

**FITOREMEDIASI TANAMAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*) UNTUK
MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT SENGG (Zn) DENGAN
MENGUNAKAN 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

AYU YULIA RAHMAWATI

NIM. H75219020

Dosen Pembimbing

Sarita Oktorina, M.Kes

Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL

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

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ayu Yulia Rahmawati

Nim : H75219020

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiasi dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul "**FITOREMEDIASI TANAMAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*) UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT SENG (Zn) DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM BATCH**". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 14 Juli 2023

Yang menyatakan

A yellow official stamp from the Indonesian Ministry of Education, Culture, and Higher Education (Kemendikbud). The stamp features the Garuda emblem and the text 'KEMENDIKBUD' and 'REKAMASI'. A handwritten signature is written over the stamp. The stamp number '3EAKX457193005' is visible at the bottom.

(Ayu Yulia Rahmawati)
NIM.H75219020



**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 : Ayu Yulia Rahmawati
NIM : H75219020
Judul Tugas Akhir : Fitoremediasi Tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) Untuk
Menurunkan Kadar Logam Berat Seng (Zn) Dengan
Menggunakan Sistem *Batch*

Telah disetujui untuk pendaftaran Sidang Tugas Akhir

Surabaya, 26 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1

Sarita Oktorina, M.Kes
NIP. 198710052014032003

Dosen Pembimbing 2

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

PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG AKHIR

Nama : Ayu Yulia Rahmawati
NIM : H75219020
Judul : Fitoremediasi Tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Seng (Zn) Dengan Menggunakan Sistem *Batch*

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Di Surabaya, Selasa 4 Juli 2023

Mengesahkan,
Dewan Penguji,

Penguji I



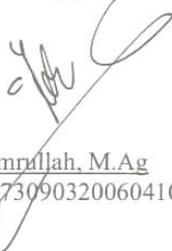
Sarita Oktorina, M.Kes
NIP. 198710052014032003

Penguji II



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

Penguji III



Amrillah, M.Ag
NIP. 197309032006041001

Penguji IV



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

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Ancepul Hamdani, M.Pd
NIP. 196507312000031002



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 : AYU YULIA RAHMAWATI
NIM : H75219020
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : ayuayuliarahmawati@gmail.com

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

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

**FITOREMEDIASI TANAMAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*) UNTUK
MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT SENG (Zn) DENGAN MENGGUNAKAN
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

(Ayu Yulia Rahmawati)

ABSTRAK

Fitoremediasi Tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Seng (Zn) Dengan Menggunakan Sistem Batch

Logam berat seng (Zn) merupakan logam yang dibutuhkan oleh makhluk hidup, namun tidak dalam jumlah yang berlebih. Banyaknya logam Seng (Zn) dalam perairan akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi permasalahan ini maka diperlukan teknologi ramah lingkungan yakni dengan fitoremediasi. Fitoremediator yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi *removal* dalam menurunkan kadar logam Seng (Zn) dengan menggunakan tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*). Metode penelitian ini bersifat eksperimental laboratorium. Adapun variasi jumlah tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 dan 20 tanaman dengan waktu perlakuan selama 12 hari dan konsentrasi awal limbah artifisial adalah 2,94 mg/L. Pada penelitian ini reaktor A merupakan reaktor kontrol (0 tanaman), reaktor B dan C merupakan reaktor dengan 10 tanaman, serta reaktor D dan E merupakan reaktor dengan 20 tanaman. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini reaktor B didapatkan nilai efisiensi *removal* sebesar 72,45%, pada reaktor C didapatkan nilai efisiensi *removal* sebesar 71,77%, pada reaktor D didapatkan nilai efisiensi *removal* sebesar 85,37%, dan pada reaktor E didapatkan nilai efisiensi *removal* sebesar 84,35%. Hasil analisa uji *One Way Anova* didapatkan nilai sig 0,326 > 0,05 yang artinya tidak terdapat perbedaan secara signifikan pada penggunaan variasi jumlah tanaman *Hydrilla verticillata* untuk menurunkan kadar logam Seng (Zn).

Kata Kunci: Fitoremediasi, *Hydrilla verticillata*, Logam Seng (Zn), Sistem *Batch*

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

Phytoremediation of Hydrilla (Hydrilla Verticillata) Plants to Reduce Heavy Metal Zinc (Zn) Levels Using a Batch System

The heavy metal zinc (Zn) is a metal that living things need, but not in excess. The amount of zinc metal (Zn) in the waters will cause environmental pollution. To overcome this problem, an environmentally friendly technology is needed, namely phytoremediation. The phytoremediator that will be used in this study is the Hydrilla plant (Hydrilla verticillata). This study aimed to determine the removal efficiency in reducing zinc (Zn) levels using the Hydrilla plant (Hydrilla verticillata). This research method is laboratory experimental. The variations in the number of plants used in this study were 10 and 20, with a treatment time of 12 days, and the initial concentration of artificial waste was 2.94 mg/L. In this study, reactor A was a control reactor (0 plants), reactors B and C were reactors with ten plants, and reactors D and E were reactors with 20 plants. The results obtained in this study, reactor B obtained a removal efficiency value of 72.45%, reactor C obtained a removal efficiency value of 71.77%, reactor D obtained a removal efficiency value of 85.37%, and reactor E obtained a removal efficiency value of 84.35%. The One Way Anova test analysis results obtained a sig value of 0.326 > 0.05, which means that there is no significant difference in the use of variations in the number of Hydrilla verticillata plants to reduce zinc (Zn) levels.

Keywords: *Phytoremediation, Hydrilla verticillata, Zinc (Zn) Metal, Batch System*

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN TIM PENGUJI	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I 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.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fitoremediasi	6
2.1.1 Mekanisme Fitoremediasi	7
2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi.....	8
2.2 Tanaman Hydrilla (<i>Hydrilla verticillata</i>)	9
2.3 Logam Berat Seng (Zn)	11
2.3.1 Karakteristik Logam Seng (Zn).....	12
2.3.2 Dampak Logam Seng (Zn)	12
2.4 Air Limbah	13
2.5 Logam Seng (Zn) dalam Air Limbah.....	15
2.6 Baku Mutu Air Nasional.....	16
2.7 Aklimatisasi	19
2.8 Sistem <i>Batch</i>	20
2.9 Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Rancangan Penelitian.....	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27

3.2.1	Tempat Penelitian	27
3.2.2	Waktu Penelitian.....	27
3.3	Variabel Penelitian.....	27
3.4	Alat dan Bahan Penelitian	28
3.5	Kerangka Pikir.....	29
3.6	Tahapan Penelitian.....	30
3.6.1	Tahap Persiapan.....	31
3.6.2	Tahap Pelaksanaan	32
3.6.3	Tahap Pengolahan Data dan Penyusunan Laporan	35
3.7	Rancangan Percobaan	36
3.8	Hipotesis Penelitian	37
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Tahap Aklimatisasi Tanaman.....	38
4.2	Hasil Penelitian Fitoremediasi Oleh Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	41
4.3	Pengaruh pH dan Suhu Air Pada Proses Fitoremediasi.....	58
4.3.1	Nilai pH Air	58
4.3.2	Nilai Suhu Air.....	60
4.4	Uji Fitoremediasi Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> Terhadap Logam Berat seng (Zn).....	61
4.5	Efisiensi Removal Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn).....	68
4.6	Analisis Perbedaan Variasi Jumlah Tanaman Terhadap Kemampuan Tanaman Dalam Menurunkan Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn).....	73
4.6.1	Uji Normalitas Shapiro Wilk	74
4.6.2	Uji Homogenitas.....	74
4.6.3	Uji One Way Anova.....	75
BAB V	PENUTUP	77
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		78
LAMPIRAN A: HASIL LABORATORIUM		86
LAMPIRAN B: VALIDASI TANAMAN		107
LAMPIRAN C: DOKUMENTASI.....		109

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	10
Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya	17
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu.....	21
Tabel 3. 1 Kombinasi Variabel	36
Tabel 4. 1 Aklimatisasi Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	39
Tabel 4. 2 Kondisi Fisik Tanaman <i>Hydrilla</i> Pada Proses Fitoremediasi.....	43
Tabel 4. 3 Kondisi Fisik Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> Sebelum dan Sesudah Perlakuan.....	56
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran pH Air	58
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Suhu Air.....	60
Tabel 4. 6 Nilai Kadar Zn Setelah Proses Fitoremediasi	62
Tabel 4. 7 Efisiensi Removal Logam Berat Zn Dengan Menggunakan Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	68
Tabel 4. 8 Uji Normalitas Kadar Zn.....	74
Tabel 4. 9 Uji Homogenitas Kadar Zn	75
Tabel 4. 10 Uji One Way Anova Kadar Zn	76

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman Hydrilla verticillata.....	10
Gambar 2. 2 Reaktor Sistem Batch	21
Gambar 3. 1 Kerangka Pikir Penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian	30
Gambar 3. 3 Reaktor Kontrol.....	31
Gambar 3. 4 Reaktor 10 Tanaman.....	31
Gambar 3. 5 Reaktor 20 Tanaman.....	32
Gambar 4. 1 Grafik Nilai pH Air Saat Fitoremediasi.....	59
Gambar 4. 2 Grafik Nilai Suhu Air Saat Fitoremediasi	61
Gambar 4. 3 Grafik Nilai Kadar Zn pada Reaktor A	63
Gambar 4. 4 Grafik Nilai Kadar Zn Pada Reaktor B	64
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Kadar Zn Pada Reaktor C	65
Gambar 4. 6 Grafik Nilai Kadar Zn Pada Reaktor D	66
Gambar 4. 7 Grafik Nilai Kadar Zn Pada Reaktor E.....	67
Gambar 4. 8 Grafik Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor Kontrol	70
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor B.....	71
Gambar 4. 10 Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor C.....	71
Gambar 4. 11 Grafik Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor D	72
Gambar 4. 12 Grafik Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor E.....	72

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri ialah suatu tempat produksi yang digunakan sebagai proses pengolahan bahan baku sampai menjadi bahan jadi guna untuk memenuhi kebutuhan manusia. Di zaman sekarang ini keberadaan industri sangat diperlukan untuk memenuhi berbagai macam kebutuhan manusia yang tidak hanya kebutuhan pokok saja (Ridwan, 2016). Munculnya banyak industri tentu harus memperhatikan efek yang akan ditimbulkan pada lingkungan. Jika dampaknya tidak diperhatikan maka hal ini dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan. Setiap industri diharuskan memiliki instalasi pengolahan limbah yang dihasilkan baik limbah padat, gas maupun cair. Batas maksimum limbah yang dihasilkan oleh industri telah ditentukan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Dengan munculnya banyak industri ini tentu saja akan menghasilkan limbah cair berbahaya karena didalamnya mengandung senyawa logam berat. Logam berat dapat bersifat toksik jika terakumulasi pada organisme hidup dan dalam jangka panjang bisa berakibat fatal jika melebihi ambang batas (Baroroh dkk., 2018). Sumber pencemaran logam seng (Zn) bersumber dari limbah pelapisan logam, limbah industri dan domestik, penambangan dan pencucian mineral. Logam berat yang terkandung dalam air limbah dapat mencemari lingkungan dan bersifat racun bagi makhluk hidup. Berbagai jenis ion logam berat yang terkandung dalam air limbah industri, seperti: kromium (Cr), sianida (CN), tembaga (Cu), seng (Zn), nikel (Ni), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) (Fuad dkk., 2013).

Logam berat seng (Zn) merupakan logam berat yang dibutuhkan pada tubuh manusia. Logam seng (Zn) memiliki kemampuan untuk membentuk ion kompleks protein logam yang berperan dalam mekanisme pembawa dan transpor ion dalam sel. Namun jika dalam jumlah berlebih logam ini dapat membahayakan tubuh manusia. Logam berat seng (Zn) memiliki beberapa sifat yang toksik yaitu dapat mengganggu atau merusak tubuh manusia di dalam

jaringan tubuh manusia. Penyerapan seng (Zn) pada tubuh manusia bisa menimbulkan gejala pusing, mual, diare serta dapat juga menyebabkan demam pada tubuh. Jika diketahui kandungan logam seng telah melebihi kadar ambang batas, maka seharusnya diperlukan pada pengolahan air limbah untuk mencegah gangguan logam Zn (Hasyim, 2016).

Dalam Q.S Al-A'raf ayat 56 telah dijelaskan bahwa segala kerusakan yang ada di muka bumi ini merupakan ulah manusia dan akibatnya akan kembali kepada manusia itu sendiri. Kerusakan tersebut terjadi karena beberapa aktivitas dan sumber. Salah satunya adalah hasil buangan atau limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Oleh karena itu, kita sudah seharusnya menyadari bahwa amanah yang Allah SWT berikan kepada kita harus dilakukan dengan baik, kita juga harus menjaga lingkungan dari segala bentuk pencemaran supaya kelestarian lingkungan tetap terjaga. Berikut bunyi ayat Q.S Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ
Artinya: *“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah Amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.”* (Kementrian Agama RI, 2016).

Pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu pengolahan fisik, kimia dan biologi. Pengolahan biologi merupakan metode pengolahan yang paling sederhana dan memiliki biaya yang relatif murah (Tosepu, 2018). Pengolahan biologi salah satunya dengan cara proses fitoremediasi. Fitoremediasi termasuk metode pengolahan dengan menggunakan tumbuhan untuk mengurangi kadar dari suatu zat kontaminan pada suatu lingkungan, oleh karena itu proses fitoremediasi ini dikatakan metode yang ramah lingkungan. Fitoremediasi termasuk ke dalam *in situ treatment*, artinya perlakuan dilakukan secara langsung pada tempat yang telah tercampur oleh zat pencemar (Hardiani dkk., 2016). Fitoremediasi sangat cocok diterapkan guna menghilangkan suatu zat kontaminan berbahaya misalnya limbah organik dan logam berat seperti Zn.

Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) adalah jenis tanaman yang dapat digunakan sebagai proses fitoremediasi. Hydrilla merupakan gulma untuk tanaman lain untuk menyerap logam Zn dengan baik. Hydrilla adalah gulma di bawah air. Hydrilla mempunyai efisien tinggi ketika menyerap Zn pada konsentrasi 5 ppm, namun hal sebaliknya terjadi ketika konsentrasi Zn melebihi 5 ppm (Fuad dkk., 2013). Hydrilla dengan berat 250 gram dapat mengurangi kandungan logam seng dalam limbah hingga 75%. Selain itu, hydrilla mudah dirancang dan dapat secara efektif memulihkan kandungan logam limbah perak (Novi dkk., 2019).

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini dibuat dengan maksud untuk mengetahui alternatif dalam mengolah limbah Seng (Zn) dengan judul Fitoremediasi Tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Seng (Zn) Dengan Menggunakan Sistem Batch. Tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) digunakan dalam penelitian ini karena tanaman Hydrilla dapat beradaptasi dengan baik pada lingkungan yang telah tercemar dan tanaman ini banyak ditemukan di pinggiran sungai atau rawa-rawa di Indonesia. Dengan dilakukannya proses fitoremediasi ini, diharapkan dapat memulihkan kualitas air limbah yang telah tercemar oleh logam berat seng (Zn) lebih efektif dan ramah lingkungan serta sebagai bentuk reduksi tanaman gulma (*Hydrilla Verticillata*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka adapun rumusan masalah yang dapat disusun adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan morfologi tanaman Hydrilla selama proses fitoremediasi berlangsung?
2. Bagaimana perbedaan variasi jumlah tanaman Hydrilla dalam mengurangi kadar logam berat Seng (Zn)?
3. Bagaimana nilai efisiensi *removal* dalam menurunkan kadar logam Seng (Zn) dengan menggunakan tanaman Hydrilla?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perubahan morfologi tanaman *Hydrilla* selama proses fitoremediasi berlangsung.
2. Mengetahui perbedaan variasi jumlah tanaman *Hydrilla* dalam mengurangi kadar logam berat Seng (Zn).
3. Mengetahui nilai efisiensi *removal* dalam menurunkan kadar logam Seng (Zn) dengan menggunakan tanaman *Hydrilla*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Akademisi
Memberikan informasi tentang sistem pengolahan air limbah secara biologi dengan proses fitoremediasi dengan menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata*.
2. Bagi Instansi
Menambah wawasan baru mengenai kemampuan tanaman *Hydrilla* dalam menurunkan kadar Seng (Zn).
3. Bagi Masyarakat
Menambah referensi ilmu dengan adanya teknologi sederhana yang mampu dalam mengolah air limbah.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini memiliki batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Sampel air limbah artifisial logam berat Seng (Zn) dengan konsentrasi 2,94 mg/l.
2. Sampel diaklimatisasi dengan Air PDAM selama 7 hari.
3. Tanaman yang digunakan adalah *Hydrilla (Hydrilla Verticillata)*.
4. Volume air yang digunakan sebanyak 10 liter
5. Jumlah variasi tanaman yang digunakan adalah 10 tanaman dan 20 tanaman
6. Terdapat 5 reaktor pada penelitian ini yaitu: 1 Reaktor kontrol, 2 Reaktor berisi 10 tanaman dan 2 reaktor berisi 20 tanaman

7. Reaktor dengan sistem *batch* digunakan sebanyak 5 buah dan memiliki panjang 40 cm, lebar 20 cm dan tinggi 20 cm.
8. Pengukuran kadar Seng (Zn) dilakukan selama 12 hari pada hari ke 0, 4, 8, dan 12
9. Pengukuran pH, suhu, serta perubahan fisik tanaman Hydrilla dilakukan setiap hari dengan mengamati perubahan yang terjadi pada warna daun dan batang tanaman.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan suatu teknologi untuk memperbaiki lingkungan dengan menggunakan tanaman tertentu, mekanisme kerja tanaman tersebut yaitu berhubungan dengan mikroorganisme pada air, tanah dan koral untuk meminimalisir, menyeimbangkan serta mengurai zat kotaminan berupa senyawa organik maupun anorganik menjadi berkurang hingga tidak berbahaya (Irhamni, 2019). Fitoremediasi adalah suatu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi pencemaran logam berat yang berada pada perairan akibat kegiatan industri yang dimana proses ini memanfaatkan tumbuhan yang telah ada di muka bumi ini. Tumbuhan ini Allah SWT ciptakan untuk kita yang seharusnya senantiasa kita jaga kelestariannya agar bisa membawa kebermanfaatan bagi makhluk yang ada di bumi ini, sebagaimana dalam firman Allah SWT. Q.S Asy-Syu'ara ayat 7 yang berbunyi:

أَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: *Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik?* (Kementrian Agama RI, 2016).

Pada ayat diatas telah dijelaskan bahwa Allah telah menumbuhkan di bumi ini berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik, yang nantinya akan membawa banyak kemanfaatan bagi manusia. Hal tersebut adalah pertanda atas kekuasaan Allah, dan anugerah-Nya yang tak terhingga kepada manusia. Namun, manusia tidak sadar akan hal itu, kebanyakan manusia yang tidak beriman mereka tidak akan bersyukur atas nikmat yang Allah SWT berikan kepada kita. Oleh karena itu, sudah seharusnya kita sebagai manusia beriman harus mensyukuri nikmat yang telah Allah SWT berikan kepada kita agar rahmat Allah SWT senantiasa berpihak kepada kita.

Semua tanaman memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat tetapi dengan jumlah variasi yang berbeda-beda. Penyerapan logam berat ditentukan oleh jenis jaringan dan pengolahan yang dilakukan. Beberapa tumbuhan telah terbukti memiliki sifat hipertoleran, yang artinya mampu mengakumulasi zat

logam berat tertentu hingga konsentrasi yang cukup tinggi pada jaringan akar sampai pucuk tanaman, sehingga dapat bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini, logam berat diserap oleh akar tanaman dan diangkut ke bagian tanaman setelah dipanen untuk disimpan, diproses atau dibuang. Berdasarkan hasil analisis, tanaman mampu menyerap logam berat dan memindahkannya ke bagian tubuh tanaman yang lain, mulai dari akar hingga pada daun tanaman (Irawanto, 2015).

Keuntungan dari metode fitoremediasi adalah prosedurnya dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu secara *in situ* dan *ex situ*, mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya cukup tinggi, memberikan teknologi yang ramah lingkungan dan estetik, serta dapat mengurangi kontaminan atau pencemar dalam jumlah besar. Namun, fitoremediasi memiliki kelemahan yaitu berupa waktu proses yang relatif lama tergantung pada kondisi iklim, dapat menyebabkan akumulasi logam berat pada jaringan dan biomassa, kecocokan tanaman pada kondisi lingkungan limbah serta dapat berbahaya apabila masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan melalui konsumsi hewan dari tanaman tersebut (Carolin & Moa, 2015).

2.1.1 Mekanisme Fitoremediasi

Menurut Prasetyo (2021), mekanisme kerja tanaman dalam proses fitoremediasi dalam menyerap zat kontaminan adalah sebagai berikut:

1. Fitoekstraksi

Adalah proses dimana tanaman menyerap zat kontaminan logam berat sehingga berakumulasi pada akar tumbuhan. Penyerapan dan pengakumulasi zat pencemar terutama logam berat dapat terjadi secara maksimal pada tubuh tanaman.

2. Fitodegradasi

Adalah proses yang terjadi pada tanaman dalam memecah zat pencemar yang kemudian diuraikan hingga menjadi zat yang tidak berbahaya. Proses ini dapat terjadi secara langsung di daun, batang, akar atau di sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan

oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim dalam bentuk bahan kimia yang mempercepat proses penguraian.

3. Rhizofiltrasi

Adalah penggunaan tanaman untuk menjernihkan air dengan menyerap atau menguapkan zat pencemar ke atas atau ke dalam akar.

4. Fitostabilisasi

Adalah proses menghilangkan zat pencemar tertentu dari akar yang tidak terserap oleh batang tanaman. Zat-zat tersebut melekat kuat atau stabil pada akar dan tidak terbawa aliran air pada media.

5. Fitovolatilisasi

Adalah proses dimana tanaman menyerap dan mengeluarkan zat kontaminan, memecahnya menjadi zat yang tidak berbahaya dalam bentuk larutan dan selanjutnya dilepaskan ke udara.

2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi

Adapun beberapa kelebihan dan kekurangan dalam menggunakan proses fitoremediasi ini menurut (Ahmad, *et al.*, 2018) adalah sebagai berikut:

Kelebihan:

1. Tidak membutuhkan biaya yang besar dan keahlian yang tinggi
2. Dapat dilakukan pada wilayah yang telah terkontaminasi oleh campuran limbah organik maupun anorganik
3. Mengurangi penyebaran kontaminan ke lingkungan

Kekurangan:

1. Perlu dilakukannya proses pembuangan tanaman yang tepat pasca dilakukan uji fitoremediasi
2. Suhu dan kondisi iklim sangat dipengaruhi dalam proses fitoremediasi ini
3. Kecocokan tanaman pada wilayah yang telah terkontaminasi oleh limbah

2.2 Tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*)

Hydrilla verticillata merupakan tanaman *submerged* (melayang di atas air), sehingga dapat dikatakan efektif untuk menurunkan zat kontaminan logam berat dalam air limbah karena seluruh bagian tanaman terendam dalam air (Fatikasari, 2022). Tanaman ini merupakan salah satu jenis tanaman liar yang dapat tumbuh dibawah permukaan air (Pratiwi, 2021). Tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) juga sering dianggap sebagai gulma, karena dapat menimbulkan masalah pada daerah permukaan sungai. Tanaman *Hydrilla verticillata* banyak digunakan oleh industri dalam pengolahan air limbahnya. Tanaman *Hydrilla verticillata* ini dapat dikatakan cukup efektif dan efisien digunakan dalam proses fitoremediasi, karena pertumbuhannya yang mudah dan kemampuannya dalam menyerap zat kontaminan logam berat (Lestari, 2018).

Hydrilla verticillata mempunyai warna akar kekuning-kuningan yang tumbuh pada dasar air sampai kedalaman 2 m. Hydrilla dapat bertahan hidup pada air tawar seperti sungai, kolam dan danau. Batangnya memiliki ukuran panjang 1 - 2 m dan memiliki 2 - 8 helai daun di sekeliling batangnya. Setiap daun memiliki ukuran panjang 5 - 20 mm dan lebar 0,7 - 2 mm serta memiliki daun bertepi gerigi atau duri kecil. *Hydrilla verticillata* adalah tumbuhan berumah satu (meskipun kadang-kadang berumah dua), artinya bunga jantan dan betina dihasilkan pada tumbuhan yang sama. Bunganya kecil, dengan 3 kelopak dan 3 mahkota, dan mahkota memiliki ukuran dengan panjang 3 - 5 mm, berwarna transparan dan memiliki garis merah. *Hydrilla verticillata* juga dapat berkembang biak secara vegetatif dengan cara fragmentasi, bertunas dan akar tunggal (Handoko, 2013). Tanaman *Hydrilla verticillata* dapat bertahan hidup pada intensitas cahaya medium, dengan pH 6 – 7,2 dengan suhu optimal berkisar antara 18 – 28 °C (Falah, 2021).

Tanaman hydrilla bagian akar dan mahkotanya diketahui cukup efektif dalam mengakumulasi logam berat. Karena dinding sel Hydrilla memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dari pada akar, oleh karena itu pada bagian tajuk dapat mengakumulasi logam berat dengan lebih baik. Namun, akar hydrilla juga mampu menyimpan logam berat di dalam dinding selnya melalui *xilem*

dan *floem*, akar hydrilla dapat mengumpulkan logam berat dan mengubahnya menjadi zat yang tidak beracun (Xue dkk dalam Hs, 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi waktu waktu pemaparan pada Hydrilla memiliki kemampuan dalam menurunkan logam seng (Zn) sebesar 50% pada hari ke-3, 6, 9, 12, dan 15 dan pada hari ke 18 menurun sebesar 25% (Novi dkk., 2019). Tanaman hiperakumulator merupakan tanaman yang berfungsi sebagai tempat menyimpan logam berat yang terserap melalui mekanisme kompleks. Sehingga setelah proses fitoremediasi tanaman tersebut perlu dilakukannya metode pengomposan, pembakaran dan gasifikasi (Tan *et al*, 2023). Berikut ini klasifikasi tanaman Hydrilla dapat dilihat pada tabel 2.1 dan gambar tanaman Hydrilla dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Klasifikasi Tanaman *Hydrilla verticillata*

Kingdom	<i>Plantae</i>
Divisi	<i>Spermatophyta</i>
Class	<i>Monocotyledoneae</i>
Ordo	<i>Helobiae (Alismatales)</i>
Family	<i>Hydrocharitaceae</i>
Genus	<i>Hydrilla</i>
Species	<i>Hydrilla verticillata</i>

Sumber: Handoko, 2013



Gambar 2. 1 Tanaman *Hydrilla verticillata*

(Sumber: Handoko, 2013)

Hydrilla dapat tumbuh dibawah permukaan air sungai, danau, kolam, dan waduk. Hydrilla memiliki morfologi sebagai berikut (Falah, 2021):

a. Batang:

Hydrilla memiliki batang yang tegak, dan bercabang dan pada setiap batang biasanya terdiri dari 8 – 16 daun.

b. Daun:

Hydrilla memiliki daun kecil dan tipis dan bergerigi, daun hydrilla dapat tumbuh melingkar pada ruas batang.

c. Akar:

Hydrilla memiliki akar yang panjang dan tipis, berwarna putih kecoklatan dan bertempat pada dasar air.

Tanaman di muka bumi ini telah banyak tumbuh subur akibat air hujan yang Allah turunkan dari langit sehingga menyebabkan tumbuhnya tanaman-tanaman yang beraneka jenis ragam dan manfaatnya. Hal tersebut menunjukkan atas besarnya karunia dan banyaknya nikmat yang dilimpahkan Allah kepada semua hamba-Nya. Sebagaimana dalam firman Allah SWT Q.S Taha ayat 53 yang berbunyi:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَسَلَّكَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ أَزْوَاجًا مِّنْ نَّبَاتٍ شَتَّى

Artinya: *(Tuhan) yang telah menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu, dan menjadikan jalan-jalan di atasnya bagimu, dan yang menurunkan air (hujan) dari langit.*” Kemudian Kami tumbuhkan dengannya (air hujan itu) berjenis-jenis aneka macam tumbuh-tumbuhan (Kementrian Agama RI, 2016).

Pada ayat diatas telah dijelaskan bahwa Allah SWT telah menurunkan air hujan agar tumbuh-tumbuhan yang ada di bumi ini dapat tumbuh secara subur dan beraneka ragam sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk hal yang baik.

2.3 Logam Berat Seng (Zn)

Logam seng (Zn) merupakan unsur logam dengan nomor atom 30 dan massa atom 65,38 g/mol dengan wujud berwarna putih kebiruan (Andhani, 2017). Logam berat seng (Zn) merupakan logam yang dibutuhkan oleh tubuh

manusia tetapi tidak dalam jumlah yang banyak. Karena apabila logam seng ini berada dalam tubuh manusia dalam jumlah yang berlebih maka dapat mengganggu atau merusak tubuh manusia di berbagai jaringan tubuh manusia. Efek logam berat seng yang berada pada tubuh manusia bisa menyebabkan pusing, muntah, pusing, muntah, demam hingga diare pada tubuh (Hasyim, 2016).

2.3.1 Karakteristik Logam Seng (Zn)

Logam seng (Zn) memiliki karakteristik akumulatif pada lingkungan. Logam Zn dapat bereaksi dengan cairan yang bersifat asam, basa maupun senyawa non logam. Logam Zn berada dalam alam dalam bentuk mineral. Logam seng dalam konsentrasi tinggi dapat berbahaya dalam jangka panjang dan dapat merusak produksi klorofil, yang menghambat fotosintesis (Phukan, 2015). Semua elemen ekosistem alam dapat dipengaruhi oleh adanya logam seng dalam air, sehingga dapat mengancam kelestarian lingkungan (Hassan, 2016). Jumlah logam seng, susunan partikel, dan persentase logam seng terlarut dalam air merupakan beberapa variabel yang mempengaruhi pengaruh logam seng dalam sistem perairan (Najamuddin, 2016).

Logam seng merupakan unsur mineral yang penting agar tanaman dapat menghasilkan klorofil dan hormon pertumbuhan auksin, yang berperan sangat penting untuk pertumbuhan tunas (Sembel, 2015). Dalam proses pengembangan tunas muda, auksin dapat merangsang pemanjangan sel, hal tersebut merupakan salah satu dari banyak efeknya pada perkembangan tanaman. Auksin bergerak ke area pemanjangan sel pada pucuk dan mendorong pertumbuhan sel (Ningsih, 2014). Ketika konsentrasi logam seng meningkat, hal tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas air.

2.3.2 Dampak Logam Seng (Zn)

Logam seng (Zn) apabila dalam jumlah berlebih maka dapat menyebabkan beberapa dampak antara lain (Hasyim, 2016):

1. Manusia

Efek logam berat seng yang berada pada tubuh manusia bisa menyebabkan pusing, muntah, pusing, muntah, demam hingga diare pada tubuh.

2. Tumbuhan

Efek logam berat seng (Zn) apabila berada dalam tumbuhan dalam waktu yang cukup lama maka akan dapat mempengaruhi proses fotosintesis sehingga dapat sintesis klorofil yang didapatkan kurang baik.

3. Biota

Efek logam berat seng (Zn) untuk biota yaitu dapat menyebabkan matinya biota air jika konsentrasinya lebih dari kadar yang dibutuhkan.

Pencemaran lingkungan akibat adanya logam berat seng merupakan hasil dari kegiatan industri yang pada akhirnya menimbulkan perubahan siklus material lingkungan dan juga perubahan struktural maupun gangguan keseimbangan lingkungan. Hal ini terjadi akibat ulah manusia yang mengabaikan efek samping bagi keseimbangan lingkungan hanya untuk memenuhi kebutuhannya. Hal ini telah dijelaskan dalam firman Allah SWT lainnya dalam Q.S Al-Baqarah Ayat 12 yang berbunyi:

أَلَا إِنَّهُمْ هُمُ الْمُفْسِدُونَ وَلَكِنْ لَا يَشْعُرُونَ

Artinya: *Ingatlah, sesungguhnya merekalah yang berbuat kerusakan, tetapi mereka tidak menyadari* (Kementrian Agama RI, 2016).

Ayat diatas menjelaskan bahwa kerusakan di muka bumi ini adalah akibat dari ulah manusia itu sendiri, namun mereka tidak menyadarinya. Kita sebagai manusia yang beriman seharusnya menjaga lingkungan dari segala bentuk pencemaran karena Allah SWT telah menitipkan seluruh isi bumi ini untuk kita jaga dan rawat bukan untuk kita rusak.

2.4 Air Limbah

Air limbah adalah bahan buangan berwujud cair yang didalamnya terdapat bahan kimia berbahaya yang sulit untuk dihilangkan, sehingga perlu dilakukan

pengolahan yang benar untuk mencegah terjadinya pencemaran pada lingkungan. Air limbah ialah sisa air buangan yang berasal dari kegiatan rumah tangga, perkantoran, industri serta tempat umum lainnya yang telah dipergunakan untuk berbagai keperluan. Proses pembuangan air limbah ke badan air harus menjalani pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan air limbah yang efektif memerlukan prosedur manajemen yang baik untuk menghindari pencemaran air permukaan, tidak merusak tumbuhan dan hewan yang hidup di air, mencemari sumber air minum, dan menghasilkan bau yang tidak sedap (Khaliq, 2015). Air limbah terbagi menjadi 2 yaitu air limbah domestik dan air limbah industri:

1. Air Limbah Domestik

Air limbah domestik ialah limbah yang bersumber dari aktivitas pemukiman, perdagangan, perkantoran dan lainnya. Limbah domestik terbagi menjadi 2 yaitu *gray water* dan *black water*. *Gray water* biasanya berasal dari kegiatan mencuci baju, piring dan mandi, sedangkan *black water* berasal dari tinja manusia ataupun buangan biologis lainnya. Air limbah domestik umumnya mengandung senyawa polutan organik yang cukup tinggi, oleh karena itu sebelum di buang ke badan air harusnya diolah terlebih dahulu agar tidak merusak lingkungan dan juga dapat mengakibatkan pencemaran pada air permukaan (Nainggolan dkk, 2018).

2. Air Limbah Industri

Air limbah industri merupakan air sisa hasil pengolahan dari suatu industri yang didalamnya mengandung zat atau kontaminan yang kurang baik. Air limbah industri dapat bersifat toksik bagi lingkungan sekitarnya apabila tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air (Fernando, 2015).

Perkembangan di sektor industri saat ini tidak hanya berdampak positif terhadap peningkatan ekonomi, namun juga akan berdampak negatif bagi lingkungan. Hasil dari kegiatan industri berupa limbah yang salah satunya yaitu limbah cair yang jika tidak diolah dengan benar maka dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah cair dalam suatu industri biasanya terdapat logam berat yang apabila limbah tersebut langsung dibuang ke badan air akan dapat membahayakan bagi ekosistem yang ada

di perairan. Hal tersebut tentunya akan berdampak buruk bagi lingkungan sekitarnya seperti telah dijelaskan dalam firman Allah SWT pada Q.S Ar-Rum Ayat 41 yang berbunyi:

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

Artinya: *Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)* (Kementrian Agama RI, 2016).

Dan dalam firman Allah SWT lainnya dalam Q.S Al-A'raf Ayat 56 yang berbunyi:

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

Artinya: *Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan* (Kementrian Agama RI, 2016).

Kedua ayat diatas telah menyatakan dengan jelas bahwa segala kerusakan yang ada di muka bumi ini merupakan ulah manusia dan akibatnya akan kembali kepada manusia itu sendiri. Oleh sebab itu kita sebagai manusia perlu sadar bahwa perintah yang Allah SWT berikan kepada kita harus dilakukan dengan baik, lingkungan juga harus kita jaga kelestariannya dari segala macam pencemar yang dapat merusak lingkungan.

2.5 Logam Seng (Zn) dalam Air Limbah

Logam berat merupakan limbah yang bersifat toksik. Logam berat tentunya dapat berpengaruh terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Logam berat terdiri atas logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial merupakan logam yang dibutuhkan oleh setiap makhluk hidup namun tidak dalam jumlah yang berlebih. Salah satu contoh logam berat esensial yaitu Seng (Zn), Besi (Fe). Sedangkan logam berat non esensial

merupakan logam yang apabila masuk ke dalam tubuh manusia maka akan dapat menyebabkan keracunan. Salah satu contoh logam berat non esensial yaitu timbal (Pb), Kromium (Cr), dan Merkuri (Hg) (Andhani & Hursaini, 2017).

Logam berat Seng (Zn) biasanya bersumber dari limbah industri seperti elektroplating dan juga dari buangan limbah rumah tangga yang mengandung logam Zn yang terdapat pada pipa-pipa air yang telah mengalami korosi dan bisa juga karena produk detergen. Logam berat dapat melalui tiga proses yakni pengendapan, adsorpsi, dan absorpsi untuk masuk ke dalam perairan baik di sungai maupun lautan. Ketika limbah industri masuk kedalam perairan, akan terjadi proses pengendapan dalam sedimen. Hal ini mengakibatkan kandungan polutan sedimen meningkat. Logam berat yang masuk ke perairan lingkungan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan penguraian yang kemudian akan diserap oleh organisme pada perairan tersebut (Rahmadani dkk., 2015).

2.6 Baku Mutu Air Nasional

Baku mutu dapat disebut sebagai batas maksimum limbah cair yang aman dan tidak menyebabkan pencemaran jika dibuang ke lingkungan. Limbah cair harus diolah sampai memenuhi baku mutu yang ditetapkan dan ditinjau secara berkala minimal lima tahun sekali. Limbah cair sangat berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia karena didalamnya mengandung logam berat yang cukup tinggi. Dengan demikian, perlunya dilakukan proses penanganan limbah cair sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan (Amri, 2020). Bakumutu yang telah ditetapkan telah tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan pengelolaan Lingkungan Hidup, dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1.	Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas permukaan air
2.	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1.000	1.000	1.000	1.000	Tidak berlaku untuk muara
3.	Padatan tersuspensi total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	
4.	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alamianya)
5.	Derajat keasaman (pH)		6 – 9	6 – 9	6 – 9	6 – 9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alamianya)
6.	Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl ⁻)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
16.	Flourida (F ⁻)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18.	Sianida (CN ⁻)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
22.	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23.	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
24.	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25.	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26.	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
27.	Kobalt (Co) terlarut	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
28.	Mangan (Mn) terlarut	mg/L	0,1	-	-	-	
29.	Nikel (Ni) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
30.	Seng (Zn) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	
31.	Tembaga (Cu) terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	
32.	Timbal (Pb) terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
33.	Kromium heksavalen (Cr-(VI))	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
34.	Minyak dan lemak	mg/L	1	1	1	10	
35.	Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	
36.	Fenol	mg/L	0,002	0,005	0,01	0,02	
37.	Aldrin/Dieldrin	µg/L	17	-	-	-	
38.	BHC	µg/L	210	210	210	-	
39.	Chlordane	µg/L	3	-	-	-	
40.	DDT	µg/L	22	2	2	2	
41.	Endrin	µg/L	1	4	4	-	
42.	Heptachlor	µg/L	18	-	-	-	
43.	Lindane	µg/L	56	-	-	-	
44.	Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
45.	Toxapan	µg/L	5	-	-	-	
46.	Fecal Coliform	MPN/100 mL	100	1.000	2.000	2.000	
47.	Total Coliform	MPN/100 mL	1.000	5.000	10.000	10.000	
48.	Sampah		nihil	nihil	nihil	nihil	
49.	Radioaktivitas						
	Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	

Sumber: Peraturan Pemerintah RI No 22 Tahun 2021

2.7 Aklimatisasi

Proses aklimatisasi merupakan tahap awal yang harus dilakukan dalam proses fitoremediasi dengan menggunakan tanaman, dan proses aklimatisasi bertujuan agar tanaman yang digunakan dapat beradaptasi secara bertahap dengan media tanam baru serta dapat menyesuaikan kondisi lingkungan disekitarnya (Nurmalinda, 2018). Tahap aklimatisasi tanaman pada proses

fitoremediasi ini dilakukan dengan cara meletakkan tanaman pada reaktor selama 7 hari menggunakan air bersih (Rofifah, 2018).

Tanaman *Hydrilla (Hydrilla verticillata)* diaklimatisasi dengan cara memasukkannya ke dalam wadah berisi air bersih. Aklimatisasi dilakukan sampai tanaman bertumbuh secara signifikan dan kuat. Tanaman siap digunakan untuk penelitian apabila akar sudah bersih, tunas dan batang tanaman baru sudah tumbuh dengan kuat, serta bertambahnya tinggi tanaman (Syafrudin dkk., 2015).

2.8 Sistem *Batch*

Reaktor *batch* adalah reaktor tangki tunggal dengan mekanisme operasi yang tidak menambah atau menghilangkan air limbah selama proses fitoremediasi (Hidayat, 2017 dalam Lidiana, 2022). Proses *batch* adalah proses di mana semua reaktan ditambahkan di awal sehingga tidak ada penambahan larutan selama fitoremediasi; namun sebaliknya, semuanya ditambahkan pada awal prosedur (Damara, 2021). Reaktor tunggal digunakan dalam sistem *batch* untuk pengolahan air limbah dengan proses fitoremediasi memiliki beberapa tahapan operasional yaitu: mengisi reaktor, reaksi air limbah, dan pembuangan air limbah sesudah diolah (Barsan *et al.*, 2017). Menurut Hibatullah (2019) kelebihan dan kekurangan dari sistem *batch* ini adalah:

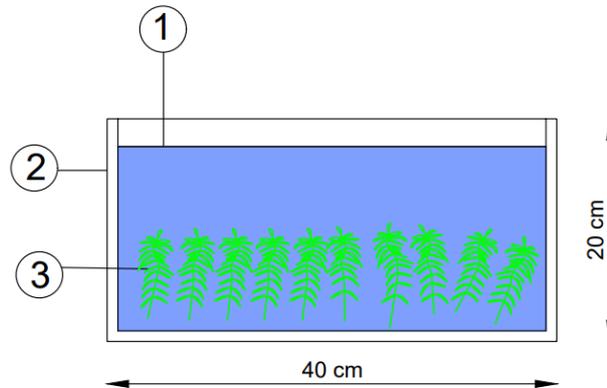
Kelebihan:

- a. Tidak memerlukan biaya yang mahal.
- b. Penggunaannya yang mudah dan proses dapat berhenti kapan saja asal dengan cara yang tepat.
- c. Dapat digunakan pada area yang telah terkontaminasi oleh campuran zat organik maupun logam berat.
- d. Pembersihan serta perawatannya cukup mudah.

Kekurangan:

- a. Membutuhkan waktu yang lebih karena pengawasan prosedur harus dilakukan dari awal hingga akhir guna untuk memantau setiap reaktor agar tidak berubah-ubah.
- b. Proses pembuangan tanaman yang telah digunakan pengujian harus dibuang secara tepat.

- c. Selama proses fitoremediasi, suhu dan kondisi cuaca sangat berpengaruh. Reaktor sistem batch dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2. 2 Reaktor Sistem Batch
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Keterangan:

- 1 = Reaktan
2 = Reaktor
3 = Tanaman

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai sumber acuan atau referensi untuk penelitian, berikut tabel penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel 2.3:

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Rangkuman Hasil
1.	Haudukassove, Elly Purwanti, Diani Fatmawati, Fendy Hardian Permana. (2022) "Penggunaan <i>Pistia stratiotes</i> dan <i>Hydrilla verticillata</i> sebagai fitoremediasi logam tembaga (Cu) pada limbah	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan fitoremediasi <i>Pistia stratiotes</i> dan <i>Hydrilla verticillata</i> terhadap penyerapan logam tembaga Cu	Hasil penelitian lama waktu perendaman menunjukkan bahwa pada tanaman <i>Pistia stratiotes</i> dengan lama waktu perendaman 7 hari diperoleh rerata sebesar 0,0858, pada 14 hari lama waktu perendaman diperoleh rerata sebesar 0,1286, dan pada lama waktu perendaman 21 hari diperoleh rerata sebesar 0,2332 yang artinya penyerapan logam Cu oleh tanaman <i>Pistia stratiotes</i>

No.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Rangkuman Hasil
	produksi batik dan pemanfaatannya sebagai sumber belajar biologi”		mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Sedangkan pada tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dengan lama waktu perendaman 7 hari diperoleh rerata sebesar 0,1028, pada hari 14 lama waktu perendaman diperoleh rerata sebesar 0,0631, dan pada hari ke 21 lama waktu perendaman diperoleh rerata sebesar 0,2058. Berdasarkan data hasil penelitian bahwa hasil yang didapatkan tanaman <i>Pistia stratiotes</i> dan <i>Hydrilla verticillata</i> memiliki potensi dalam menurunkan kadar logam Cu dan hasil yang terbaik yaitu pada lama waktu perendaman hari ke-21.
2.	Alda Dianira Prastiwi, Sunu Kuntjoro. (2022) “Analisis Kadar Logam Berat Tembaga (Cu) pada Kangkung Air (<i>Ipomea aquatica</i>) di sungai Prambon Sidoarjo”	Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kualitas pada air sungai Prambon Kabupateen Sidoarjo serta mengetahui kadar logam tembaga (Cu) yang terkandung pada kangkung air (<i>Ipomea aquatica</i>).	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kangkung air mengandung logam tembaga lebih tinggi dari pada konsentrasi logam Cu di sungai Prambon. Berdasarkan temuan penelitian rata-rata Kangkung memiliki kandungan tembaga (Cu) rata-rata maksimum $0,01 \pm 0,01$. Konsentrasi tembaga dalam tumbuhan akuatik tertentu kurang dari 5,0 ppm hal ini telah tertuang dalam Keputusan Ditjen POM Depkes No: 03725/B/SK/VII.89. Konsentrasi rata-rata tembaga (Cu) dalam air sungai paling tinggi berkisar antara $0,0027 \pm 0,0004$. Sesuai dengan syarat mutu yang dituangkan dalam Peraturan Pemerintah RI No. 82

No.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Rangkuman Hasil
			Tahun 2001, dalam air sungai konsentrasi logam tembaga (Cu) masih kurang dari 0,02 ppm.
3.	Rizma Nur Fatikasari dan Tarzan Purnomo (2022) “Efektivitas <i>Hydrilla verticillata</i> dan <i>Lemna minor</i> sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik”	Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa efektif <i>Hydrilla verticillata</i> dan <i>Lemna minor</i> sebagai fitoremediator untuk menurunkan kadar LAS deterjen limbah domestik serta menjelaskan morfologi kedua tumbuhan tersebut selama digunakan pada proses fitoremediasi.	Hasil penelitian didapatkan bahwa fitoremediator <i>Lemna minor</i> memiliki rata-rata penurunan kadar LAS deterjen terbesar, mencapai maksimum 97,48%, dibandingkan dengan <i>Hydrilla verticillata</i> , sebesar 96%. Pada konsentrasi LAS deterjen tinggi, morfologi tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> mengalami perubahan, meliputi warna dan bentuk daun serta akar, batang, dan daun. Kondisi morfologi <i>Lemna minor</i> juga berubah pada kadar LAS deterjen yang cukup tinggi, perubahan tersebut ditandai dengan berubahnya warna akar, batang, serta daun.
4.	Yuli Pratiwi, Sri Sunarsih, Kurnia Puspa Dewi. (2019) “Pengolahan Cair Limbah Industri Elektroplating Dengan Fitoremediasi Menggunakan <i>Azolla Microphylla</i> ”	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu berat basah <i>Azolla microphylla</i> dalam menurunkan kadar BOD, COD dan Cr total pada limbah cair industri elektroplating.	Hasil penelitian didapat bahwa 6 hari adalah waktu optimal dalam meremoval konsentrasi BOD, COD dan Cr total dengan bobot basah tanaman terbaik adalah 150 gram untuk meremoval kadar BOD, COD, dan Cr-Total, yang menghasilkan penurunan BOD sebesar 62,97%, COD sebesar 69,72%, dan Cr-Total sebesar 90,58%. Yang dimana kadar BOD, COD dan Cr total menurun dengan masing-masing nilai sebesar 24,07 mg/L, COD 67,87 mg/L, dan Cr Total 4,13 mg/L.
5.	Irhamni, Setiaty Pandia, Edison	Tujuan dari penelitian ini untuk	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman <i>typha latifolia</i>

No.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Rangkuman Hasil
	Purba, dan Wirsal Hasan. (2019) "Penyerapan Logam Berat oleh Tumbuhan Fitoremediasi pada Konsentrasi Berbeda"	mendapatkan hasil pengukuran tumbuhan fitoremediasi dalam menyerap logam berat dengan menggunakan limbah simulasi. Tumbuhan yang digunakan dalam fitoremediasi ini adalah <i>Typha Latifolia</i> , enceng gondok, dan kiambang dengan masing-masing konsentrasi 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm dan kontrol awal.	dapat betumbuh subur di lingkungan tercemar dan pada limbah cair yang mengandung bahan berbahaya yaitu logam berat. Untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, langkah-langkah pemulihan dan rehabilitasi yang dapat dilakukan pada lahan tercemar adalah seperti metode pengenceran, stabilisasi, pembilasan, dan teknik fitoremediasi, hal tersebut perlu mendapat perhatian khusus.
6.	Mohammad Rosyidul Aqli Hs. (2019) "Fitoremediasi Oleh Tumbuhan Hydrilla (<i>Hydrilla Verticillata</i> (L.F.) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan Dengan Variasi Konsentrasi Logam Tembaga (Cu)"	Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perbedaan variasi konsentrasi terhadap aktivitas remediasi dengan tanaman Hydrilla pada bagian batang dan daun. Fitoremediasi ini dilakukan pada perairan tercemar yang mengandung logam berat Cu, serta untuk mengetahui tumbuhan Hydrilla dapat maksimal	Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan variasi konsentrasi logam Cu sebesar 3 mg/L menghasilkan nilai akumulasi logam Cu oleh tumbuhan hydrilla terbaik dari pada konsentrasi lain selama 7 hari pengamatan. Penyerapan logam Cu dengan daun lebih baik dari pada batang karena secara menyeluruh nilai BCF nya lebih tinggi. Selain itu, logam Cu dengan konsentrasi 3 mg/L mempunyai kadar BCF yang cukup tinggi yaitu 21546,66. Karena dapat mentolerir tembaga dan dapat mengakumulasi dengan totalnya lebih dari 280 mg/kg, hydrilla adalah sejenis gulma yang

No.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Rangkuman Hasil
		atau tidak sebagai hiperakumulator limbah tembaga (Cu).	dikenal sebagai hiperakumulator.
7.	Cory Novi, Sartika1, Afifah Nur Shobah (2019) “Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan Hydrilla sp. Pada Limbah Industri Kertas”	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan Hydrilla sp. sebagai fitoremediator dalam menurunkan konsentrasi logam seng (Zn) pada limbah industri kertas.	Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa pH, suhu, dan morfologi Hydrilla sp. (warna dan daun) mengalami perubahan yang dari yang awalnya berwarna hijau menjadi kuning kecoklatan, hal ini terjadi sesudah dilakukannya uji fitoremediasi. Berdasarkan hasil penelitian, Hydrilla sp. memiliki kemampuan untuk menyerap logam seng (Zn), dibuktikan dengan kehilangan logam seng pada hari 3, 6, 9, 12 dan 15 sebesar 50% dan pada hari ke 18 menurun sebesar 25% tergantung lama pemaparan.
8.	Fatihah Baroroh, Eko Handayanto, Rony Irawanto. (2018) “Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan <i>Salvinia Molesta</i> Dan <i>Pistia Stratiotes</i> Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman <i>Brassica Rapa</i> ”	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) dan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dalam menurunkan kadar logam berat tembaga (Cu) dengan dua konsentrasi yang berbeda.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman air <i>Salvinia molesta</i> mampu mereduksi logam berat Cu sebesar 96% pada konsentrasi 2 ppm dan 95% pada konsentrasi 5 ppm tanpa mengalami kerusakan. Sebaliknya, tanaman air <i>Pistia stratiotes</i> hanya mampu mereduksi logam berat Cu sebesar 94% pada konsentrasi 2 ppm dan sebesar 90% pada konsentrasi 5 ppm. Aplikasi air setelah fitoremediasi tidak berdampak nyata pada pertumbuhan atau produksi Pakcoy. Akar dan tajuk tanaman pakcoy juga dapat menyimpan logam berat Cu.

No.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Rangkuman Hasil
9.	Yohana Puji Lestari, Dr. Tien Aminatun. (2018) Efektivitas Variasi Biomassa Tanaman <i>Hydrilla Verticillata</i> Dalam Fitoremediasi Limbah Batik	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian variasi berat tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dalam meremoval limbah cair batik, mengetahui efektifitas berat tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> serta mengetahui kualitas limbah sesudah perlakuan fitoremediasi menggunakan tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> .	Hasil penelitian didapatkan bahwa tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> memiliki konsentrasi awal logam berat Cr yaitu sebesar 8,225 mg.Kg. namun, setelah penelitian dilakukan, diketahui bahwa <i>Hydrilla verticillata</i> memiliki kandungan logam berat Cr sebesar <4,569 mg/kg untuk semua jenis biomassa setelah 3 minggu (21 hari). Tingkat logam berat kromium berkurang dengan faktor 44,44%. Berdasarkan variabel suhu, pH, BOD, dan COD, berat tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> yang paling berhasil dalam meremoval limbah tekstil adalah 250 gram.
10.	Narcis Barsan, Valentin Nedeff, Antonina Temea, Emilian Mosnegutu, Alexandra Dana Chitimus, Claudia Tomozei. (2017) "A Perspective For Poor Wastewater Infrastructure Regions: A Small-Scale Sequencing Batch Reactor Treatment System"	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metode dan teknik yang baik untuk mengolah air limbah kota instalasi kecil dengan operasi berurutan.	Hasil penelitian didapatkan bahwa keuntungan yang paling penting dari pengolahan dengan sistem batch ini termasuk cukup efisien untuk memodifikasi siklus operasi, penjernihan sekunder dan pengendalian operasi yang maksimal dalam pengolahan. Sistem batch sebagai tahap pengolahan utama, telah memengaruhi kualitas efluen. Sistem pengolahan berkapasitas kecil ini, dapat digunakan di daerah padat di mana infrastruktur saluran pembuangan tidak ada.

Sumber: Diolah dari berbagai sumber, 2023

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Jenis pada penelitian ini merupakan penelitian eksperimental skala laboratorium. Pada penelitian ini dilakukan uji fitoremediasi tanaman *Hydrilla* (*Hydrilla verticillata*) terhadap logam berat Seng (Zn) dengan menggunakan sistem batch.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium *Water Quality* Teknik Lingkungan Uin Sunan Ampel 2 Surabaya dan untuk sampel air yang mengandung logam Zn dilakukan pengujian di Laboratorium Axo Green Surabaya. Sampel limbah artifisial dibuat di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Sunan Ampel 2 Surabaya dengan cara melarutkan serbuk $ZnSO_4$ dengan menggunakan aquades. Untuk Tanaman *Hydrilla* didapatkan di Sentra Ikan Gunung Sari Surabaya, Jawa Timur.

3.2.2 Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan April 2023 sampai Juni 2023. Pada proses aklimatisasi berlangsung selama 7 hari pada tanggal 30 Maret – 5 April 2023, sedangkan proses fitoremediasi berlangsung selama 12 hari pada tanggal 6 April – 18 April 2023.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi jumlah tanaman *Hydrilla verticillata* selama proses fitoremediasi.
2. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah larutan limbah artifisial Seng (Zn) dengan konsentrasi 2,94 mg/l.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

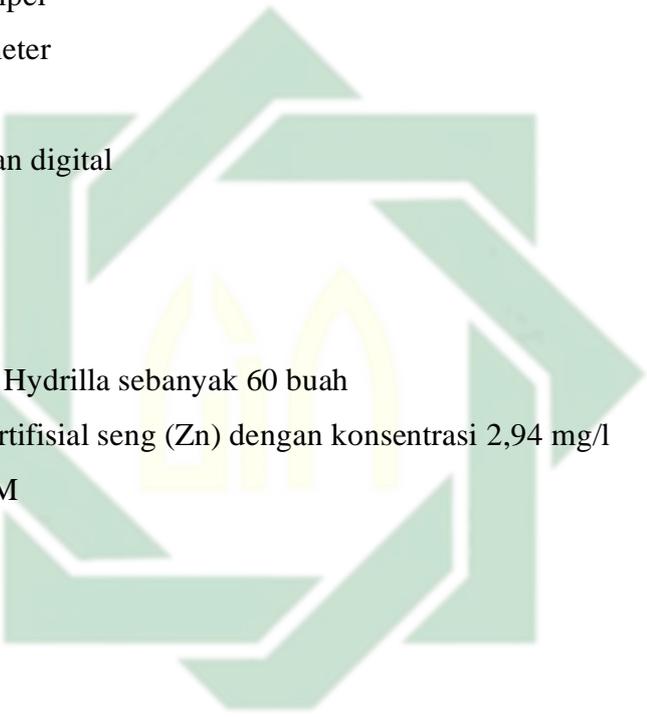
Alat dan bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah:

Alat:

1. 5 buah bak reaktor berbahan dasar kaca dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 20 cm dan tinggi 20 cm
2. Jirigen
3. Botol sampel
4. Thermometer
5. pH meter
6. Timbangan digital
7. Label

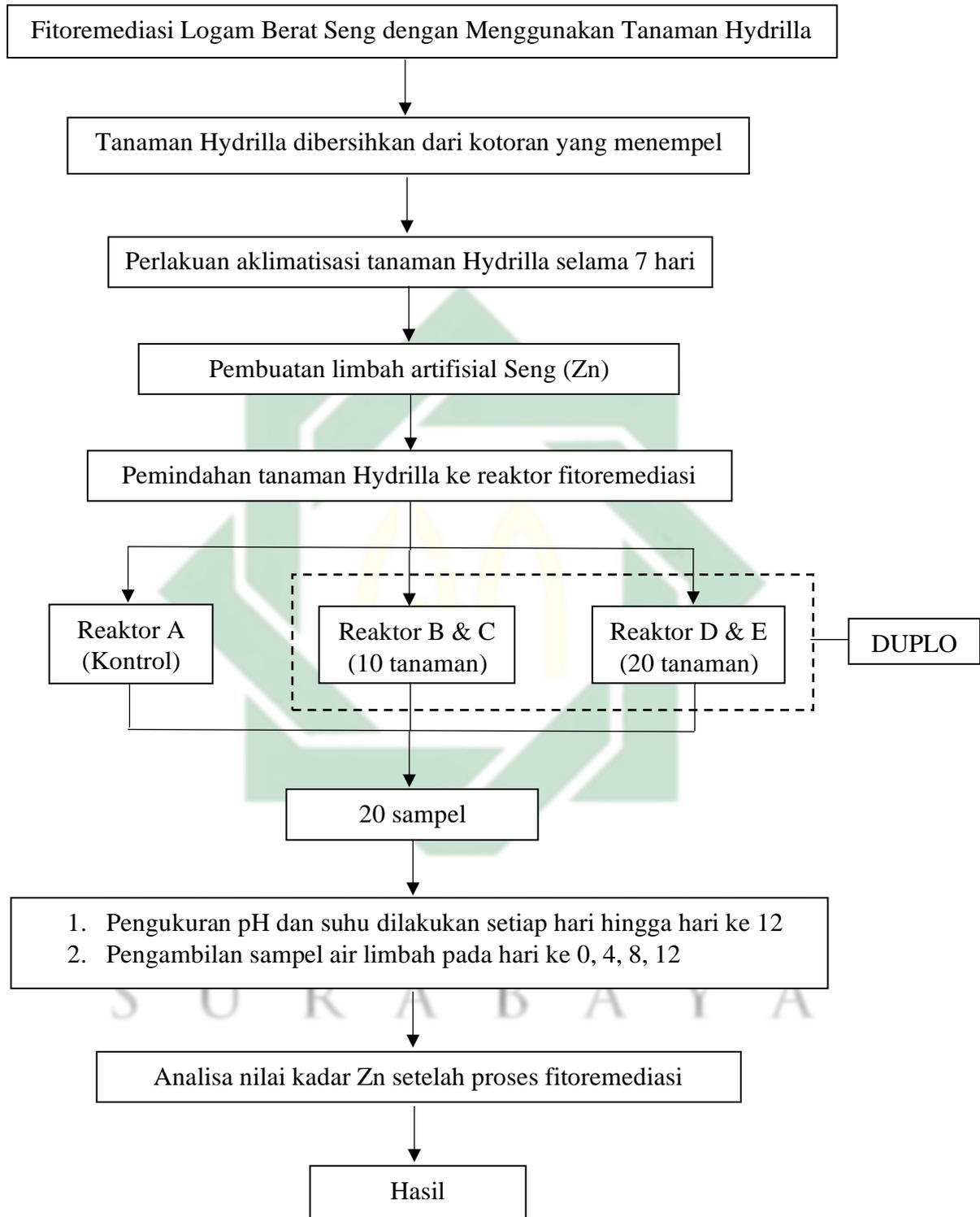
Bahan:

1. Aquades
2. Tanaman Hydrilla sebanyak 60 buah
3. Limbah artifisial seng (Zn) dengan konsentrasi 2,94 mg/l
4. Air PDAM



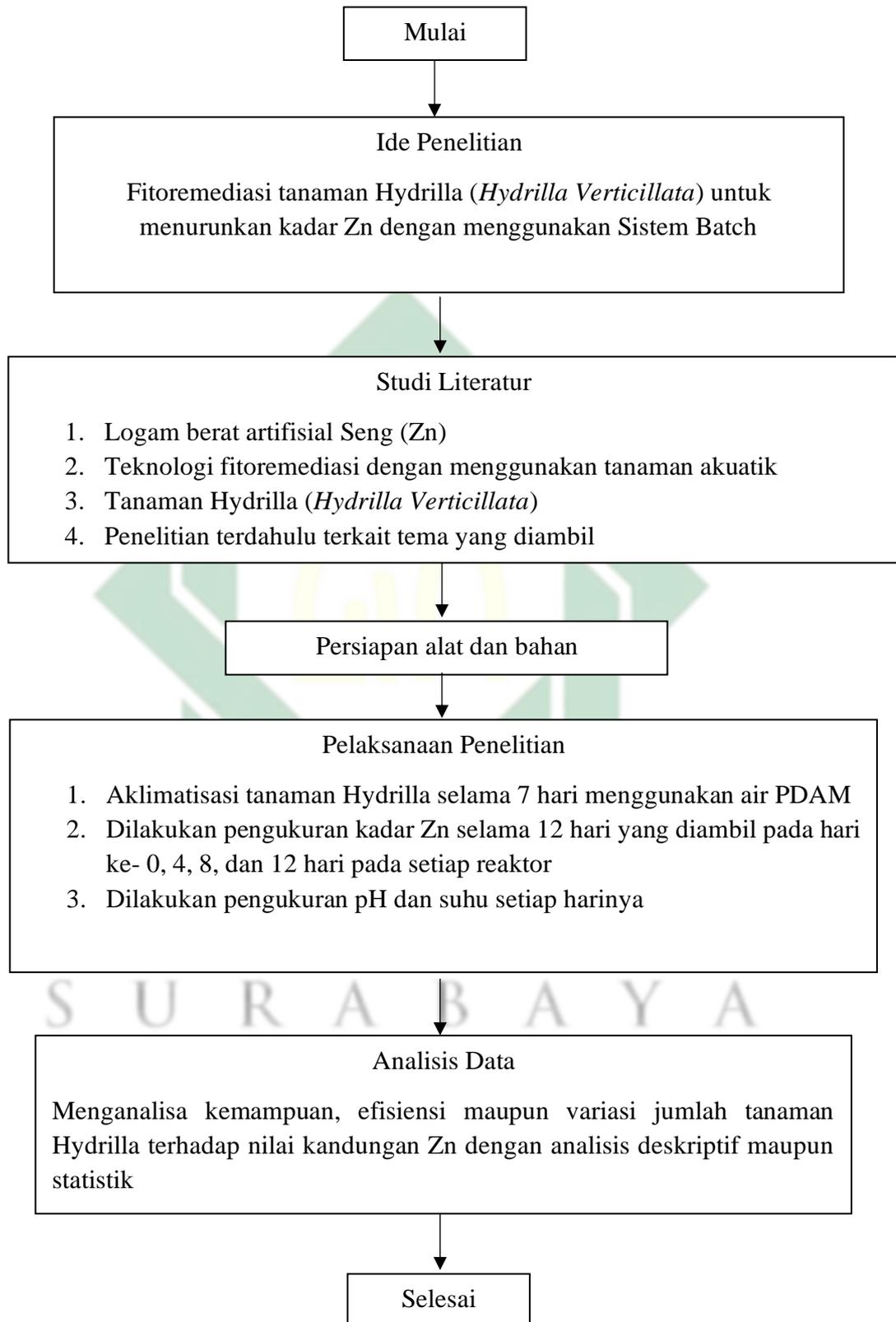
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

3.5 Kerangka Pikir



Gambar 3. 1 Kerangka Pikir Penelitian

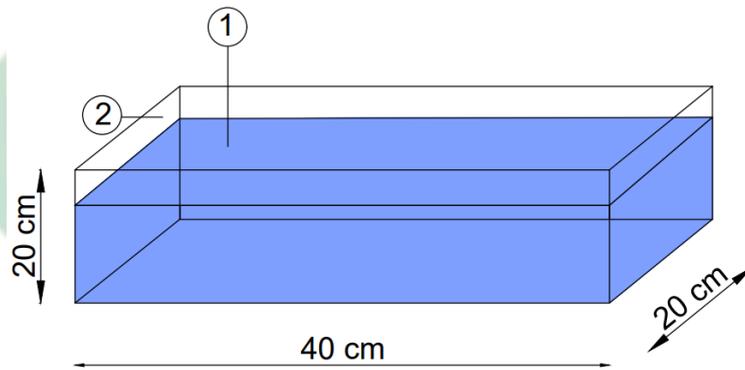
3.6 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

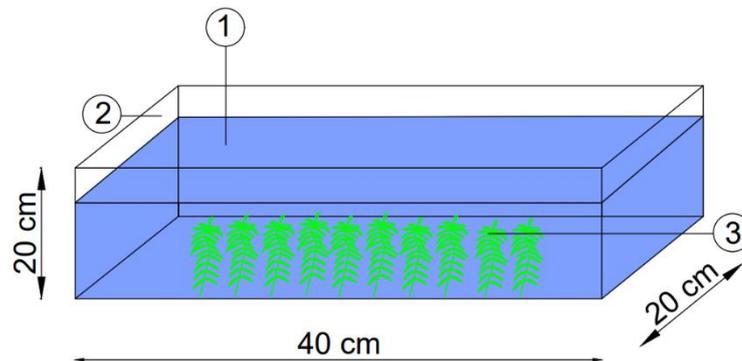
3.6.1 Tahap Persiapan

Tahap ini ialah tahap awal penelitian yaitu menentukan judul penelitian. Judul penelitian didapatkan dari penelitian terdahulu dan studi literatur terkait tema penelitian. Selanjutnya, melakukan persiapan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian. Penelitian ini membutuhkan 5 buah reaktor Batch (akuarium) yang memiliki 40 cm, lebar 20 cm dan tinggi 20 cm, selanjutnya menyiapkan tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*). Kemudian menyiapkan limbah artifisial Seng (Zn) sebanyak 29,4 ml kedalam tiap-tiap reaktor yang telah terisi aquades sebanyak 9,7 liter. Gambar reaktor dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut.



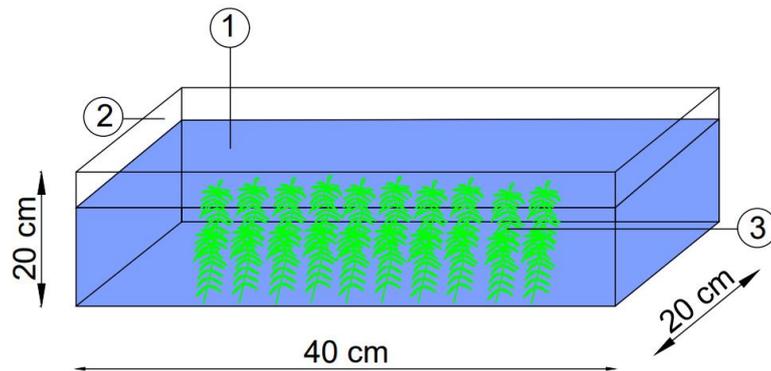
Gambar 3. 3 Reaktor Kontrol

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)



Gambar 3. 4 Reaktor 10 Tanaman

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)



Gambar 3. 5 Reaktor 20 Tanaman

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Keterangan:

1 = Reaktan

2 = Reaktor

3 = Tanaman

3.6.2 Tahap Pelaksanaan

1. Data Primer

a. Sampel Air Limbah

Sampel air limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah artifisial seng (Zn) dengan konsentrasi 2,94 mg/l dibuat dengan cara melarutkan serbuk $ZnSO_4$ dengan menggunakan aquades. Pembuatan limbah artifisial $ZnSO_4$ ini didasarkan pada perhitungan molaritas dan konsentrasi yang diinginkan. Konsentrasi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 2,94 mg/l.

Adapun perhitungan pembuatan larutan sampel seng (Zn) adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Ar Zn} = 65$$

$$\text{Mr ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 287$$

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

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

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

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

$$M = \frac{\text{gr}}{\text{ArZn}}$$

$$M = \frac{\text{gr}}{65}$$

$$M = 0,015 \text{ M}$$

Larutan induk yang akan dibuat molaritasnya adalah 0,015 M, 1000 ml

$$M = \frac{\text{gr}}{\text{Mr ZnSO}_4} \times \frac{1000}{\text{ml}}$$

$$0,015 \text{ M} = \frac{\text{gr}}{287} \times \frac{1000}{500}$$

$$\text{gr} = \frac{0,015 \times 287}{2}$$

$$= 2,15 \text{ gr ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$$

Penimbangan ZnSO₄

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

$$= \frac{2,15 \text{ gr}}{0,99}$$

$$= 2,17 \text{ gr}$$

Jadi jumlah serbuk ZnSO₄·7H₂O yang dibutuhkan adalah sebesar 2,17 gr untuk dilarutkan dalam 500 ml aquades. Selanjutnya dilakukan pembuatan larutan sampel dengan konsentrasi 2,94 mg/L yang diencerkan dengan aquades.

Pembuatan larutan konsentrasi 2,94 mg/L, 10000 ml

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

$$1000 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 2,94 \text{ mg/L} \cdot 10000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 29,4 \text{ mL}$$

b. Proses Aklimatisasi

Aklimatisasi tanaman bertujuan untuk mengadaptasikan tanaman agar dapat menyesuaikan kondisi lingkungan. Tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) didiamkan selama 7 hari didalam reaktor yang berisi air bersih (Zubair, 2015). Tanaman Hydrilla dibersihkan dan dicuci akarnya dengan menggunakan air bersih sebelum dimasukkan ke dalam bak reaktor (Ni'ma dkk., 2014). Proses aklimatisasi dilakukan dengan memasukkan tanaman ke dalam air bersih sebanyak 10 liter. Pengukuran suhu dan pH pada saat aklimatisasi dilakukan setiap hari pada pukul 10.00 pagi.

Menurut Falah (2021) Tanaman *Hydrilla verticillata* yang paling efektif digunakan untuk menurunkan kadar logam berat mempunyai ciri fisik daun dan batang tanaman berwarna hijau segar, panjang tanaman berukuran 8,46 cm, memiliki berat basah tanaman sebesar 5 gr.

Pemilihan tanaman yang digunakan pada penelitian ini memiliki ciri fisik daun dan batang tanaman berwarna hijau segar, memiliki ukuran panjang tanaman 25 – 30 cm, memiliki berat basah 4 – 5 gr.

c. Perlakuan Fitoremediasi

Setelah aklimatisasi pada tanaman telah selesai, selanjutnya proses fitoremediasi dibagi pada 5 reaktor yaitu 1 reaktor tanpa tanaman, 2 reaktor dengan 10 tanaman dan 2 reaktor dengan 20 tanaman. Pemberian variasi jumlah tanaman dan waktu perlakuan sangat berpengaruh dalam menurunkan konsentrasi logam berat (Irhamni, 2019). Proses fitoremediasi berlangsung selama 12 hari, sampel yang diambil untuk dilakukan pengujian kadar Zn dilakukan pada hari ke 0, 4, 8, dan 12. Sedangkan parameter lainnya seperti pH dan suhu diukur setiap hari pada pukul 10.00 pagi. Perlakuan pada reaktor berisi 10 tanaman dan 20 tanaman dilakukan secara duplo.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan jurnal atau artikel tema terkait, skripsi, dan buku.

3.6.3 Tahap Pengolahan Data dan Penyusunan Laporan

Analisa data merupakan proses analisis semua data yang telah didapat pada penelitian fitoremediasi logam berat seng (Zn) dengan memanfaatkan tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) menggunakan sistem Batch. Data yang digunakan antara lain: penurunan konsentrasi Zn sesudah proses fitoremediasi, suhu dan pH. Setelah semua data didapat maka selanjutnya dilakukan analisa dengan menggunakan metode deskriptif dan statistik.

1. Metode Deskriptif

Metode deskriptif bertujuan untuk mendeskripsikan penurunan kadar Zn dengan perlakuan tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) menggunakan perbedaan variasi jumlah tanaman dalam waktu 12 hari. Grafik dan gambar digunakan agar mudah dalam mengolah dan menyusun data. konsentrasi Zn dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Efisiensi (\%) = \frac{(co-ct)}{co} \times 100\%$$

Keterangan:

Ef : efisiensi Tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*)

Co : konsentrasi awal sampel

Ct : konsentrasi akhir sampel

Pembuatan sampel limbah artifisial Seng (Zn) dilakukan setiap hari pada setiap reaktor. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Axo Green Surabaya untuk pengukuran kadar logam berat seng (Zn) dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Perubahan ciri fisik didokumentasikan selama penelitian berlangsung untuk dianalisis.

2. Metode Statistik

Analisa data yang digunakan pada penelitian adalah dengan menggunakan uji komparatif yang sebelumnya telah dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas. Apabila hasil uji normalitas berdistribusi normal dan uji homogenitas bersifat homogen, maka dapat dilanjutkan dengan uji *One Way Anova*. Namun, apabila hasil uji yang didapat tidak homogen maka untuk mengetahui perbedaan pada setiap perlakuan menggunakan uji *Kruskal-Wallis*.

3.7 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui tahapan pengambilan data pada percobaan yang akan dilaksanakan. Perlakuan fitoremediasi ini berlangsung selama 12 hari dengan waktu pengukuran sampel kadar Zn dilakukan pada hari ke 0, 4, 8, 12. Pengambilan sampel untuk dilakukan pengukuran diambil pada masing-masing reaktor sebanyak 100 mL. Pada reaktor yang berisi 10 tanaman dan 20 tanaman dilakukan pengambilan sampel secara duplo. Tabel rancangan percobaan dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3. 1 Kombinasi Variabel

No	Jumlah Tanaman (X)	Waktu pengambilan Sampel/Hari (Y)			
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
1.	0 Tanaman (X ₁)	X ₁ ,Y ₁	X ₁ ,Y ₂	X ₁ ,Y ₃	X ₁ ,Y ₄
2.	10 Tanaman (X ₂)	X ₂ ,Y ₁	X ₂ ,Y ₂	X ₂ ,Y ₃	X ₂ ,Y ₄
3.	20 Tanaman (X ₃)	X ₃ ,Y ₁	X ₃ ,Y ₂	X ₃ ,Y ₃	X ₃ ,Y ₄

Keterangan:

X = Jumlah Tanaman

X₁ = Kontrol, X₂ = 10 Tanaman, X₃ = 20 Tanaman

Y = Waktu Pengambilan Sampel

$Y_1 =$ Hari ke 0, $Y_2 =$ Hari ke 4, $Y_3 =$ Hari ke 8, $Y_4 =$ Hari ke 12
 $X_1, Y_1 =$ Kontrol dengan pengambilan sampel pada hari ke 0
 $X_1, Y_2 =$ Kontrol dengan pengambilan sampel pada hari ke 4
 $X_1, Y_3 =$ Kontrol dengan pengambilan sampel pada hari ke 8
 $X_1, Y_4 =$ Kontrol dengan pengambilan sampel pada hari ke 12
 $X_2, Y_1 =$ 10 tanaman dengan pengambilan sampel pada hari ke 0 (duplo)
 $X_2, Y_2 =$ 10 tanaman dengan pengambilan sampel pada hari ke 4 (duplo)
 $X_2, Y_3 =$ 10 tanaman dengan pengambilan sampel pada hari ke 8 (duplo)
 $X_2, Y_4 =$ 10 tanaman dengan pengambilan sampel pada hari ke 12 (duplo)
 $X_3, Y_1 =$ 20 tanaman dengan pengambilan sampel pada hari ke 0 (duplo)
 $X_3, Y_2 =$ 20 tanaman dengan pengambilan sampel pada hari ke 4 (duplo)
 $X_3, Y_3 =$ 20 tanaman dengan pengambilan sampel pada hari ke 8 (duplo)
 $X_3, Y_4 =$ 20 tanaman dengan pengambilan sampel pada hari ke 12 (duplo)

3.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesis ialah dugaan sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Hipotesis ini bersifat sementara dan perlu dilakukan uji kebenaran sehingga dapat diketahui diterima atau ditolak. Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

- a. $H_0 =$ Tidak Terdapat perbedaan terhadap variasi jumlah tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan kadar Zn.
- b. $H_1 =$ Terdapat perbedaan terhadap variasi jumlah tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan kadar Zn.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Aklimatisasi Tanaman

Aklimatisasi merupakan tahap awal yang harus dilakukan pada uji fitoremediasi. Tujuan dari adanya aklimatisasi adalah untuk mengadaptasikan tanaman fitoremediasi terhadap lingkungan baru agar tanaman tersebut nantinya mampu hidup di lingkungan yang sebenarnya dengan kondisi suhu dan iklim yang sering berubah-ubah (Raissa & Tangahu, 2017). Sebelum tanaman diaklimatisasi harus dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran yang masih menempel dengan cara dicuci air bersih yang mengalir. Kemudian menyiapkan bak penampung tanaman yang telah diisi air bersih. Tanaman *Hydrilla verticillata* yang digunakan untuk aklimatisasi harus dalam kondisi yang masih segar dan hijau kemudian dimasukkan ke dalam bak penampung untuk diaklimatisasi selama 7 hari.

Aklimatisasi selama 7 hari dilakukan dengan sistem pencahayaan secara alami yaitu dengan menggunakan bantuan sinar matahari (Ni'ma dkk., 2014). Pada tahap aklimatisasi ini diharapkan kondisi tanaman tetap dalam keadaan stabil yakni tetap subur dan tidak mati. Aklimatisasi ini dilakukan dalam bak penampung plastik berisi air bersih. Tanaman *Hydrilla* yang digunakan pada proses aklimatisasi sebanyak 80 batang, sedangkan jumlah tanaman yang digunakan nantinya pada proses fitoremediasi adalah sebanyak 60 batang. Tujuan dari penggunaan tanaman yang lebih pada proses aklimatisasi untuk mengantisipasi apabila saat proses aklimatisasi tanaman banyak yang mengalami kerusakan hingga kematian. Pada tahap aklimatisasi juga dilakukan pengukuran pH dan suhu setiap hari agar dapat meminimalisir terjadinya kematian pada tanaman. Adapun hasil kondisi tanaman pada saat proses aklimatisasi dapat dilihat pada tabel 4.1:

Tabel 4. 1 Aklimatisasi Tanaman *Hydrilla verticillata*

Waktu Aklimatisasi (Hari)	Kondisi tanaman Saat Aklimatisasi	Gambar
<p>Hari ke-1 (Kamis, 30 Maret 2023)</p>	<p>Kondisi fisik tanaman Hydrilla pada hari ke-1 masih dalam keadaan baik yang ditandai dengan warna batang dan daun yang berwarna hijau segar. Adapun pengukuran pH sebesar 7,57 dan suhu air sebesar 26,6°C.</p>	
<p>Hari ke-2 (Jum'at, 31 Maret 2023)</p>	<p>Kondisi fisik tanaman Hydrilla pada hari ke-2 masih sama seperti pada hari pertama yaitu dalam keadaan baik yang ditandai dengan warna batang dan daun yang berwarna hijau segar. Adapun pengukuran pH sebesar 7,12 dan suhu air sebesar 25,5°C.</p>	
<p>Hari ke-3 (Sabtu, 01 April 2023)</p>	<p>Kondisi fisik tanaman Hydrilla pada hari ke-3 masih sama seperti pada hari sebelumnya yaitu dalam keadaan baik yang ditandai dengan warna batang dan daun yang berwarna hijau segar. Adapun pengukuran pH sebesar 7,09 dan suhu air sebesar 25,3°C.</p>	
<p>Hari ke-4 (Minggu, 02 April 2023)</p>	<p>Kondisi fisik tanaman Hydrilla pada hari ke-4 masih sama seperti pada hari sebelumnya tidak mengalami perubahan fisiologis yaitu tanaman masih dalam keadaan baik yang ditandai dengan warna batang dan daun yang berwarna hijau segar. Adapun pengukuran pH sebesar 7,02 dan suhu air sebesar 25,6°C.</p>	

Waktu Aklimatisasi (Hari)	Kondisi tanaman Saat Aklimatisasi	Gambar
Hari ke-5 (Senin, 03 April 2023)	Kondisi fisik tanaman Hydrilla pada hari ke-5 masih sama seperti pada hari sebelumnya yaitu dalam keadaan baik yang ditandai dengan warna batang dan daun yang berwarna hijau segar. Adapun pengukuran pH sebesar 7,01 dan suhu air sebesar 23,6°C.	
Hari ke-6 (Selasa, 04 April 2023)	Kondisi fisik tanaman Hydrilla pada hari ke-6 masih sama seperti pada hari sebelumnya dan belum mengalami perubahan fisik yaitu tanaman masih dalam keadaan baik yang ditandai dengan warna batang dan daun yang berwarna hijau segar. Adapun pengukuran pH sebesar 7,01 dan suhu air sebesar 26,4°C.	
Hari ke-7 (Rabu, 05 April 2023)	Kondisi fisik tanaman Hydrilla pada hari ke-7 telah mengalami perubahan fisik yaitu ada beberapa tanaman dalam keadaan kurang baik yang ditandai dengan warna daun yang menguning dan warna batang menjadi hijau kekuningan. Adapun hasil dari pengukuran pH sebesar 6,94 dan suhu air sebesar 25°C.	

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Dari hasil proses aklimatisasi tanaman *Hydrilla verticillata* yang dilakukan selama 7 hari, dapat diketahui bahwa tanaman ini masih bertahan hidup dengan baik mulai dari awal hingga akhir proses aklimatisasi dibuktikan dengan tidak adanya tanaman yang mati. Nilai pH pada proses aklimatisasi berkisar antara 6,94 – 7,57 dan nilai suhu air berkisar antara 23,6°C – 26,4 °C.

4.2 Hasil Penelitian Fitoremediasi Oleh Tanaman *Hydrilla verticillata*

Penelitian fitoremediasi ini dengan menggunakan tanaman *Hydrilla* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla* dalam menyerap logam berat seng (Zn). Tahap awal dari penelitian ini adalah dilakukannya aklimatisasi tanaman selama 7 hari dengan tujuan supaya tanaman tersebut dapat beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Tahap selanjutnya setelah proses aklimatisasi yaitu dilakukan proses uji fitoremediasi tanaman *Hydrilla* terhadap logam berat Seng (Zn). Tanaman *Hydrilla* terlebih dahulu dipilih dan diukur panjangnya agar tanaman yang akan digunakan untuk proses fitoremediasi memiliki panjang yang sama. Tanaman yang digunakan memiliki panjang 25 – 30 cm dan memiliki jumlah helai daun sekitar 50 – 60 helai.

Pada penelitian ini air limbah yang digunakan adalah limbah artifisial Seng (Zn) dengan konsentrasi 3 mg/L. Namun, pada saat dilakukan uji lab di Laboratorium Axo Green Surabaya, konsentrasi yang dihasilkan tidak sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan. Hasil uji lab menunjukkan hasil konsentrasi sebesar 2,94 mg/L. Terjadinya ketidaksesuaian konsentrasi yakni dapat disebabkan kurang teliti dalam pembuatan air limbah artifisial. Hal tersebut bisa terjadi pada saat pelarutan logam berat masih ada serbuk logam berat yang masih tersisa didalam cawan petri, tidak memasukkan larutan sesuai tanda batas pada labu ukur dan bisa juga pada saat pengocokan larutan kurang homogen (Azni dkk., 2014).

Penelitian ini menggunakan reaktor dengan sistem batch. Terdapat 5 Reaktor dengan yaitu reaktor A, reaktor B, reaktor C, reaktor D, dan reaktor E. Pada reaktor A merupakan reaktor kontrol, reaktor B dan C merupakan reaktor yang berisi 10 tanaman, dan pada reaktor D dan E merupakan reaktor yang berisi 20 tanaman. Pada setiap reaktor berisi 9,7 liter aquades dan limbah artifisial Seng (Zn) sebanyak 29,4 ml. Proses fitoremediasi dilakukan selama 12 hari dengan mengamati kondisi fisik tanaman.

Selama proses fitoremediasi berlangsung perubahan fisik yang terjadi pada tanaman ditandai dengan berubahnya warna daun dan batang menjadi kekuningan hingga daun mengalami kerontokan. Penyebab terjadinya

perubahan fisik tanaman dikarenakan tanaman telah melakukan waktu kontak dengan zat kontaminan sehingga tanaman mengalami klorosis. Klorosis merupakan rusaknya jaringan pada daun tumbuhan sehingga tidak dapat membentuk klorofil karena daun sudah berubah warna menjadi kuning dan tidak dalam kondisi yang segar (Nurfitriana, 2019). Pengujian sampel air limbah dilakukan pada hari ke-0, hari ke-4, hari ke-8, dan hari ke-12. Sampel diambil sebanyak 100 ml pada masing-masing reaktor untuk dilakukan uji lab. Adapun kondisi fisik tanaman Hydrilla pada saat proses fitoremediasi dapat dilihat pada tabel 4.2:

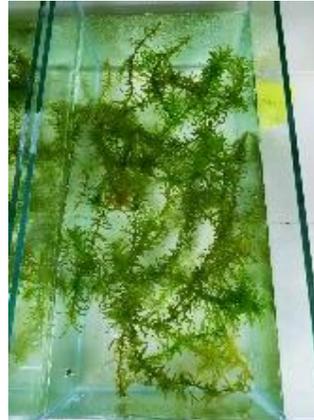


Tabel 4. 2 Kondisi Fisik Tanaman Hydrilla Pada Proses Fitoremediasi

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
Hari ke-0	<p>Kondisi air limbah berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-0 ini adalah 6,60 dan suhu air 23,6 °C</p> 	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-0 belum mengalami perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor B hari ke-0 adalah 6,54 dan suhu air 23,8 °C.</p> 	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-0 belum mengalami perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor C hari ke-0 adalah 6,54 dan suhu air 23,9 °C.</p> 	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-0 belum mengalami perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor D hari ke-0 adalah 6,71 dan suhu air 23,9 °C.</p> 	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-0 belum mengalami perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor E hari ke-0 adalah 6,75 dan suhu air 24,1 °C.</p> 

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
Hari ke-1	<p>Kondisi air limbah berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-1 ini adalah 6,67 dan suhu air 24 °C</p> 	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-1 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor B hari ke-1 adalah 6,57 dan suhu air 23,9 °C.</p> 	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-1 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor C hari ke-1 adalah 6,56 dan suhu air 23,8 °C.</p> 	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-1 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor D hari ke-1 adalah 6,63 dan suhu air 23,9 °C.</p> 	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-1 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor E hari ke-1 adalah 6,73 dan suhu air 24 °C.</p> 
Hari ke-2	<p>Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman</p>

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
	<p>memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-2 ini adalah 6,52 dan suhu air 26,4 °C</p> 	<p>pada hari ke-2 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor B hari ke-2 adalah 6,46 dan suhu air 26,4 °C.</p> 	<p>pada hari ke-2 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor C hari ke-2 adalah 6,53 dan suhu air 26,3 °C.</p> 	<p>pada hari ke-2 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor D hari ke-2 adalah 6,65 dan suhu air 26,3 °C.</p> 	<p>pada hari ke-2 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor E hari ke-2 adalah 6,72 dan suhu air 26,2 °C.</p> 
Hari ke-3	<p>Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-3 ini</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-3 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-3 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-3 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-3 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman</p>

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
	<p>adalah 6,66 dan suhu air 23,6 °C</p> 	<p>masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor B hari ke-3 adalah 6,65 dan suhu air 23,6 °C.</p> 	<p>masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor C hari ke-3 adalah 6,68 dan suhu air 23,4 °C.</p> 	<p>masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor D hari ke-3 adalah 6,84 dan suhu air 23,5 °C.</p> 	<p>masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor E hari ke-3 adalah 6,69 dan suhu air 23,8 °C.</p> 
Hari ke-4	<p>Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-4 ini adalah 6,74 dan suhu air 23,8 °C</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-4 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor B hari ke-4</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-4 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor C hari ke-4</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-4 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor D hari ke-4</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-4 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor E hari ke-4</p>

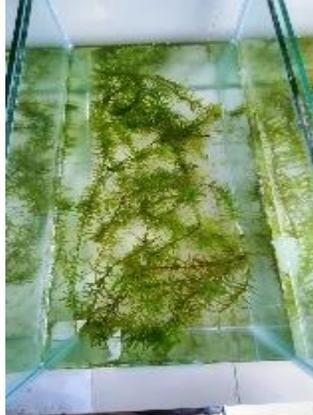
Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
		<p>adalah 6,75 dan suhu air 23,5 °C.</p> 	<p>adalah 6,51 dan suhu air 23,6 °C.</p> 	<p>adalah 6,66 dan suhu air 23,6 °C.</p> 	<p>adalah 6,70 dan suhu air 23,9 °C.</p> 
Hari ke-5	<p>Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-5 ini adalah 6,58 dan suhu air 23,9 °C</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-5 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor B hari ke-5 adalah 6,59 dan suhu air 23,6 °C.</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-5 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor C hari ke-5 adalah 6,47 dan suhu air 23,6 °C.</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-5 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor D hari ke-5 adalah 6,68 dan suhu air 23,6 °C.</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-5 masih belum terlihat perubahan apapun, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor E hari ke-5 adalah 6,68 dan suhu air 23,9 °C.</p>

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
					
Hari ke-6	Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-6 ini adalah 6,86 dan suhu air 24,9 °C	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-6 masih belum terlihat perubahan secara signifikan, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor B hari ke-6 adalah 6,72 dan suhu air 24,9 °C.	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-6 masih belum terlihat perubahan secara signifikan, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor C hari ke-6 adalah 6,66 dan suhu air 24,8 °C.	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-6 masih belum terlihat perubahan secara signifikan, batang dan daun tanaman masih berwarna hijau segar. pH pada reaktor D hari ke-6 adalah 6,56 dan suhu air 25 °C.	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-6 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang masih berwarna hijau segar namun ada beberapa helai daun mulai berwarna kuning. pH pada reaktor D hari ke-6 adalah 6,56 dan suhu air 25 °C.

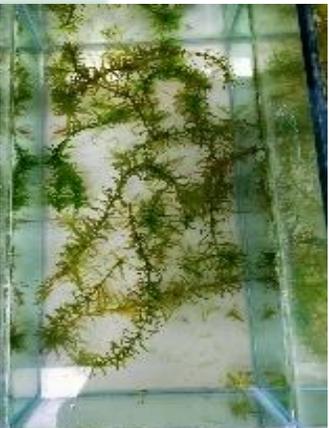
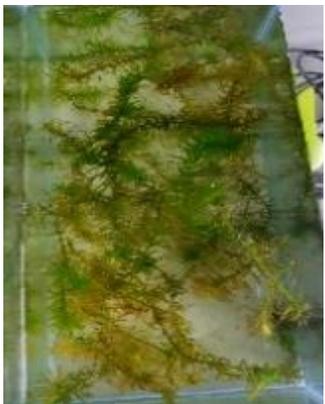
Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
					
Hari ke-7	Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-7 ini adalah 6,73 dan suhu air 24,3 °C	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-7 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang masih berwarna hijau segar namun ada beberapa helai daun mulai berwarna kuning. pH pada reaktor B hari ke-7 adalah 6,94 dan suhu air 25 °C.	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-7 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang masih berwarna hijau segar namun ada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor C hari ke-7 adalah 6,91 dan suhu air 25,1 °C.	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-7 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang masih berwarna hijau segar namun ada beberapa helai daun mulai berwarna kuning. pH pada reaktor D hari ke-7 adalah 6,95 dan suhu air 25,1 °C.	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-7 sama seperti pada hari ke-6 terdapat beberapa tanaman yang batangnya masih berwarna hijau segar namun ada beberapa helai daun juga sudah mulai menguning. pH pada reaktor E hari ke-7 adalah 6,94 dan suhu air 25,3 °C.

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
					
Hari ke-8	Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-8 ini adalah 6,88 dan suhu air 24,7 °C	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-8 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang mulai terdapat bintik-bintik coklat pada beberapa batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor B hari ke-8	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-8 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang mulai terdapat bintik-bintik coklat dan tumbuh tunas baru pada beberapa batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning. pH pada reaktor C	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-8 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang mengalami tumbuh tunas baru, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan mulai rontok. pH pada reaktor D hari ke-8	Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-8 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang mulai menguning dan terdapat bintik-bintik coklat pada beberapa batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan mulai rontok. pH

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
		<p>adalah 7,17 dan suhu air 24,7 °C.</p> 	<p>hari ke-8 adalah 7,13 dan suhu air 24,6 °C.</p> 	<p>adalah 7,22 dan suhu air 24,6 °C.</p> 	<p>pada reaktor E hari ke-8 adalah 7,25 dan suhu air 24,6 °C.</p> 
Hari ke-9	<p>Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-9 ini adalah 6,96 dan suhu air 25,5 °C</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-9 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok.</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-9 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok.</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-9 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok.</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-9 sudah mulai terlihat mengalami perubahan pada beberapa tanaman, batang mulai menguning dan terdapat bintik-bintik coklat pada beberapa batang tanaman, sedangkan pada beberapa</p>

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
		<p>pH pada reaktor B hari ke-9 adalah 7,21 dan suhu air 25,4 °C.</p> 	<p>pH pada reaktor C hari ke-9 adalah 7,13 dan suhu air 25,3 °C.</p> 	<p>pH pada reaktor D hari ke-9 adalah 7,16 dan suhu air 25,3 °C.</p> 	<p>helai daun mulai berwarna kuning dan mulai rontok. pH pada reaktor E hari ke-9 adalah 7,13 dan suhu air 25,4 °C.</p> 
Hari ke-10	<p>Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-10 ini adalah 6,77 dan suhu air 25,3 °C</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-10 telah mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-10 telah mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-10 telah mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-10 sama seperti hari sebelumnya telah mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat</p>

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
	<p>pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor B hari ke-10 adalah 7,19 dan suhu air 25,2 °C</p> 	<p>pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor C hari ke-10 adalah 7,17 dan suhu air 25,1 °C</p> 	<p>pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor D hari ke-10 adalah 7,11 dan suhu air 25,1 °C</p> 	<p>pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor E hari ke-10 adalah 7,13 dan suhu air 25, 2 °C</p> 	<p>banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor E hari ke-10 adalah 7,13 dan suhu air 25, 2 °C</p> 
Hari ke-11	<p>Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada reaktor A hari ke-11 ini</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-11 telah mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-11 telah mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-11 telah mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-11 sama seperti hari sebelumnya telah mengalami perubahan pada</p>

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
	<p>adalah 6,97 dan suhu air 25 °C</p> 	<p>beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor B hari ke-11 adalah 7,00 dan suhu air 24,9 °C</p> 	<p>beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor C hari ke-11 adalah 6,94 dan suhu air 24,9 °C</p> 	<p>beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor D hari ke-11 adalah 6,93 dan suhu air 24,8 °C</p> 	<p>beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan rontok. pH pada reaktor E hari ke-11 adalah 6,80 dan suhu air 24,9 °C</p> 
Hari ke-12	<p>Kondisi air limbah masih tetap berwarna putih, dan tidak memiliki bau. pH pada</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-12 telah</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-12 telah</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-12 telah</p>	<p>Kondisi air limbah berwarna putih dan tidak memiliki bau. Kondisi fisik tanaman pada hari ke-12 telah</p>

Hari Ke-	Kondisi Reaktor				
	Reaktor A (kontrol)	Reaktor B (10 tanaman)	Reaktor C (10 tanaman)	Reaktor D (20 tanaman)	Reaktor E (20 tanaman)
	<p>reaktor A hari ke-12 ini adalah 6,92 dan suhu air 24,8 °C</p> 	<p>mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan banyak yang rontok. pH pada reaktor B hari ke-12 adalah 6,94 dan suhu air 24,6 °C</p> 	<p>mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan banyak yang rontok. pH pada reaktor C hari ke-12 adalah 6,96 dan suhu air 24,6 °C</p> 	<p>mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan banyak yang rontok. pH pada reaktor D hari ke-12 adalah 6,98 dan suhu air 24,6 °C</p> 	<p>mengalami perubahan pada beberapa tanaman, pada beberapa batang tanaman mulai menguning dan mulai banyak bintik-bintik coklat pada batang tanaman, sedangkan pada beberapa helai daun mulai berwarna kuning dan banyak yang rontok. pH pada reaktor E hari ke-12 adalah 6,97 dan suhu air 24,6 °C</p> 

Sumber: Hasil Pengamatan, 2023

Tabel 4. 3 Kondisi Fisik Tanaman *Hydrilla verticillata* Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Morfologi Tanaman	Reaktor B (10 Tanaman)		Reaktor C (10 Tanaman)		Reaktor D (20 Tanaman)		Reaktor E (20 Tanaman)	
	Sebelum Perlakuan (H-0)	Sesudah Perlakuan (H-12)	Sebelum Perlakuan (H-0)	Sesudah Perlakuan (H-12)	Sebelum Perlakuan (H-0)	Sesudah Perlakuan (H-12)	Sebelum Perlakuan (H-0)	Sesudah Perlakuan (H-12)
Panjang Tanaman (cm)	25-29	21-25	25-29	21-25	25-29	21-25	25-29	21-25
Jumlah Helai Daun	65-70	40-50	65-70	50-60	65-70	30-40	65-70	40-45
Kondisi Fisik Tanaman								
Berat Basah Tanaman (gr)	40-45	30-35	40-45	33-37	80-85	70-75	80-85	72-75

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Keterangan:

*1 = Daun dan batang tanaman berwarna hijau segar.

*2 = Daun dan batang tanaman hijau kekuningan dan tumbuh tunas baru pada batang.

*3 = Daun dan batang tanaman berwarna kuning kecoklatan dan terdapat bintik-bintik hitam pada batang tanaman.

Berdasarkan tabel pengamatan diatas, dapat dilihat bahwa tanaman mengalami perubahan morfologi. Perubahan tersebut terjadi pada jumlah daun, warna batang dan daun tanaman, serta berat tanaman. Panjang tanaman

Hydrilla verticillata pada awal penelitian memiliki rata-rata 25 – 29 cm. Namun saat proses fitorediasi berlangsung batang tanaman mulai berwarna kuning hingga layu sehingga menyebabkan batang tanaman menjadi berkurang rata-rata 21 – 25 cm. Jumlah daun tanaman *Hydrilla verticillata* pada awal fitoremediasi rata-rata sebanyak 65 – 70 helai, namun pada saat proses fitoremediasi selesai jumlah daun banyak berkurang karena daun tanaman mengalami gejala krosis dan nekrosis yang dimana banyak daun yang menguning dan mulai rontok. Sedangkan berat tanaman pada awal proses fitoremediasi rata-rata sebesar 40 – 45 gr, Namun setelah proses fitoremediasi selesai berat tanaman menjadi berkurang akibat batang tanaman mulai layu dan rontoknya daun pada tanaman.

Perubahan morfologi yang terjadi yaitu berubahnya warna batang dan daun menjadi kuning serta munculnya tunas baru pada batang tanaman. Perubahan tersebut menandakan bahwa tanaman dapat merespon kondisi lingkungan baru dan dapat beradaptasi dengan logam berat pada air limbah (Soheti dkk., 2020). Munculnya tunas baru pada batang tanaman menandakan tanaman telah melakukan proses produksi secara vegetatif yang ditandai dengan banyaknya batang tanaman yang mulai rapuh (Hibatuallah, 2019). Perubahan morfologi pada tanaman juga dapat disebabkan oleh faktor lain seperti pH, suhu, kelembapan serta cahaya (A'yuningsih, 2017).

Perubahan pada tanaman mulai ditunjukkan pada hari ke-6 pada reaktor E pada kelompok perlakuan dengan 20 tanaman. Perubahan ini ditunjukkan dengan adanya perubahan pada warna batang dan daun yang mulai berwarna kuning. Hal tersebut dikarenakan pada reaktor E penempatannya dekat dengan sinar cahaya. Sedangkan menurut Kaufman *et al* (2014) menjelaskan bahwa tanaman *Hydrilla verticillata* dapat tumbuh dengan baik pada kondisi yang cukup gelap dan tanaman ini hanya membutuhkan sebanyak 1% cahaya. Selain itu, semakin lama proses pemaparan tumbuhan dengan logam berat akan menyebabkan perubahan warna daun dan batang semakin kecoklatan (Aulia, 2020). Sedangkan perubahan fisik lainnya terjadi pada hari ke-8 daun pada semua reaktor mulai berwarna kuning dan rontok. Terjadinya kerontokan pada daun dikarenakan proses klorosis pada tanaman. Klorosis merupakan rusaknya

jaringan tanaman sehingga menyebabkan terhambatnya sintesis klorofil. Sedangkan rontoknya tanaman merupakan tanda dari gejala nekrosis. Gejala nekrosis merupakan rusaknya jaringan sel pada tanaman yang dapat ditandai dengan timbulnya bercak, bintik ataupun noda (Nurlina, 2016).

Perubahan yang terjadi pada warna batang dan daun tanaman pada reaktor yang berisi air limbah logam berat Zn menunjukkan perubahan warna kuning kecoklatan dan pada batang tanaman menunjukkan bintik hitam. Hal tersebut menandakan bahwa tanaman telah terpapar oleh zat kontaminan logam berat dalam waktu yang lama sehingga akan mempengaruhi proses fotosintesis dan terhambatnya hasil sintesis klorofil yang dihasilkan (Novi dkk., 2019).

4.3 Pengaruh pH dan Suhu Air Pada Proses Fitoremediasi

Pada penelitian ini, nilai pH dan suhu juga dapat mempengaruhi proses fitoremediasi. Adapun hasil analisa yang didapatkan pada nilai pH dan suhu air.

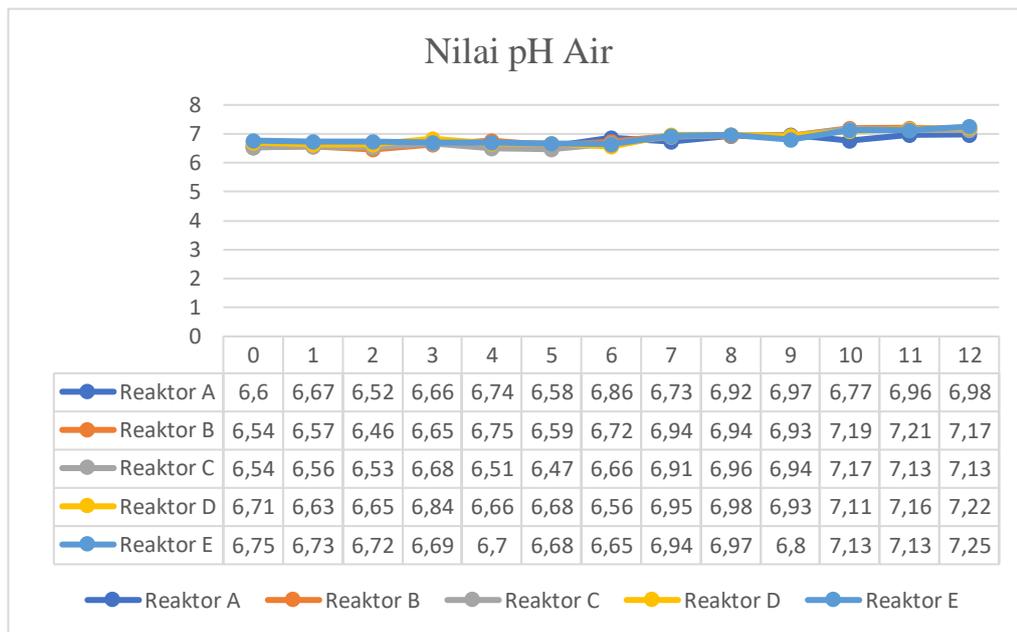
4.3.1 Nilai pH Air

pH merupakan nilai derajat keasaman yang digunakan untuk mengukur suatu larutan bersifat asam atau basa (Wasito, 2017). Adapun pengukuran pH air dapat dilihat pada tabel 4.4 dan grafik gambar dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran pH Air

Hari ke-	Nilai pH				
	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C	Reaktor D	Reaktor E
0	6,6	6,54	6,54	6,71	6,75
1	6,67	6,57	6,56	6,63	6,73
2	6,52	6,46	6,53	6,65	6,72
3	6,66	6,65	6,68	6,84	6,69
4	6,74	6,75	6,51	6,66	6,7
5	6,58	6,59	6,47	6,68	6,68
6	6,86	6,72	6,66	6,56	6,65
7	6,73	6,94	6,91	6,95	6,94
8	6,92	6,94	6,96	6,98	6,97
9	6,97	6,93	6,94	6,93	6,8
10	6,77	7,19	7,17	7,11	7,13
11	6,96	7,21	7,13	7,16	7,13
12	6,98	7,17	7,13	7,22	7,25

Sumber: Hasil Pengamatan, 2023



Gambar 4. 1 Grafik Nilai pH Air Saat Fitoremediasi
(Sumber: Hasil Pengamatan, 2023)

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah disajikan hasilnya pada tabel dan grafik diatas, nilai pH yang telah diukur selama 12 hari berturut-turut memiliki nilai pH minimum sebesar 6,46 dan maksimum sebesar 7,25 dan pada pH tersebut tanaman *Hydrilla verticillata* masih tetap hidup sampai proses fitoremediasi berakhir. Larutan logam berat dalam air dapat mempengaruhi nilai pH pada air. Nilai pH air yang tidak konsisten (naik turun) disebabkan karena terjadinya aktifitas penyerapan konsentrasi logam berat oleh tumbuhan (Serang, 2018).

Pada hari ke-7 sampai hari ke-12 nilai pH mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena konsentrasi logam berat Zn semakin hari semakin menurun sehingga dapat berpengaruh pada pH air. Kenaikan pH terjadi akibat aktifitas fotosintesis. Selama proses fotosintesis yang tanaman *Hydrilla* akan mengambil CO₂ yang kemudian akan menghasilkan O₂ dan mengambil ion H⁺ yang terdapat pada air sehingga pH dapat mengalami kenaikan. Sedangkan penurunan nilai pH terjadi karena tanaman mengalami klorosis dan nekrosis sehingga banyak jumlah daun tanaman yang mengalami kerontokan dan bagian nekrosis yang terjadi pada daun akan terdekomposisi yang kemudian akan menghasilkan asam

humat (Novi dkk., 2019). Hasil pH yang didapatkan pada kelima reaktor masih termasuk pH normal sesuai dengan bakumutu yang telah ditetapkan pada PP No 22 Tahun 2021 pada Lampiran VI, yakni berkisar di angka 6-9.

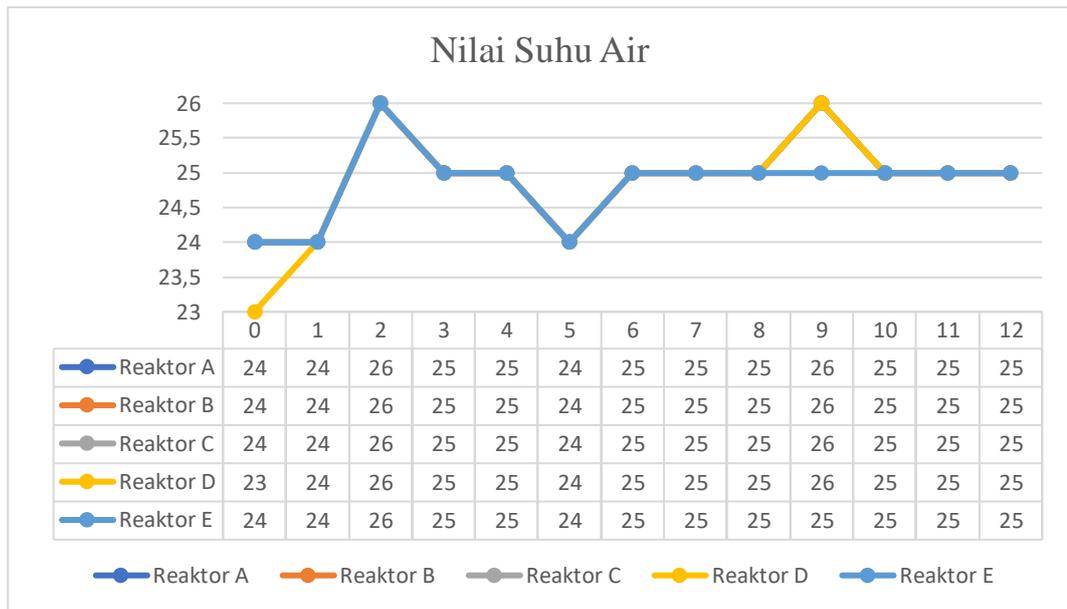
4.3.2 Nilai Suhu Air

Pada saat tanaman menyerap logam berat, suhu juga dapat berpengaruh dalam proses fitoremediasi. Pengukuran suhu dilakukan setiap hari selama 12 hari pada setiap reaktor. Hasil data suhu yang didapatkan pada saat proses fitoremediasi dapat dilihat pada tabel 4.5 dan gambar 4.2 berikut:

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Suhu Air

Hari ke-	Nilai Suhu Air				
	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C	Reaktor D	Reaktor E
0	24	24	24	24	24
1	24	24	24	24	24
2	26	26	26	26	26
3	25	25	25	25	25
4	25	25	25	25	25
5	24	24	24	24	24
6	25	25	25	25	25
7	25	25	25	25	25
8	25	25	25	25	25
9	26	26	26	26	26
10	25	25	25	25	25
11	25	25	25	25	25
12	25	25	25	25	25

Sumber: Hasil Pengamatan, 2023



Gambar 4. 2 Grafik Nilai Suhu Air Saat Fitoremediasi

(Sumber: Hasil Pengamatan, 2023)

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah disajikan hasilnya pada tabel dan grafik diatas, nilai suhu air yang diukur setiap hari mengalami perubahan. Suhu air yang dihasilkan selama proses penelitian berkisar di angka 24 – 26°C. Terjadi kenaikan suhu air pada setiap reaktor dihari ke-9. Menurut Nazar (2014) *Hydrilla* dapat bertahan hidup dan tumbuh pada pada suhu 20 – 25°C dan pertumbuhannya akan terhambat apabila pada suhu dibawah 16 °C. Perubahan suhu yang terjadi selama proses fitoremediasi ini disebabkan karena faktor cuaca dan intensitas matahari yang berubah-ubah setiap harinya. Perubahan suhu yang akan dapat mempengaruhi proses penyerapan logam berat dikarenakan suhu sangat berkaitan dengan proses metabolisme dan fotosintesis pada tumbuhan (Rahayuningtyas dkk., 2018).

4.4 Uji Fitoremediasi Tanaman *Hydrilla verticillata* Terhadap Logam Berat seng (Zn)

Pada penelitian ini dilakukan proses fitoremediasi logam berat Zn dengan tanaman *Hydrilla verticillata* selama 12 hari. Kandungan logam berat Zn merupakan mineral esensial yang artinya masih dibutuhkan oleh tubuh manusia dalam jumlah tertentu, namun jika dalam jumlah yang berlebih dapat

menimbulkan efek buruk yaitu dapat mengganggu atau merusak tubuh manusia di berbagai jaringan tubuh manusia. Efek logam berat seng yang berada pada tubuh manusia bisa menyebabkan pusing, muntah, pusing, muntah, demam hingga diare pada tubuh (Hasyim, 2016). Oleh sebab itu perlu adanya pengolahan untuk menurunkan kadar logam Zn dalam air. Pengolahan tersebut dapat dilakukan dengan metode biologi yaitu dengan fitoremediasi yang dimana logam berat dapat diserap oleh tanaman. Karena pada dasarnya tanaman mempunyai tingkat sensitifitas terhadap logam berat.

Terjadinya penurunan konsentrasi logam berat Zn pada penelitian ini, serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh (Novi dkk., 2019) menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan logam berat Zn mampu menurunkan konsentrasi logam berat Zn sebesar 75% dengan berat tanaman 75gr dalam waktu 18 hari. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan tanaman yang lebih banyak sehingga dihasilkan efisiensi penurunan sebesar 80,95% dalam waktu 12 hari. Semakin banyak jumlah tanaman yang digunakan maka akan semakin besar juga penurunan konsentrasi zat pencemar yang dapat terserap oleh tanaman (Yuliani, 2013).

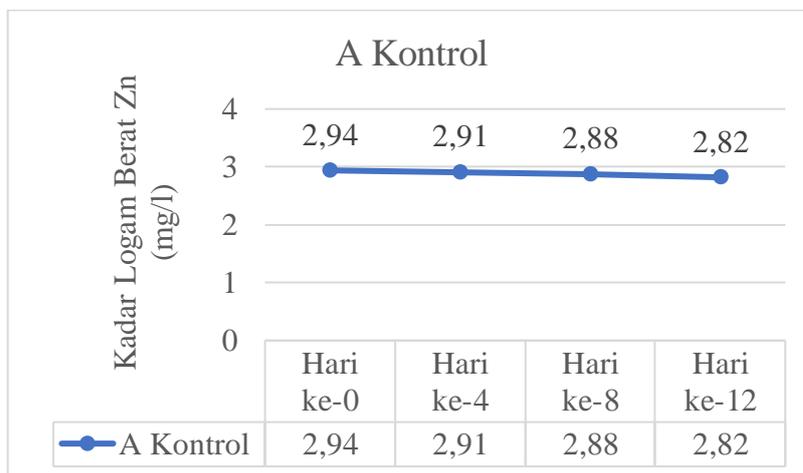
Pada penelitian ini dibagi menjadi 5 reaktor yang terdiri dari reaktor A merupakan reaktor kontrol, reaktor B dan C merupakan reaktor dengan 10 tanaman, serta reaktor D dan E merupakan reaktor dengan 20 tanaman. Pengujian kadar logam berat Zn dilakukan di Laboratorium Axo Green Surabaya dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometer*). Hasil uji konsentasi logam berat Zn dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 Nilai Kadar Zn Setelah Proses Fitoremediasi

Reaktor	Kadar Zn (mg/l)			
	Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12
Reaktor A (Kontrol)	2,94	2,91	2,88	2,82
Reaktor B (10 tanaman)	2,94	2,24	1,64	0,81
Reaktor C (10 tanaman)	2,94	2,27	1,66	0,83
Reaktor D (20 tanaman)	2,94	2,09	1,23	0,43

Reaktor	Kadar Zn (mg/l)			
	Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12
Reaktor E (20 tanaman)	2,94	2,12	1,25	0,46

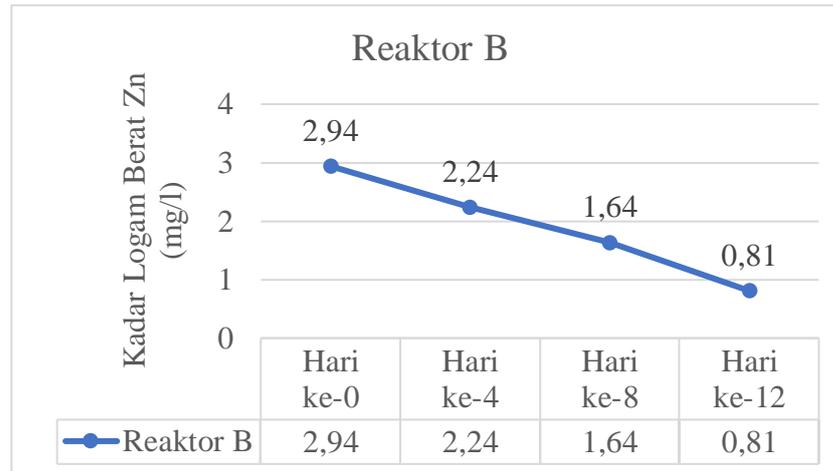
Sumber: Hasil Pengamatan, 2023



Gambar 4. 3 Grafik Nilai Kadar Zn pada Reaktor A

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

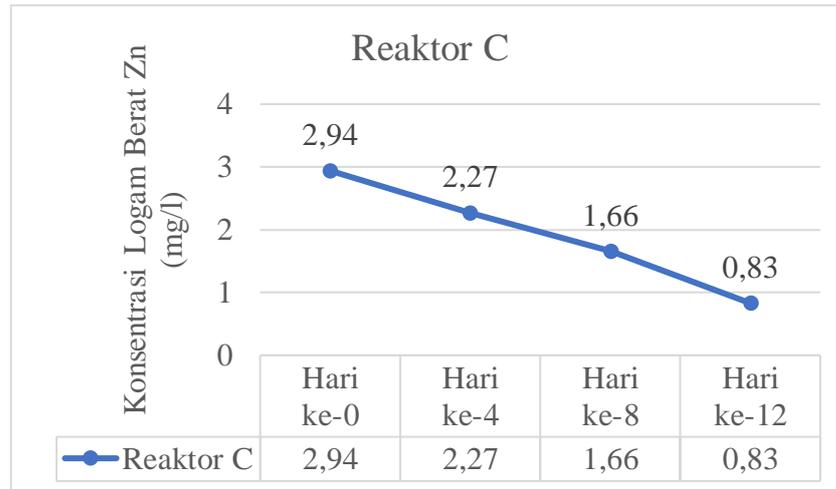
Berdasarkan hasil yang didapatkan pada reaktor A (Kontrol) menunjukkan konsentrasi awal sebesar 2,94 mg/l dan tidak menunjukkan nilai penurunan kadar Zn secara signifikan. Hal ini terjadi karena pada reaktor kontrol tidak terdapat tanaman dan tidak ada penyerapan oleh tanaman. Namun pada reaktor ini juga terjadi penurunan kadar logam berat meskipun tidak secara signifikan, hal ini disebabkan karena terjadinya proses penguapan logam berat yang telah terurai didalam air ke udara. proses penguapan ini terjadi karena suhu yang tinggi (Rahayuningtyas dkk., 2018).



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Kadar Zn Pada Reaktor B

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

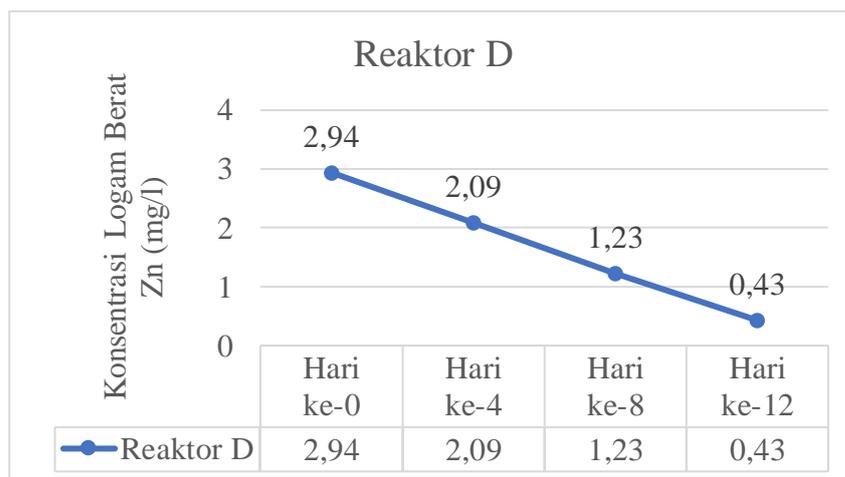
Berdasarkan hasil grafik diatas pada hari ke-0 reaktor B menunjukkan konsentrasi awal sebesar 2,94 mg/l. Pada hari ke-4 menunjukkan penurunan konsentrasi menjadi 2,24 mg/l. Pada hari ke-8 menunjukkan terjadi penurunan konsentrasi menjadi 1,64 mg/l. Dan pada hari ke-12 menunjukkan konsentrasi logam berat Zn menjadi 0,81 mg/l. Pada hari ke-8 tanaman mulai menunjukkan perubahan dengan berubahnya daun menjadi warna kuning dan batang muncul bintik-bintik hitam. Hal ini disebabkan karena tanaman sedang mengalami gejala klorosis. Klorosis merupakan rusaknya jaringan tanaman khususnya pada bagian daun berubah warna menjadi kuning sehingga tidak dapat maksimal dalam menyerap zat kontaminan logam berat (Zubair dkk., 2019). Menurunnya metabolisme pada tanaman Hydrilla dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan sel sehingga akan berdampak pada fiokelatin. Fitokelatin merupakan enzim yang terdapat pada tanaman yang fungsinya untuk mengikat logam berat. Semakin tinggi fitokelatin yang terdapat pada tanaman, maka akan semakin baik pula tanaman menyerap logam berat (Purnama dkk., 2018).



Gambar 4. 5 Grafik Nilai Kadar Zn Pada Reaktor C

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

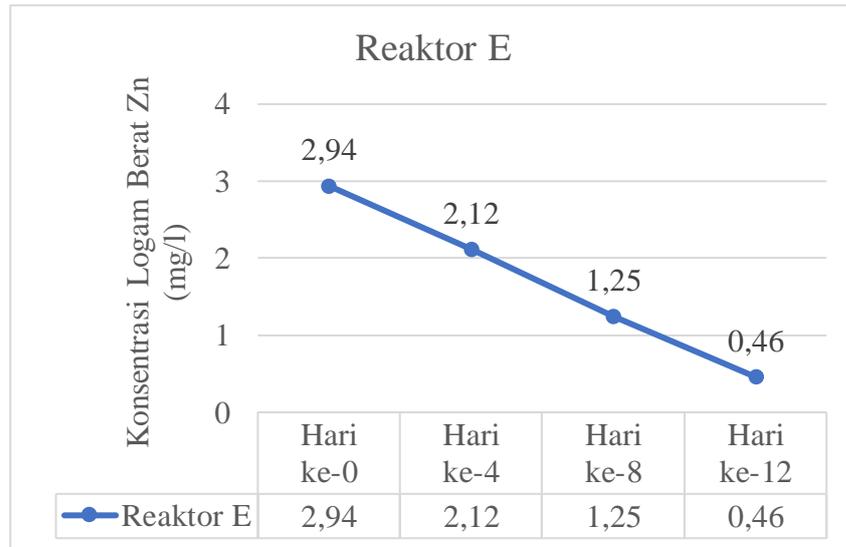
Berdasarkan hasil grafik diatas pada hari ke-0 reaktor C menunjukkan konsentrasi awal sebesar 2,94 mg/l. Pada hari ke-4 menunjukkan penurunan konsentrasi menjadi 2,27 mg/l. Pada hari ke-8 menunjukkan penurunan konsentrasi kembali menjadi 1,66 mg/l. Dan pada hari ke-12 menunjukkan konsentrasi logam berat Zn menjadi 0,83 mg/l. Pada hari ke-12 tanaman juga mengalami klorosis. Tanaman yang telah mengalami klorosis dapat ditandai dengan menurunnya konsentrasi logam berat Zn pada reaktor tersebut karena tanaman tersebut telah berkerja dengan baik dalam menyerap suatu zat kontaminan (Nurlina dkk., 2016). Meningkatnya efisiensi removal logam berat tergantung pada konsentrasi logam dalam suatu larutan, semakin tinggi konsentrasi logam dalam larutan maka akan semakin rendah juga nilai efisiensi removalnya (Kameswaran & Vatsala, 2015). Hasil yang didapatkan reaktor C mengalami kenaikan efisiensi yang lebih kecil dari pada reaktor B. Terjadi penurunan konsentrasi yang tidak sama antara reaktor B dan C dapat disebabkan karena pada saat pengambilan sampel air limbah pengadukannya kurang homogen sehingga hasilnya tidak sama dengan reaktor B yang sama-sama terdapat 10 tanaman.



Gambar 4. 6 Grafik Nilai Kadar Zn Pada Reaktor D

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Berdasarkan hasil grafik diatas pada hari ke-0 reaktor D menunjukkan konsentrasi awal sebesar 2,94 mg/l. Pada hari ke-4 menunjukkan penurunan konsentrasi menjadi 2,09 mg/l. Pada hari ke-8 menunjukkan penurunan konsentrasi menjadi 1,23 mg/l. Dan pada hari ke-12 menunjukkan konsentrasi logam berat Zn menjadi 0,43 mg/l. Pada reaktor D menunjukkan hasil penurunan yang besar dari pada reaktor lainnya. Hal ini disebabkan pada reaktor D terdapat jumlah tanaman Hydrilla yang lebih banyak. *Hydrilla verticillata* merupakan tanaman yang terendam dalam air dan memiliki luas permukaan yang lebih besar untuk kontak langsung dengan air sehingga dapat lebih besar menyerap zat kontaminan dibandingkan dengan tumbuhan yang tidak terendam dalam air (Putriarti dkk., 2021). Pada reaktor ini tanaman Hydrilla tidak mengalami titik jenuh. Hal ini tentunya dapat mempengaruhi kinerja penyerapan tanaman dalam menurunkan konsentrasi logam berat dikarenakan tanaman akan lebih besar dalam menyerap logam berat (Rahadian dkk., 2017).



Gambar 4. 7 Grafik Nilai Kadar Zn Pada Reaktor E

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.7 diatas, konsentrasi awal Zn pada hari ke-0 reaktor E sebesar 2,94 mg/l. Pada hari ke-4 terjadi penurunan konsentrasi Zn menjadi 2,12 mg/l. Hari ke-8 menunjukkan penurunan konsentrasi Zn menjadi 1,25 mg/l. Pada hari ke-12 penurunan konsentrasi logam berat Zn menjadi 0,46 mg/l. Pada reaktor E menunjukkan hasil penurunan yang signifikan sama seperti reaktor lainnya. Namun pada reaktor ini pada hari ke-12 jumlah penurunannya lebih kecil dari pada reaktor D yang sama-sama kontak dengan 20 tanaman. Hal ini disebabkan reaktor ini mendapatkan cahaya lebih banyak dari pada reaktor D yang pada dasarnya *Hydrilla* dapat hidup dan menyerap logam berat dengan baik pada kondisi yang tidak terlalu terang, karena *Hydrilla* ini hanya membutuhkan 1% dari cahaya matahari (Kaufman *et al.*, 2021).

Mekanisme penyerapan logam berat Zn oleh tanaman *Hydrilla verticillata* tanpa menggunakan akar masih belum ditemukan penelitian lebih lanjut. Namun, adapun mekanisme penyerapan logam berat Zn oleh tanaman *Hydrilla sp.* adalah dengan fitoekstraksi yang dimana *Hydrilla sp.* ini masih termasuk ke dalam genus tanaman *Hydrilla*. Penurunan konsentrasi logam berat Zn oleh tanaman *Hydrilla* disebabkan adanya proses fitoekstraksi, yakni penyerapan zat logam berat dilakukan oleh akar tanaman dengan menyerap

air dan mineral secara osmosis (Novi dkk., 2019). Kemudian dilanjutkan dengan proses fitodegradasi yaitu pemanfaatan batang dan daun tanaman dalam memecah zat pencemar hingga menjadi zat yang tidak berbahaya. Proses fitodegradasi ini dapat terjadi pada batang, daun, hingga akar tanaman yang kemudian mengalami penguraian pada proses metabolisme. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim dalam bentuk bahan kimia yang mempercepat proses penguraian. Proses selanjutnya yakni proses fitovolatilisasi. Proses ini merupakan proses dimana penyerapan zat kontaminan oleh tanaman, kemudian memecahnya menjadi zat yang tidak berbahaya dalam bentuk uap air dan selanjutnya dilepaskan ke udara (Prasetyo, 2021).

4.5 Efisiensi Removal Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn)

Konsentrasi logam berat Zn dapat diturunkan dengan cara fitoremediasi menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata*. Proses mekanisme penyerapan logam berat Zn oleh tanaman *Hydrilla* dapat dilakukan dengan metode fitodegradasi yakni dimana proses penyerapan zat kontaminan dapat terjadi pada daun, batang dan akar tanaman. Efisiensi tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan zat logam berat Zn dilakukan pada reaktor 10 tanaman dan reaktor 20 tanaman. Proses fitoremediasi ini dilakukan selama 12 hari. Berikut merupakan hasil efisiensi removal logam berat Zn dengan tanaman *Hydrilla verticillata* dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut:

Tabel 4. 7 Efisiensi Removal Logam Berat Zn Dengan Menggunakan Tanaman *Hydrilla verticillata*

Reaktor	Efisiensi Removal Zn						
	Hari ke-0 (mg/L)	Hari ke-4		Hari ke-8		Hari ke-12	
		Penurunan Zn	Efisiensi Removal (%)	Penurunan Zn	Efisiensi Removal (%)	Penurunan Zn	Efisiensi Removal (%)
Reaktor A (Kontrol)	2,94	2,91	1,02	2,88	2,04	2,82	4,08
Reaktor B	2,94	2,24	23,81	1,64	44,22	0,81	72,45

Reaktor	Efisiensi Removal Zn						
	Hari ke-0 (mg/L)	Hari ke-4		Hari ke-8		Hari ke-12	
		Penurunan Zn	Efisiensi Removal (%)	Penurunan Zn	Efisiensi Removal (%)	Penurunan Zn	Efisiensi Removal (%)
Reaktor C	2,94	2,27	22,79	1,66	43,54	0,83	71,77
Reaktor D	2,94	2,09	28,91	1,23	58,16	0,43	85,37
Reaktor E	2,94	2,12	27,89	1,25	57,48	0,46	84,35

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Perhitungan diatas dihitung dengan rumus penurunan konsentrasi zat kontaminan berikut ini:

$$Efisiensi (\%) = \frac{(co-ct)}{co} \times 100\%$$

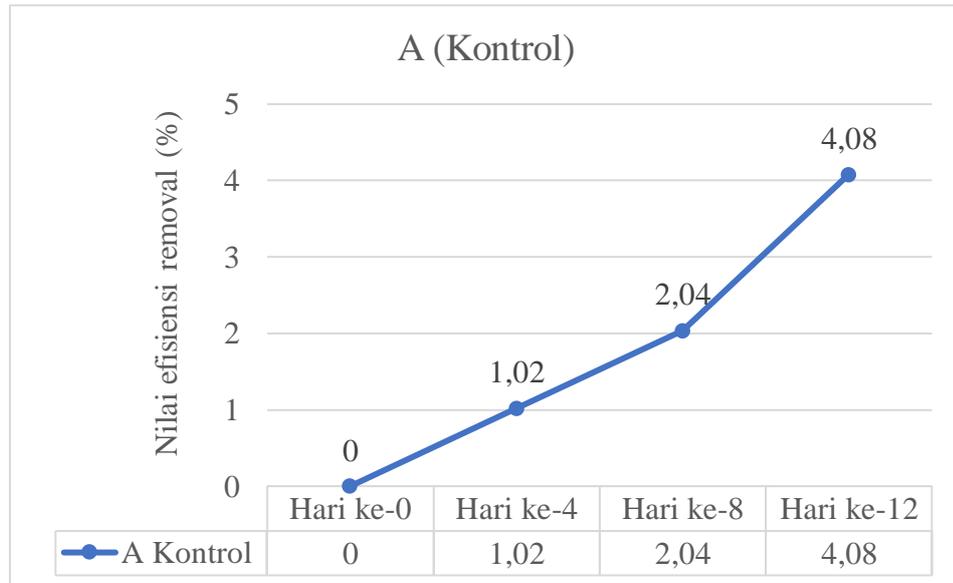
Keterangan:

Ef : Efisiensi tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*)

Co : Konsentrasi awal sampel

Ct : Konsentrasi akhir sampel

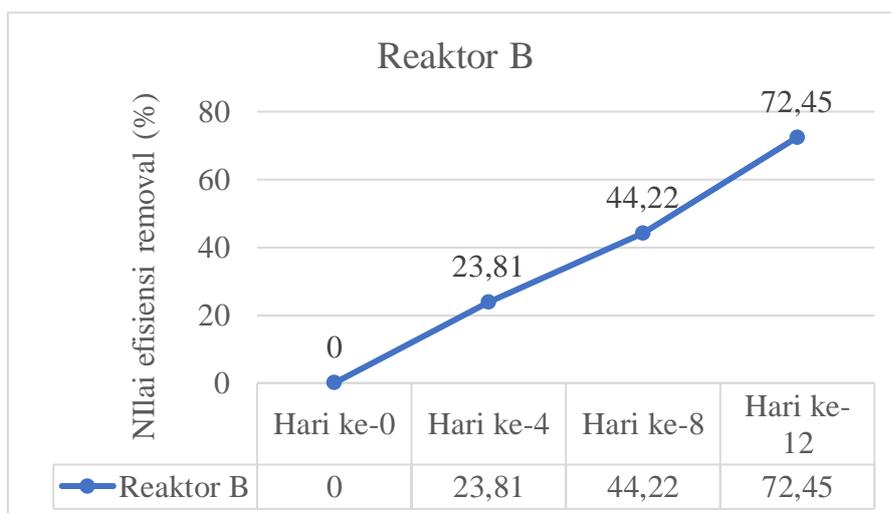
Setelah diketahui hasil perhitungan efisiensi removal dengan menggunakan rumus diatas, maka dapat dilihat nilai grafik nilai efisiensi removal tanaman *Hydrilla verticillata* terhadap penurunan konsentrasi logam berat Zn pada gambar dibawah ini.



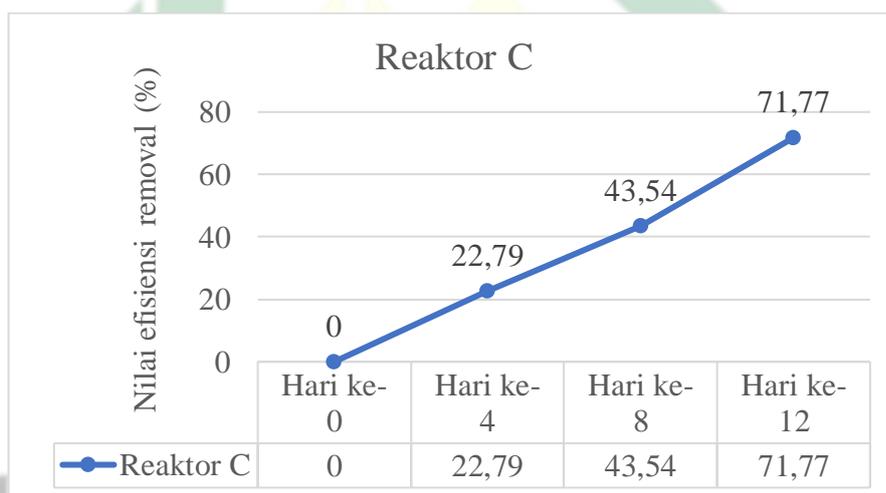
Gambar 4. 8 Grafik Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor Kontrol

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Pada reaktor kontrol didapatkan nilai efisiensi removal sebesar 1,02% pada hari ke empat, 2,04% pada hari ke delapan, dan 4,08% pada hari ke duabelas. Hasil efisiensi removal logam berat Zn pada reaktor kontrol juga mengalami peningkatan secara berturut-turut. Pada reaktor kontrol tidak terdapat fitoremediator untuk menurunkan konsentrasi logam berat Zn. Penurunan konsentrasi yang terjadi pada reaktor kontrol ini terjadi akibat logam berat mengendap pada dasar reaktor (Nurullah, 2018). Hal lain juga dapat disebabkan karena proses penguapan. Proses penguapan ini terjadi karena pengaruh suhu yang tinggi (Rahayuningtyas, 2018). Ambang batas penyerapan logam berat Zn tergantung pada jenis tanaman, konsentrasi logam berat Zn serta lama waktu kontak (Shingadgaon & Chavan, 2018).



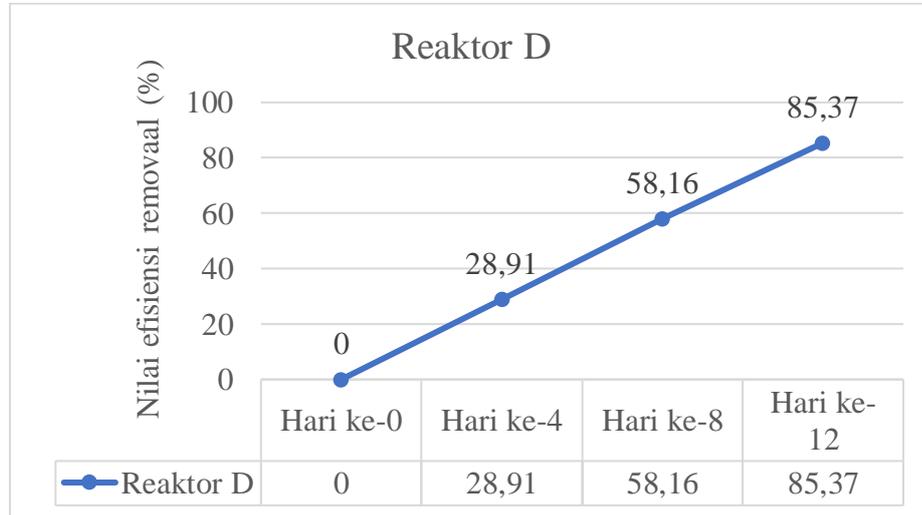
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor B
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)



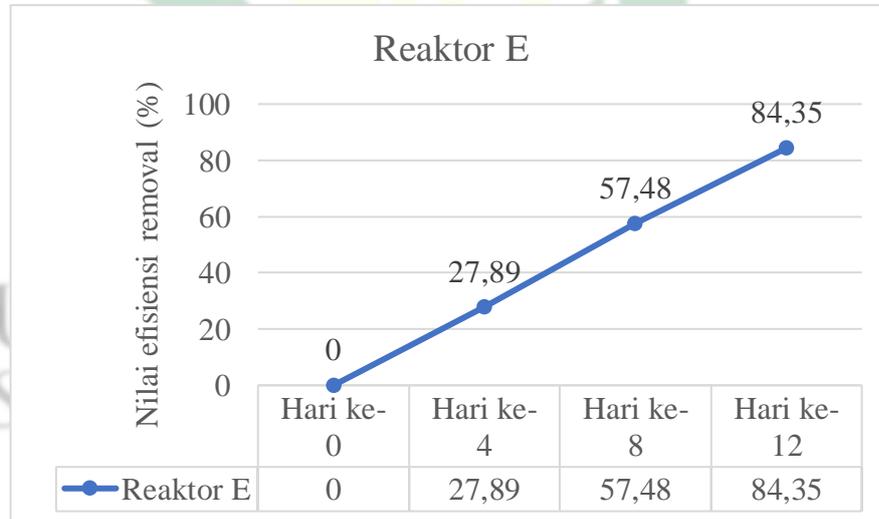
Gambar 4. 10 Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor C
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Pada reaktor B dengan perlakuan 10 tanaman didapatkan nilai efisiensi removal sebesar 23,81% pada hari ke empat, 44,22% pada hari ke delapan dan 72,45% pada hari ke dua belas. Pada reaktor C dengan perlakuan 10 tanaman didapatkan nilai efisiensi removal sebesar 22,79% pada hari ke empat, 43,54% pada hari ke delapan dan 71,77% pada hari ke dua belas. Kedua reaktor ini sama-sama berisi sebanyak 10 tanaman, namun untuk hasilnya tidak sama. Hal ini dikarenakan tanaman pada reaktor B memiliki kondisi fisik yang lebih baik dari pada reaktor C. Kondisi fisik tanaman yang masih baik juga dapat mempengaruhi proses

penyerapan logam berat, semakin banyak tanaman berwarna hijau segar yang ada pada reaktor maka penyerapannya juga semakin besar dibandingkan tanaman yang sudah mulai menguning (Lidiana dkk., 2022).



Gambar 4. 11 Grafik Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor D
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)



Gambar 4. 12 Grafik Nilai Efisiensi Removal Pada Reaktor E
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Pada reaktor D didapatkan nilai efisiensi removal sebesar 28,91% pada hari ke empat, 58,16% pada hari ke delapan dan 85,37% pada hari ke duabelas, pada reaktor D di hari ke dua belas memiliki nilai efisiensi removal terbesar yaitu sebesar 85,37%. Selanjutnya pada reaktor E didapatkan nilai efisiensi removal sebesar

27,89% pada hari ke empat, 57,84% pada hari ke delapan dan 84,35% pada hari ke duabelas. Efisiensi removal logam berat Zn secara berturut-turut mengalami kenaikan. Kenaikan efisiensi terbesar terjadi pada hari ke-12 pada reaktor D yakni sebesar 85,37 % dan reaktor E sebesar 84,35 % dengan jumlah tanaman yang lebih banyak dari pada reaktor B dan C. Banyaknya jumlah tanaman yang digunakan sangat mempengaruhi proses fitoremediasi ini, semakin banyak tanaman yang digunakan maka akan semakin besar juga potensi penyerapan logam berat yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan penelitian Rahadian (2017) yang mengatakan bahwa jumlah tanaman terbanyak adalah yang paling baik dalam meremoval zat kontaminan. Terjadinya kenaikan nilai efisiensi removal disebabkan karena terjadinya penurunan konsentrasi logam berat Zn yang telah terserap oleh tanaman. Tanaman *Hydrilla verticillata* dapat menyerap logam berat dengan baik pada semua bagian tanaman. Tanaman *Hydrilla verticillata* ini juga mampu menyerap logam hanya pada batang dan daun tanaman saja. Hal ini disebabkan karena tanaman Hydrilla ini merupakan tanaman tenggelam dalam air sehingga semua tubuh tanaman mampu menyerap logam berat (Lucyan, 2021).

Hydrilla verticillata dapat mentoleransi keberadaan logam berat dengan menghasilkan senyawa pengikat logam dengan menyimpannya pada bagian yang tidak sensitif. *Hydrilla verticillata* dapat menyerap konsentrasi logam berat yang tinggi pada bagian akar, batang, daun ataupun tunas. Bagian batang dan daun Hydrilla dapat menyerap lebih besar dan baik dari pada bagian akar tanaman karena luas permukaan dinding selnya lebih besar (Novi dkk., 2019).

4.6 Analisis Perbedaan Variasi Jumlah Tanaman Terhadap Kemampuan Tanaman Dalam Menurunkan Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn)

Data hasil penelitian yang telah diperoleh, selanjutnya akan dilakukan uji statistik *One Way Anova* dengan menggunakan SPSS. Sebelum dilakukan uji, Anova, harus terlebih dahulu dilakukan normalitas dan uji homogenitas sebagai salah satu syarat untuk pengujian *One Way Anova*. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan uji Normalitas Shapiro Wilk.

4.6.1 Uji Normalitas Shapiro Wilk

Uji normalitas ini digunakan dengan tujuan untuk mengetahui apakah data yang digunakan berdistribusi normal atau tidak. Uji Shapiro Wilk digunakan karena metode uji ini merupakan metode uji yang efektif dan valid digunakan pada jumlah sampel yang berjumlah kurang dari 50 sampel (Quraisy, 2020). karena Berikut adalah pedoman pengambilan keputusan pada uji normalitas menurut Raharjo (2018):

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

Tabel 4. 8 Uji Normalitas Kadar Zn

		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig
Hasil Uji Zn	Kontrol	.971	4	.850
	10 Tanaman	.997	4	.989
	10 Tanaman (duplo)	.995	4	.983
	20 Tanaman	.991	4	.964
	20 Tanaman (duplo)	.990	4	.957

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Dari hasil output diatas, hasil uji normalitas menunjukkan nilai signifikansi dari semua variabel adalah $> 0,05$. Maka dapat disimpulkan bahwa data yang digunakan telah berdistribusi normal dan bisa dilanjutkan pada pengujian homogenitas yang dimana sebagai salah satu syarat dalam uji anova. Dapat dilakukannya uji anova apabila sampel bersifat homogen.

4.6.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas merupakan tahap selanjutnya sebelum dilakukan Uji One Anova. Uji ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui data tersebut bersifat homogen atau tidak. Berikut adalah pedoman pengambilan keputusan pada uji homogenitas menurut Raharjo (2018):

1. Jika nilai signifikansi $> 0,05$ maka data bersifat homogen
2. Jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka data bersifat tidak homogen

Tabel 4. 9 Uji Homogenitas Kadar Zn
Test of Homogeneity of Variaces

Hasil Uji Zn

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.672	4	15	.073

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Dari hasil output diatas, hasil uji homogenitas menunjukkan nilai signifikasi dari semua variabel sebesar 0,073 yang artinya lebih besar dari $> 0,05$ maka data tersebut telah homogen. Setelah dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas hasil yang didapatkan berdistribusi normal dan bersifat homogen, maka selanjutnya dapat dilakukan uji *One Way Anova*.

4.6.3 Uji One Way Anova

Uji *One Way Annova* merupakan uji statistik parametrik yang digunakan dengan tujuan untuk mengetahui suatu sampel terdapat perbedaan rata-rata antara satu atau lebih dari dua grup sampel. Digunakannya uji *One Way Anova* karena variabel pada pengujian ini hanya terdiri dari 1 variabel bebas dan 1 variabel terikat (Farobi, 2019). Berikut adalah pedoman pengambilan keputusan pada uji *One Way Anova* menurut Raharjo (2018):

1. Jika nilai signifikasi $> 0,05$ maka tidak terdapat perbedaan signifikasi atau H_0 diterima
2. Jika nilai signifikasi $< 0,05$ maka terdapat perbedaan signifikasi atau H_1 diterima

Tabel 4. 10 Uji One Way Anova Kadar Zn

ANNOVA

Hasil Uji Zn

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	40088.200	4	10022.050	1.268	.326
Within Groups	118534.000	15	7902.267		
Total	158622.200	19			

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Berdasarkan hasil output diatas, dapat disimpulkan bahwa didapatkan nilai signifikansi sebesar $0,326 > 0,05$ yang artinya H_0 diterima atau tidak terdapat perbedaan secara signifikan pada pemberian variasi jumlah tanaman *Hydrilla verticillata* dalam meremoval kadar Zn. Hal ini disebabkan karena pada penelitian ini hanya menggunakan 2 variasi tanaman dan dalam waktu hanya 12 hari. Tidak terdapat perbedaan secara signifikan dalam meremoval kadar Zn dikarenakan pemberian variasi jumlah tanaman yang sedikit dan juga waktu kontak yang kurang lama, sehingga jumlah data yang didapatkan pun juga sedikit (Hibatullah, 2019). Dibuktikan dengan hasil penelitian, hasil akhir menunjukkan bahwa penurunan pada reaktor B sebesar 0,81 mg/L, pada reaktor C sebesar 0,83 mg/L, pada reaktor D mengalami penurunan sebesar 0,43 mg/L, dan pada reaktor E menurun hingga 0,46 mg/L. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa data yang diperoleh pada penelitian tidak terdapat perbedaan.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sari (2020) menunjukkan hasil uji *One Way Anova* didapatkan nilai Sig. sebesar $0,309 > 0,05$ yang artinya tidak terdapat perbedaan secara signifikan pada penggunaan variasi jumlah tanaman yang digunakan dalam penelitian tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan morfologi *Hydrilla verticillata* selama proses fitoremediasi terjadi batang dan daun tanaman. Batang tanaman *Hydrilla verticillata* mengalami perubahan warna menjadi kekuningan dan muncul bercak hitam dan muncul tunas baru. Daun tanaman *Hydrilla verticillata* berubah mejadi kekuningan dan rontok.
2. Berdasarkan hasil uji statistik *One Way Anova* pada penelitian ini dihasilkam nilai signifikasi $0,326 > 0,05$ yang artinya H_0 diterima atau tidak terdapat perbedaan secara signifikan pada variasi jumlah tanaman *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan logam berat Seng (Zn).
3. Dari hasil analisis data yang telah dilakukan, nilai efisiensi removal logam berat Zn oleh Tanaman *Hydrilla verticillata* didapatkan hasil pada reaktor B sebesar 72,45%, pada reaktor C sebesar 71,77%, pada reaktor D memiliki nilai efisiensi terbesar yaitu 85,37%, dan pada reaktor E sebesar 84,35%.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian selanjutnya, adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi jumlah tanaman dan variasi lama waktu tinggal agar data yang didapatkan lebih bervariasi dan lengkap.
2. Perlu dilakukannya sistem fitoremediasi lainnya seperti sistem *kontinu* agar dapat digunakan secara berkelanjutan.
3. Perlu dilakukannya analisis kemampuan tanaman *Hydrilla verticillata* dalam meremoval logam berat kadmium, kromium, tembaga, timbal dan logam-logam lainnya yang memiliki konsentrasi tinggi pada perairan.

DAFTAR PUSTAKA

- A'yuningsih, D. (2017). Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Perubahan Struktur Anatomi Daun. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Biologi*, 103–110.
- Adi, H. P., Razif, M., & Moesriati, A. (2016). Perancangan Ulang Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Anaerobic Baffled Reactor dan Anaerobic Filter. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- Ahmad, Ibrahim, G., Sulaiman, M., *et al.* (2018). Phytoremediation: A Preeminent Alternative Method for Bioremoval of Heavy Metals from Environment. *Journal of Advanced Research in Applied*. 10(1), 59–71.
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., dkk. (2020). Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), 1–33. <https://doi.org/10.3390/su12051927>
- Amri, I., Febri Awalsya, & Irdoni. (2020). Pengolahan limbah cair industri pelapisan logam dengan proses elektrokoagulasi secara kontinyu. *Chempublish Journal*, 5(1), 15–26. <https://doi.org/10.22437/chp.v5i1.7650>
- Andhani, R., & Husaini. (2017). Logam Berat Sekitar Manusia. *Universitas Lambung Mangkurat*.
- Aulia, M. (2020). Fitoremediasi Logam Berat Pb Dan Fe Pada Limbah Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Menggunakan Hydrilla Verticillata Dari Danau Ranu Grati Pasuruan (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Azni P, A, S., Djaenudin., dkk. (2014). Pengaruh Logam Tembaga dalam Penyisihan Logam Nikel dari Larutannya menggunakan Metode Elektrodeposisi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 2(2), 1–11.
- Baroroh, F., Handayanto, E., Irawanto, R., dkk. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia Molesta* Dan *Pistia Stratiotes* Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman Brassica Rapa. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 2549–9793.

- Barsan, N., Nedeff, V., Temea, A., dkk. (2017). A Perspective For Poor Wastewater Infrastructure Regions: A Small-Scale Sequencing Batch Reactor Treatment System. *Chemistry Journal of Moldova*, 12(1), 61–66.
- Caroline, J., & Moa, G. A. (2015). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) (*Echinodorus Palaefolius*) Pada Industri Peleburan Tembaga Dan Kuningan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 10(3), 733–744.
- Damara, A. (2021). Kombinasi Fitoremediasi Tumbuhan *Echinodorus Palaefolius* Dan Filtrasi Arang Aktif Dalam Pengolahan Limbah Binatu. *Skripsi*.
- Falah, M. F. (2021). Pengaruh *Trichoderma sp* terhadap pertumbuhan tanaman akuatik *Hydrilla verticillata* dan *Bacopa monnieri*. Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. *Skripsi*.
- Farobi, W. A. (2019). Fitoremediasi Oleh *Hydrilla Verticillata (L.F) Royle* Danau Ranu Grati Pasuruan Dengan Variasi Konsentrasi Logam Timbal (Pb). *Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*. *Skripsi*.
- Fatikasari, R. N., & Tarzan, P. (2022). Efektivitas *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 263–272.
- Fernando, M. (2015). Penggunaan Air Limbah Industri. *Industrial Water Reuse*, December, 1–9.
- Fuad, M. T., Aunurohim, & NurHidayati, T. (2013). Efektivitas Kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam Remediasi Logam Cu pada Limbah Elektroplating. *Jurnal Sains Dan Seni POMITS*, 2(1), 240–246.
- Handoko, P., & Fajariyanti, Y. (2013). Pengaruh Spektrum Cahaya Tampak Terhadap Laju Fotosintesis Tanaman Air *Hydrilla Verticillata*. *Prosiding Seminar Nasional X Pendidikan Biologi FKIP UNS*, 10(2), 1–9.
- Hapsari, S., Badrus, Z., dkk. (2016). Kemampuan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*) Dalam Menyisihkan Kromium Total (Cr-T) Dan COD Limbah Elektroplating. *Jurnal teknik lingkungan*, 5(4).
- Hardiani, H., Kardiansyah, T., & Sugesty, S. (2016). Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Dalam Tanah Terkontaminasi Limbah *Sludge* Industri Kertas. *Jurnal Selulosa*, 1(01). <https://doi.org/10.25269/jsel.v1i01.18>

- Hassan, N. A., A. & Al-Obiadi, A. H. M. (2016). Phytoremediation of Lead by *Hydrilla verticellata* Lab Work. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(6), 271–278.
- Hasyim, N. A. (2016). Potensi Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dalam Mereduksi Logam Berat Seng (Zn) dari Perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo. *Skripsi*, 1–87.
- Heru Setiawan. (2014). Pencemaran Logam Berat Di Perairan Pesisir Kota Makassar Dan Upaya Penanggulangannya. *Info Teknis EBONI*, 11(1), 1–13.
- HS, M, R, A. (2019). Fitoremediasi Oleh Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla Verticillata* (L.F.) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan Dengan Variasi Konsentrasi Logam Tembaga (Cu). *Skripsi*.
- Hibatullah, H. F. (2019). Fitoremediasi Limbah Domestik (Grey Water) Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) Dengan Sistem Batch. *NASPA Journal*, 42(4), 1.
- Irawanto, R., & Mangkoedihardjo, S. (2015). Fitoforensik Logam Berat (Pb Dan Cd) Pada Tumbuhan Akuatik (*Acanthus Ilicifolius* Dan *Coix Lacryma-Jobi*). *Jurnal Purifikasi*, 15(1), 53–66.
- Irhamni., Pandia. S., dkk., (2019). Penyerapan Logam Berat Oleh Tumbuhan Fitoremediasi Pada Konsentrasi Berbeda. *Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu “Inovasi Produk Penelitian Pengabdian Masyarakat & Tantangan Era Revolusi 4.0 Industri”*, 2 (10).
- Jayantiningrum, V. D. (2017). Pemanfaatan Limbah Tahu Sebagai Media Adsorben Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Limbah Elektroplating. *Skripsi*.
- Kasman, M., Anggrika. R., dkk. (2019). Fitoremediasi Logam Aluminium (Al) Pada Lumpur Instalasi Pengolahan Air Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*). *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(1), 7. <https://doi.org/10.33087/daurling.v2i1.17>
- Kaufman, J. L. G., Verena, U. L., & Emma, N. I. W. (2014). Hydrilla Integrated Management. *The University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS)*.
- Kementerian Agama RI. (2016). Al-Qur’an dan Terjemah. Jogjakarta: Cipta Bagus Segara.

- Khaliq, A. (2016). Analisis Sistem Pengolahan Air Limbah Pada Kelurahan Kelayan Luar Kawasan IPAL Pekapuran Raya PD PAL Kota Banjarmasin. *Jurnal Poros Teknik*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16937>
- Kurniawati, L., Serang, O., dkk (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Logam Kromium Dengan Menggunakan Tanaman Air *Sagittaria lancifolia* Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Kangkung. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 739.
- Lestari, Y. P., & Aminatun, T. (2018). Efektivitas Variasi Biomassa Tanaman *Hydrilla Verticillata* Dalam Fitoremediasi Limbah Batik. *Jurnal Prodi Biologi*, 4, 233–241.
- Lidiana, R., Dedi, S., & Sulistiya, N. (2022). Kemampuan Tanaman Genjer (*Limncharis Flava*) Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal Pada Air Limbah Artifisial. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 8 (1).
- Lucyan, A. (2021). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan NaOH Dan Fitoremediasi *Hydrilla verticillata* Untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) Dan Nikel (Ni). *Tesis*, 1–109.
- Meirina, M, A. (2018). Efektivitas Fitoremediasi Tanaman Teratai (*Nymphaea Sp.*) Dan Hidrilla (*Hydrilla Verticillata*) Terhadap Penurunan Kadar BOD Pada Limbah Cair Pabrik Tahu. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Muhammadiyah Semarang. <http://repository.unimus.ac.id>.
- Nainggolan, R., Pratama, A. L., Lopang, I., & Kusumawati, E. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Menggunakan Tanah Gambut Dan Tanaman Air Domestic Wastewater Treatment Using Peat Soil and Water Plants. 183–189.
- Najamuddin (2016). Distribusi dan perilaku Pb dan Zn terlarut dan partikulat di perairan Estuaria Jeneberang Makassar. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 8(1): 11-28.
- Nazar, R. (2014). Penggunaan Tanaman *Hydrilla (Hydrilla verticillata)* Pada Proses Bioremediasi Dalam Budidaya Ikan Mas (*Cyprinus carpio, L.*). *Skripsi*.
- Ni'ma, N., Widyorini, N., & Ruswahyuni. (2014). Kemampuan Apu-Apu (*Pistia Sp.*) Sebagai Bioremediator Limbah Pabrik Pengolahan Hasil Perikanan (Skala Laboratorium). 3, 8.

- Ni'mah, L., Anshari, M. A., & Saputra, H. A. (2019). Pengaruh variasi massa dan lama kontak fitoremediasi tumbuhan parupuk (*Phragmites karka*) terhadap derajat keasaman (pH) dan penurunan kadar merkuri pada perairan bekas penambangan intan dan emas kabupaten Banjar. *Konversi*, 8(1), 55–62. <https://doi.org/10.24853/konversi.8.1.8>
- Ningsih I. S., Wahyu, L., & Yelmida, A. (2014). Fitoremediasi Zn Dari Limbah Cair Pabrik Pengolahan Karet Dengan Pemanfaatan *Pistia Stratiotes L.* *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Novi, C., Sartika, S., & Shobah, A. N. (2019). Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan *Hydrilla sp.* Pada Limbah Industri Kertas. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 108–114. <https://doi.org/10.15408/jkv.v5i1.8814>
- Nur, R. N. F., & Purnomo, T. (2022). Efektivitas *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 263–272.
- Nurfitriana, F. (2019). Fitoremediasi air tercemar timbal (pb) menggunakan tanaman apu-apu. *Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Skripsi.*
- Nurhasni, N., Salimin, Z., & Nurfitriyani, I. (2013). Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Dengan Proses Koagulasi Flokulasi. *Jurnal Kimia VALENSI*. 3(1), 41–48. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i1.328>
- Nurlina., Sri, S., & Muh, R, U. (2016). Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kiapu *Pistia stratiotes L.* dari Air Sumur Sekitar Workshop Unhas. *Seminar Nasional from Basic Science to Comprehensive Education*, 151–155.
- Nurmalinda, Yuliansyah, A. T., & Prasetya, A. (2018). Aklimatisasi Tanaman Lemna Minor Dan Azolla Microphylla Terhadap Lindi Tpa Piyungan Pada Tahap Awal Fitoremediasi. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir, ISSN 0216-*, 313–319.
- Nurullah, L., Joni, A, F., & Andik, Y. (2018). Analisis Removal Logam Berat Dengan Metode Floating Wetland Menggunakan Tanaman Kolonjono (*Brachiaria Mutica*) Dan Bakteri Pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta, PT.KAI. 1–14.

- Phukan, P., Phukan, R., & Phukan, S. N. (2015). Heavy Metal Uptake Capacity of Hydrilla Verticillata : A commonly available Aquatic Plant. *International Research Journal of Environment Sciences*, 4(3), 35–40.
- Prasetyo, R. A. (2021). Review Jurnal Teknologi Fitoremediasi Untuk Pemulihan Lahan Tercemar Minyak. *PETRO : Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 10(2), 53–59.
- Prastiwi, A. D., & Kuntjoro, S. (2022). Analisis Kadar Logam Berat Tembaga (Cu) pada Kangkung Air (*Ipomea aquatica*) di Sungai Prambon Sidoarjo. *II*(3), 405–413.
- Pratiwi, Y., Sunarsih, S., & Dewi, K. P. (2019). Pengolahan Limbah Cair Industri Elektroplating Dengan Fitoremediasi Menggunakan *Azolla Microphylla*. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 54–62.
- Purnama, M. S., Kusumawati, E., & Susanto, D. (2018). Fitoremediasi Menggunakan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Dalam Kolam Bekas Tambang Batubara Terhadap Penyerapan Logam Mangan (Mn) Dan Kadmium (Cd). *Bioprospek*, 13(1), 33–39. <https://fmipa.unmul.ac.id/jurnal/index/Bioprospek>
- Purwanti, E., Fatmawati, D., & Hardian, F. (2015). Penggunaan *Pistia Stratiotes* Dan *Hydrilla verticillata* sebagai fitoremediasi logam tembaga (Cu) pada limbah produksi batik dan pemanfaatannya sebagai sumber belajar biologi. 402–409.
- Putriarti, D., Istatik, M, Nabila, F, R., Mahadewi, P, Z., dkk. (2021). Kemampuan *Hydrilla verticillata* Sebagai Agen Fitoremediasi Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) Detergen. *Prosiding Seminar BIO*, 1025–1035.
- Puspita, I. S., & Mohammad, M. (2021). Fitoremediasi Limbah Laundry Menggunakan Tanaman Mensiang (*Actinoscirpus Grossus*) Dan Lembang (*Thypha Angustifolia* L.). *EnviroUS*, 2(1), 61–66.
- Quraisy, A. (2022). Normalitas Data Menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro-Wilk. *J-HEST Journal of Health Education Economics Science and Technology*, 3(1), 7–11. <https://doi.org/10.36339/jhest.v3i1.42>
- Rahadian, R., Sutrisno, E., & Sumiyati, S. (2017). Efisiensi penurunan COD dan TSS dengan fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* l.) Studi Kasus: Limbah Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), 1–8.

- 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.
- Rahmadani, T., Sabang, S. M., & Said, I. (2015). Analisis Kandungan Logam Zink (Zn) Dan Timbal (Pb) Dalam Air Laut Pesisir Pantai Mamboro Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akademika Kimia*, 4(4), 197–203.
- Raissa, D. G., & Bieby, O. T. (2017). Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu apu (*Pistia stratiotes*). *JURNAL TEKNIK ITS*, 6 (2), 232-236.
- Ridwan, I. R. (2016). Dampak Industri Terhadap Lingkungan Dan Sosial. *Jurnal Geografi Gea*, 7(2). <https://doi.org/10.17509/gea.v7i2.1716>
- Rofifah, K. (2018). Pengolahan Air Limbah Tekstil Menggunakan Tanaman Air dan Bioaugmentasi Bakteri. *Jurnal Purifikasi, Vol 18 No 1*. <https://purifikasi.id/index.php/purifikasi/article/view/368>
- Serang, L. K. O., Eko, H., & Ridesti, R. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Logam Kromium Dengan Menggunakan Sagitaria Lancifolia Dan Pistia Stratiotes Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Kangkung Darat (*Ipomea Reptans*). *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 739-746.
- Sembel, D. T. (2015). Toksikologi Lingkungan. *Universitas Sam Ratulangi Manado*.
- Sidauruk, L., & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi Lahan Tercemar Di Kawasan Industri Medan Dengan Tanaman Hias. *Pertanian Tropik*, 2(2), 178–186.
- Shingadgaon, S. S & B. L. Chavan. (2018). Zinc Uptake Potential in Water Lettuce (*Pistia Stratiotes*, Linn). *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7(4), 1497–1504. <https://doi.org/10.21275/ART20181857>
- Sulistia, S., & Septisya, A. C. (2020). Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 12(1), 41–57.
- Sumiyati, S., Handayani, D. S., & Hartanto, W. (2009). Pemanfaatan Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) untuk menurunkan logam tembaga (Cu) dalam limbah elektroplating studi kasus: industri kerajinan perak kelurahan Citran, Kotagede. *Jurnal Presipitasi*, 6(2), 23-26–26.

- Soheti, P., Sumarlin, L. O., & Marisi, D. P. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *Eksplorium*, 41(2), 139.
- Syafrudin, Z. B., & Widya, C. (2015). Pengaruh Waktu Tinggal Dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*) Terhadap Penurunan Konsentrasi Bod, Cod Dan Warna. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), 1–8.
- Tan, H. W., Pang, Y. L., Lim, S., & Chong, W. C. (2023). A state-of-the-art of phytoremediation approach for sustainable management of heavy metals recovery. *Environmental Technology & Innovation*, 103043.
- Tosepu, R. (2018). Laju Penurunan Logam Berat Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) oleh *Eichornia crassipes* dan *Cyperus papyrus*. *J. Manusia Dan Lingkungan*, 19(1), 37–45.
- Wasito, H., Karyati, E., Vikarosa, C. D., Hafizah, I. N., & Utami, H. R. (2017). Test Strip Pengukur pH dari Bahan Alam yang Diimmobilisasi dalam Kertas Selulosa. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(3), 3–9.
- Yuliani, D. E., Sitorus, S., & Wirawan, T. (2013). Analisis Kemampuan Kiambang (*Salvinia Molesta*) Untuk Menurunkan Konsentrasi Ion Logam Cu (II) Pada Media Tumbuh Air. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 10(2), 68–73. <http://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/JKM/article/view/33/39>
- Zubair, A., & Mahyatun, W, O. (2015). Fitoremediasi Logam Cd Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok Dan Kayu Apu Dengan Aliran Kontinyu. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 1–12.
- Zulkoni, A., Rahyuni, D., & Nasirudin, N. (2018). Pemangkasan Akar Dan Inokulasi Jma Sebagai Upaya Peningkatan Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri Akibat Penambangan Emas Oleh Tanaman Jati Di Kokap Kulon Progo Yogyakarta. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 24(1).