

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT KROM HEKSAVALEN
(Cr⁶⁺) MENGGUNAKAN TANAMAN *AZOLLA MICROPHYLLA*
DENGAN SISTEM BATCH**

TUGAS AKHIR

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



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

Disusun Oleh

Nila Fariha

NIM. H75219028

Dosen Pembimbing

Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL

Amrullah, M.Ag

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

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Nila Fariha
NIM : H75219028
Program Studi : Teknik Lingkungan
Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul **"FITOREMEDIASI LOGAM BERAT KROM HEKSAVALEN (Cr^{6+}) MENGGUNAKAN TANAMAN *AZOLLA MICROPHYLLA* DENGAN SISTEM BATCH)**". Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan tindakan plagiat maka saya bersedia menerima sanksi yang diterapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 14 Juli 2023

Yang Menyatakan,



Nila Fariha

NIM. H75219028



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 : Nila Fariha
NIM : H75219028
Judul Tugas Akhir : Fitoremediasi Logam Berat Krom Heksavalen (Cr^{6+}) Menggunakan
Tanaman *Azolla microphylla* dengan Sistem Batch

Telah disetujui untuk pendaftaran Sidang Tugas Akhir

Surabaya, 27 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1

Dedy Suprayogi, M.KL

NIP. 198512112014031002

Dosen Pembimbing 2

Amrullah, M.Ag

NIP. 197309032006041001



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

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 PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Nama : Nila Fariha
NIM : H75219028
Judul Tugas Akhir : Fitoremediasi Logam Berat Krom Heksavalen (Cr^{6+}) Menggunakan
Tanaman *Azolla microphylla* dengan Sistem Batch

Telah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi

Di Surabaya, 3 Juli 2023

Mengesahkan,

Dewan Penguji

Penguji I

Dedy Supravogi, M.KL.
NIP. 198512112014031002

Penguji II

Amrullah, M.Ag
NIP. 197309032006041001

Penguji III

Ir. Sulistiya Nengse, S.T., M.T.
NIP. 199010092020122019

Penguji IV

Sarita Oktarina, M.Kes
NIP. 198710052014032003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Nur Hafidani, M.Pd.
NIP. 198307312000031002



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 : NILA FARIHA
NIM : H75219028
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : nilafariha21@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:
 Skripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul:

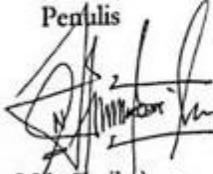
FITOREMEDIASI LOGAM BERAT KROM HEKSAVALEN (CR⁶⁺) MENGGUNAKAN TANAMAN *AZOLLA MICROPHYLLA* DENGAN SISTEM BATCH

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

(Nila Fariha)

ABSTRAK

Krom (Cr) merupakan logam berat yang banyak digunakan pada proses finishing untuk memenuhi kebutuhan industri. Bentuk heksavalen atau Cr^{6+} merupakan Cr yang paling beracun dibandingkan dengan jenis Cr lainnya. Apabila kadar Cr^{6+} pada perairan melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, maka akan menyebabkan pencemaran. Salah satu upaya pemulihan perairan yang tercemar dapat dilakukan dengan teknik fitoremediasi. Proses fitoremediasi pada penelitian ini menggunakan tanaman *Azolla microphylla* dengan sistem batch. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar logam berat Cr^{6+} secara efisien menggunakan variasi berat basah tanaman yang berbeda-beda. Sistem reaktor dalam fitoremediasi yang digunakan yaitu batch dengan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 9,91 mg/l, dengan variasi berat basah tanaman (100 gram, 150 gram, dan 200 gram) perlakuan secara duplo dengan waktu paparan (0,2,4,6, dan 8 hari). Hasil penelitian menunjukkan variasi berat basah tanaman paling baik adalah 200 gram tanaman (reaktor X_3) pada hari ke-6 perlakuan dengan hasil penurunan sampai dengan kadar Cr^{6+} terendah 1,25 mg/l. Efisiensi removal tertinggi terdapat pada variasi berat basah 200 gram tanaman (reaktor X_3) pada hari ke-6 dengan hasil perhitungan efisiensi removal sebesar 87,39%. Sedangkan pada hasil uji statistik kruskal wallis didapatkan hasil $\text{Asymp.sig} > 0,05$ yaitu 0,705 sehingga tidak ada perbedaan nyata variasi berat basah tanaman dalam menurunkan kadar logam berat Cr^{6+} .

Kata kunci: Fitoremediasi, Krom Heksavalen Cr^{6+} , Azolla microphylla, Sistem Batch

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

Chromium (Cr) is a heavy metal widely used in the finishing process to meet industrial needs. The hexavalent form, or Cr-VI, is the most toxic Cr compared to other types of Cr. If the Cr-VI level in the waters exceeds the established quality standards, it will cause pollution. One of the efforts to restore polluted waters can do with phytoremediation techniques. The phytoremediation process in this study used Azolla microphylla plants with a batch system. This study aims to know the ability of the Azolla microphylla plant to reduce the levels of the heavy metal Cr-VI efficiently using different plant wet weight variations. The reactor system in the phytoremediation used was a batch with a Cr-VI concentration of 9.91 mg/l, with variations in wet plant weight (100 grams, 150 grams, and 200 grams) with duplo treatments with exposure times (0,2,4,6 and 8 days). The results showed that the best variation of wet plant weight was 200 grams of plants (reactor X3) on the sixth day of treatment, with the results decreasing to the lowest Cr-VI content of 1.25 mg/l. The highest removal efficiency was found in the wet weight variation of 200 grams of plants (reactor X3) on the sixth day, with a calculated removal efficiency of 87.39%. In comparison, the results of the Kruskal Wallis statistical test showed Asymp. Sig > 0.05 was 0.705, so there was no significant difference in plant wet weight variations in reducing levels of heavy metal Cr-VI.

Keywords: Phytoremediation, Hexavalent Chromium Cr-VI, Azolla microphylla, Batch System

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fitoremediasi.....	6
2.2 Logam Berat Krom (Cr).....	9
2.3 Tanaman <i>Azolla microphylla</i>	11
2.3.1 Klasifikasi Tanaman <i>Azolla microphylla</i>	12
2.3.2 Morfologi Tanaman <i>Azolla microphylla</i>	13

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman <i>Azolla microphylla</i>	12
Gambar 3. 1 Skema Tahapan Penelitian	23
Gambar 3. 2 Kerangka Pikir Penelitian.....	24
Gambar 3.3 Layout Sampel.....	31
Gambar 3. 4 Reaktor Kontrol.....	32
Gambar 3. 5 Reaktor X ₁	32
Gambar 3. 6 Reaktor X ₂	32
Gambar 3. 7 Reaktor X ₃	32
Gambar 4. 1 Grafik pH pada Air Limbah	55
Gambar 4. 2 Grafik Suhu pada Air Limbah.....	58
Gambar 4. 3 Grafik Kelembaban Ruangan.....	60
Gambar 4. 4 Grafik Pencahayaan Ruangan	62
Gambar 4. 5 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor X ₁	67
Gambar 4. 6 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor X ₂	68
Gambar 4. 7 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor X ₃	69
Gambar 4. 8 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor X ₁ DUPLO	70
Gambar 4. 9 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor X ₂ DUPLO	71
Gambar 4. 10 Efisiensi Removal Logam Cr ⁶⁺ Pada Reaktor X ₃ DUPLO	71

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	18
Tabel 3. 1 Perlakuan Sampel Penelitian.....	30
Tabel 4. 1 Tahap Aklimatisasi Tanaman <i>Azolla microphylla</i>	35
Tabel 4. 2 pH, Suhu, Pencahayaan, dan Kelembaban Tahap Aklimatisasi	38
Tabel 4. 3 Kondisi Tanaman <i>Azolla microphylla</i> Saat Fitoremediasi.....	41
Tabel 4. 4 Kondisi Tanaman <i>Azolla microphylla</i> Saat Fitoremediasi (Duplo)	47
Tabel 4. 5 Nilai pH Air Limbah Tahap Fitoremediasi	54
Tabel 4. 6 Nilai Suhu Air Limbah Tahap Fitoremediasi.....	56
Tabel 4. 7 Nilai Kelembaban Ruangan Tahap Fitoremediasi	59
Tabel 4. 8 Nilai Pencahayaan Ruangan Tahap Fitoremediasi.....	61
Tabel 4. 9 Hasil Penurunan Kadar Cr^{6+} pada Proses Fitoremediasi	63
Tabel 4. 10 Efisiensi Removal Logam Berat Krom Heksavalen (Cr^{6+}).....	66
Tabel 4. 11 Hasil Uji Normalitas	74
Tabel 4. 12 Hasil Uji Statistik Kruskal Wallis	74

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi yang cepat, industrialisasi dan urbanisasi di banyak negara telah menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius serta menyebabkan peningkatan efek negatif pada kesehatan manusia. Pencemaran air permukaan, air tanah, tanah dan sedimen dengan berbagai logam berat merupakan salah satu masalah lingkungan yang semakin meningkat di seluruh dunia. Semua logam berat berpotensi menjadi racun bagi sebagian besar organisme hidup pada tingkat paparan yang tinggi (Sadeghi *et al.*, 2022).

Pencemaran lingkungan oleh Cr (VI) tersebar luas di seluruh dunia dengan kadar tinggi di air dan tanah karena aktivitas dari pekerjaan pertambangan dan logam, produksi baja dan paduan logam, pembuatan cat, pemrosesan kayu dan kertas, pewarnaan, dan peningkatan kandungan kromium dalam air limbah (Tumolo, *et al.*, 2020). Sekitar 80-90% industri kulit menggunakan Cr sebagai bahan penyamak. Limbah dari penyamakan ini mengandung sekitar 40% Cr yang digunakan dalam bentuk Cr(VI) dan Cr(III) (Sinha, *et al.*, 2018).

Kromium berpotensi sebagai bahan pencemar berasal dari residu industri tekstil, pelapisan logam, penyamakan kulit dan baterai. Limbah cair yang memiliki kandungan krom heksavalen (Cr^{6+}) berpotensi membahayakan kesehatan juga lingkungan sekitar. Air limbah pelapisan logam yang tidak diolah dahulu sebelum dibuang ke badan air dapat menimbulkan pencemaran terhadap mikroorganisme dalam bentuk koloid, larutan dan yang lainnya (Pratiwi dkk, 2019).

Menurut data kementerian perindustrian tahun 2022, industri logam dan baja mengalami pertumbuhan pada kuartal I sebesar 7,90%, pada kuartal II sebesar 15,79% lebih tinggi 4,01% dari industri pengolahan dan 5,44% lebih tinggi dari pertumbuhan ekonomi. Kemudian pada kuartal I tahun 2022, industri tekstil, kulit, dan alas kaki meningkat sebesar 10,44% , dan pada

kuartal II meningkat menjadi 13,74 %. Meningkatnya industri logam di Indonesia seperti pada Daerah Istimewa Yogyakarta, terdapat kurang lebih 30 industri kecil penyepuhan perak dan kurang lebih 10 industri kecil pelapisan logam krom dan nikel. Salahsatu industri elektroplating di Yogyakarta menghasilkan air limbah sebanyak 1.500 L/per hari, dengan kapasitas produksi 30 m². Sebelum pengolahan kadar Cr-Total sebesar 43,87 mg/l dan melebihi baku mutu pergub DIY No. 7 Tahun 2016 sebesar 0,5 mg/L (Pratiwi et al., 2019). Pencemaran Cr VI juga ditemukan pada daerah Bandung yang banyak berkembang wilayah industri di sektor hulu Sungai Citarum dengan potensi jumlah limbah yang dibuang mencapai 2.800 ton/hari, pada Sungai Citarum didapatkan kadar kromium pada stasiun A3 dan A4 yang melebihi baku mutu yaitu sebesar 0,075 mg/l dan 0,093 mg/l (Sumantri & Rahmani, 2020).

Firman Allah SWT dalam surat Ibrahim ayat 32-33 menjelaskan berbagai manfaat air bersih, sehingga manusia tidak sepatasnya mencemari badan air:

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجَ بِهِ مِنَ الثَّمَرَاتِ رِزْقًا لَكُمْ ۗ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْفُلْكَ لِتَجْرِيَ فِي الْبَحْرِ بِأَمْرِهِ ۗ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْأَنْهَارَ ۗ وَسَخَّرَ لَكُمُ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ دَائِبَيْنِ ۗ وَسَخَّرَ لَكُمُ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ ۗ

Artinya: “Allahlah yang telah menciptakan langit dan bumi, menurunkan air (hujan) dari langit, lalu dengan (air hujan) itu Dia mengeluarkan berbagai buah-buahan sebagai rezeki untukmu. Dia juga telah menundukkan kapal bagimu agar berlayar di lautan dengan kehendak-Nya. Dia pun telah menundukkan sungai-sungai bagimu. Dia telah menundukkan bagimu matahari dan bulan yang terus-menerus beredar (dalam orbitnya) dan telah pula menundukkan bagimu malam dan siang.” (Q.s Ibrahim: 32-33) (Al-Quran dan Terjemahnya, Kementerian Agama RI tahun 2019).

Menurut penelitian Sinha, et al., (2018) dari produksi total dunia sebesar 24.000 x 10³ metrik ton (berat kotor bijih kromkromit yang dapat

dipasarkan), sekitar 60-70% di gunakan dalam persiapan baja tahan karat. Di India, industri penyamakan kulit menyumbang sekitar 2000 - 3000 ton/tahun unsur Cr yang dibuang ke lingkungan. WHO merekomendasikan batas maksimum yang diperbolehkan untuk pembuangan Cr(VI) ke permukaan daratan dan air minum masing-masing adalah 0,1 mg/L dan 0,05 mg/L.

Pengolahan tersier yang dinilai efisien dan murah dapat dilakukan dengan fitoremediasi, fitoremediasi sebagai pemanfaatan tumbuhan air guna menyerap logam berat, bahan organik maupun bahan pencemar (Hanifa, 2018). Penelitian ini menggunakan fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman (*Azolla microphylla*) untuk mengetahui kemampuan dalam menurunkan kadar logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}).

Pada penelitian (Pratiwi dkk, 2019) tanaman *Azolla microphylla* mampu menyerap kadar Cr-Total pada air buangan industri elektroplating, sebelum dan sesudah perlakuan dengan variasi waktu tinggal mendapati adanya penurunan kadar Cr-Total. Sebelum dilakukan pengolahan kadar Cr-Total sebesar 43,87 mg/L. Pada hari ke 8 menunjukkan penurunan kadar Cr-Total yang signifikan sebesar 10,56 mg/L, sehingga efisiensi penurunan sebesar 94,98%.

Berdasarkan uraian tersebut diperlukan penelitian lanjutan tentang “Fitoremediasi Logam Berat Krom Heksavalen (Cr^{6+}) Menggunakan Tanaman *Azolla microphylla* dengan Sistem Batch”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penurunan kadar logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) dengan fitoremediasi tanaman *Azolla microphylla* menggunakan sistem *batch*?
2. Berapa nilai *efisiensi removal* logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) pada fitoremediasi dengan tanaman *Azolla microphylla*?

3. Bagaimana perbedaan variasi berat tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) pada proses fitoremediasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui penurunan kadar logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) dengan fitoremediasi tanaman *Azolla microphylla* menggunakan sistem *batch*
2. Mengetahui nilai *efisiensi removal* logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) pada fitoremediasi dengan tanaman *Azolla microphylla*
3. Mengetahui perbedaan variasi berat tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) pada proses fitoremediasi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagi Akademisi
 - a. Dapat di fungsikan sebagai sumber referensi, wawasan dan pengetahuan tentang pemanfaatan tanaman *Azolla microphylla* untuk menurunkan kadar krom heksavalen, dengan fitoremediasi secara *batch*.
 - b. Dapat menjadi pembanding bagi peneliti yang lain mengenai fitoremediasi tanaman air/akuatik.

2. Bagi Instansi

Dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}), dengan memanfaatkan tanaman yang tersedia melimpah di perairan seperti tanaman *Azolla microphylla* sebagai fitoremediator.

3. Bagi Masyarakat

Dapat di fungsikan sebagai penambah ilmu bagi masyarakat melalui penelitian yang di publikasi, mengenai pemanfaatan tanaman *Azolla microphylla* sebagai fitoremediator logam berat krom heksavalen (Cr^{6+})

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Tanaman yang digunakan yaitu *Azolla microphylla* yang berasal dari tempat budidaya *Azolla* yang terletak di Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah
2. Air limbah yang digunakan adalah air limbah artifisial dengan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 9,91 mg/l.
3. Parameter yang di ukur adalah kadar krom heksavalen (Cr^{6+}).
4. Baku mutu yang digunakan mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup lampiran VI baku mutu air sungai dan sejenisnya kelas I.
5. Penelitian ini menggunakan reaktor sebanyak 7 buah dengan ukuran p x l x t yaitu 60 cm x 40 cm x 15cm dan memiliki volume maksimal sebesar 15 liter.
6. Jumlah variasi berat basah tanaman sebanyak 0 tanaman pada reaktor kontrol sebagai kontrol, 100 gram tanaman pada reaktor X_1 , 150 gram tanaman pada reaktor X_2 , dan 200 gram tanaman pada reaktor X_3 . Kemudian 100 gram tanaman pada reaktor X_1 DUPLO, 150 gram tanaman pada reaktor X_2 DUPLO, dan 200 gram tanaman pada reaktor X_3 DUPLO.
7. Pengukuran pH dan suhu pada air limbah artifisial, serta pengukuran kelembaban, dan pencahayaan pada ruangan dilakukan setiap hari.
8. Pengukuran kadar logam berat krom heksavalen dilakukan pada hari ke 0, 2, 4, 6, dan 8.
9. Proses fitoremediasi menggunakan sistem *batch*.
10. Pengambilan sampel di setiap reaktor, kecuali reaktor kontrol dilakukan secara duplo (dua kali pengulangan).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan salah satu upaya pemulihan lingkungan tercemar menggunakan tumbuhan, yang mencakup fitoproses secara keseluruhan seperti fitoekstraksi, fitodegradasi, fitovolatilisasi dan lainnya. Tanaman air yang akan digunakan sebagai fitoremediasi harus melalui proses yang pertama terlebih dahulu dengan cara aklimatisasi bertujuan sebagai proses penyesuaian tanaman dengan media baru sebagai antisipasi kematian pada tanaman (Nurmalinda dkk, 2018).

Fitoremediasi sebagai alternatif dalam mengatasi pencemaran lingkungan, dengan penggunaan tanaman, rumput-rumputan, pohon-pohonan, maupun tanaman air dengan tujuan memecahkan maupun menghilangkan bahan berbahaya organik maupun anorganik pada lingkungan. Fitoremediasi memiliki efisiensi yang cukup tinggi dalam menghilangkan zat pencemar logam-logam (Prasetyo dkk, 2022).

Fitoremediasi telah terbukti menjadi proses yang efisien untuk meremediasi air limbah dan tanah yang terkontaminasi Cr (VI) karena kesederhanaan dalam operasi dan efisiensi penyisihan yang tinggi. Tumbuhan yang mengalami hiperakumulasi memiliki potensi untuk mengubah kontaminan misalnya krom, menjadi keadaan trivalen yang kurang toksik dengan mobilitas yang berkurang, ini memanfaatkan mekanisme bawaan tanaman untuk bioakumulasi dan menyimpan Cr tingkat tinggi di akar, pucuk, dan daunnya (Sinha, *et al.*, 2018).

Teknik fitoremediasi dalam menghilangkan pencemar di tanah maupun perairan yang tercemar menurut Muthoharoh, 2018 sebagai berikut:

a. Fitoekstraksi

Komponen pencemar dari air atau tanah yang diserap oleh akar tanaman, diangkut, dan terakumulasi di tanah disebut sebagai

fitoekstraksi. Fitoekstraksi dengan nama lain fitoabsorpsi, fitoakumulasi, dan fitosekuestrasi. Fitoekstraksi yang diinduksi dan fitoekstraksi yang berkelanjutan adalah dua jenis fitoekstraksi yang berbeda. Fitoekstraksi induksi bertujuan untuk meningkatkan penumpukan bahan beracun selama periode waktu tertentu dengan menambahkan penguat atau pengikat guna meningkatkan ketersediaan logam tersebut. Menggunakan tanaman yang dapat mengakumulasi polutan dalam jumlah besar (hiperakumulator) sepanjang musim tanam diperlukan untuk fitoekstraksi secara terus menerus.

b. Fitodegradasi

Pengurangan polutan organik oleh tumbuhan menggunakan enzim seperti dehalogenase dan oksigenase dikenal sebagai fitodegradasi, terkadang dikenal sebagai fitotransformasi, dan tidak bergantung pada mikroorganisme di rizosfer. Xenobiotik organik dapat dikumpulkan oleh tanaman dari lingkungan yang terkontaminasi, kemudian didetoksifikasi oleh metabolisme tanaman. Fitodegradasi tanaman hanya digunakan pada tanaman rekayasa genetika untuk menghilangkan kontaminan organik seperti pestisida dan herbisida sintesis.

c. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi dengan menyerap unsur logam yang mudah menguap (Hg dan Se) dari tanah dan menguapkannya dari daun, tanaman dapat menyerap zat berbahaya, mengubahnya menjadi bentuk yang tidak berbahaya, dan melepaskannya ke atmosfer. Kontaminan tidak dapat sepenuhnya dihilangkan dengan metode ini..

d. Fitostabilisasi

Stabilisasi tanaman atau fitomobilisasi adalah penggunaan tanaman tertentu untuk menstabilkan kontaminasi tanah. Dengan alur penyerapan melalui akar dan pengendapan atau penurunan logam. Batasan fitostabilisasi dalam mengakumulasi logam berat pada biota dan mengurangi pencucian logam berat ke dalam air. Tanaman yang

digunakan idealnya berasal dari tempat yang tercemar logam berat, karena tanaman tersebut telah berevolusi untuk bertahan hidup di lingkungan yang ekstrim.

e. Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi mengacu pada penggunaan akar tanaman untuk menyerap kontaminan, terutama logam, dari air, tanah, dan limbah. Tanaman yang digunakan dalam teknik ini terlebih dahulu melalui fase aklimatisasi untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang tercemar. Saat akar sudah jenuh, buang ke tempat yang aman (Muthoharoh, 2018).

Dalam Al quran surah Al furqon ayat 49 Allah telah menghidupkan bumi ini, melalui firmanNya yang berbunyi:

لِنُحْيِيَ بِهِ بَلْدَةً مَّيْتًا وَنُسْقِيَهُ مِمَّا خَلَقْنَا أَنْعَامًا وَأَنَاسِيَّ كَثِيرًا

Artinya: “Agar dengannya (air itu) Kami menghidupkan negeri yang mati (tandus) dan memberi minum kepada sebagian apa yang telah Kami ciptakan, (berupa) hewan-hewan ternak dan manusia yang banyak.” (Qs. Al-Furqon: 49) (Al-Quran dan Terjemahnya, Kementerian Agama RI tahun 2019).

Ayat di atas menjelaskan bahwa air sebagian besar dari makhluk Allah, yang tentunya membawa banyak kegunaan bagi kehidupan manusia sehari-hari, oleh karena itu kita sebagai makhluk berakal hendaknya tetap menjaga dan tidak mencemari lingkungan serta terus belajar untuk mencari berbagai alternatif pengolahan limbah cair industri, salahsatunya melalui fitoremediasi.

Teknik fitoremediasi memiliki beberapa keuntungan diantaranya sebagai berikut:

1. Teknologi yang ekonomis, inovatif, dan relatif aman terhadap lingkungan sehingga menjadi sebuah solusi untuk meremediasi beberapa daerah yang tercemar logam berat

2. Tanaman dapat dimonitor pertumbuhannya dengan mudah
3. Dapat mereklamasi logam berharga dan dapat dipakai ulang melalui fitoremediasi
4. Buangan yang dihasilkan dari proses fitoremediasi lebih rendah sifat toksiknya, lebih bersahabat dengan lingkungan (Sidaruk, Lamria & Sipayung, 2015).

Kelemahan dari teknik fitoremediasi diantaranya sebagai berikut:

1. Dibutuhkan waktu yang lebih lama pada saat proses fitoremediasi
2. Tergantung pada kedalaman akar dan toleransi tanaman terhadap kontaminan (Sidaruk, Lamria & Sipayung, 2015).

2.2 Logam Berat Krom (Cr)

Logam berat termasuk dalam kategori bahan pencemar berbahaya yang bersifat toksik, dalam jumlah yang banyak berdampak pada berbagai aspek biologi maupun ekologis. Logam tersebut diantaranya dapat mencemari perairan dan perairan laut termasuk Kadmium (Cd) dan (Cr) krom (Fadlya, Tisa Nurul dan Ahmad, 2019).

Cr adalah logam berat yang termasuk dalam golongan transisi (VI-B) dari tabel periodik modern dengan bilangan oksidasi mulai dari Cr (II) hingga Cr (VI). Kromium merupakan logam keras berwarna perak dengan kerapatan $7,19 \text{ g/cm}^3$ dengan berat molekul $51,10 \text{ g/m}$ dan nomor atom 24. Cr merupakan 0,037 % dari batuan kerak dan menempati urutan ke-21 dalam kelimpahan alami reaktif. Cr (VI) terdapat secara alami dalam bentuk batuan kerak tetapi sumber utamanya berasal dari berbagai unit industri (Sinha, *et al.*, 2018).

Trivalen [kromit; Cr (III)] dan heksavalen [kromat; Cr (VI)] adalah spesies Cr alami yang paling stabil. Bentuk heksavalen dari Cr adalah pengoksidasi yang berpotensi kuat, dan kelarutan air yang lebih tinggi, mobilitas, dan bioavailabilitas yang membuatnya menjadi bentuk Cr yang paling beracun dibandingkan dengan jenis Cr lainnya. Lingkungan

teroksigenasi dapat mengubah Cr (III) menjadi Cr (VI), faktor faktor yang terlibat dalam menjaga rasio yang tepat dari bentuk Cr ini adalah konsentrasi oksigen, pH, faktor pengompleks, dan agen pereduksi (Wakeel, *et al.*, 2020).

Logam berat kromium memiliki banyak manfaat bagi industri diantaranya dapat digunakan sebagai *plating* atau bahan pelapis dalam peralatan rumah tangga, pelapis aksesoris mobil, sepeda motor dll. Logam kromium dapat dibentuk menjadi senyawa khromat dan dikhromat yang digunakan pada industri penyamakan, tekstil, fotografi, pencelupan, zat warna dan lainnya. Selain dampak positif yang dihasilkan, kromium jika digunakan secara berlebihan akan menyebabkan dampak negatif, serta menjadi bahan pencemar bagi lingkungan. Logam kromium memiliki senyawa kompleks sehingga dapat menghasilkan berbagai warna menarik, berkilau, dan titik leburnya dalam suhu tinggi sehingga kromium tahan terhadap perubahan cuaca. Hal tersebut yang menjadikan daya tarik bagi industri untuk menggunakan kromium dalam berbagai bidang industri (Nurmalita, 2018).

Kromium berpotensi sebagai bahan pencemar berasal dari residu industri tekstil, pelapisan logam, penyamakan kulit dan baterai. Kromium dapat mengendap kedalam tubuh makhluk hidup melalui rantai makanan dengan kadar tertentu dapat menjadi racun. Kromium yang terakumulasi dalam tubuh manusia dengan jumlah besar dapat mengganggu organ ginjal, hati, dan beracun bagi protoplasma (Fadlya, Tisa Nurul dan Ahmad, 2019).

Keberadaan kromium di perairan menjadi penyebab penurunan kualitas air yang membahayakan lingkungan dan organisme akuatik yang ada didalamnya. Bagi organisme akuatik, dampak negatif yang ditimbulkan yaitu terhalangnya kerja enzim dalam proses fisiologis akibat dari terganggunya metabolisme tubuh. Penumpukan kromium dalam tubuh organisme akuatik bisa mengakibatkan kematian dan terjadinya keracunan kronis maupun keracunan akut. Masuknya logam Cr kedalam perairan

terjadi secara alamiah maupun non alamiah, secara alamiah Cr dapat masuk dalam perairan disebabkan faktor fisika (erosi/pengikisan) yang terjadi dalam batuan mineral, dan debu-debu serta partikel Cr di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Secara non alamiah Cr dapat masuk kedalam perairan sebagai dampak dari aktivitas yang dilakukan manusia berupa buangan limbah industri (Setiyono, Andik & Gustaman, 2017).

2.3 Tanaman *Azolla microphylla*

Azolla microphylla dapat ditemukan pada semua persawahan di Indonesia, secara alami tempat hidup *Azolla* terdapat pada kolam-kolam, danau, sungai, tempat tergenang, saluran air maupun hidup di sekitar tanaman padi. Tanaman *Azolla* ini hidup secara terapung bebas di air, dengan daun berukuran kecil, tidak bertangkai, berselang seling membentuk dua baris di sepanjang batang, batang yang bercabang dan memiliki akar yang sederhana berupa rhizoma. Tanaman ini hidup bergerombol dalam jumlah banyak diatas permukaan air (Vigiyanti dkk, 2017).

Berikut merupakan 7 spesies dari tanaman *Azolla* diantaranya:

1. *A. microphylla*
2. *A. mexicana*
3. *A. nilocita*
4. *A. Caroliniana*
5. *A. pinnata*
6. *A. filiculoides*
7. *A. rubra.*

Spesies *Azolla microphylla* menjadi salahsatu pakan alami ternak dan belum termanfaatkan secara optimal, yang keberadaannya di alam melimpah, spesies ini lebih toleran terhadap temperatur tinggi sehingga berpotensi sangat baik di budidayakan di Indonesia yang beriklim tropis (Presti, Parbo dkk, 2019).

Azolla microphylla merupakan tanaman yang dapat menyerap kontaminan bersama dengan air dan nutrisi lainnya. *Azolla microphylla* dengan rata-rata diameter 1-2 cm dan mengapung di atas permukaan air dengan berkelompok, secara umum *Azolla* memiliki 3 bagian berupa akar, rhizome dan daun. *Azolla* memiliki *Rhizofiltration* (akar) yang berfungsi dalam proses penyerapan juga sedimentasi zat pencemar yang dapat melekat pada akar *Azolla* (Unisah & Akbari, 2020). Tanaman *Azolla microphylla* membutuhkan sinar matahari untuk berfotosintesis dan nitrogenase, pada kondisi kekurangan sinar matahari *Azolla microphylla* menjadi kurang baik dalam pertumbuhannya. Sinar matahari yang terlalu kuat juga menyebabkan pertumbuhan *Azolla microphylla* menjadi kurang baik (Effendi & Ilhahi, 2019).

2.3.1 Klasifikasi Tanaman *Azolla microphylla*

Tanaman *Azolla microphylla* dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisi : Tracheophyta

Kelas : Polypodiopsida

Ordo : Salviniiales

Famili : Azollaceae

Genus : *Azolla*

Spesies : *Azolla microphylla*

(Christy, 2017)



Gambar 2. 1 Tanaman *Azolla microphylla*

Sumber: Mantang dkk, 2018

2.3.2 Morfologi Tanaman *Azolla microphylla*

Morfologi atau bentuk fisik serta struktur tubuh tumbuhan dari *Azolla microphylla* yaitu sebagai berikut:

1. Akar

Akar *Azolla* terdiri dari sebuah akar-akar kecil yang sederhana keluar dari ketiak daun menggantung lurus kebawah dan berfungsi sebagai pengambilan air dan mineral-mineral nutrisi (Unisah & Akbari, 2020).

2. Rhizome

Rizoma pada *Anabaena Azollae* yang bersimbiosis satu sama lain dan berongga, daun kecil dengan generasi sportif, menyirip beragam, dan dua baris yang menempel padanya dapat mengikat nitrogen (Unisah & Akbari, 2020).

3. Daun

Daun pada *Azolla* terdiri dari helaian daun yang tumpang tindih, tersusun saling menutup. Setiap daun terdiri dari dua helaian, helaian atas dan bawah. Helaian atas berupa daun tebal dan berada di atas air. Helaian bawah tipis dan pucat karena tidak secara langsung mendapatkan sinar matahari (Goang, *et al.*, 2018).

2.3.3 Fisiologi Tanaman *Azolla microphylla*

Menurut Priyanto dan Prayitno, 2007; Hardiani 2009; (Goang, *et al.*, 2018) Mekanisme penyerapan dan penumpukan logam berat oleh tanaman dibagi menjadi tiga proses:

1. Penyerapan sampai ke akarnya

Tanaman mampu menyerap logam, kemudian logam dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan cara yang berbeda, tergantung pada spesies tanaman. Senyawa yang telah larut dalam air umumnya dibawa ke akar bersama dengan air, dan diserap ke permukaan air pada senyawa hidrofobik.

2. Translokasi logam dari akar

Perpindahan logam dari akar ke bagian tanaman yang lain ketika logam memasuki endodermis akar, logam dan kontaminan lainnya mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan transportasi (xilem dan floem) ke bagian tanaman lain.

3. Lokalisasi logam dalam sel dan jaringan

Sebagai cara dalam mencegah logam sebagai penghambat metabolisme tanaman, dan mencegah peracunan logam pada sel, tumbuhan memiliki mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menumpuk logam pada organ tertentu seperti akar.

Sebagaimana Allah menurunkan air bersih dari langit kemudian menghidupkan berbagai makhluk agar manusia dapat berpikir, maka manusia dapat mengambil manfaat dari apa-apa yang telah Allah ciptakan, dengan bunyi firmanNya:

وَلَقَدْ صَرَّفْنَا لَهُمْ بَيْنَهُمْ لِيَذَّكَّرُوا فَأَبَى أَكْثَرُ النَّاسِ إِلَّا كُفُورًا

Artinya: “*Sungguh, Kami benar-benar telah mempergilirkannya (hujan itu) di antara mereka agar mereka mengambil pelajaran. Akan tetapi kebanyakan manusia tidak mau (bersyukur), bahkan mereka mengingkari (nikmat).*” (Qs Al Furqan ayat 50) (Al-Quran dan Terjemahnya, Kementerian Agama RI tahun 2019).

Jadi pelajaran yang dapat diambil dalam surah tersebut dengan telah dihidupkannya berbagai makhluk, terkhusus dalam penelitian ini tanaman *Azolla microphylla*, manusia dapat berpikir dan mengambil pelajaran dalam pemanfaatan *Azolla microphylla* yang dapat menurunkan kadar COD, BOD, TSS, dan Cu maupun logam berat lainnya.

2.4 Sistem Batch

Sistem batch dapat didefinisikan sebagai suatu sistem dimana mikroorganisme dan substrat bercampur secara homogen didalam reaktor dan memungkinkan terjadinya reaksi seperti penghilangan, penyerapan, adsorpsi atau pengendapan dalam reaktor yang sama (Abbas, *et al.*, 2018).

Keuntungan reaktor batch sebagai berikut :

- a. Biaya instrumentasi dan harga yang rendah
- b. Penggunaanya serbaguna, sehingga dapat dihentikan dengan mudah secara tepat
- c. Reaktor mampu digunakan untuk mengolah campuran kuat dan beracun
- d. Mudah untuk dibersihkan (Hibatullah, 2019).

Kerugian dari reaktor batch adalah :

- a. Dibutuhkan banyak pekerja, karena perubahan kondisi proses harus dipantau dari awal hingga akhir
- b. Waktu hentinya terkadang lama, untuk mengosongkan, membersihkan dan mengisi kembali
- c. Untuk lingkup produksi yang kecil (Hibatullah, 2019).

2.5 Air Limbah

Air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Sedangkan baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas kedalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Limbah cair merupakan sisa hasil kegiatan yang berupa sampah cair biasanya berasal dari industri, pemukiman, perkotaan, perdagangan, perkantoran, dan rumah sakit. Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan industri lebih berpotensi menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan (Wintah dkk, 2020).

Air limbah industri berasal dari proses yang menggunakan banyak air saat melakukan produksinya, dan dengan bahan dasar yang mengandung air sehingga air dalam proses pengolahan harus dihilangkan. Sejumlah partikel dan padatan dihasilkan dalam limbah cair industri, baik padatan yang mengendap maupun padatan yang terlarut. Limbah cair yang dihasilkan dari berbagai jenis industri diantaranya, industri tekstil, minyak goreng, pulp dan rayon, besi dan baja, pengolahan *crumb rubber*, kertass, elektroplating, *plywood* dan sebagainya (L. P. Sari, 2018).

Limbah yang tidak dilakukan pengolahan dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan pada perairan maupun di darat, serta terdapat larangan berbuat kerusakan sebagaimana firman Allah SWT dalam surat AL A'raf ayat 56.

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

Artinya: “Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik.” (QS Al-Araf ayat 56) (Al-Quran dan Terjemahnya, Kementerian Agama RI tahun 2019).

Dalam firman Allah tersebut jelas larangan untuk berbuat kerusakan, dan upaya pencegahan pencemaran yang dapat dilakukan yaitu dengan fitoremediasi limbah cair krom heksavalen (Cr^{6+}) menggunakan tanaman (*Azolla microphylla*) karena sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik.

2.6 Baku Mutu Air Limbah

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup lampiran VI baku mutu air sungai dan sejenisnya kelas I untuk kadar krom heksavalen (Cr-VI) sebesar 0,05 mg/L.

Menurut World Health Organization (WHO) atau organisasi kesehatan dunia, batas maksimum yang diperbolehkan untuk pembuangan Cr(VI) ke permukaan daratan dan air minum masing-masing adalah 0,1 mg/L dan 0,05 mg/L.

2.7 Karakteristik Limbah

Limbah cair dari segi sifat memiliki sifat kimia, fisika, dan biologi. Sifat-sifat tersebut sebagai berikut:

a. Sifat Kimia

Logam berat yang terkandung dalam air limbah serta COD (*chemical oksigen demand*) dan BOD (*biochemical oksigen demand*) adalah beberapa karakteristik kimia air limbah.

1. COD

Pengukuran kebutuhan oksigen dalam air limbah yang menekankan kebutuhan oksigen kimia ketika senyawa yang diukur adalah bahan-bahan yang tidak dapat terdegradasi secara biokimia. COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik.

2. BOD

Reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen dalam air, merupakan suatu proses yang dapat terjadi karena terdapat banyak bakteri. BOD mengacu pada kebutuhan oksigen bagi beberapa bakteri untuk mengoksidasi (menguraikan) semua zat organik terlarut dan tersuspensi.

3. Logam berat dan beracun

Logam berat umumnya meliputi kromium, nikel, iron, air raksa, cadmium, metal. Metal yang termasuk berat adalah cobalt, arsen, selenium, alumunium, dan mangan.

b. Sifat Fisik

Sifat fisik limbah meliputi:

1. Kekeruhan
2. Salinitas
3. Warna

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	man Yuliansyah, Agus Prasetya.		<i>Azolla microphylla</i> terhadap Lindi TPA Piyungan pada Tahap Awal Fitoremediasi'	<i>microphylla</i> terhadap limbah lindi serta mempelajari konsentrasi penambahan lindi beberapa tanaman dapat beradaptasi dengan baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada percobaan pertama tanaman <i>lemna minor</i> dan <i>Azolla microphylla</i> hanya dapat bertahan selama 6 hari dengan maksimum penambahan lindi sebanyak 4 liter sedangkan pada percobaan kedua tanaman <i>lemna minor</i> dapat tumbuh baik selama 16 hari dengan penambahan lindi maksimum sebanyak 4 liter dan <i>Azolla microphylla</i> dapat tumbuh baik selama 6 hari dengan maksimum penambahan lindi 2,4 liter (Nurmalinda dkk, 2018).
3.	Siti Unisah, Tauny Akbari.	2020	'Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Metode Fitoremediasi Tanaman <i>Azolla microphylla</i> pada Industri Tahu B Kota Serang'	Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui efektivitas dan efisiensi <i>Azolla microphylla</i> dalam menurunkan kadar limbah cair tahu. Penelitian ini menggunakan variasi berat 200 gram, 250 gram, dan 300 gram, waktu tinggal hari ke 7, 14, dan 21 hari. Parameter yang di uji pH, BOD, COD, dan TSS. Analisis yang digunakan adalah analisis regresi linier berganda pada tingkat kepastian 95%. Hasil dari penelitian menunjukkan pada berat 300 gram dengan waktu tinggal 21 hari memiliki efisiensi yang baik sebesar 96%, 86%, 97%, pada penurunan COD, BOD, TSS dan pH netral 7. Uji efektivitas yang dilakukan menunjukkan waktu tinggal berpengaruh pada penurunan pH, BOD, COD, dan TSS sedangkan massa tanaman berpengaruh pada TSS dan pH (Unisah & Akbari, 2020).
4.	Dini Dwi Nilamsari,Fi da Rachmawati.	2019	'Kemampuan <i>Azolla microphylla</i> dalam Menyerap Logam Berat Cu pada Konsentrasi yang Berbeda'	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi Cu yang berbeda terhadap kadar Cu pada akar dan kadar klorofil dalam daun. Penelitian ini menggunakan RAL dengan perlakuan konsentrasi Cu 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, dan 15 ppm dengan waktu perlakuan selama 10 hari. Data yang diperoleh adalah kandungan Cu pada akar dan kandungan klorofil daun. Penelitian ini menggunakan metode AAS (<i>Atomic Absorption Spectroscopy</i>) dan kandungan klorofil

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
				menggunakan spektrofotometer. Penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi tembaga yang berbeda berpengaruh terhadap kadar tembaga pada akar, pada konsentrasi 15 ppm sebesar 4,238 ppm, serta berpengaruh pada kadar klorofil daun dengan konsentrasi 15 ppm sebesar 2,424 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa <i>Azolla microphylla</i> memiliki kemampuan dalam menyerap logam Cu (Nilamsari & Rachmadiarti, 2019).
5.	Tisa Nurul Fadlya, Hamsir Ahmad.	2019	'Kemampuan Tanaman Hias Hidrofit (<i>Elodea canadensis</i>) dalam Menurunkan Kadar Kromium (Cr) pada Limbah Cair Industri PT. Sermani Steel di Makassar'	Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kemampuan tanaman hias hidrofit (<i>Elodea canadensis</i>) dalam mereduksi logam berat kromium (Cr) dalam air limbah industri. Sampel dalam penelitian ini adalah 20 liter air limbah dengan kandungan kromium (Cr) yang dipaparkan dengan tanaman <i>Elodea canadensis</i> dengan berat 250 gram dan 350 gram selama 14 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam 250 gram berat tanaman <i>Elodea canadensis</i> dengan volume 20 liter, kandungan kromium (Cr) menurun sebesar 85,225 mg/l dengan persentase 20,30%. Pada biomassa 350 gram dengan volume 20 liter, penurunan kandungan kromium (Cr) sebesar 184,450 mg/l dengan persentase 43,95%. Penurunan konsentrasi logam berat kromium (Cr) pada limbah cair disebabkan oleh kemampuan tanaman <i>Elodea canadensis</i> dalam menyerap kadar logam berat dari akarnya dan seluruh tubuhnya, karena <i>Elodea canadensis</i> memiliki kutikula yang sangat tipis sehingga memudahkan pengambilan logam dari air. Dapat disimpulkan bahwa tanaman <i>Elodea canadensis</i> dapat menyerap logam berat kromium (Cr) dari limbah industri sebagai pencegah pencemaran (Fadlya, Tisa Nurul dan Ahmad, 2019).
6.	Lili Violita, Isna Apriani, Aini Sulastri.	2022	'Kemampuan Tanaman Kangkung Air dalam Menurunkan	Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efisiensi reduksi ion Cr^{6+} dan waktu tinggal efektif dari perlakuan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi reduksi ion Cr^{6+} menggunakan

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			Krom heksavalen (Cr ⁶⁺) pada Limbah Cair Sablon'	kangkung sebesar 84,37%; 96,33% dan 97,26% dengan waktu tinggal 5, 10 dan 15 hari. Efisiensi penurunan sebesar 97,26% dari kandungan Cr ⁶⁺ sebesar 1,388 mg/L menjadi 0,038 mg/L. Waktu tinggal efektif ditentukan berdasarkan percobaan statistik dan didapatkan paling efektif pada hari ke-10 penelitian (Violita, 2022).
7.	Dewi Safitri, Baharuddin Patandjengi, M.Syahrul, Fahrudin, Budimawan, Emma Basham Demmallino.	2022	'Keterkaitan Tingkat Efektifitas Metode Fitoremediasi terhadap Tingkat Pertumbuhan Media Eceng Gondok pada Limbah Cair Cr ⁶⁺ '	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi teknik fitoremediasi. Selama 15 hari, eceng gondok <i>E. crassipes</i> dan <i>E. azurea</i> dalam sistem vitromedia digunakan dalam penelitian. Menurut penelitian, eceng gondok <i>E. azurea</i> 87% efisien dalam menurunkan kadar Cr ⁶⁺ dari 0,78 ppm menjadi 0,1 ppm dalam 15 hari, tetapi <i>E. crassipes</i> dan kombinasinya dengan <i>E. azurea</i> hanya 64% efektif. Dibandingkan dengan <i>E. azurea</i> yang memiliki laju pertumbuhan 35% berat tanaman, 32% panjang akar, dan 17% tinggi tanaman, <i>E. crassipes</i> memiliki 45% berat tanaman, 38% panjang akar, dan 23% tinggi tanaman. (Safitri, 2022).
8.	Dwi Wahyuning Asih, Fida Rachmawati	2019	' <i>Azolla microphylla</i> sebagai Fitoremediator Logam Pb'	Tujuan penelitian ini untuk menjabarkan pengaruh konsentrasi Pb terhadap kontaminan Pb pada akar <i>A. microphylla</i> dan pengaruh konsentrasi Pb terhadap pertumbuhan <i>A. microphylla</i> . Menggunakan konsentrasi Pb (0 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm) dengan tiga kali pengulangan. Parameter yang diukur yaitu konsentrasi Pb pada akar <i>A. microphylla</i> dan pertumbuhan tanaman setelah 14 hari perlakuan. Analisis data dilakukan dengan <i>one way</i> ANOVA kemudian dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil penelitian didapatkan konsentrasi Pb berpengaruh terhadap kandungan Pb pada akar <i>A. microphylla</i> . Kandungan Pb tertinggi diamati pada konsentrasi 15 ppm, sebesar 3,89 ± 0,02 ppm. Konsentrasi Pb berpengaruh terhadap pertumbuhan <i>A. microphylla</i> , pertumbuhan terbaik adalah sebesar 30,00 ± 5,00 gram dan 32,67 ± 4,62 gram pada konsentrasi 5 ppm dan 10 ppm (Asih & Rachmadiarti, 2019).

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
9.	Pratama Aji Nugroho	2021	'Efektivitas Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipe</i>) sebagai Fitoremediator Logam Berat Krom Heksavalen (Cr^{6+}) pada Limbah Cair Industri Batik di Yogyakarta'	Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kemampuan tanaman eceng gondok dalam mereduksi krom heksavalen (Cr^{6+}) pada limbah batik. Penelitian eksperimental ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan 3 perlakuan dan 5 kali pengulangan. Dilakukan uji pendahuluan selama 21 hari, aklimatisasi selama 7 hari. Pada uji pendahuluan eceng gondok di kontakkan dengan air limbah sebanyak 50%. Uji Cr^{6+} pada hari ke 0 sebagai kontrol, hari ke 7, 14, dan 21. Dengan parameter pendukung biomassa, morfologi, suhu, dan pH. Pemaparan air limbah terhadap eceng gondok menggunakan 3 perlakuan dan memberikan pengaruh ($Sig < 0,05$) terhadap konsentrasi Cr^{6+} . Eceng gondok memiliki efektifitas sebesar 84% pada hari ke 7, 95,2% pada hari ke 14, dan paling efektif pada hari ke 21 sebesar 97,1%. Kondisi morfologis tanaman mengalami gejala klorosis, nekrosis, dan kematian setelah perlakuan hari ke-21 (Nugroho, 2021).
10.	Rizqi Muthoharoh	2018	'Pemanfaatan Tumbuhan Semanggi (<i>Marsilea crenata</i>) sebagai Fitoremediator Logam Kromium Total (Cr) pada Limbah Cair Batik'	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan Cr pada air buangan industri batik yang di kontakkan dengan semanggi (<i>Marsilea crenata</i>) dan kandungan Cr pada reaktor kontrol atau tanpa tanaman. Kandungan Cr total pada reaktor kontrol rata-rata selama 7 hari adalah 0,55 mg/L. Pada berat 300 gram tanaman/6 liter limbah selama 7 hari sebesar 0,192 mg/l. Berat 350 gram tanaman/6 liter limbah selama 7 hari adalah 0,168 mg/l. Pada berat 400 gram tanaman/6 liter limbah selama 7 hari adalah 0,2 mg/l. Terdapat perbedaan signifikan konsentrasi Cr total antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan X_1 , X_2 dan X_3 . dengan nilai signifikansi 0,009, 0,008 dan 0,009. Perlakuan yang paling efektif untuk menurunkan kadar Cr total adalah kelompok X_2 dengan persentase 69,45% (Muthoharoh, 2018).

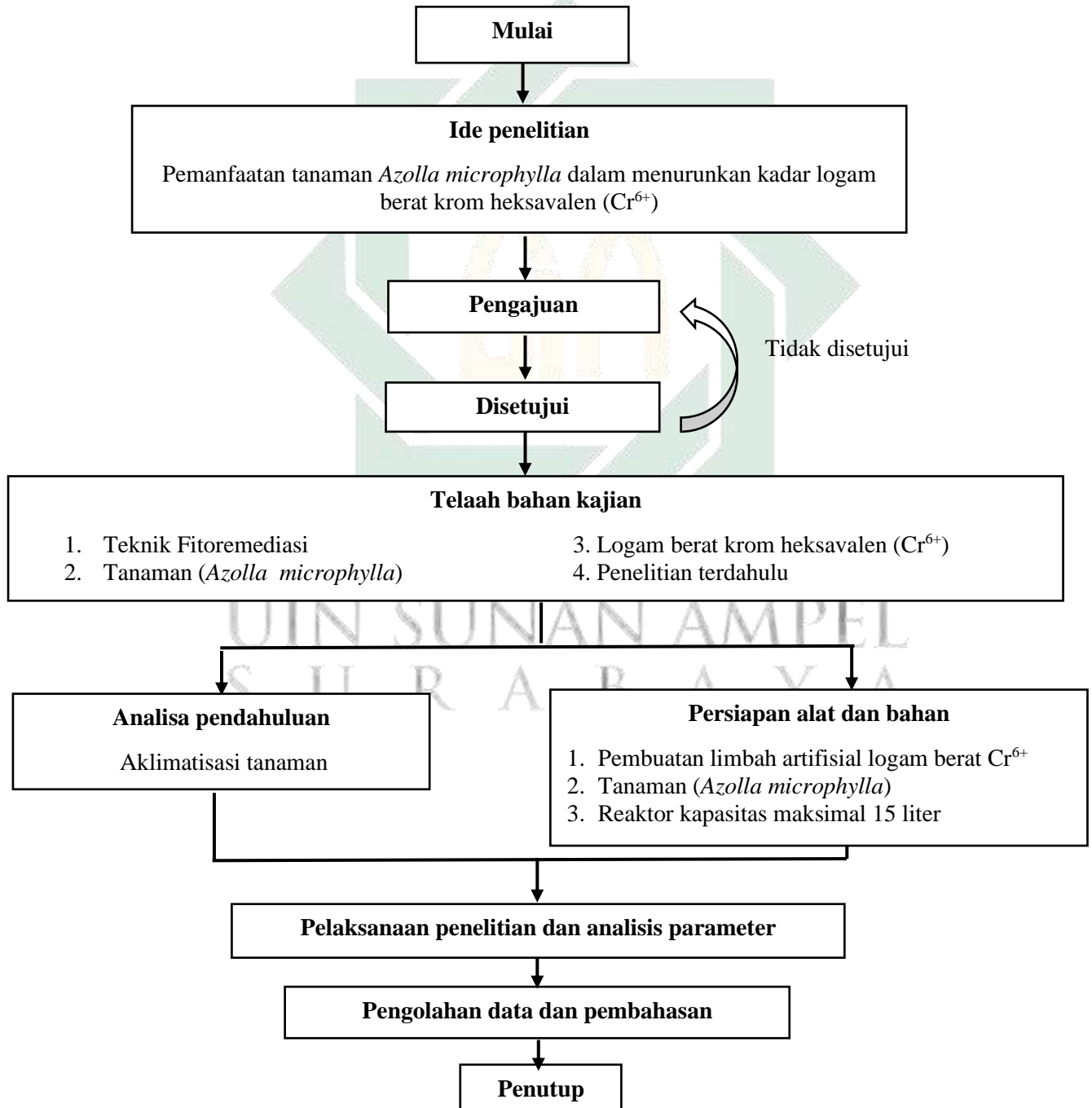
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

3.1.1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian seperti pada diagram alir berikut:



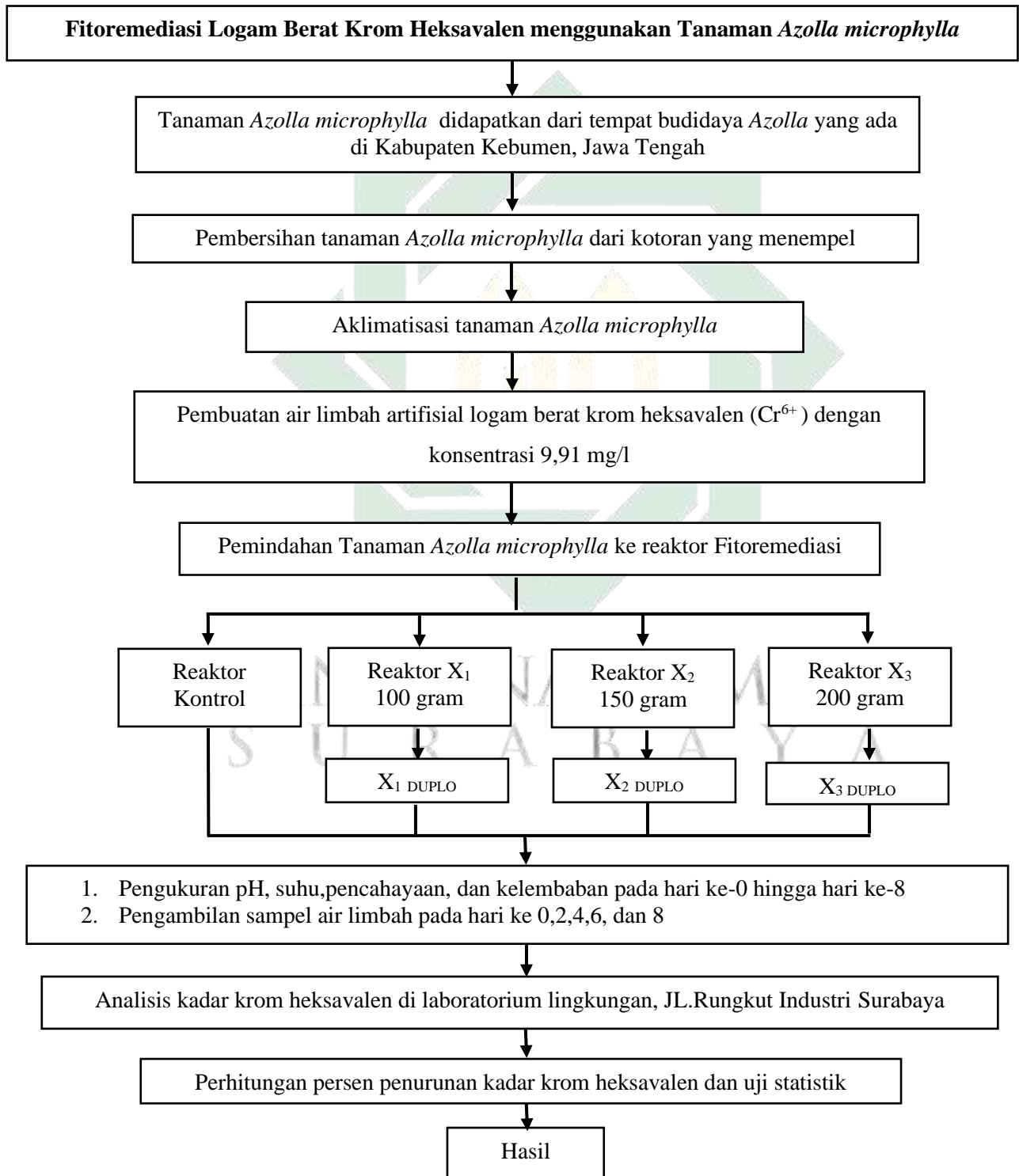
Gambar 3. 1 Skema Tahapan Penelitian

3.1.2. Tahap Pelaksanaan Penelitian

A. Data Primer

1. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3. 2 Kerangka Pikir Penelitian

2. Aklimatisasi Tanaman

Aklimatisasi tanaman *Azolla microphylla* pada penelitian ini diawali dengan membersihkan tanaman menggunakan air bersih dari kotoran yang menempel, terutama pada akar tanaman. Selanjutnya, tanaman *Azolla microphylla* diaklimatisasi selama 7 hari menggunakan air PDAM.

3. Perlakuan

Tanaman *Azolla microphylla* setelah diaklimatisasi selanjutnya dimasukkan ke 6 reaktor yang berisi 10 liter air limbah. Menggunakan variasi berat basah tanaman yaitu 100 gram pada reaktor X₁, 150 gram pada reaktor X₂, 200 gram tanaman pada reaktor X₃, kemudian 100 gram pada reaktor X₁ DUPLO, 150 gram pada reaktor X₂ DUPLO, 200 gram pada reaktor X₃ DUPLO, dan satu buah reaktor kontrol atau reaktor tanpa tanaman. Selanjutnya, dilakukan proses fitoremediasi selama 8 hari dengan melakukan pengamatan terhadap parameter krom heksavalen (Cr⁶⁺), pH dan suhu pada air limbah, pencahayaan dan kelembaban pada ruangan, serta mengamati morfologi tanaman.

B. Data sekunder

Pada penelitian ini diperoleh dari sumber berupa, jurnal, skripsi, dan penelitian terdahulu atau badan/organisasi lain.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium UIN Sunan Ampel Surabaya yang berada di Gunung Anyar, Kecamatan Gunung Anyar, Kota Surabaya untuk perlakuan dan pengujian fitoremediasi. Selanjutnya pengujian sampel Cr⁶⁺ dilakukan di Laboratorium Lingkungan PT. Axo Green Laboratory di Jalan, Rungkut Industri III No 7, Surabaya.

3.2.2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan dan hasil analisis penelitian dimulai pada bulan Februari 2023 sampai dengan bulan Juni 2023. Dengan rincian waktu yang dimulai pada bulan Februari 2023 untuk tahap menyusun proposal, kemudian pada bulan Maret 2023 sampai dengan bulan April 2023 dilakukan proses pengambilan sampel, running, hingga pengujian sampel. Bulan Mei 2023 sampai dengan bulan Juni 2023 tahap penyusunan laporan hasil penelitian.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1. Alat

Penelitian ini menggunakan alat-alat seperti labu ukur, gelas beaker, gelas ukur, spatula, cawan petri, pipet tetes, bak reaktor, pH meter, higrometer, aplikasi lux meter, timbangan digital, aluminium foil, dan botol sampel untuk pengujian laboratorium. Pada penelitian ini menggunakan reaktor dengan sistem *batch* dengan kapasitas maksimal 15 liter berbahan kaca. Reaktor yang digunakan sebanyak 7 buah. Adapun pembagiannya yaitu 1 reaktor kontrol, 2 reaktor dengan 100 gram tanaman, 2 reaktor dengan 150 gram tanaman, dan 2 reaktor dengan 200 gram tanaman.

3.3.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi, Tanaman *Azolla microphylla* sebanyak 900 gram untuk dua kali pengulangan, dengan ciri fisik berwarna hijau segar, aquades dan serbuk logam berat krom heksavalen ($K_2Cr_2O_7$).

Pada penelitian ini menggunakan air limbah artifisial logam berat krom heksavalen, dengan konsentrasi yang digunakan sebesar 9,91 mg/l. Air limbah artifisial yang digunakan dengan melarutkan serbuk $K_2Cr_2O_7$ menggunakan aquades. Perhitungan molaritas digunakan pada proses pembuatan air limbah. Pembuatan larutan induk sebesar 1000 mg/L dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Ar Cr} = 52, \text{K} = 39, \text{ dan O} = 16$$

$$\begin{aligned}\text{Mr K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 &= (2 \times \text{Ar K}) + (2 \times \text{Ar Cr}) + (7 \times \text{Ar O}) \\ &= (2 \times 39) + (2 \times 52) + (7 \times 16) \\ &= 78 + 104 + 112 \\ &= 294\end{aligned}$$

$$\text{Volume} = 500 \text{ ml}$$

$$\text{Kemurnian} = 99\%$$

$$M = \frac{n}{v}$$

$$M = \frac{\text{gram}}{\text{Ar Cr} \cdot L}$$

$$M = \frac{\text{gram}}{52 L}$$

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

Larutan induk $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dengan molaritas sebesar 0,0192 M

$$M = \frac{\text{gram}}{\text{Mr. K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} \times \frac{1000}{\text{mL}}$$

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

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

$$= 2,82 \text{ gram K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$$

Penimbangan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

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

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

$$= 2,85 \text{ gr}$$

Jumlah serbuk $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang dibutuhkan sebesar 2,85 gram untuk dilarutkan kedalam 500 mL aquades. Setelah itu membuat sampel air limbah dengan konsentrasi 9,91 mg/L, larutan induk diencerkan kembali menggunakan aquades.

$$\begin{aligned} M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 1000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot V_1 &= 9,91 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 10.000 \text{ mL} \\ V_1 &= \frac{9,91 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 10.000 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}} \\ V_1 &= 99,1 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi untuk membuat 10 liter limbah artifisial krom heksavalen (Cr^{6+}) dengan konsentrasi 9,91 mg/l dibutuhkan larutan induk sebanyak 99,1 mL. Jumlah limbah yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebanyak 10 liter setiap reaktor.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1. Variabel Bebas

Variabel bebas (*independent variable*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah berat basah tanaman *Azolla microphylla* dan waktu tinggal pada saat perlakuan. Berat basah yang digunakan pada reaktor X_1 sebesar 100 gram, pada reaktor X_2 sebesar 150 gram, dan pada reaktor X_3 sebesar 200 gram, kemudian X_1 DUPLO sebesar 100 gram, pada reaktor X_2 DUPLO sebesar 150 gram, dan pada reaktor X_3 DUPLO sebesar 200 gram dengan waktu tinggal pada hari ke 0,2,4,6, dan 8.

3.4.2. Variabel Terikat

Variabel terikat (*dependent variable*) pada penelitian ini yaitu, air limbah artifisial berupa konsentrasi logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) sebesar 9,91 mg/l.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah yang digunakan dalam mengumpulkan data, dalam prosedur penelitian ini peneliti membahas tentang bagaimana pengambilan data dan rancangan percobaan.

3.5.1. Pengambilan Data

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan pada hari ke 0,2,4,6, dan 8 pada tiap-tiap reaktor dengan pengujian sampel krom heksavalen (Cr^{6+}) yang dilakukan di Laboratorium Lingkungan PT. Axo Green Laboratory di Jalan, Rungkut Industri III No 7, Surabaya, dan untuk pengujian pH, suhu, pencahayaan, dan kelembaban dilakukan setiap hari di laboratorium lantai III UINSA Gunung Anyar, Surabaya.

3.5.2. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian deskriptif yaitu penelitian yang berusaha mendeskripsikan suatu gejala, peristiwa, kejadian yang terjadi pada kondisi sekarang (Sudjana dan Ibrahim 2004; Jayusman 2020). Sedangkan pendekatan kuantitatif merupakan pendekatan dengan yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta tampilan dari hasilnya (Arikunto 2013; Jayusman & Shavab 2020). Metode penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif untuk mengetahui pengaruh variabel variasi berat basah tanaman *Azolla microphylla* terhadap hasil penurunan logam berat Cr^{6+} pada air limbah artifisial dengan konsentrasi 9,91 mg/l.

3.5.3. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian ini terdapat pada tabel berikut:

Tabel 3. 1 Perlakuan Sampel Penelitian

No	Berat Basah Tanaman (X)	Waktu Pengambilan Sampel/hari (Y)				
		Y ₀	Y ₂	Y ₄	Y ₆	Y ₈
1.	100 gram (X ₁)	X ₁ , Y ₀	X ₁ , Y ₂	X ₁ , Y ₄	X ₁ , Y ₆	X ₁ , Y ₈
2.	150 gram (X ₂)	X ₂ , Y ₀	X ₂ , Y ₂	X ₂ , Y ₄	X ₂ , Y ₆	X ₂ , Y ₈
3.	200 gram (X ₃)	X ₃ , Y ₀	X ₃ , Y ₂	X ₃ , Y ₄	X ₃ , Y ₆	X ₃ , Y ₈

Keterangan:

X₁, Y₀ = Berat basah tanaman 100 gram, sampel diambil pada hari ke-0

X₁, Y₂ = Berat basah tanaman 100 gram, sampel diambil pada hari ke-2

X₁, Y₄ = Berat basah tanaman 100 gram, sampel diambil pada hari ke-4

X₁, Y₆ = Berat basah tanaman 100 gram, sampel diambil pada hari ke-6

X₁, Y₈ = Berat basah tanaman 100 gram, sampel diambil pada hari ke-8

X₂, Y₀ = Berat basah tanaman 150 gram, sampel diambil pada hari ke-0

X₂, Y₂ = Berat basah tanaman 150 gram, sampel diambil pada hari ke-2

X₂, Y₄ = Berat basah tanaman 150 gram, sampel diambil pada hari ke-4

X₂, Y₆ = Berat basah tanaman 150 gram, sampel diambil pada hari ke-6

X₂, Y₈ = Berat basah tanaman 150 gram, sampel diambil pada hari, ke-8

X₃, Y₀ = Berat basah tanaman 200 gram, sampel diambil pada hari ke-0

X₃, Y₂ = Berat basah tanaman 200 gram, sampel diambil pada hari ke-2

X_3, Y_4 = Berat basah tanaman 200 gram, sampel diambil pada hari ke-4

X_3, Y_6 = Berat basah tanaman 200 gram, sampel diambil pada hari ke-6

X_3, Y_8 = Berat basah tanaman 200 gram, sampel diambil pada hari ke-8

Proses fitoremediasi dari setiap perlakuan dilakukan selama 8 hari dengan sampel yang diambil sebanyak 300 ml dengan 2 kali pengulangan pada reaktor duplo, sehingga jumlah keseluruhan sebanyak 30 sampel dengan layout sampel seperti pada gambar dibawah ini:

$H_0 * 1$	$H_2 * 1$	$H_4 * 1$	$H_6 * 1$	$H_8 * 1$
$H_0 * 2$	$H_2 * 2$	$H_4 * 2$	$H_6 * 2$	$H_8 * 2$
$H_0 * 1$	$H_2 * 1$	$H_4 * 1$	$H_6 * 1$	$H_8 * 1$
$H_0 * 2$	$H_2 * 2$	$H_4 * 2$	$H_6 * 2$	$H_8 * 2$
$H_0 * 1$	$H_2 * 1$	$H_4 * 1$	$H_6 * 1$	$H_8 * 1$
$H_0 * 2$	$H_2 * 2$	$H_4 * 2$	$H_6 * 2$	$H_8 * 2$

Gambar 3.3 Layout Sampel

Keterangan:

*1 = Pengulangan 1

*2 = Pengulangan 2

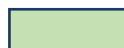
H_0 = Hari ke 0 pengambilan sampel


H_2 = Hari ke 2 pengambilan sampel


H_4 = Hari ke 4 pengambilan sampel

H_6 = Hari ke 6 pengambilan sampel

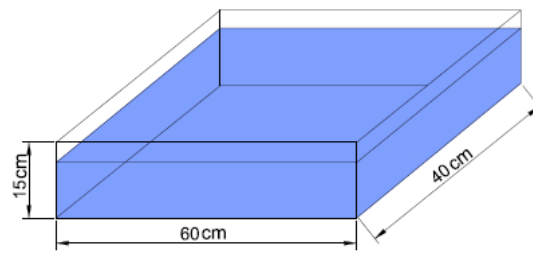
H_8 = Hari ke 8 pengambilan sampel

 = Variasi berat tanaman basah 100 gram

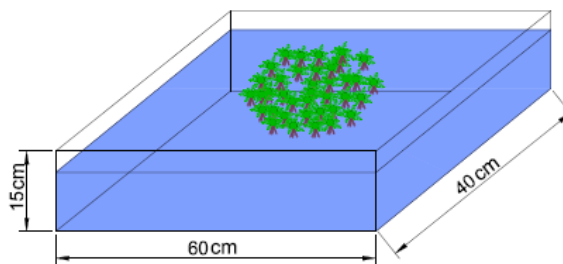
 = Variasi berat tanaman basah 150 gram

 = Variasi berat tanaman basah 200 gram

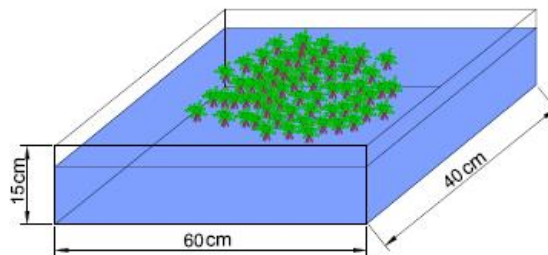
Gambar reaktor pada penelitian seperti berikut:



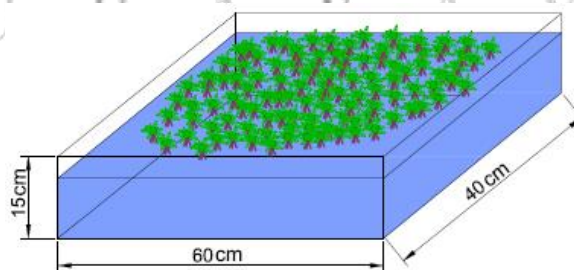
Gambar 3. 4 Reaktor Kontrol



Gambar 3. 5 Reaktor X₁



Gambar 3. 6 Reaktor X₂



Gambar 3. 7 Reaktor X₃

3.6 Analisis Data

3.6.1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif selama proses fitoremediasi dilakukan dengan menghitung menggunakan rumus efisiensi penurunan krom heksavalen (Cr^{6+}) dengan persamaan berikut:

1. Nilai efisiensi

Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai efisiensi adalah sebagai berikut:

$$Ef = \frac{co-ct}{co} \times 100\%$$

Keterangan:

Ef : efisiensi penurunan krom heksavalen (%)

Ct : konsentrasi akhir sampel (ppm)

Co : konsentrasi awal sampel (ppm) (Goala *et al.*, 2021).

3.6.2. Analisis Statistik

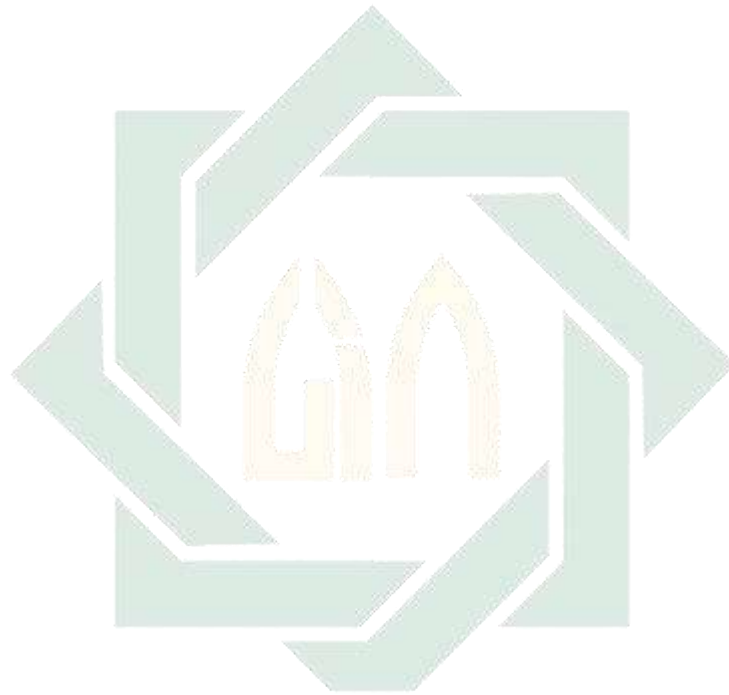
Analisis statistik menggunakan statistik Non-parametrik uji kruskal-Wallis digunakan untuk menguji kesamaan antara lebih dari dua kelompok sampel saling independen ketika asumsi parametrik uji F ANOVA satu jalur ditolak yang disebabkan tidak terpenuhinya asumsi normalitas dan jika skala yang digunakan dari variabel pengamatan adalah skala ordinal (Iskandar, 2022).

3.6.3. Hipotesis

Hipotesis dimaksudkan sebagai jawaban sementara dari masalah yang diteliti. Hipotesis pada penelitian ini meliputi:

H_0 = Tidak terdapat perbedaan penggunaan variasi berat basah tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar Cr^{6+} pada air limbah artifisial

H₁ = Terdapat perbedaan penggunaan variasi berat basah tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar Cr⁶⁺ pada air limbah artifisial



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV


HASIL DAN PEMBAHASAN


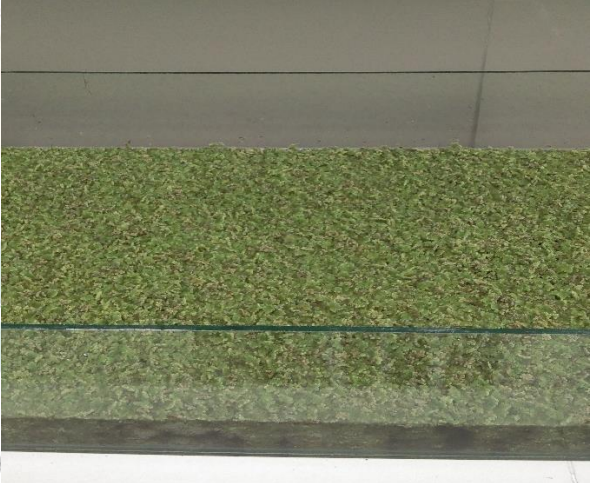

4.1 Tahap Aklimatisasi

Tahap awal sebelum proses fitoremediasi adalah melalui tahap aklimatisasi terlebih dahulu dengan tujuan, agar tanaman mampu beradaptasi terhadap lingkungannya. Aklimatisasi menurut (Nurmalinda dkk, 2018) merupakan tahapan penyesuaian diri tanaman sebelum tanaman mampu hidup pada kondisi lapangan. Sebelumnya tanaman yang akan diaklimatisasi terlebih dahulu di bersihkan akarnya dari kotoran-kotoran yang menempel menggunakan air bersih, reaktor yang digunakan pada aklimatisasi sebanyak 4 buah dengan daya tampung tumbuhan setiap reaktor 250 gram tanaman.

Aklimatisasi tanaman *Azolla microphylla* pada penelitian ini dilakukan selama 7 hari, dengan berat tanaman 1000 gram, dan jumlah yang akan digunakan pada saat fitoremediasi 900 gram untuk 6 reaktor, hal ini dilakukan sebagai antisipasi jika pada saat proses aklimatisasi terdapat tanaman yang mati maupun tanaman yang mengalami kerusakan. Kondisi tanaman *Azolla microphylla* pada tahap aklimatisasi seperti pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Tahap Aklimatisasi Tanaman *Azolla microphylla*

Hari ke-	Deskripsi	Gambar
1	Kondisi tanaman pada hari pertama tahap aklimatisasi, daun <i>Azolla microphylla</i> berwarna hijau tua dengan tepi hijau muda. Akar tanaman seperti rambut, tidak berbulu dan tidak bercabang.	

Hari ke-	Deskripsi	Gambar
2	<p>Pada hari kedua tahap aklimatisasi, kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> tidak mengalami perubahan fisik. Tanaman masih terlihat segar berwarna hijau tua dengan tepi hijau muda.</p>	
3	<p>Pada hari ketiga, kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> masih terlihat hijau segar dan tidak mengalami perubahan kondisi fisik.</p>	
4	<p>Kondisi tanaman pada hari ke-4 mulai mengalami perubahan fisik pada beberapa daun, sedikit mengalami perubahan warna menjadi hijau pucat dan terdapat akar baru yang mulai tumbuh.</p>	

dan akar tanaman yang bertambah banyak. Pengukuran pH, suhu, kelembaban, dan pencahayaan pada tahap aklimatisasi terdapat pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 pH, Suhu, Pencahayaan, dan Kelembaban Tahap Aklimatisasi

Hari ke-	pH	Suhu (°C)	Pencahayaan (lux)	Kelembaban (%)
1	6,42	23,8	2321	59,5
2	6,35	22,8	2439	74,7
3	6,41	26,5	2137	75,2
4	6,51	26,3	2776	67,7
5	6,33	23,9	2314	74,7
6	6,38	24,6	2610	73,9
7	6,44	25,7	2808	80,5

Sumber: Hasil penelitian, 2023

Dari tabel 4.2 diatas, didapatkan hasil pengukuran pH air berkisar antara 6,33 – 6,51. Suhu air didapatkan hasil pengukuran berkisar antara 22,8°C – 26,5°C. Pencahayaan didapatkan hasil pengukuran berkisar antara 2137 lux – 2808 lux, dan Kelembaban didapatkan hasil pengukuran berkisar antara 59,5% - 80,5%. Pengukuran pH dan suhu menggunakan alat pH meter, kemudian kelembaban menggunakan alat higrometer, dan pencahayaan menggunakan aplikasi lux meter. Untuk dokumentasi pengukuran pH, suhu, kelembaban dan pencahayaan dapat dilihat pada (**Lampiran II**).

4.2 Uji Fitoremediasi Tanaman *Azolla microphylla*

Tahap setelah proses aklimatisasi yaitu fitoremediasi tanaman *Azolla microphylla* terhadap air limbah artifisial dengan kandungan logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari tanaman *Azolla microphylla* dalam menyerap logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) selama 8 hari. Dalam penelitian ini, air limbah artifisial yang ingin digunakan dengan konsentrasi 10 mg/l. Hasil yang telah ditentukan berbeda dengan hasil konsentrasi Cr^{6+} yang telah di uji di laboratorium lingkungan PT.Axo Green Laboratory di Jalan, Rungkut Industri III No 7, Surabaya yaitu konsentrasi Cr^{6+} sebesar 9,91

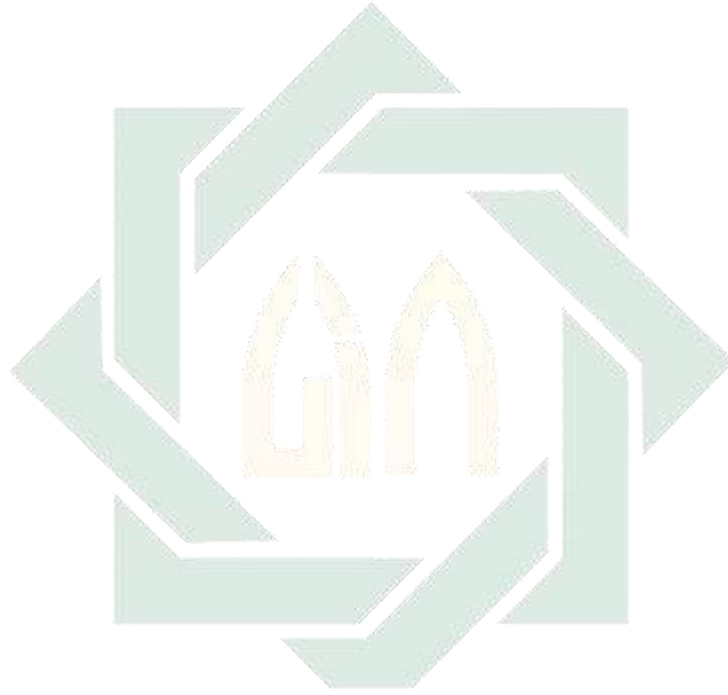
mg/l. Perbedaan konsentrasi yang ditentukan dengan hasil uji laboratorium sebesar 0,9 mg/l, hal ini dapat disebabkan karena ketidakteelitian dalam pembuatan air limbah artifisial seperti pada saat pelarutan logam berat $K_2Cr_2O_7$, pengadukan yang kurang homogen, kemudian dapat disebabkan karena adanya serbuk $K_2Cr_2O_7$ yang tersisa dalam cawan petri (Lidiana, 2022).

Langkah pertama dalam proses pembuatan limbah artifisial dengan konsentrasi 9,91 mg/l adalah menimbang serbuk $K_2Cr_2O_7$ menggunakan neraca analitik sebanyak 2,85 gram, kemudian serbuk $K_2Cr_2O_7$ dimasukkan kedalam labu ukur dan dilarutkan dengan 500 ml aquades sambil dihomogenkan. Jumlah larutan induk yang dibutuhkan sebanyak 99,1 ml tiap reaktor, dengan total larutan induk yang dibutuhkan sebanyak 694 ml untuk 7 reaktor, maka pembuatan limbah artifisial dilakukan sebanyak 2 kali dengan cara yang sama. Kemudian larutan induk 99,1 ml dituangkan kedalam masing-masing reaktor yang telah berisi 9.900 ml akuades, lalu di homogenkan menggunakan spatula. Reaktor yang telah berisi 10.000 ml air limbah artifisial, selanjutnya di isi dengan tanaman *Azolla microphylla*. Reaktor tanpa tanaman sebagai reaktor kontrol, reaktor X_1 dengan jumlah berat basah 100 gram tanaman, reaktor X_2 dengan jumlah berat basah 150 gram tanaman, reaktor X_3 dengan jumlah berat basah 200 gram tanaman, reaktor X_1 DUPLO dengan jumlah berat basah 100 gram tanaman, reaktor X_2 DUPLO dengan jumlah berat basah 150 gram tanaman, dan reaktor X_3 DUPLO dengan jumlah berat basah 200 gram tanaman.

Langkah selanjutnya, dilakukan pengamatan fisik dan pengukuran pH, suhu pada air limbah artifisial, kelembaban dan pencahayaan pada ruangan selama 8 hari. Pengambilan sampel air limbah dilakukan pada hari ke 0,2,4,6, dan 8 dengan cara mengambil sampel sebanyak 300 ml dituangkan kedalam botol sampel berbahan kaca berwarna coklat untuk di ujikan ke laboratorium. Pada reaktor kontrol di lakukan uji sampel pada hari ke 0 dan ke 8, karena reaktor kontrol hanya digunakan sebagai







pembandingan hasil penurunan kadar logam berat Cr^{6+} tanpa tanaman dan dengan menggunakan variasi berat basah tanaman.


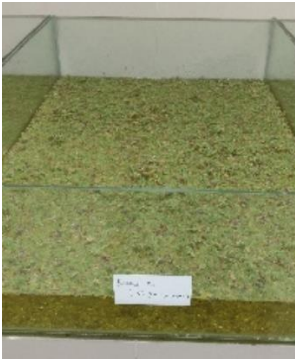

Hasil uji kadar Cr^{6+} laboratorium lingkungan PT. Axo Green Laboratory jalan Rungkut Industri III No 7, Surabaya dapat dilihat pada (**Lampiran I**). Kondisi tanaman *Azolla microphylla* pada saat proses fitoremediasi dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:


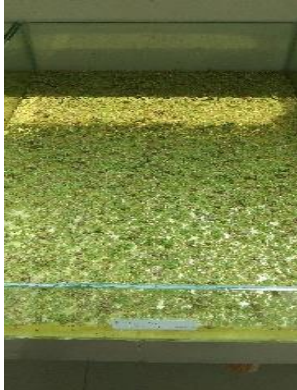









UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 4. 3 Kondisi Tanaman *Azolla microphylla* Saat Fitoremediasi







Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman
0	Pada hari ke-0, hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,15 dan 24,7°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 81,57% dan 2151 lux. Kondisi tanaman hijau segar, belum terjadi perubahan pada fisik tanaman <i>Azolla microphylla</i> .	Pada hari ke-0 didapatkan hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,13 dan 24,3°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 81,57% dan 2151 lux. Kondisi tanaman hijau segar, dan belum terjadi perubahan pada fisik tanaman <i>Azolla microphylla</i> .	Pada hari ke-0 didapatkan hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,15 dan 24,5°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 81,57% dan 2151 lux. Dengan kondisi tanaman hijau segar, dan belum terjadi perubahan pada fisik tanaman <i>Azolla microphylla</i> .			
1	Pada hari ke-1 penelitian, beberapa daun pada <i>Azolla microphylla</i> berwarna hijau pucat, dan akar dalam kondisi baik dengan bentuk seperti rambut, tidak berbulu, dan tidak bercabang. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,13 dan 24,6°C. Kelembaban dan pencahayaan pada	Pada hari ke-1 penelitian, beberapa daun pada <i>Azolla microphylla</i> berwarna hijau pucat, dan akar dalam kondisi baik dengan bentuk seperti rambut, tidak berbulu, dan tidak bercabang. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,15 dan 24,1°C. Kelembaban dan	Pada hari ke-1 penelitian, beberapa daun pada <i>Azolla microphylla</i> berwarna hijau pucat, dan akar dalam kondisi baik dengan bentuk seperti rambut, tidak berbulu, dan tidak bercabang. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,13 dan 24,6°C. Kelembaban dan			

Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman
	ruangan sebesar 86,25% dan 2292 lux.	pencahayaannya pada ruangan sebesar 86,25% dan 2292 lux.	pencahayaannya pada ruangan sebesar 86,25% dan 2292 lux.			
2	Pada hari ke-2 hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,15 dan 24,5°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 68,48% dan 2241 lux. Daun <i>Azolla microphylla</i> yang sebelumnya berwarna hijau pucat menjadi berwarna kuning kecoklatan, dan akar masih dalam kondisi baik.	Pada hari ke-2 hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,4 dan 24,5°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 68,48% dan 2241 lux. Daun <i>Azolla microphylla</i> yang sebelumnya berwarna hijau pucat menjadi berwarna kuning kecoklatan, dan akar masih dalam kondisi baik.	Pada hari ke-2 hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,31 dan 24,5°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 68,48% dan 2241 lux. Daun <i>Azolla microphylla</i> yang sebelumnya berwarna hijau pucat menjadi berwarna kuning kecoklatan, dan akar masih dalam kondisi baik.			

Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman
3	<p>Pada hari ke-3 Kondisi akar dan daun pada <i>Azolla microphylla</i> tidak berbeda jauh dengan kondisi sebelumnya, yaitu akar dengan kondisi baik dan beberapa daun yang berwarna kuning kecoklatan. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,42 dan 26°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 67,20% dan 2395 lux.</p>	<p>Pada hari ke-3 Kondisi akar dan daun pada <i>Azolla microphylla</i> tidak berbeda jauh dengan kondisi sebelumnya, yaitu akar dengan kondisi baik dan beberapa daun yang berwarna kuning kecoklatan. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,54 dan 26°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 67,20% dan 2395 lux.</p>	<p>Pada hari ke-3 Kondisi akar dan daun pada <i>Azolla microphylla</i> tidak berbeda jauh dengan kondisi sebelumnya, yaitu akar dengan kondisi baik dan beberapa daun yang berwarna kuning kecoklatan. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,41 dan 26,1°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 67,20% dan 2395 lux.</p>			
4	<p>Pada hari ke-4 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,46 suhu = 24,5 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 71,30%, pencahayaan = 2238 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> sedikit berbeda dengan hari sebelumnya yaitu terdapat akar baru yang tumbuh berwarna putih, dan beberapa daun</p>	<p>Pada hari ke-4 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,65 suhu = 24,8 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 71,30%, pencahayaan = 2238 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> sedikit berbeda dengan hari sebelumnya yaitu terdapat akar baru yang tumbuh berwarna putih, dan beberapa daun</p>	<p>Pada hari ke-4 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,49 suhu = 25 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 71,30%, pencahayaan = 2238 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> sedikit berbeda dengan hari sebelumnya yaitu terdapat akar baru yang tumbuh berwarna putih, dan beberapa daun</p>			

Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman
	sedikit berwarna kuning kecoklatan.	yang sedikit berwarna kuning kecoklatan.	yang sedikit berwarna kuning kecoklatan.			
5	Pada hari ke-5 kondisi akar pada tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami sedikit rontok dan tenggelam kedasar reaktor, kemudian daun yang berwarna kuning kecoklatan bertambah jumlahnya. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,51 suhu = 24,8 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 64,08% , pencahayaan = 2114 lux.	Pada hari ke-5 kondisi akar pada tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami sedikit rontok dan tenggelam kedasar reaktor, kemudian daun yang berwarna kuning kecoklatan bertambah jumlahnya. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,67 suhu = 24,3 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 64,08% pencahayaan = 2114 lux.	Pada hari ke-5 kondisi akar pada tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami sedikit rontok dan tenggelam kedasar reaktor, kemudian daun yang berwarna kuning kecoklatan bertambah jumlahnya. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,58 suhu = 24,6 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 64,08% pencahayaan = 2114 lux.			




Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman
6	<p>Pada hari ke-6 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 7, suhu = 25,7 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 77,25%, pencahayaan = 2182 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> tidak jauh berbeda dengan kondisi pada hari sebelumnya, yaitu dengan akar yang rontok tenggelam ke dasar reaktor dan penambahan jumlah daun yang berwarna kuning kecoklatan.</p>	<p>Pada hari ke-6 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,5 suhu = 25,4°C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 77,25%, pencahayaan = 2182 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> tidak jauh berbeda dengan kondisi pada hari sebelumnya, yaitu dengan akar yang rontok tenggelam ke dasar reaktor dan penambahan jumlah daun yang berwarna kuning kecoklatan.</p>	<p>Pada hari ke-6 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,74 suhu = 25,5°C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 77,25%, pencahayaan = 2182 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> tidak jauh berbeda dengan kondisi pada hari sebelumnya, yaitu dengan akar yang rontok tenggelam ke dasar reaktor dan penambahan jumlah daun yang berwarna kuning kecoklatan.</p>			

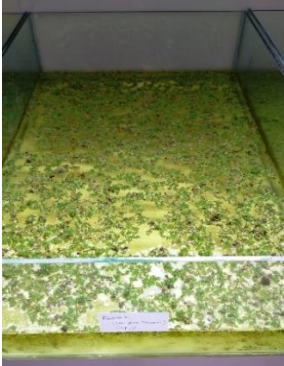





Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman
7	<p>Pada hari ke-7 penelitian, kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami perubahan fisik pada akar dan daun. Bertambahnya jumlah akar yang rontok, dan daun yang berubah warna menjadi coklat dan mengering. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,53 suhu = 27 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 85,28%, pencahayaan = 2340 lux.</p>	<p>Pada hari ke-7 penelitian, kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami perubahan fisik pada akar dan daun. Bertambahnya jumlah akar yang rontok, dan daun yang berubah warna menjadi coklat dan mengering. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,78 suhu = 27°C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 85,28%, pencahayaan = 2340 lux.</p>	<p>Pada hari ke-7 penelitian, kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami perubahan fisik pada akar dan daun. Bertambahnya jumlah akar yang rontok, dan daun yang berubah warna menjadi coklat dan mengering. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,68 suhu = 27,1 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 85,28%, pencahayaan = 2340 lux.</p>			
8	<p>Pada hari ke-8 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 7, suhu = 25,6 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 74,25%, pencahayaan = 2352 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami banyak kerusakan pada daun yang berwarna coklat</p>	<p>Pada hari ke-8 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,25 suhu = 25,6 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 74,25%, pencahayaan = 2352 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami banyak kerusakan pada daun yang berwarna coklat</p>	<p>Pada hari ke-8 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,61 suhu = 25,3 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 74,25%, pencahayaan = 2352 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami banyak kerusakan pada daun yang berwarna coklat</p>			







Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ 200 gram Tanaman
	kering , dan akar yang semakin rontok banyak tenggelam kedasar reaktor.	kering , dan akar yang semakin rontok banyak tenggelam kedasar reaktor.	kering , dan akar yang semakin rontok banyak tenggelam kedasar reaktor.			


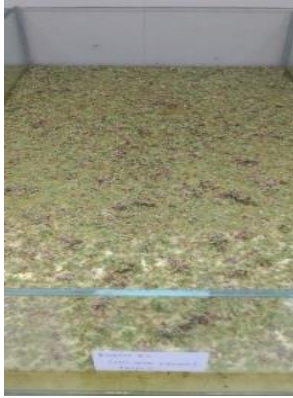

Sumber: Hasil Penelitian, 2023



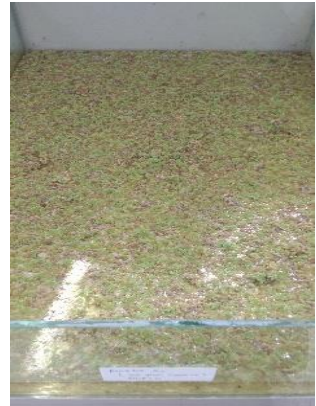



Tabel 4. 4 Kondisi Tanaman *Azolla microphylla* Saat Fitoremediasi (Duplo)




Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman
0	Pada hari ke-0, hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,12 dan 24,6°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 81,57 % dan 2151 lux. Kondisi tanaman hijau segar, belum terjadi perubahan pada fisik tanaman <i>Azolla microphylla</i> .	Pada hari ke-0 didapatkan hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,09 dan 24,8°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 81,57% dan 2151 lux. Kondisi tanaman hijau segar, dan belum terjadi perubahan pada fisik tanaman <i>Azolla microphylla</i> .	Pada hari ke-0 didapatkan hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,12 dan 24,6°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 81,57% dan 2151 lux. Dengan kondisi tanaman hijau segar, dan belum terjadi perubahan pada fisik tanaman <i>Azolla microphylla</i> .			

Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman
1	Pada hari ke-1 penelitian, beberapa daun pada <i>Azolla microphylla</i> berwarna hijau pucat, dan akar dalam kondisi baik. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,13 dan 24,2°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 86,25% dan 2292 lux.	Pada hari ke-1 penelitian, beberapa daun pada <i>Azolla microphylla</i> berwarna hijau pucat, dan akar dalam kondisi baik dengan bentuk seperti rambut, tidak berbulu, dan tidak bercabang. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,11 dan 24,6°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 86,25% dan 2292 lux.	Pada hari ke-1 penelitian, beberapa daun pada <i>Azolla microphylla</i> berwarna hijau pucat, dan akar dalam kondisi baik dengan bentuk seperti rambut, tidak berbulu, dan tidak bercabang. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,12 dan 24,9°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 86,25% dan 2292 lux.			
2	Pada hari ke-2 hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,34 dan 24,5°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 68,48% dan 2241 lux. Daun <i>Azolla microphylla</i> yang sebelumnya berwarna hijau pucat menjadi berwarna kuning kecoklatan, dan akar masih dalam kondisi	Pada hari ke-2 hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,39 dan 24,6°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 68,48% dan 2241 lux. Daun <i>Azolla microphylla</i> yang sebelumnya berwarna hijau pucat menjadi berwarna kuning kecoklatan, dan akar	Pada hari ke-2 hasil pengukuran pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,39 dan 24,6°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 68,48% dan 2241 lux. Daun <i>Azolla microphylla</i> yang sebelumnya berwarna hijau pucat menjadi berwarna kuning kecoklatan, dan akar			

Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman
	baik.	masih dalam kondisi baik.	masih dalam kondisi baik.			
3	Pada hari ke-3 Kondisi akar dan daun pada <i>Azolla microphylla</i> tidak berbeda jauh dengan kondisi sebelumnya, yaitu akar dengan kondisi baik dan beberapa daun yang berwarna kuning kecoklatan. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,45 dan 26,1°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 67,20% dan 2394 lux.	Pada hari ke-3 Kondisi akar dan daun pada <i>Azolla microphylla</i> tidak berbeda jauh dengan kondisi sebelumnya, yaitu akar dengan kondisi baik dan beberapa daun yang berwarna kuning kecoklatan. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,54 dan 26,1°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 67,20% dan 2394 lux.	Pada hari ke-3 Kondisi akar dan daun pada <i>Azolla microphylla</i> tidak berbeda jauh dengan kondisi sebelumnya, yaitu akar dengan kondisi baik dan beberapa daun yang berwarna kuning kecoklatan. pH dan suhu pada air limbah sebesar 6,59 dan 26,2°C. Kelembaban dan pencahayaan pada ruangan sebesar 67,20% dan 2394 lux.			
4	Pada hari ke-4 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,47 suhu = 25,1 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 71,30%, pencahayaan = 2238 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> sedikit berbeda dengan hari sebelumnya yaitu terdapat akar baru yang	Pada hari ke-4 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,58 suhu = 24,9 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 71,30%, pencahayaan = 2238 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> sedikit berbeda dengan hari sebelumnya yaitu terdapat akar baru yang	Pada hari ke-4 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,69 suhu = 25 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 71,30%, pencahayaan = 2238 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> sedikit berbeda dengan hari sebelumnya yaitu terdapat akar baru yang			

Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman
	tumbuh berwarna putih, dan beberapa daun yang sedikit berwarna kuning kecoklatan.	tumbuh berwarna putih, dan beberapa daun yang sedikit berwarna kuning kecoklatan.	tumbuh berwarna putih, dan beberapa daun yang sedikit berwarna kuning kecoklatan.			
5	Pada hari ke-5 kondisi akar pada tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami sedikit rontok dan tenggelam ke dasar reaktor, kemudian daun yang berwarna kuning kecoklatan bertambah jumlahnya. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,53, suhu = 24,5 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 64,08%, pencahayaan = 2114 lux.	Pada hari ke-5 kondisi akar pada tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami sedikit rontok dan tenggelam ke dasar reaktor, kemudian daun yang berwarna kuning kecoklatan bertambah jumlahnya. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,67, suhu = 24,7 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 64,08%, pencahayaan = 2114 lux.	Pada hari ke-5 kondisi akar pada tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami sedikit rontok dan tenggelam ke dasar reaktor, kemudian daun yang berwarna kuning kecoklatan bertambah jumlahnya. Hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,81, suhu = 25 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 64,08%, pencahayaan = 2114 lux.			

Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman
6	Pada hari ke-6 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,51 suhu = 25,8 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 77,25%, pencahayaan = 2182 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> tidak jauh berbeda dengan kondisi pada hari sebelumnya, yaitu dengan akar yang rontok tenggelam ke dasar reaktor dan pertambahan jumlah daun yang berwarna kuning kecoklatan.	Pada hari ke-6 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,52 suhu = 25,8 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 77,25%, pencahayaan = 2182 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> tidak jauh berbeda dengan kondisi pada hari sebelumnya, yaitu dengan akar yang rontok tenggelam ke dasar reaktor dan pertambahan jumlah daun yang berwarna kuning kecoklatan.	Pada hari ke-6 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,68 suhu = 26,1 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 77,25%, pencahayaan = 2182 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> tidak jauh berbeda dengan kondisi pada hari sebelumnya, yaitu dengan akar yang rontok tenggelam ke dasar reaktor dan pertambahan jumlah daun yang berwarna kuning kecoklatan.			
7	Pada hari ke-7 penelitian, kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami perubahan fisik pada akar dan daun. Bertambahnya jumlah akar yang rontok, dan daun yang berubah warna menjadi coklat dan mengering. Hasil pengukuran pada air	Pada hari ke-7 penelitian, kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami perubahan fisik pada akar dan daun. Bertambahnya jumlah akar yang rontok, dan daun yang berubah warna menjadi coklat dan mengering. Hasil pengukuran pada air	Pada hari ke-7 penelitian, kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami perubahan fisik pada akar dan daun. Bertambahnya jumlah akar yang rontok, dan daun yang berubah warna menjadi coklat dan mengering. Hasil pengukuran pada air			

Hari ke-	Deskripsi			Gambar		
	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman	Reaktor X ₁ DUPLO 100 gram Tanaman	Reaktor X ₂ DUPLO 150 gram Tanaman	Reaktor X ₃ DUPLO 200 gram Tanaman
	limbah, pH = 6,58 suhu = 27,1 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 85,28%, pencahayaan = 2340 lux.	limbah, pH = 6,77 suhu = 27,3 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 85,28% pencahayaan = 2340 lux.	limbah, pH = 6,86 suhu = 27,4 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 85,28% pencahayaan = 2340 lux.			
8	Pada hari ke-8 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,62 suhu = 25,1 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 74,25%, pencahayaan = 2352 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami banyak kerusakan pada daun yang berwarna coklat kering , dan akar yang semakin rontok banyak tenggelam kedaras reaktor.	Pada hari ke-8 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,9 suhu = 25,2 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 74,25%, pencahayaan = 2352 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami banyak kerusakan pada daun yang berwarna coklat kering , dan akar yang semakin rontok banyak tenggelam kedaras reaktor.	Pada hari ke-8 hasil pengukuran pada air limbah, pH = 6,9 suhu = 25,1 °C. Pengukuran pada ruangan, kelembaban = 74,25%, pencahayaan = 2352 lux. Kondisi tanaman <i>Azolla microphylla</i> mengalami banyak kerusakan pada daun yang berwarna coklat kering , dan akar yang semakin rontok banyak tenggelam kedaras reaktor.			

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan hasil pengamatan pada penelitian diatas, pada tahap uji fitoremediasi, tanaman *Azolla microphylla* mengalami perubahan pada fisik tanaman di akar dan daun, tanaman mengalami perubahan warna pada daun dan terjadi kerontokan pada akar. Morfologi akar yang mudah rontok, dan daun mengalami gejala klorosis, penghambatan perpanjangan akar dan rontoknya beberapa akar menjadi efek dari respon toksisitas logam berat yang terjadi karena penghambatan pembelahan sel akar dan atau penurunan ekspansi sel dalam zona perpanjangan di jaringan meristem akar (Asih & Rachmadiarti, 2019). Saat terpapar lingkungan yang sangat tercemar logam berat, tanaman akan melakukan suatu mekanisme adaptasi untuk bertahan hidup. Akar dan daun tumbuhan ini telah mengalami perubahan morfologi yang dilakukan agar mampu bertahan dalam kondisi media yang mengandung logam berat (Haryati dkk, 2012).

Munculnya nekrosis dan klorosis pada akar dan daun tanaman yang terpapar logam berat merupakan salah satu tanda kerusakan tanaman. Tumbuhan dapat merespons zat toksik dengan dua cara: baik melalui ameliorasi atau toleransi. Kemampuan tanaman untuk mengurangi dampak ion logam, seperti inaktivasi kimia dan pengenceran, dikenal sebagai ameliorasi. Tumbuhan mencapai toleransi dengan mengembangkan sistem yang dapat bertahan pada paparan terhadap konsentrasi toksik tertentu. Hal ini dilakukan agar tanaman toleran terhadap media yang mengandung logam berat. Kemampuan suatu tanaman tetap tumbuh meskipun terpapar logam berat merupakan suatu syarat bagi tanaman tersebut untuk dapat bertahan terhadap logam berat (Gupta *et al.*, 2013).

4.3 Pengukuran pH, Suhu, Kelembaban, dan Pencahayaan Tahap Fitoremediasi

4.3.1. Pengukuran pH pada Tahap Fitoremediasi

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran untuk menentukan sifat asam dan basa. Perubahan pH di suatu air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya, skala pH berkisar antara 1-14. Kisaran nilai pH 1-7 termasuk kondisi asam, pH 7-14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral (Ningrum, 2018). Nilai pH saat penelitian tahap Fitoremediasi dapat dilihat pada tabel 4.5 dan grafik 4.1 berikut:

Tabel 4. 5 Nilai pH Air Limbah Tahap Fitoremediasi

Hari ke-	Hasil Pengukuran					
	X ₁		X ₂		X ₃	
	1	2	1	2	1	2
0	6,15	6,12	6,13	6,09	6,15	6,12
1	6,13	6,13	6,15	6,11	6,15	6,12
2	6,15	6,34	6,4	6,39	6,31	6,39
3	6,42	6,45	6,54	6,54	6,41	6,59
4	6,46	6,47	6,65	6,58	6,49	6,69
5	6,51	6,53	6,67	6,67	6,58	6,81
6	7	6,51	6,5	6,52	6,74	6,68
7	6,53	6,58	6,78	6,77	6,68	6,86
8	7	6,62	6,25	6,9	6,61	6,9

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan pada tabel 4.5 diatas, nilai pH pada tahap fitoremediasi berkisar antara 6,09 – 7. Nilai pH air limbah pada hari ke-0 sampai dengan hari ke-6 cenderung mengalami kenaikan yaitu nilai pH tertinggi sebesar 7 pada reaktor X₁, sedangkan pada hari ke-7 nilai pH pada reaktor X₁ mengalami penurunan pH terendah sebesar 6,53, kemudian pada hari ke-8 nilai pH cenderung mengalami kenaikan kembali dengan nilai pH tertinggi sebesar 7 pada reaktor X₁. Kenaikan pH pada air limbah dapat disebabkan karena adanya pengaruh dari berkurangnya CO₂ dari proses

4.3.3. Pengukuran Kelembaban Udara pada Tahap Fitoremediasi

Kelembaban udara adalah tingkat kebasahan udara karena dalam udara air selalu terkandung dalam uap air. Tinggi rendahnya kelembaban udara disuatu tempat sangat bergantung pada faktor suhu, tekanan udara, pergerakan angin, kuantitas, dan kualitas penyinaran (Edar, 2021). Ketika udara mengandung banyak air, kelembaban menjadi tinggi. Tingginya jumlah air di udara terjadi karena uap air. Jumlah uap air dipengaruhi oleh temperatur. Ketika temperatur udara rendah, uap air yang dibutuhkan untuk menjenuhkan udara sedikit. Pergerakan angin mempengaruhi temperatur ruangan dikarenakan adanya perbedaan tekanan. Udara yang dingin yang menyusut ketika malam hari dan memuai pada siang hari sehingga udara yang lebih ringan akan naik dan tergantikan dengan udara yang lebih dingin (K. P. Sari, 2021).

Kelembaban udara yang tinggi berpengaruh terhadap transpirasi yang meningkat dan pertumbuhan tanaman *Azolla* meningkat, tetapi ada kemungkinan peningkatan jamur dan alga yang dapat mempengaruhi pertumbuhan *Azolla* secara negatif (Da, Silva *et al.*, 2022). Nilai kelembaban ruangan pada saat penelitian tahap fitoremediasi dapat dilihat pada tabel 4.7 dan grafik 4.3 berikut:

Tabel 4. 7 Nilai Kelembaban Ruangan Tahap Fitoremediasi

Hari ke-	Hasil Pengukuran
0	81,57%
1	86,25%
2	68,48%
3	67,20%
4	71,30%
5	64,08%
6	77,25%
7	85,28%
8	74,25%

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Pada reaktor X₂ konsentrasi awal limbah Cr⁶⁺ sebesar 9,91 mg/l, pada hari ke-2 fitoremediasi penurunan sebesar 5,88 mg/l, pada hari ke-4 mengalami penurunan sebesar 1,07 mg/l, pada hari ke-6 fitoremediasi penurunan sebesar 1,23 mg/l, dan pada hari ke-8 fitoremediasi kandungan Cr⁶⁺ mengalami kenaikan sebesar 0,03 mg/l. Pada reaktor X₂ DUPLO konsentrasi awal limbah Cr⁶⁺ sebesar 9,91 mg/l, pada hari ke-2 fitoremediasi penurunan sebesar 5,83 mg/l, pada hari ke-4 mengalami penurunan sebesar 1,07 mg/l, pada hari ke-6 fitoremediasi penurunan sebesar 1,27 mg/l, dan pada hari ke-8 fitoremediasi kandungan Cr⁶⁺ tidak mengalami penurunan.

Pada reaktor X₃ konsentrasi awal limbah Cr⁶⁺ sebesar 9,91 mg/l, pada hari ke-2 fitoremediasi penurunan sebesar 6,9 mg/l, pada hari ke-4 mengalami penurunan sebesar 1,04 mg/l, pada hari ke-6 fitoremediasi penurunan sebesar 1,76 mg/l, dan pada hari ke-8 fitoremediasi kandungan Cr⁶⁺ mengalami kenaikan sebesar 0,04. Pada reaktor X₃ DUPLO konsentrasi awal limbah Cr⁶⁺ sebesar 9,91 mg/l, pada hari ke-2 fitoremediasi penurunan sebesar 6,88 mg/l, pada hari ke-4 mengalami penurunan sebesar 1,03 mg/l, pada hari ke-6 fitoremediasi penurunan sebesar 0,73 mg/l, dan pada hari ke-8 fitoremediasi kandungan Cr⁶⁺ mengalami kenaikan sebesar 0,05 mg/l.

Rata-rata penurunan kadar Cr⁶⁺ pada reaktor X₁ (100 gram tanaman) sebesar 7,19 mg/l, pada reaktor X₂ (150 gram tanaman) rata-rata penurunan kadar Cr⁶⁺ sebesar 8,18 mg/l, dan pada reaktor X₃ (200 gram tanaman) rata-rata penurunan kadar Cr⁶⁺ sebesar 8,65 mg/l.

Terjadinya kenaikan konsentrasi pada masing-masing reaktor X₁, X₂, X₃, X₁ DUPLO, X₂ DUPLO, dan X₃ DUPLO dikarenakan semakin lama waktu pemaparan tanaman terhadap logam berat maka semakin banyak pula logam berat yang dapat diserap oleh tanaman, tetapi apabila tanaman telah mencapai titik jenuh sehingga berapapun waktu kontak berikutnya yang diberikan, maka tanaman tidak akan mampu menyerap polutan lagi dan faktor ini dapat dijadikan sebagai pedoman dalam menentukan kapan tanaman tersebut harus di *recovery* (Sari, Eka Meilian dkk, 2017).

Hasil uji laboratorium menunjukkan penurunan kadar logam Cr⁶⁺ tertinggi terdapat pada reaktor X₃ pada hari ke-6 perlakuan, dengan hasil 1,25 mg/l dari konsentrasi awal sebesar 9,91 mg/l, hasil konsentrasi tersebut masih belum memenuhi baku mutu air sungai menurut PP No 22 Tahun 2021 untuk kadar krom heksavalen (Cr-VI) sebesar 0,05 mg/L. Pada penelitian Pratiwi, (2019) *Azolla microphylla* dapat menurunkan kadar Cr-Total tertinggi pada hari ke-8, dengan penurunan sebesar 10,56 mg/l. *Azolla microphylla* dapat menyerap logam berat Cr-Total melalui akar untuk kemudian logam berat diakumulasikan pada organ tanaman *Azolla microphylla* yaitu akar dan daun, proses ini juga disebut fitoekstraksi, sesuai dengan pendapat Reed (2005);(Pratiwi dkk, 2019) menyatakan bahwa penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi dari akar ke bagian tumbuhan lain dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut.

Menurut Sa'diyah, (2018) jika membahas tentang pengolahan limbah oleh manusia dengan memfungsikan akal yang telah diberikan Allah Swt, dengan cara merenung maupun berfikir menggunakan akal, maka hal tersebut akan sampai kepada kesadaran bahwa manusia tidak berdiri sendiri di alam ini, melainkan bahwa semua ini ada penciptaannya. Dengan demikian kita akan mengenal Allah melalui ciptaan-Nya. Dengan menggunakan akal pikiran, manusia tidak pernah berhenti meneliti alam semesta ini, manusia berhasil merubah wajah dunia dan struktur kehidupan di atasnya.

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَالْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: “Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya bumi itu tidak menggoyangkan kamu; dan memperkembangbiakkan padanya segala macam jenis binatang. Dan Kami turunkan air

Pada grafik 4.10 diatas dapat dilihat pada reaktor X₃ DUPLO dengan variasi berat basah tanaman *Azolla microphylla* sebanyak 200 gram, konsentrasi awal kadar Cr⁶⁺ sebesar 9,91 mg/l, didapatkan hasil efisiensi removal kadar logam berat Cr⁶⁺ sebesar 69,42 % pada hari ke-2 penelitian, 79,82% pada hari ke-4 penelitian, 87,18% pada hari ke-6 penelitian, dan 86,68% pada hari ke-8.

Hasil perhitungan efisiensi removal logam berat Cr⁶⁺ tertinggi terdapat pada reaktor X₃ (200 gram Tanaman) pada hari ke-6 dengan nilai efisiensi 87,39%. Pada hari ke-8 kandungan logam berat mengalami kenaikan, kenaikan kadar logam Cr⁶⁺ pada reaktor X₁ sebesar 0,02 mg/l, pada reaktor X₂ sebesar 0,03 mg/l, pada reaktor X₃ sebesar 0,04 mg/l, pada reaktor X₁ duplo kenaikan kadar logam Cr sebesar 0,02 mg/l, pada reaktor X₂ duplo tidak terjadi kenaikan kadar logam Cr⁶⁺, dan pada reaktor X₃ duplo terjadi kenaikan logam berat sebesar 0,05 mg/l.

Kenaikan kadar logam Cr⁶⁺ dikarenakan tanaman *Azolla microphylla* mengalami titik jenuh, akar yang rontok dan tenggelam ke dasar reaktor sehingga logam berat masih terakumulasi didalam akar ikut ke dasar reaktor, dan akar merupakan organ pertama yang langsung bersentuhan dengan media yang mengandung logam, sehingga akumulasi logam pada akar lebih tinggi dan menyebabkan kerusakan pada bagian akar (Nilamsari & Rachmadiarti, 2019). Hal ini sesuai dengan penelitian Sari, Eka Meilian dkk, yaitu pada hari ke-15 penelitian, terjadi penurunan persen efisiensi penyerapan yang disebabkan karena tanaman telah mengalami kejenuhan, sehingga tidak mampu menyerap kembali logam (Pb, Cd, dan Cr), titik jenuh dapat didefinisikan sebagai batas maksimum yang dapat ditoleransi oleh tanaman dalam menyerap logam berat, sehingga penyerapan logam berat akan menurun juga konsentrasi dari logam berat dalam larutan dalam meningkat karena tanaman dapat melepaskan kembali logam berat yang telah diserap (Sari, Eka Meilian dkk, 2017).

Pada reaktor kontrol atau reaktor tanpa tanaman, kandungan logam Cr^{6+} pada hari ke-0 sebesar 9,91 mg/l dan pada hari ke-8 penelitian kandungan Cr^{6+} sebesar 9,2 mg/l, kadar logam Cr^{6+} mengalami penurunan sebesar 0,71 mg/l dengan efisiensi removal sebesar 7,16 %. Hal ini dikarenakan keberhasilan fitoremediasi sangat ditentukan oleh jumlah biomassa dan konsentrasi logam berat pada bagian tanaman (Gupta et al., 2013). Menurut (Sa'diyah, 2018) menjelaskan bahwa teknologi tercanggih dalam semua permasalahan telah Allah sediakan di alam. Allah telah memenuhi semua kebutuhan permasalahan kita. Terlebih tentang alam hasil Penciptaan Allah Swt, pasti ia juga telah menyediakan semua solusi dari permasalahan yang ada didalamnya. Hal tersebut termaktub dalam Al-Quran yang berbunyi:

يَسْأَلُهُ مَنْ فِي السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ كُلَّ يَوْمٍ هُوَ فِي شَأْنٍ

Artinya: “Siapa yang ada di langit dan bumi selalu meminta kepada-Nya. Setiap hari Dia menangani urusan”.

Semua yang ada di langit di bumi selalu meminta kepada-Nya, setiap hari Dia (memenuhi) semua kebutuhan (makhluk-Nya) (*Q.S Ar-Rahman: 29*) (*Al-Quran dan Terjemahnya, Kementrian Agama RI tahun 2019*).

Pada penelitian (Sari, Eka Meilian dkk, 2017) yang berjudul “Potensi Tanaman *Azolla* (*Azolla pinnata*) sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II), Ion Kadmium (II), dan Ion Kromium (VI)” didapatkan hasil perhitungan persen efisiensi penyerapan logam berat tertinggi pada Pb sebesar 58,14% pada hari ke-12, penyerapan tertinggi pada Cd sebesar 40,32% pada hari ke-12, dan penyerapan Cr tertinggi sebesar 32,55% pada hari ke-6 pemaparan.

4.6 Analisis Perbedaan Variasi Berat Basah Tanaman *Azolla microphylla* dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Krom Heksavalen (Cr^{6+})

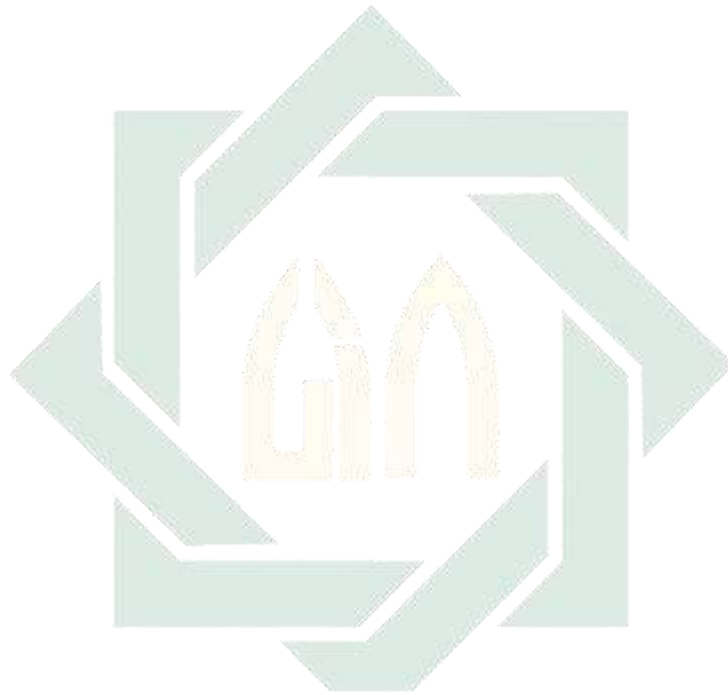
Setelah dilakukan penelitian pada tahap aklimatisasi sampai tahap fitoremediasi, selanjutnya data hasil fitoremediasi di uji menggunakan uji statistik non parametrik *Kruskal Wallis*. Sebelumnya telah dilakukan uji

Berdasarkan pada tabel 4.11 diatas menunjukkan hasil uji kruskal wallis didapatkan nilai signifikan p-value sebesar $0,705 > 0,05$ yang artinya H_0 “diterima” dan H_1 “ditolak”, sehingga tidak ada perbedaan nyata (signifikan) pada variasi berat basah 100 gram, 150 gram, 200 gram tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar logam berat Cr^{6+} . Hal ini disebabkan karena sedikitnya variasi jumlah tanaman yang digunakan, waktu tinggal yang singkat sehingga jumlah data yang diperoleh sedikit (Hibatullah, 2019). Hasil uji kruskal wallis pada spss terdapat pada **Lampiran 1**.

Hasil uji statistik pada penelitian ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh (Lidiana, 2022) yang berjudul “Efektifitas dan Efisiensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Sistem *Batch*”. Hasil penelitian di uji statistik menggunakan uji non-parametrik Kruskal wallis, didapatkan kadar timbal diperoleh P-value pada hari ke-3 sebesar 0,080, pada hari ke-5 sebesar 0,392, dan pada hari ke-7 sebesar 0,219 yang berarti P-value lebih dari 0,05, sehingga H_0 “diterima” dan H_1 “ditolak” artinya tidak ada perbedaan nyata perlakuan (paparan hari ke-3, 5, dan 7) terhadap variasi jumlah tanaman (5, 10, dan 15 tanaman). Tidak terdapat perbedaan yang nyata tersebut disebabkan karena penggunaan variasi jumlah tanaman dan waktu paparan terlalu kecil dan sedikit (Lidiana, 2022). Pada hasil penelitian lainnya, yang dilakukan oleh (Setiyono, Andik & Gustaman, 2017) yang berjudul “Pengendalian Kromium (Cr) yang Terdapat di Limbah Batik dengan Metode Fitoremediasi”. Hasil penelitian menggunakan uji statistik kruskal wallis diperoleh nilai signifikansi $P = 0,280 > \alpha = 0,05$ sehingga “tidak ada perbedaan” penyerapan logam berat Cr, dengan jumlah replikasi yang digunakan, yaitu 6 replikasi menggunakan 3 jenis tanaman kayu apu, kayambang, dan enceng gondok.

Hasil uji statistik pada penelitian ini berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan oleh (Billah dkk, 2020) yang berjudul “Phytheremediasi Chromium Total (Cr-T) menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada limbah cair batik”. Hasil penelitian krom total diperoleh

nilai signifikansi P₁ sebesar 0,007, P₂ sebesar 0,0042, dan P₃ sebesar 0,000 < $\alpha = 0,05$ sehingga “terdapat perbedaan” penurunan krom total pada setiap kelompok perlakuan. Pada penelitian tersebut fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu dengan waktu kontak 10 hari, dengan variasi massa P₁ (300 gram/6L), P₂ (350 gram/6L), dan P₃ (400 gam/6L).



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dengan judul “Fitoremediasi Logam Berat Krom Heksavalen (Cr^{6+}) Menggunakan Tanaman *Azolla microphylla* dengan Sistem Batch”, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

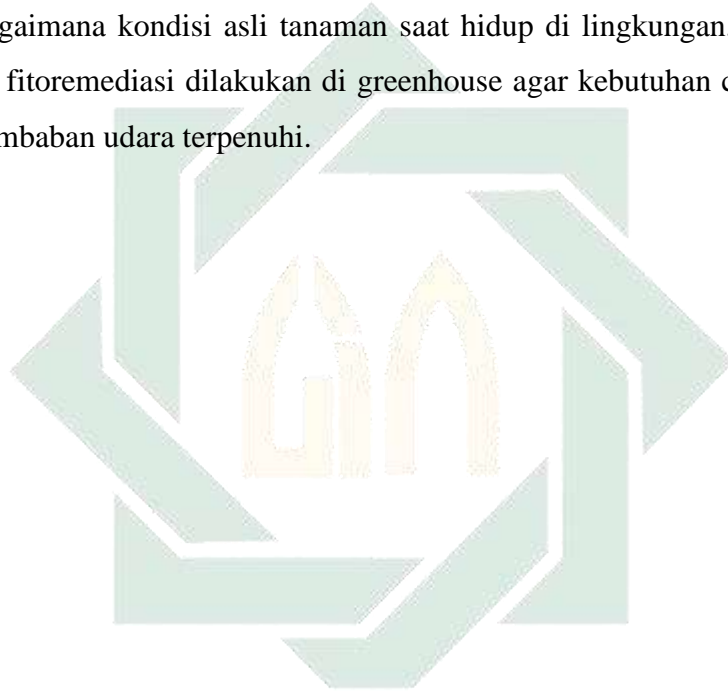
1. Penurunan kadar logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) dengan fitoremediasi tanaman *Azolla microphylla* sistem batch selama 8 hari dengan konsentrasi awal 9,91 mg/l yaitu:
 - a. Reaktor $X_1 = 7,19$ mg/l
 - b. Reaktor $X_2 = 8,18$ mg/l
 - c. Reaktor $X_3 = 8,65$ mg/l
2. Nilai efisiensi removal logam berat krom heksavalen Cr^{6+} fitoremediasi dengan tanaman *Azolla microphylla* menggunakan sistem batch selama 8 hari dengan konsentrasi awal 9,91 mg/l yaitu:
 - a. Reaktor $X_1 = 72,5\%$
 - b. Reaktor $X_2 = 82,5\%$
 - c. Reaktor $X_3 = 87,3\%$
3. Perbedaan variasi berat tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar logam berat krom heksavalen (Cr^{6+}) pada proses fitoremediasi yaitu diketahui dengan analisis menggunakan uji SPSS nonparametrik Kruskal Wallis, dan didapatkan hasil nilai signifikan sebesar $0,705 > 0,05$ yang berarti tidak ada perbedaan nyata variasi berat tanaman dalam menurunkan kadar logam berat Cr^{6+} .

5.2 Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan yang telah disampaikan, saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Lebih berhati-hati dalam proses pembuatan limbah artifisial agar didapatkan hasil yang sesuai antara konsentrasi yang telah ditentukan dengan hasil laboratorium.

2. Menggunakan variasi selisih berat basah tanaman yang lebih besar dan waktu tinggal yang lebih lama agar pada saat pengujian uji statistik didapatkan hasil perbedaan yang nyata dalam penggunaan variasi dan waktu terhadap penurunan kadar logam berat.
3. Dilakukan penyesuaian kondisi lingkungan (kelembaban udara dan intensitas cahaya) yang optimum untuk *Azolla microphylla* sebagaimana kondisi asli tanaman saat hidup di lingkungan, dan lebih baik fitoremediasi dilakukan di greenhouse agar kebutuhan cahaya dan kelembaban udara terpenuhi.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

Al-Quran dan Terjemahnya, Kementerian Agama RI tahun 2019

Al-Quran dan Terjemahnya, Kementerian Agama RI tahun 2020.

- Abbas, S. Z., Rafatullah, M., Hossain, K., Ismail, N., Tajarudin, H. A., & Abdul Khalil, H. P. S. (2018). A review on mechanism and future perspectives of cadmium-resistant bacteria. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(1), 243–262. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1400-5>
- Arimby, C. dkk. (2014). Pemanfaatan Azolla Pinnata R. Br Dalam Penyerapan Zn dari Limbah Cair Pabrik Karet Sebagai Fitoremediator. *Jurnal JOM FMIPA*, 1(2), 1–8. <https://doi.org/10.21608/pshj.2022.250026>
- Asih, D. W., & Rachmadiarti, F. (2019). Azolla Microphylla sebagai Fitoremediator Logam Pb. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 8(1), 85–90.
- 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. *Jurnal Biologi Udayana*, 24(1), 47. <https://doi.org/10.24843/jbiounud.2020.v24.i01.p06>
- Binfun, L., & Mansawan, S. (2016). *Fitoremediasi Logam Berat (Mn, Pb, Zn) dari Limbah Cair Laboratorium Kimia Universitas Kristen Satya Wacana oleh Kayu Apu Dadak (Azolla pinnata R.Br.) = Phytoremediation Of Heavy Metals (Mn, Pb, Zn) from Wastewater Chemical Laboratory Satya Wacana Christi*. 1–18.
- Christy, B. (2017). *Kualitas Unsur Hara Kompos Campuran Limbah Kulit Pisang Kepok Musa paradisiaca dan Azolla microphylla*. 12–26.
- da Silva, M. E. J., Mathe, L. O. J., van Rooyen, I. L., Brink, H. G., & Nicol, W. (2022). Optimal Growth Conditions for Azolla pinnata R. Brown: Impacts of Light Intensity, Nitrogen Addition, pH Control, and Humidity. *Plants*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/plants11081048>
- Edar, A. N. (2021). Pengaruh Suhu dan Kelembaban Terhadap Rasio Kelembaban

dan Entalpi (Studi Kasus: Gedung UNIFA Makassar). *LOSARI: Jurnal Arsitektur Kota dan Pemukiman*, 6(2), 102–114. <https://doi.org/10.33096/losari.v6i2.307>

Effendi, I., & Ilhahi, I. (2019). Teknik Budidaya *Azolla microphylla* Pada Media Ember dan Kolam Terpal. *Journal of Rural and Urban Community Empowerment*, 1(1), 67–71.

Fadlya, Tisa Nurul dan Ahmad, H. 2019. (2019). Kemampuan Tanaman Hias Hidrofit (*Elodea Canadensis*) dalam Menurunkan Kadar Kromium (Cr) pada Limbah Cair Industri PT. Sermani Steel di Makassar. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 19(1), 1–23.

Goala, M., Yadav, K. K., Alam, J., Adelodun, B., Choi, K. S., Cabral-Pinto, M. M. S., Hamid, A. A., Alhoshan, M., Ali, F. A. A., & Shukla, A. K. (2021). Phytoremediation of dairy wastewater using *Azolla pinnata*: Application of image processing technique for leaflet growth simulation. *Journal of Water Process Engineering*, 42(May), 102152. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102152>

Goang, M. A., Studi, P., Perairan, B., Pertanian, F., & Batanghari, U. (2018). *Skripsi Pengaruh Kepadatan Azolla (Azolla microphylla) Terhadap Akumulasi Logam Merkuri (Hg) dalam Daging Ikan Patin Siam (Pangasius hypophthalmus) di KJA Danau Sipin Jambi.*

Gupta, D. K., Huang, H. G., & Corpas, F. J. (2013). Lead tolerance in plants: Strategies for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(4), 2150–2161. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1485-4>

Hanifa, A. R. D. (2018). Pengolahan Limbah Elektroplating untuk Penurunan TSS, Total Krom, dan Nikel dengan Teknik Fitoremediasi Sistem SSF-Wetland. *Dialog*, 131.

Haryati, M., Purnomo, T., & Sunu, K. (2012). Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.)Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda. *LenteraBio*, 1(3), 131–138.

- Hibatullah, H. F. (2019). *Fitoremediasi Limbah Domestik (Grey Water) Menggunakan Tanaman Kiambang (Salvinia molesta) dengan Sistem Batch*. 1–82.
- Iskandar. (2022). Statistik Pendidikan. In *Media Akademi* (Nomor February).
- Jayusman, I., & Shavab, O. A. K. (2020). Studi Deskriptif Kuantitatif tentang Aktivitas Belajar Mahasiswa dengan Menggunakan Media Pembelajaran Edmodo dalam Pembelajaran Sejarah. *Jurnal Artefak*, 7(1), 13. <https://doi.org/10.25157/ja.v7i1.3180>
- Kurniati, E., Huy, V. T., Anugroho, F., Sulianto, A. A., Amalia, N., Nadhifa, A. R., Lingkungan, S. T., Pertanian, F. T., Brawijaya, U., Kurniati, E., Teknik, P. S., & Teknologi, F. (2020). *Analisis pengaruh pH dan suhu pada desinfeksi air menggunakan microbubble dan karbondioksida bertekanan*. 10(2), 247–256.
- Lidiana, R. (2022). *Efektivitas dan Efisiensi Tanaman Genjer (Limnocharis flava) Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Batch*. 1–83.
- Mantang, W., Mantiri, F. R., & Kolondam, B. J. (2018). Identifikasi Tumbuhan Paku Air (*Azolla* sp.) Secara Morfologi dan Molekuler dengan Menggunakan Gen *rbcL* (Identification of Water Ferns (*Azolla* sp.) Based on Morphological Traits and Molecular Marker Using *rbcL* Gene). *Jurnal Bios Logos*, 8(2), 38. <https://doi.org/10.35799/jbl.8.2.2018.21445>
- Muhammad, F. dkk 2015. (2015). *Azolla microphylla Bioremoval as Countermeasures Alternative of Heavy Metals (Zn) In the Cultivation Media*. *Universitas Riau*, 1–7.
- Muthoharoh, R. (2018). *Pemanfaatan Tumbuhan Semanggi (Marsilea crenata) sebagai Fitoremediator Logam Kromium Total (Cr) Pada Limbah Cair Batik*. 1(3), 1–63.
- Nilamsari, D. D., & Rachmadiarti, F. (2019). Kemampuan *Azolla microphylla* dalam Menyerap Logam Berat Tembaga (Cu) pada Konsentrasi yang

Berbeda. *LenteraBio*, 8(3), 207–212.

Ningrum, S. O. (2018). Analisis Kualitas Badan Air Dan Kualitas Air Sumur Di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 1–12.

Nugroho, P. A. (2021). *Efektivitas Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) sebagai Fitoremediator Logam Krom Heksavalen (Cr6+) pada Limbah Cair Industri Batik di Yogyakarta*. 1–55.

Nurmalinda, Tawfiequrrahman Yuliansyah, A., & Prasetya, A. (2018). Aklimatisasi Tanaman Lemna Minor dan Azolla Microphylla Terhadap Lindi TPA Piyungan pada Tahap Awal Fitoremediasi. *Pusat Sains dan Teknologi Akselerator*, 313–319.

Nurmalita, N. S. (2018). Hubungan Pertumbuhan Tanaman Cyperus haspan L. Terhadap Penyerapan Kromium (Cr) pada Media 25% Limbah Cair Batik. In *Energies* (Vol. 6, Nomor 1). <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>

Prasetyo, H. D., N, A. F., K, A. A., Nazirah, Y., & Viska, P. (2022). Pemanfaatan *Salvinia molesta*, *Marsilea crenata* dan *Azolla pinnata* Sebagai Agent Fitoremediasi Insektisida Diazinon. *Biotropical Research and Nature Technology*, 1(1), 7–13.

Pratiwi, Y., Sunarsih, S., & Dewi, K. P. (2019). Pengolahan Limbah Cair Industri Elektroplating dengan Fitoremediasi Menggunakan *Azolla Microphylla*. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 54–62.

Presti Parbo, A., Effendi, I., & Nedi, S. (2019). The Effect of Giving Detergents to the Growth of *Azolla microphylla* in Brackish Water. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 2(2), 145–152. <https://doi.org/10.31258/ajoa.2.2.145-152>

R, M. K. et al. (2020). *AZOLLA: THE WONDER FERN*. 01(01), 25–27.

<https://www.researchgate.net/publication/343110471>

- Ragilyani, N., & Dewi, A. P. (2021). Pengaruh Pencahayaan Alami Terhadap Kenyamanan Visual Di. *Sinektika Jurnal Arsitektur*, 18(1), 85–92.
- Rahayuningtyas, I., Wahyuningsi, N. E., & Budiyono. (2018). Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak Dan Berat Tanaman Apu-Apu (*Pistia Stratiotes L.*) Terhadap Kadar Timbal Pada Irigasi Pertanian. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 6(6), 166–174.
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). ANALISIS SUHU, DERAJAT KEASAMAN (pH), CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD), DAN BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND (BOD) DALAM AIR LIMBAH DOMESTIK DI DINAS LINGKUNGAN HIDUP SUKOHARJO. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(1), 12–22. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>
- Sa'diyah, H. (2018). Daur Ulang Limbah dalam Pandangan Hukum Islam. *AT-TURAS: Jurnal Studi Keislaman*, 5(1), 46–59. <https://doi.org/10.33650/at-turas.v5i1.323>
- Sadeghi, H., Fazlzadeh, M., Zarei, A., Mahvi, A. H., & Nazmara, S. (2022). Spatial Distribution and Contamination of Heavy Metals in Surface water, Groundwater and Topsoil Surrounding Moghan's Tannery Site in Ardabil, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(5), 1049–1059. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1730342>
- Safitri, D. dkk. (2022). Keterkaitan Tingkat Efektifitas Metode Fitoremediasi terhadap Tingkat Pertumbuhan Media Eceng Gondok pada Limbah Cair Cr6+. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(3).
- Sari, E. M. S. dkk. (2017). Potensi Tanaman Azolla (*Azolla pinnata*) Sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II), Ion Kadmium (II), dan Ion Kromium (VI). *Repository Universitas Riau*, 1–8.
- Sari, K. P. (2021). Analisis Perbedaan Suhu Dan Kelembaban Ruangan Pada Kamar Berdinding Keramik. *Jurnal Inkofar*, 1(2), 5–11.

<https://doi.org/10.46846/jurnalinkofar.v1i2.156>

- Sari, L. P. (2018). *Analisis Kandungan Nikel (Ni) pada Limbah Cair dan Air Sumur Gali serta Keluhan Kesehatan pada Masyarakat Sekitar Industri Logam (Studi di UD. Aji Batara Perkasa Mandiri (ABP) Desa Ngingas Kecamatan Waru)*. 1–102.
- Setiyono, Andik & Gustaman, R. A. (2017). Pengendalian Kromium (Cr) yang Terdapat di Limbah Batik dengan Metode Fitoremediasi. *Unnes Journal of Public Health*, 6(3), 156–160.
- Sidaruk, Lamria & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Pertanian Tropik*, 2(2), 178–186.
- Sinha, V., Pakshirajan, K., & Chaturvedi, R. (2018). Chromium Tolerance, Bioaccumulation and Localization in Plants: An Overview. *Journal of Environmental Management*, 206, 715–730.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.033>
- 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.
<https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.144-151>
- Telussa, A. D. E. M., Persulesy, E. R., & Leleury, Z. A. (2013). *DENGAN EFEKTIVITAS KERJA PEGAWAI (Studi Kasus pada Badan Pendapatan , Pengelolaan Keuangan dan Aset Daerah Provinsi Maluku)*. 7(1), 15–18.
- Tumolo, M., Ancona, V., De Paola, D., Losacco, D., Campanale, C., Massarelli, C., & Uricchio, V. F. (2020). Chromium pollution in European water, sources, health risk, and remediation strategies: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 1–25.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17155438>
- Unisah, S., & Akbari, T. (2020). Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Metode

Fitoremediasi Tanaman *Azolla Microphylla* pada Industri Tahu B Kota Serang. *Jurnal Lingkungan dan Sipil*, 3(2), 73–86.

Vidiyanti, C., Siswanto, R., & Ramadhan, F. (2020). Pengaruh Bukaam Terhadap Pencahayaan Alami Dan Penghawaan Alami Pada Masjid Al Ahdhar Bekasi. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 3(1), 20–33. <https://doi.org/10.17509/jaz.v3i1.18621>

Vigiyanti, K. A., Lise, C., & Eko, S. (2017). Pengaruh umur tanaman terhadap penyerapan logam pb pada *Azolla microphylla* dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi. *Jurnal*, 1(4), 304–307. <http://research-report.umm.ac.id/index.php/research-report/article/view/1003>

Violita, L. dkk. (2022). Kemampuan Tanaman Kangkung Air dalam Menurunkan Krom Heksavalen (Cr6+) pada Limbah Cair Sablon. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 3(1), 37–44. <https://doi.org/10.29122/jrl.v13i1.4288>

Wahono, S., Sugiyanto, & Yohana, E. (2014). Eksperimen Pengaturan Suhu dan Kelembaban Pada Rumah Tanaman (Greenhouse) Dengan Sistem Humidifikasi. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 49–56. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/5548>

Wakeel, A., Xu, M., & Gan, Y. (2020). Chromium-Induced Reactive Oxygen Species Accumulation by Altering the Enzymatic Antioxidant System and Associated Cytotoxic, Genotoxic, Ultrastructural, and Photosynthetic Changes in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3). <https://doi.org/10.3390/ijms21030728>

Wintah, Umar, & Kiswanto. (2020). Efektivitas EM-4 dalam Menurunkan Kadar COD Limbah Cair Batik Cap di Kelurahan Simbang Wetan Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 18, 27–35.