pada penelitian ini penyerapan optimum terjadi pada hari ke-9 pada massa 200 gram tanaman, dimana tanaman *Hydrilla* hanya dapat menurunkan logam Cr^{6+} hingga konsentrasi 1,33 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 86,40%. Hal ini bisa terjadi karena tingginya kadar logam berat krom Cr^{6+} pada air (Putra dkk., 2018). Selain itu, lamanya waktu kontak juga berpengaruh dalam penyerapan kontaminan oleh tanaman (Tan et al, 2019). Sedangkan nilai efisiensi removal terkecil terjadi pada reaktor B dengan variasi massa 100 gram tanaman yaitu sebesar 69,94%. Hal ini menunjukkan semakin banyak tanaman *Hydrilla* semakin besar penurunan konsentrasi logam berat kromium Cr^{6+} pada air (Billah dkk., 2020).

Berdasarkan hasil efisiensi removal pada setiap reaktor, perlakuan dengan menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata* menghasilkan presentasi removal yang lebih besar dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak diberikan perlakuan tanaman *Hydrilla*. Reaktor dengan massa tanaman sebesar 200 gram, berhasil menurunkan konsentrasi logam berat Cr^{6+} hingga 86,40 % dan 85,89% dengan konsentrasi akhir sebesar 1,33 mg/L dan 1,38 mg/L. Sedangkan reaktor dengan massa tanaman sebesar 100 gram berhasil meremoval logam berat Cr^{6+} hingga 70,76% dan 69,94% pada hari terakhir proses fitoremediasi dengan konsentrasi sebesar 2,86 mg/L dan 2,94 mg/L.

Kemampuan tanaman *Hydrilla* dalam menurunkan kadar logam berat kromium Cr^{6+} terjadi karena tanaman ini memiliki zat khelat yang berperan dalam mengikat logam (Irhamni dkk., 2019). Selain itu, senyawa fitokelatin akan dihasilkan oleh tanaman ini sebagai detoksifikasi yang terbentuk seiring dengan adanya logam berat pada lingkungan. Senyawa fitokelatin akan mengikat logam berat dan membentuk ikatan sulfida sehingga logam berat akan terbawa pada jaringan tanaman dan tidak bersifat toksik terhadap lingkungan (Lucyan, 2021).

Dari data yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa massa tanaman *Hydrilla (Hydrilla verticillata)* sebanyak 200 gram tanaman dapat menurunkan konsentrasi logam berat pada air yang tercemar. Meskipun kadar logam berat Cr^{6+} belum berhasil turun hingga dibawah baku mutu, nilai efisiensi removal tanaman *Hydrilla* dalam menurunkan logam berat dapat mencapai hingga 86,40% dengan massa tanaman 200 gram dalam waktu kontak selama 9 hari.

4.6 Analisis Perbedaan Variasi Berat Tanaman *Hydrilla* Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Kromium Heksavalen Cr^{6+}

Data penelitian yang telah didapatkan kemudian dilakukan analisis secara statistik mengenai perbedaan variasi berat tanaman dalam menurunkan konsentrasi logam berat Cr^{6+} menggunakan uji *One Way Anova* dengan *software* SPSS versi 20. Untuk melakukan uji Anova diperlukan uji normalitas dan homogenitas terlebih dahulu sebagai syarat uji Anova.

4.6.1 Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan uji pendahuluan yang dilakukan sebelum dilakukan uji Anova. Uji normalitas bertujuan untuk menguji variabel yang digunakan yaitu variabel bebas berupa variasi berat tanaman yang digunakan serta variabel terikat meliputi konsentrasi logam berat Cr^{6+} sebesar 9,78 mg/L berdistribusi normal atau tidak. Uji ini dapat dilakukan dengan menggunakan uji Shapiro-Wilk dan uji Kolmogorov-Smirnov.

Pada penelitian ini uji normalitas dilakukan dengan menggunakan uji Shapiro-Wilk dimana uji ini efektif dan valid untuk sampel yang berjumlah kecil dengan jumlah kurang dari 50 sampel (Quraisy, 2022). Apabila asumsi normalitas tidak terpenuhi, maka dialihkan menggunakan uji non parametik Kruskal-Wallis. Kriteria pengambilan keputusan uji normalitas menurut (Raharjo, 2018) adalah sebagai berikut:

1. Jika nilai Sig. > 0,05 maka data berdistribusi normal
2. Jika nilai Sig. < 0,05 maka data tidak berdistribusi normal

Tabel 4.7 Hasil Uji Normalitas

	Reaktor	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Kadar Cr ⁶⁺	Kontrol	,985	4	,928
	Reaktor A	,999	4	,997
	Reaktor B	,999	4	,997
	Reaktor C	,963	4	,796
	Reaktor D	,964	4	,804

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Berdasarkan hasil uji normalitas di atas, didapatkan nilai Sig. pada reaktor kontrol sebesar 0,928, reaktor 100 gr sebesar 0,997, reaktor dengan 200 gr tanaman sebesar 0,796 dan reaktor duplo 200 gr sebesar 0,804. Nilai yang dihasilkan pada uji Shapiro-Wilk setiap reaktornya menunjukkan nilai Sig. > 0,05 sehingga dapat dikatakan bahwa data berdistribusi normal dan dapat dilanjutkan dengan uji homogenitas.

4.6.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk menguji apakah suatu data berjalan homogen atau tidak. Uji *One Way Anova* dapat dilakukan apabila data memiliki varian yang sama. Nilai sig > 0,05 akan diasumsikan memiliki varian yang sama, sebaliknya nilai sig < 0,05 diasumsikan data tidak memiliki varian yang sama atau tidak homogen. Kriteria pengambilan keputusan uji homogenitas menurut (Raharjo, 2018) adalah sebagai berikut:

1. Jika nilai Sig. > 0,05 maka data homogen
2. Jika nilai Sig. < 0,05 maka data tidak homogen

Tabel 4.8 Uji Homogenitas

Leven Statistic	df1	df2	Sig.
1,417	4	15	,276

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Berdasarkan tabel 4.8 dapat diketahui bahwa hasil uji homogenitas menghasilkan nilai Sig. sebesar 0,276 dimana nilai ini $> 0,05$. Sehingga dapat dikatakan bahwa data penelitian ini homogen dan syarat untuk melakukan uji *One Way Anova* terpenuhi.

4.6.3 Uji *One Way Anova*

Uji *One Way Anova* merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui perbedaan pada sampel yang berjumlah lebih dari dua, serta digunakan untuk mengetahui variabel mana saja yang berbeda dengan yang lainnya (Santoso, 2018). Kriteria pengambilan keputusan uji *One Way Anova* menurut (Raharjo, 2018) adalah sebagai berikut:

1. Jika nilai Sig. $> 0,05$ maka tidak perbedaan terhadap variasi berat atau H_0 diterima
2. Jika nilai Sig. $< 0,05$ maka terdapat perbedaan variasi berat atau H_1 diterima

Tabel 4.9 Uji *One Way Anova*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	54,409	4	13,602	1,615	,222
Within Groups	126,360	15	8,424		
Total	180,769	19			

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Berdasarkan hasil uji *One Way Anova*, nilai Sig. yang dihasilkan sebesar 0,222 dimana nilai ini $> 0,05$, hal ini berarti H_0 diterima atau dapat dinyatakan tidak terdapat perbedaan variasi berat tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan kadar logam kromium Cr^{6+} . Tidak adanya perbedaan pada perlakuan variasi berat tanaman dapat terjadi karena waktu kontak tanaman yang singkat serta jumlah tanaman yang sedikit, sehingga data yang diperoleh sedikit (Hibatullah, 2019). Selain itu, variasi massa tanaman yang tidak berbeda jauh menyebabkan hasil penurunan memiliki nilai yang tidak berbeda pula sehingga rata-

rata penurunan kadar Cr^{6+} hampir sama dan tidak jauh berbeda (Meirina, 2018).

Nilai uji statistik yang dihasilkan menunjukkan tidak ada perbedaan pada perlakuan fitoremediasi dengan 100 gr dan 200 gr tanaman Hydrilla. Namun, berdasarkan hasil uji fitoremediasi nilai penurunan logam Cr^{6+} yang dihasilkan memiliki nilai yang berbeda setiap reaktornya yaitu sebesar 2,86 mg/L pada reaktor A, 2,94 mg/L pada reaktor B, 1,33 mg/L pada reaktor C, dan 1,38 mg/L pada reaktor D. Perbedaan ini terjadi karena adanya perbedaan kualitas tanaman yang digunakan pada setiap reaktor dimana hal ini dapat mempengaruhi proses penyerapan kontaminan oleh tanaman.

Tidak terdapat perbedaan terhadap massa tanaman Hydrilla yang digunakan juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sari dkk., 2020) dimana uji fitoremediasi dengan tanaman Kayu Apu selama 6 hari menghasilkan nilai sig $0,309 > 0,05$ sehingga tidak terdapat perbedaan pada perlakuan uji fitoremediasi. Hal ini disebabkan karena variasi jumlah tanaman yang digunakan tidak berbeda jauh dan singkatnya waktu pengujian sehingga data yang diperoleh sedikit.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan peneltiian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Tanaman *Hydrilla* mengalami perubahan morfologi seperti menguning dan rontoknya daun, serta batang yang menghitam. Selain itu, terdapat tunas dan daun baru yang tumbuh selama masa fitoremediasi.
2. Nilai efisiensi removal mencapai nilai tertinggi pada hari ke-9 dengan nilai pada reaktor kontrol mencapai 6,13%, pada reaktor A nilai efisiensi removal sebesar 70,76%, reaktor B nilai efisiensi removal mencapai 69,94%, pada reaktor C penyerapan kontaminan memiliki efisiensi removal sebesar 86,40%, dan pada reaktor D penyerapan kontaminan memiliki nilai efisiensi removal sebesar 85,89%.
3. Nilai uji *One Way Anova* menghasilkan nilai signifikasi sebesar 0,222 dimana nilai ini $> 0,05$ sehingga H_0 diterima dan tidak terdapat perbedaan terhadap variasi berat tanaman *Hydrilla verticillata* dengan variasi berat tanaman 100 gr dan 200 gr dalam menurunkan kadar logam kromium (Cr^{6+}) dengan waktu kontak selama 9 hari.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka saran untuk penelitian selanjutnya bahwa:

1. Diperlukan kajian kembali mengenai lama waktu kontak tanaman yang lebih lama terhadap logam berat sehingga penyerapan kontaminan dapat dilakukan secara maksimal
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian dengan variasi tanaman air lainnya dalam menyerap logam berat Cr^{6+} sehingga dapat dilakukan perbandingan dengan tanaman *Hydrilla verticillata*

DAFTAR PUSTAKA

- Afdila, N, Helmiady. (2020). Chrome Polution. *Magister Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.*
- Afrina, A., & Lazulva, L. (2018). Reduction of heavy metals level in the waste water using phytoremediation technique. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 1(1), 1-8.
- Afrissa, Z. R. (2019). *Karakterisasi Natural Organic Matter (NOM) Pada Pdam Kabupaten Sleman Unit Sleman, Yogyakarta.*
- Agustina, T. E., Faizal, M., Aprianti, T., Teguh, D., Rif'at, A. M., Putra, I. G., ... & Fitrializa, U. (2018). Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium Hexavalen Menggunakan Reagen Fenton dan Adsorben Keramik Zeolit. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(1), 60-69.
- Ahmed, I., Galadima, I., Sulaiman, M., & Deba, A. A. (2018). Phytoremediation: a preeminent alternative method for bioremoval of heavy metals from environment. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 10(1), 59–71.
- Ahmed, Z. F., Ameer, Q. A. A., & Saad, H. K. (2018). *Release Cumulative Power between (Ceratophyllum demersum L) and) Hydrilla verticillata (plant to Phytoremediation lead in the polluted water aquatic ecosystem. 79–90.*
- Al-Zurfi, S. K. L., & Al-Tabatabai, H. H. M. (2020). Aquatic Plant (Hydrilla Verticillata) Roles In Bioaccumulation Of Heavy Metals. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 51(2), 574–584.
- Amalia, V. N. (2022). Efisiensi Penyerapan Logam Besi (Fe) Menggunakan Adsorben Cangkang Telur Ayam Dengan Sistem Batch. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 91-96.
- Ansori, A. S. (2022). Uji potensi tumbuhan eceng gondok (eichhornia crassipes solm.) sebagai fitoremediator logam berat kromium (cr) pada limbah cair dari pabrik kulit di Magetan Jawa Timur (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Aqli Hs, M. R. (2019). *Fitoremediasi oleh tumbuhan hydrilla (Hydrilla verticillata (LF) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan dengan variasi konsentrasi logam*

- tembaga (Cu)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- As'ari, R. M., Syafiuddin, A., Andriansyah, A. A., & Setianto, B. (2022). Fitoremediasi Air Limbah Teme Menggunakan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*). *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(5), 564-569.
- Astufti, D., Sukmawati, N., Asyfiradayati, R., & Darnoto, S. (2022). Kajian Literatur Tentang Reduksi Kromium dalam Air Limbah Penyamakan Kulit dengan Fitoremediasi. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(1), 146-163.
- Aulia, M. (2020). *fitoremediasi logam berat pb dan fe pada limbah laboratorium kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang menggunakan hydrilla verticillata dari danau Ranu Grati Pasuruan* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Batubara, P. H. (2019). Evaluasi Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Hotel Madani Medan. *Tugas Akhir*.
- Billah, A. R., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. (2020). Phythoremediasi Chromium Total (Cr-T) menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) pada limbah cair batik. *J. Biol. Udayana*, 24(1), 47.
- DalCorso, G., Fasani, E., Manara, A., Visioli, G., & Furini, A. (2019). Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation. *International journal of molecular sciences*, 20(14), 3412.
- Dantje, T. S., & Sembel, B. (2015). Toksikologi Lingkungan. *Universitas Samratulangi. Manado*.
- Darmawan, M. A. A. (2021). Analisa Kandungan Logam Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Pada Kreco (*Pila ampullacea*) Di Sepanjang Sungai Rungkut Surabaya. *Jurnal Envscience*, 3(2), 17.
- Ekanayake, M. S., Udayanga, D., Wijesekara, I., & Manage, P. (2021). Phytoremediation of synthetic textile dyes: biosorption and enzymatic degradation involved in efficient dye decolorization by *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes L.* *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 20476–20486. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11699-8>

- Elmiyyah, A.M (2022). Biologi, P. S., Sains, F., Teknologi, D. A. N., Islam, U., & Walisongo, N. (2022). Efektivitas Fitoremediasi *Iris pseudacorus* Dalam Menurunkan Kadar Bod , Cod , Dan Warna Pada Limbah Cair.
- Falah, M. F. (2021). *Pengaruh Trichoderma sp terhadap pertumbuhan tanaman akuatik Hydrilla verticillata dan Bacopa monnieri* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Farobi, W. A. A. (2019). *Fitoremediasi oleh Hydrilla verticillata (Lf) Royle Danau Ranu Grati Pasuruan dengan variasi konsentrasi logam timbal (Pb)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Fatoni, A. A. (2020). *Fotoremediasi logam berat seng (zn) menggunakan tanaman eceng gondok (eichhornia crassipes) dengan sistem batch* (Doctoral dissertation, UIN Sunan Ampel Surabaya).
- Fitriana, A. N. (2018). *Efektifitas Penggunaan Jenis Tanaman ((Kayu Apu (Pistia Stratiotes), Melati Air (Echinodorus Palaefolius)) Dan Lama Kontak Terhadap Kadar Fosfat Pada Limbah Cair Laundry* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Semarang).
- Gafur, A., & Abbas, H. H. (2022). Kontaminasi Logam Berat Kadmium dan Kromium serta Batas Konsumsi Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar. *Higiene*, 8(1), 20–25.
- Gillett-Kaufman, J. L., Lietze, V. U., & Weeks, E. N. (2014). Hydrilla Integrated Management: IPM-207/IN1044, 8/2014. *EDIS*, 2014(6).
- Hafizhah, S. I. (2019). *Akumulasi Dan Penyerapan Logam Berat Seng (Zn) Oleh Tanaman Akar Wangi (Vetiveria Zizanioides) Pada Tanah Tercemar* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Hapsari, J. E., Amri, C., & Suyanto, A. (2018). Efektivitas kangkung air (*Ipomoea aquatica*) sebagai fitoremediasi dalam menurunkan kadar timbal (Pb) air limbah batik. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9(4), 172-177.
- Harguinteguy, C. A., Cofré, M. N., Fernández-Cirelli, A., & Pignata, M. L. (2016). The macrophytes *Potamogeton pusillus* L. and *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. as potential bioindicators of a river contaminated by heavy metals. *Microchemical Journal*, 124, 228-234.

- Hasan, M. M., Uddin, M. N., Ara-Sharmeen, I., F. Alharby, H., Alzahrani, Y., Hakeem, K. R., & Zhang, L. (2019). Assisting phytoremediation of heavy metals using chemical amendments. *Plants*, 8(9), 295.
- Haudakassove., Purwanti, E., Fatmawati, D., & Hardian, F. (2022). *Penggunaan Pistia stratiotes dan Hydrilla verticillata sebagai fitoremediasi logam tembaga (Cu) pada limbah produksi batik dan pemanfaatannya sebagai sumber belajar biologi*. 402–409.
- Hibatullah, H. F. (2019). Fitoremediasi Limbah Domestik (Grey Water) Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) Dengan Sistem Batch. 1-95.
- Irhanni, I., Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2019). Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2).
- Irianti, T. T., Kuswadi, Nuranto, S., & Budiyan, A. (2017). Logam Berat dan Kesehatan. *Grafika Indah ISBN: 979820492-1, January 2017*, 1–131.
- Jayampathi, T., Atugoda, T., & Jayasinghe, C. (2019). Uptake and accumulation of pharmaceuticals and personal care products in leafy vegetables. In *Pharmaceuticals and personal care products: Waste management and treatment technology* (pp. 87-113). Butterworth-Heinemann.
- Kasman, M., Riyanti, A., & Kartikawati, C. E. (2019). Fitoremediasi logam aluminium (Al) pada lumpur instalasi pengolahan air menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*). *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(1), 7-10.
- Kesumawati, N., Retna, A. M, Sari, N. (2018). Pengantar Statistika Penelitian. *Jakarta: Rajawali Pers., 2018. ISBN: 6024251321*.
- Kumar, S., & Kalamdhad, A. (2019). *Lecture Notes in Civil Engineering Sustainability in Environmental Engineering and Science*.
- Lestari, Y. P., & Aminatun, T. (2018). Efektivitas Variasi Biomassa Tanaman *Hydrilla verticillata* Dalam Fitoremediasi Limbah Batik Effectiveness Biomass Variation Of *Hydrilla Verticillata* Plant IN. *Jurnal Prodi Biologi*, 4, 233–241.

- Lidiana, R. (2022). *Efektivitas dan efisiensi tanaman Genjer (Limnocharis flava) dalam menurunkan kadar logam berat timbal (Pb) menggunakan sistem Batch* (Doctoral dissertation, UIN Sunan Ampel Surabaya).
- Lucyan, A. (2021). *Pengolahan limbah cair laboratorium kimia menggunakan NaOH dan fitoremediasi Hydrilla verticillata untuk menurunkan kadar logam tembaga (Cu) dan nikel (Ni)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Malaviya, P., Singh, A., & Anderson, T. A. (2020). Aquatic phytoremediation strategies for chromium removal. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19, 897-944.
- Meirina, M. A. (2018). *Efektivitas Fitoremediasi Tanaman Teratai (Nymphaea Sp.) dan Hidrilla (Hydrilla Verticillata) terhadap Penurunan Kadar BOD pada Limbah Cair Pabrik Tahu* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Semarang). <http://repository.unimus.ac.id>.
- Munawwaroh, A., & Pangestuti, A. A. (2018). Analisis Morfologi Dan Anatomi Akar Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) Akibat Pemberian Berbagai Konsentrasi Kadmium (Cd). *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi*, 7(2), 111-122.
- Muthusaravanan, S., Sivarajasekar, N., Vivek, J. S., Paramasivan, T., Naushad, M., Prakashmaran, J., ... & Al-Duaij, O. K. (2018). Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements. *Environmental chemistry letters*, 16, 1339-1359.
- Najila, N., & Anila, G. (2022). Heavy Metal Absorption and Phytoremediation Capacity of Macrophytes of Polachira Wetland of Kollam District, Kerala, India. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 26(1), 90-96.
- Nurdijanto, S. A., Purwanto, & Sasongko, S. B. (2011). "Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit (Studi Kasus Rumah Sakit Kristen Tayu , Pati)." *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(1), 25-30.
- Nugroho, A. A., Wahyuningsih, N. E., & Ginandjar, P. (2019). Pengaruh lama kontak dan kerapatan tanaman eceng gondok dalam mereduksi kadmium pada air larutan pupuk buatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 7(1), 374-380.

- Nugroho, P. A. (2021). *Efektivitas eceng gondok eichhornia crassipe sebagai fitoremediator logam krom heksavalen Cr6+ pada limbah cair industri batik di Yogyakarta* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).
- Nur, R. N. F., & Purnomo, T. (2022). Efektivitas Hydrilla verticillata dan Lemna minor sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 263-272.
- Nursagita, Y. S., & Titah, H. S. (2021). Kajian Fitoremediasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrove (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Teluk Jakarta). *Jurnal Teknik ITS*, 10(1), G22-G28.
- Novi, C., Sartika, S., & Shobah, A. N. (2019). Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan Hydrilla sp. Pada Limbah Industri Kertas. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 108–114. <https://doi.org/10.15408/jkv.v5i1.8814>
- Prabhu, P. P., & Prabhu, B. (2018). A review on removal of heavy metal ions from waste water using natural/modified bentonite. In *MATEC Web of conferences* (Vol. 144, p. 02021). EDP Sciences.
- Pujananto, E. K. (2020). Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat Kromium (Cr) Dan Kadmium (Cd) Pada Hati Dan Insang Ikan Sebagai Biomarker di Sungai Way Belau Bandar Lampung (Doctoral dissertation, UIN RADEN INTAN LAMPUNG).
- Putra, R. (2018). Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Sebagai Tanaman Phyto Treatment Dalam Proses Pengolahan Limbah Cair Penyulingan Minyak Kayu Putih. *Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta*.
- Putriarti, D., Mudloifah, I., Fitri Rosyidah, N., Putri Zainuddin, M., Rachmadiarti, F., Fitrihidajati, H., & Leilani Eka Putri, I. (2021). Kemampuan Hydrilla verticillata Sebagai Agen Fitoremediasi Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) Detergen. *Prosiding Seminar BIO*, 1025–1035.
- Quraisy, A. (2022). Normalitas Data Menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro-Wilk: Studi kasus penghasilan orang tua mahasiswa Prodi Pendidikan Matematika Unismuh Makassar. *J-HEST Journal of Health Education Economics Science and Technology*, 3(1), 7-11.

- Rachmawati, D. (2020). *Fitoremediasi menggunakan melati air (echinodorus palaefolius) untuk menurunkan logam besi (Fe)* (Doctoral dissertation, UIN Sunan Ampel Surabaya).
- Rahardjo, D., Prasetyaningsih, A., (2018). Konsentrasi Dan Akumulasi Kromium Dalam Darah Dan Rambut Warga Desa Banyakan 14.
- Raharjo, S. (2018). Cara Uji One Way Anova Parametrik dengan SPSS..
- Rahayuningtyas, I., Wahyuningsih, N. E., & Budiyo, B. (2018). Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak dan Berat Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap Kadar Timbal pada Irigasi Pertanian. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 6(6), 166-174.
- Ruhmawati, T., Sukandar, D., Karmini, M., & Roni S, T. (2018). Penurunan kadar total suspended solid (tss) air limbah pabrik tahu dengan metode fitoremediasi. *Jurnal Permukiman*, 12(1), 25-35.
- Safaruddin, M. D., Wijayanti, F., & Oktasari, A. (2022). Analisis Kadar Logam Kromium (Cr) pada Limbah Penyablonan di Konveksi Sakinah Palembang. 5, 376–380.
- Sangwijit, C., Phoosuwat, N., Sangwijit, P., Thakong, W., & Saikhao, L. (2022). *Assessment of growth ability and removal efficiency of the Hydrilla (Hydrilla verticillata) in wastewater. The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 48(3), 199-204.
- Santoso, S. (2018). *Menguasai SPSS Versi 25*. PT Elex Media Komputindo.
- Sari, I. D. M., & Thohari, I. (2020). *Pengaruh Fitoremediasi Tanaman Melati Air (Echinodorus palaefolius) Terhadap Penurunan Kadar Fosfat Pada Limbah Laundry. Jurnal Penelitian Kesehatan "SUARA FORIKES"(Journal of Health Research "Forikes Voice")*, 12(1), 10-13.
- Sari, I. N., & Saputri, D. F. (2016). *Pada Mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika IKIP PGRI Pontianak*. 14(2), 237–248.
- Sari, S. V. (2020). Pengaplikasian Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L) Dalam Menurunkan Kadar BOD, COD dan TSS Pada Limbah Cair Laboratorium Di RSUD Besuki Kabupaten Situbondo. *Jurnal Keperawatan Profesional*, 8(1), 26-39.

- Shrivastava, M., & Srivastava, S. (2021). Application and research progress of *Hydrilla verticillata* in ecological restoration of water contaminated with metals and metalloids. *Environmental Challenges*, 4(June), 100177.
- Siwi, L. O., Bana, S., Yasin, A., & Surya, R. A., (2019). Analisis Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg) Dan Kromium (Cr) Mendukung Pengelolaan Teluk Kendari Menuju Kota Ekologis. September.
- Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., & Satriawan, D. (2020). Mekanisme Fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(2), 40–47. <https://doi.org/10.35970/jppl.v2i2.360>
- Sulastrri, Y. S., Purba, E., & Tampubolon, K. (2019). Evaluasi Kemampuan Beberapa Jenis Tanaman Sebagai Fitoremediasi Logam Berat Kadmium. *Jurnal Pertanian Tropik*, 6(1), 62-71.
- Sumantri, A., & Rahmani, R. Z. (2020). Analisis pencemaran kromium (VI) berdasarkan kadar chemical oxygen demand (COD) pada hulu sungai Citarum di Kecamatan Majalaya Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat 2018. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 19(2), 144-151.
- Srivastava, D., Tiwari, M., Dutta, P., Singh, P., Chawda, K., Kumari, M., & Chakrabarty, D. (2021). Chromium stress in plants: toxicity, tolerance and phytoremediation. *Sustainability*, 13(9), 4629.
- Tan, Hui Wun, Yean Ling Pang, Steven Lim, and Woon Chan Chong. (2023) “A State-of-the-Art of Phytoremediation Approach for Sustainable Management of Heavy Metals Recovery.” *Environmental Technology and Innovation* 30: 103043. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103043>.
- Tan, W F, Y C Wang K Mumford, and J X Li X M Xu. (2019). “Performances of Purified Indigenous *Leifsonia* Sp . and Its Mechanism in the Removal of Cr (VI) under Shaking Condition,” 4843–50. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2071-6>.
- Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>

- Ulumudin, M. M., & Purnomo, T. (2022). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Papyrus (*Cyperus papyrus* L.) di Sungai Wangi Pasuruan. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 273–283. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p273-283>
- Venkateswarlu, V., Jhansi, T., Bai, L., & Venkatrayulu, C. H. (2019). Phytoremediation of heavy metal Copper (II) from aqueous environment by using aquatic macrophytes *Hydrilla verticillata* and *Pistia stratiotes*. 390 ~ *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(4), 390–393.
- Widyasari, N. L. (2021). *Kajian Tanaman Hiperakumulator Pada Teknik. 1*(Cd), 17–24.
- Wulandari, D. D., Izzatunnisa, S., (2021). Literatur Review: Akumulasi Dan Toksisitas Logam Berat: Kadmium (Cd), Kromium (Cr) Dan Nikel (Ni). *Jurnal ...*, 11(2), 93–98.
- Yadav, P., & Srivastava, S. (2020). Co-culturing *Hydrilla verticillata* with rice (*Oryza sativa*) plants ameliorates arsenic toxicity and reduces arsenic accumulation in rice. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100722.
- Yuliani, E. (2019). *Fitoremediasi limbah pelumas bekas menggunakan tanaman enceng gondok (Eichhornia Chassipes) dengan variasi penambahan pupuk* (Doctoral dissertation, UIN Sunan Ampel Surabaya).
- Zhang, H., Zhang, L. L., Li, J., Chen, M., & An, R. D. (2020). Comparative study on the bioaccumulation of lead, cadmium and nickel and their toxic effects on the growth and enzyme defence strategies of a heavy metal accumulator, *Hydrilla verticillata* (Lf) Royle. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 9853–9865.