

**FITOREMEDIASI MEMANFAATKAN TANAMAN COONTAIL  
(*Ceratophyllum demersum*) UNTUK MENURUNKAN KADAR  
KADMIUM (Cd) DAN TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN  
SISTEM BATCH**

**TUGAS AKHIR**

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



Disusun Oleh

**ACHMAD SULAIMAN**

**NIM. H75219017**

Dosen Pembimbing

**Widya Nilandita, M.KL**

**Dedy Suprayogi, S.KM. M.KL**

**PRODI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA  
2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Achmad Sulaiman  
Nim : H75219017  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul **“FITOREMEDIASI MEMANFAATKAN TANAMAN COONTAIL (*Ceratophyllum demersum*) UNTUK MENURUNKAN KADAR KADMIUM (Cd) DAN TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN SISTEM BATCH”**. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan tindakan plagiat maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan .

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 13 Juli 2023

Yang Menyatakan



**(ACHMAD SULAIMAN)**

NIM. H75219017



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](mailto:saintek@uinsby.ac.id) Website : [www.uinsby.ac.id](http://www.uinsby.ac.id)

---

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING  
SIDANG TUGAS AKHIR**

Nama : Achmad Sulaiman  
NIM : H75219017  
Judul Tugas Akhir : Fitoremediasi Memanfaatkan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) Untuk Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Batch

Telah disetujui untuk pendaftaran Sidang Tugas Akhir

Surabaya, 27 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

**Widya Nilandita, M.KL**  
NIP. 198410072014032002

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

## PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Oleh,

NAMA : Achmad Sulaiman

NIM : H75219017

JUDUL : Fitoremediasi Memanfaatkan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*)

Untuk Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Batch

Telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi

Surabaya, 5 Juli 2023

Mengesahkan,

Dewan Penguji

Penguji I



Widya Nilandita, M.KL  
NIP. 198410072014032002

Penguji II



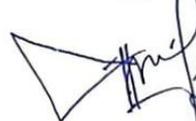
Dedy Suprayogi, M.KL  
NIP. 198512112014031002

Penguji III



Sarita Oktorina, M.Kes  
NIP. 198710052014032003

Penguji IV



Ida Munfarida, M.Si., M.T  
NIP. 198411302015032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Jember  
Surabaya



Supul 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 : ACHMAD SULAIMAN  
NIM : H75219017  
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN  
E-mail address : achmadsulaiman35@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 MEMANFAATKAN TANAMAN COONTAIL (*Ceratophyllum***

**demersum) UNTUK MENURUNKAN KADAR KADMIUM (Cd) DAN TIMBAL (Pb)**

**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

(ACHMAD SULAIMAN)

## **Fitoremediasi Memanfaatkan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) Untuk Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Batch**

### **ABSTRAK**

Air limbah merupakan sisa cairan yang tertinggal setelah dilakukannya suatu usaha atau kegiatan. Maka dari itu perlu adanya pengolahan limbah alternatif yang digunakan untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Fitoremediasi merupakan alternatif pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah limbah yang mengandung logam berat karena pada fitoremediasi ini memanfaatkan tanaman sebagai remediator untuk menyerap logam berat yang ada pada limbah. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghitung efisiensi tanaman Coontail dalam melakukan proses fitoremediasi air limbah yang mengandung Cd dan Pb, dan untuk menganalisis perbedaan efisiensi penurunan berdasarkan variasi jumlah tanaman Coontail yang digunakan dalam proses fitoremediasi air limbah yang mengandung Cd dan Pb. Metode penelitian dengan eksperimental ini menggunakan variasi jumlah tanaman sebanyak 5 dan 10 tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi dengan sistem batch, sedangkan untuk waktu fitoremediasi selama 10 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada masing-masing reaktor memiliki penyerapan yang berbeda-beda yaitu pada reaktor limbah logam Pb dengan 5 tanaman sebesar 81% dan 86,4 dengan hasil rata-rata sebesar 83,7%, sedangkan hasil pada reaktor dengan 10 tanaman sebesar 86,6% dan 87,3% dengan hasil rata-rata sebesar 86,95%. Pada reaktor logam berat Cd dengan 5 tanaman penyerapan yang dihasilkan sebesar 70% dan 75% dengan hasil rata-rata sebesar 72,5%, sedangkan dengan 10 tanaman penyerapan yang dihasilkan sebesar 84% dan 86% dengan hasil rata-rata sebesar 85%. Penyerapan tertinggi terdapat pada reaktor dengan 10 tanaman yang memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 87,3% pada logam Pb dan 86% pada logam Cd. Berdasarkan hasil uji Kruskal Wallis menunjukkan nilai Asymp.sig tidak melebihi 0,05 berarti H0 diterima yang berarti tidak adanya perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap penurunan kadar Pb dan Cd.

**Kata Kunci:** Fitoremediasi, Timbal (Pb), Kadmium (Cd), sistem batch, *Ceratophyllum demersum*

## Phytoremediation Utilizing Coontail Plants (*Ceratophyllum demersum*) To Lower Cadmium (Cd) and Lead (Pb) Levels Using a Batch System

### ABSTRACT

Wastewater is liquid residue resulted from a business or activity is carried out. Therefore it is necessary to have alternative waste treatment to reduce environmental pollution. Phytoremediation is an alternative treatment that can be used to treat waste containing heavy metals because phytoremediation utilizes plants as remediators to absorb heavy metals in waste. This study aimed to determine the Coontail plant's absorption efficiency in carrying out the phytoremediation process of wastewater containing cadmium (Cd) and lead (Pb), and to analyze differences in reduction efficiency based on variations in the number of Coontail plants used in the phytoremediation process of wastewater containing Cd and Pb. This experimental research method uses variations in the number of plants, such as 5 and 10 plants used in phytoremediation with a batch system, while the phytoremediation time is ten days. The results of this study indicate that each reactor has different absorption, namely in the waste metal Pb reactor with five plants of 81% and 86,4% with an average yield of 83,7%, while the result in the reactor with ten plants of 86,6% and 87,3% with an average gain of 86,95%. In the Cd heavy metal reactor with five plants, the resulting absorption was 70% and 75% with an average yield of 72,5%, while with ten plants, the resulting absorption was 84% and 86% with an average gain of 85%. The highest absorption was found in a reactor with ten plants, with the highest efficiency of 87,3% for Pb metal and 86% for Cd metal. Based on the results of the Kruskal Wallis test, the Asymp.sig value did not exceed 0,05, meaning that H0 was accepted, which meant that there was no difference in the variation in the number of plants in reducing Pb and Cd levels.

**Keywords:** *Ceratophyllum demersum*, phytoremediation, Lead (Pb), Cadmium (Cd), batch system

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR ISI

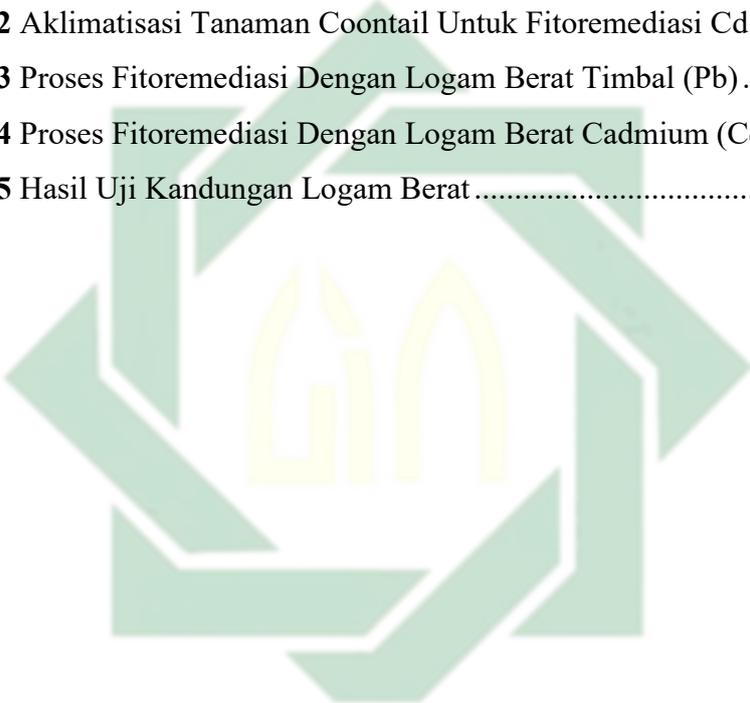
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR RUMUS</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Pencemaran Air.....	5
2.2. Air Limbah.....	5
2.3. Baku Mutu Air Limbah.....	6
2.4. Logam Berat.....	6
2.5. Tanaman Coontail ( <i>Ceratophyllum demersum</i> ).....	8
2.6. Fitoremediasi.....	9
2.7. Mekanisme Fitoremediasi.....	11
2.8. Sistem Batch.....	17
2.9. Nilai Efisiensi.....	18
2.10. Proses Aklimatisasi.....	18
2.11. Integrasi Keislaman.....	19
2.12. Penelitian Terdahulu.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
3.1. Rancangan Penelitian.....	29
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.4. Variabel Penelitian.....	31
3.5. Prosedur Penelitian.....	32
3.6. Kerangka Penelitian.....	35
3.7. Rancangan Percobaan.....	35

3.8. Analisis Data .....	38
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Karakteristik Tanaman .....	41
4.2 Aklimatisasi .....	41
4.3 Hasil dan Pembahasan Fitoremediasi .....	46
4.3.1 Fitoremediasi Tanaman Coontail ( <i>Ceratophyllum demersum</i> ) .....	46
4.3.2 Efisiensi Removal Tanaman Coontail dalam mengurangi Pb .....	61
4.3.3 Efisiensi Removal Tanaman Coontail dalam mengurangi Cd .....	67
4.3.4 Analisa Perbedaan Variasi Jumlah Tanaman terhadap Kemampuan Tanaman Coontail dalam mengurangi konsentrasi Kadmium (Cd) .....	73
4.3.5 Analisa Perbedaan Variasi Jumlah Tanaman terhadap Kemampuan Tanaman Coontail dalam mengurangi konsentrasi Timbal (Pb) .....	75
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>79</b>
5.1 Kesimpulan .....	79
5.2 Saran .....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>80</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>84</b>

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya .....	6
<b>Tabel 2. 2</b> Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi .....	10
<b>Tabel 2. 3</b> Penelitian Terdahulu .....	22
<b>Tabel 3. 1</b> Rancangan Percobaan Limbah Cd.....	36
<b>Tabel 3. 2</b> Rancangan Percobaan Limbah Pb .....	37
<b>Tabel 4. 1</b> Aklimatisasi Tanaman Coontail Untuk Fitoremediasi Pb.....	42
<b>Tabel 4. 2</b> Aklimatisasi Tanaman Coontail Untuk Fitoremediasi Cd .....	44
<b>Tabel 4. 3</b> Proses Fitoremediasi Dengan Logam Berat Timbal (Pb) .....	47
<b>Tabel 4. 4</b> Proses Fitoremediasi Dengan Logam Berat Cadmium (Cd) .....	53
<b>Tabel 4. 5</b> Hasil Uji Kandungan Logam Berat .....	60



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Tanaman Coontail .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Mekanisme Fitoremediasi .....	11
<b>Gambar 2. 3</b> Fitoekstraksi .....	12
<b>Gambar 2. 4</b> Xilem .....	13
<b>Gambar 2. 5</b> Unsur-unsur xilem .....	14
<b>Gambar 2. 6</b> Rhizofiltrasi .....	15
<b>Gambar 2. 7</b> Fitodegradasi .....	15
<b>Gambar 2. 8</b> Fitostabilisasi .....	16
<b>Gambar 2. 9</b> Fitovolitalisasi .....	17
<b>Gambar 2. 10</b> Sistem Batch .....	17
<b>Gambar 3. 1</b> Logam Cadmium .....	30
<b>Gambar 3. 2</b> Logam Timbal .....	31
<b>Gambar 3. 3</b> Prosedur Penelitian .....	32
<b>Gambar 3. 4</b> Kerangka Penelitian .....	35
<b>Gambar 4. 1</b> Pengukuran Tanaman.....	41
<b>Gambar 4. 2</b> Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor A .....	62
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor B.....	63
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor C .....	64
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor D .....	65
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor E .....	66
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor A .....	68
<b>Gambar 4. 8</b> Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor B .....	69
<b>Gambar 4. 9</b> Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor C .....	70
<b>Gambar 4. 10</b> Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor D .....	71
<b>Gambar 4. 11</b> Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor E .....	72
<b>Gambar 4. 12</b> Hasil Uji Normalitas Data Penurunan Konsentrasi Cd .....	73
<b>Gambar 4. 13</b> Hasil Uji Homogen Data Penurunan Konsentrasi Cd .....	74
<b>Gambar 4. 14</b> Hasil Uji Kruskal Wallis Data Penurunan Konsentrasi Cd .....	74
<b>Gambar 4. 15</b> Hasil Uji Normalitas Data Penurunan Konsentrasi Pb .....	76
<b>Gambar 4. 16</b> Hasil Uji Homogen Data Penurunan Konsentrasi Pb .....	76

**Gambar 4. 17** Hasil Uji Kruskal Wallis Data Penurunan Konsentrasi Pb ..... 77



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR RUMUS

<b>Rumus 2. 1</b> Efisiensi Penurunan .....	18
---	----



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan industri di Indonesia menjadi salah satu penyebab meningkatnya masalah lingkungan akibat limbah industri, hal ini menyebabkan peningkatan pencemaran lingkungan akibat meningkatnya produksi limbah (Ajeng & Wesen, 2013). Limbah industri yang tidak diolah berpotensi merusak ekosistem setempat dan berdampak negatif terhadap pencemaran lingkungan. Dengan pesatnya peningkatan kegiatan industri seperti kegiatan pertambangan, industri kertas, fasilitas pelapisan logam, industri pupuk, difusi logam berat ke lingkungan terus meningkat (Dogan dkk., 2018).

Limbah dalam bentuk padat, cair, dan gas dihasilkan oleh industri. Biaya yang relatif tinggi dan kurangnya keahlian dalam mengolah limbah yang mengandung logam berat menyebabkan hanya sebagian kecil limbah industri yang mengandung logam berat yang saat ini diolah. Maka dari itu perlu adanya pengolahan limbah alternatif untuk menghilangkan logam berat yang ada pada limbah supaya tidak mencemari lingkungan. Sebagai manusia hendaknya kita menjaga lingkungan sekitar kita supaya tidak tercemar. Hal tersebut diatur dalam firman Allah SWT pada Q.S Al-Baqarah ayat 30 yang berbunyi:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلٰئِكَةِ اِنِّيْ جَاعِلٌ فِى الْاَرْضِ خَلِيْفَةً قَالُوْۤا اَتَجْعَلُ فِيْهَا مَنْ يُفْسِدُ  
فِيْهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَآءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ اِنِّيْۤ اَعْلَمُ مَا لَا  
تَعْلَمُوْنَ

Artinya: Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat: "Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi". Mereka berkata: "Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan

Engkau?" Tuhan berfirman: "Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui".

Baku mutu dari limbah yang dihasilkan oleh industri telah ditentukan pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Setiap pelaku usaha/atau industri wajib mengolah limbah sebelum dibuang ke badan air supaya tidak mencemari lingkungan sekitar. Jika kadar bahan kimia dalam limbah melebihi baku mutu yang ditentukan, maka dapat mencemari lingkungan dan berdampak negatif bagi makhluk hidup.

Untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah dapat dilakukan dengan menggunakan metode fitoremediasi. Teknik fitoremediasi adalah cabang dari bioremediasi yang menggunakan aplikasi tanaman untuk remediasi air limbah. Ini memanfaatkan potensi akar tanaman untuk menyerap nutrisi dari air limbah. Spesies tanaman yang dipilih untuk fitoremediasi memiliki kemampuan untuk mengakumulasi polutan yang spesifik atau luas (Mustafa & Hayder, 2021).

Fitoremediasi adalah metode yang dapat digunakan untuk membersihkan/mengangkut polutan dengan menggunakan tanaman yang memiliki kemampuan sangat tinggi untuk mengangkut berbagai polutan yang ada. Melalui membran selnya, tanaman dapat mengambil ion dari lingkungannya (Ghassani & Titah, 2022).

Tanaman yang dapat digunakan untuk proses fitoremediasi salah satunya adalah tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*). Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) merupakan tanaman yang mampu menyerap nitrat, amoniak serta tanaman Coontail sangat menjanjikan sebagai tanaman fitoremediasi karena tumbuh dengan cepat dan dapat memfiksasi nitrogen untuk memungkinkan produksi berbagai macam metabolit sekunder (Lupitasari & Kusumaningtyas, 2020).

Hal yang mendasari pemilihan tanaman coontail ini karena tanaman ini mampu mengurangi logam dari air, menghasilkan konsentrasi internal beberapa kali lebih besar dari lingkungannya dan menunjukkan kapasitas akumulasi logam yang jauh lebih tinggi. Selain itu pada penelitian terdahulu

tanaman ini mampu menjadi akumulator yang baik untuk logam berat dengan hasil uji laboratorium yang menunjukkan kapasitas tinggi pada logam Cd, Ni, dan Pb (Polechońska dkk, 2018).

Berdasarkan latar belakang diatas yang menjelaskan mengenai tanaman Coontail yang mampu menurunkan kadar logam berat maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai tanaman Coontail yang digunakan untuk fitoremediasi tersebut apakah dipengaruhi oleh jumlah tanaman Coontail dalam menurunkan kadar logam berat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi tanaman Coontail dalam melakukan proses fitoremediasi air limbah yang mengandung Cd dan Pb ?
2. Bagaimana perbedaan variasi jumlah tanaman Coontail yang digunakan dalam melakukan proses fitoremediasi air limbah yang mengandung Cd dan Pb?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menghitung efisiensi tanaman Coontail dalam melakukan proses fitoremediasi air limbah yang mengandung Cd dan Pb.
2. Untuk menganalisis perbedaan efisiensi penurunan berdasarkan variasi jumlah tanaman Coontail yang digunakan dalam proses fitoremediasi air limbah yang mengandung Cd dan Pb.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjelaskan bagaimana tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair industri secara sederhana
2. Memberikan informasi mengenai kemampuan tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) dalam menurunkan Cd dan Pb.

3. Menambah pemahaman dengan menerapkan metode pengolahan air limbah yang baru dan ramah lingkungan.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah logam berat cadmium (Cd) dan timbal (Pb) masing-masing dengan konsentrasi 10 mg/L.
2. Tanaman fitoremediator yang digunakan yaitu tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*).
3. Penelitian ini dilakukan selama 17 hari termasuk proses aklimatisasi tanaman.
4. Penelitian ini menggunakan reaktor batch dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 20 cm.
5. Reaktor A merupakan kontrol logam Pb atau Cd
6. Reaktor B berisi 5 tanaman dengan logam Pb atau Cd
7. Reaktor C berisi 5 tanaman dengan logam Pb atau Cd
8. Reaktor D berisi 10 tanaman dengan logam Pb atau Cd
9. Reaktor E berisi 10 tanaman dengan logam Pb atau Cd
10. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimental skala laboratorium
11. Pengambilan sampel limbah dilakukan 4 kali pada hari ke-0, 3, 6, dan 9
12. Setiap hari selama 10 hari dilakukan pengamatan fisik tanaman
13. Mengabaikan pengaruh faktor eksternal lainnya dan hanya memperhatikan faktor pH dan suhu air dalam reaktor.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pencemaran Air**

Pencemaran air didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya organisme, zat, energi, atau komponen lain ke dalam air melalui kegiatan manusia sehingga melebihi baku mutu air yang ditetapkan, sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Ardhana (1994) mendefinisikan pencemaran air adalah pencemaran limbah yang berubah menjadi anaerobik, mengakibatkan air sungai menjadi busuk dan tidak lagi sehat bagi mikroorganisme flora dan fauna perairan, sehingga lingkungan menjadi rusak dan tidak lagi memadai untuk mendukung kebutuhan kita.

Pencemaran air adalah salah satu dari beberapa kategori luas yang dapat digunakan untuk menggambarkan masalah pencemaran air. Manusia bergantung pada air untuk bertahan hidup, namun perlakuan buruk mereka terhadap sumber daya vital ini mengancamnya untuk generasi mendatang. Manusia mengonsumsi air dalam jumlah besar untuk berbagai aktivitas, yang dapat dengan cepat meningkatkan polusi air. Jika limbah masuk ke sistem air, itu bisa sama merusaknya. Pencemaran air memiliki efek yang merugikan baik bagi makhluk hidup maupun struktur air, terutama bila pencemaran tersebut tidak terkandung dalam parameter peruntukan air.

#### **2.2. Air Limbah**

Air limbah adalah sisa cairan yang tertinggal setelah dilakukannya suatu usaha atau kegiatan, sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Sebelum dibuang ke danau, sungai, atau lautan, air limbah harus terlebih dahulu diolah dengan benar. Ada beberapa macam jenis air limbah berdasarkan dari sumbernya yaitu air limbah domestik, dan air limbah industri. Air limbah domestik merupakan sisa dari suatu kegiatan yang ada

didalam rumah tangga. Sedangkan air limbah industri merupakan sisa dari kegiatan atau usaha dari kegiatan industri.

### 2.3. Baku Mutu Air Limbah

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang “Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup,” pengertian baku mutu air limbah adalah pengukuran batas atau kandungan unsur pencemar dan/atau banyaknya unsur pencemar yang dapat ditoleransi dalam air limbah untuk pembuangan atau pelepasan ke media air. Definisi ini didasarkan pada kenyataan bahwa batas atau kandungan unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang dapat ditoleransi dalam air limbah untuk dibuang atau dilepaskan ke perairan. Dalam peraturan tersebut juga terdapat baku mutu air limbah yang mengandung logam berat Cd dan Pb sebagai berikut:

**Tabel 2. 1** Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
Cadmium (Cd)	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Timbal (Pb)	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5

(Sumber: Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup)

### 2.4. Logam Berat

Logam berat adalah unsur alami yang dapat ditemukan di seluruh kerak bumi. Logam berat dibedakan dari unsur-unsur lain dengan massa dan kerapatan atomnya yang sangat tinggi, sering ditemukan dalam konsentrasi yang relatif rendah. Namun, ketika logam-logam ini dalam kondisi tidak bebas, mereka dapat terikat dengan nutrisi anorganik dan organik dan lainnya. Hal ini mencegah mereka mencemari lingkungan (Dzakwan & Ni'am, 2021).

Logam berat adalah sekumpulan senyawa anorganik beracun (Ni) yang tidak terdefinisi. Unsur timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu), merkuri (Hg), arsenik (As), kromium (Cr), nikel (Ni), dan seng (Zn) merupakan logam

berat yang paling banyak ditemukan di lingkungan polutan. Logam berat merupakan logam yang memiliki berat 5 gram atau lebih untuk setiap  $\text{cm}^3$ , sedangkan untuk logam yang beratnya kurang dari 5 gram maka disebut logam ringan (Husaini, 2017).

### **2.5.1 Logam Berat Kadmium (Cd)**

Logam berat kadmium (Cd) adalah logam berat alami yang dapat ditemukan di kerak bumi. Kadmium berat (Cd) dalam bentuknya yang paling murni adalah logam lunak berwarna putih, tetapi bentuk ini tidak umum ditemukan di lingkungan. Sebagian besar kadmium diproduksi sebagai produk sampingan di pengecoran sedangkan seng, timah, atau tembaga. Penggunaan kadmium tersebar luas di berbagai industri, terutama dalam produksi pelapisan baterai, logam, plastik, dan pigmen (Sudarmaji, J. Mukono, 2006).

Logam kadmium memiliki karakteristik berwarna putih keperakan, lunak, mengkilap, mudah bereaksi, dan tidak larut dalam basa. Kadmium bernomor atom 48 dan termasuk dalam golongan 12 atau IIB dalam tabel periodik, berat atom 112,4, titik didih  $767^\circ\text{C}$ , titik leleh  $321^\circ\text{C}$ , dan memiliki massa jenis  $8,65 \text{ g/cm}^3$ . Logam ini termasuk dalam golongan 12 dan termasuk dalam kategori logam transisi. Kadmium dapat digunakan untuk industri cat, enamel dan plastik (Husaini, 2017).

### **2.5.2 Logam Berat Timbal (Pb)**

Timbal adalah logam berat beracun non-esensial, dilepaskan ke lingkungan dari pertambangan, industri pengerjaan logam dan insinerator limbah (Abdallah, 2012).

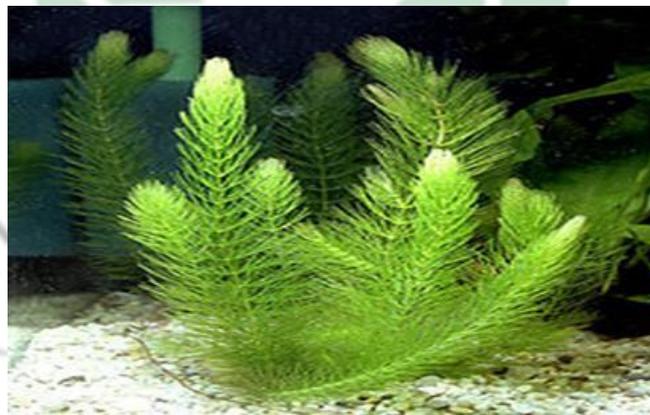
Timbal (Pb) mengacu pada logam berat dengan konsistensi lunak berwarna hitam. Banyak industri menghasilkan produk yang mengandung timbal, seperti cat dan sektor bahan pewarna lainnya, dan banyak industri menggunakan timbal sebagai bahan baku. Salah satu

contoh industri tersebut adalah industri bahan pewarna dan cat (Sudarmaji, J. Mukono, 2006).

Karakteristik logam timbal yaitu memiliki warna coklat kehitaman, serta memiliki sifat lunak serta mudah dimurnikan dari pertambangan. Logam timbal termasuk golongan karbon yang merupakan golongan 14 atau IVA pada tabel periodik serta memiliki titik didih 1.620°C dan titik leleh 327°C serta mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,2. Logam ini mudah dibentuk, mempunyai sifat kimia yang aktif sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam lain supaya terproteksi dari pengkaratan (Husaini, 2017).

## 2.5. Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*)

Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) merupakan tanaman yang mampu menyerap nitrat, amoniak serta memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen sehingga memiliki kapasitas untuk membuat berbagai macam metabolit sekunder. Selain itu, tanaman coontail berkembang sangat cepat sehingga memiliki potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai tanaman fitoremediasi (Lupitasari & Kusumaningtyas, 2020).



**Gambar 2. 1** Tanaman Coontail  
(Sumber: Syed dkk., 2018)

### 2.6.1 Klasifikasi Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*)

Berikut merupakan klasifikasi dari tanaman Coontail menurut (Syed dkk., 2018)

Kingdom : *Plantae*

Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Sub-divisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Dicotyledonae</i>
Ordo	: <i>Nymphaeales</i>
Famili	: <i>Ceratophyllaceae</i>
Genus	: <i>Ceratophyllum</i>
Spesies	: <i>Demersum</i>

### 2.6.2 Morfologi Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*)

Tanaman Coontail merupakan tanaman air yang tidak mampu hidup tanpa adanya genangan air. Tanaman ini biasanya disebut hornworts, dan berkembang didalam air, terkadang tanaman ini mengambang dipermukaan serta tidak metolerir kekeringan. Batang dari tanaman ini bisa mencapai 1-3 m dengan daun yang bercabang dan tidak memiliki akar sama sekali (Hidayah dkk., 2020).

*Ceratophyllum demersum* L. biasanya tumbuh dengan batangnya terkubur di substrat berpasir atau berlumpur dan rentan terhadap pemindahan. Tanaman ini terendam, tidak berakar, dan mengambang bebas yang stabil (Furze dkk., 2022). Tanaman ini baik digunakan untuk fitoremediasi karena memiliki kemampuan fotosintesis yang baik untuk menjaga keberlangsungan hidup biota air meskipun dalam kondisi tercemar, intensitas cahaya matahari yang kurang dan suhu yang tinggi tanaman ini masih mampu menghasilkan oksigen dengan baik (Lupitasari & Kusumaningtyas, 2020).

### 2.6. Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah praktik penggunaan tanaman dan komponen tanaman untuk membersihkan limbah dan masalah pencemaran lingkungan dengan dua cara berbeda, *ex-situ*, di kolam atau reaktor buatan manusia, dan *in-situ*, di tanah atau tempat yang tercemar limbah (Dzakwan & Ni'am, 2021). Sehubungan dengan ini, fitoremediasi sebagai proses pemanfaatan langsung tanaman hidup untuk mendegradasi dan memperbaiki tanah, lumpur, sedimen,

dan saluran air yang tercemar di lingkungan secara insitu (Ajeng & Wesen, 2013).

Teknik fitoremediasi adalah salah satu cabang bioremediasi yang memanfaatkan aplikasi tanaman untuk remediasi air limbah. Tanaman air memiliki kapasitas untuk menyerap kontaminan berlebih seperti polutan organik dan anorganik, logam berat, dan farmasi yang terdapat dalam air limbah pertanian, domestik, dan industri (Mustafa & Hayder, 2021).

Fitoremediasi juga memiliki kelebihan dan kekurangan yang disajikan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2. 2** Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi

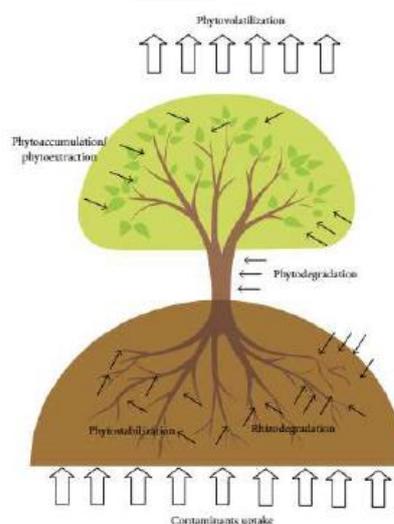
No	Kelebihan	Kekurangan
1	Dapat menyerap berbagai senyawa organik dan atau organic	Terbatas pada lokasi dengan kontaminasi yang dangkal dalam daerah yang dapat dijangkau oleh akar tanaman remediasi
2	Dapat diaplikasikan secara insitu/ex-situ	Memerlukan waktu yang lama (beberapa tahun) untuk meremediasi daerah terkontaminasi
3	Aplikasi in-situ dapat menurunkan jumlah gangguan pada tanah dibandingkan dengan metode konvensional	Terbatas pada daerah dengan konsentrasi rendah
4	Mampu mengurangi limbah dalam jumlah yang besar	Biomasa tanaman yang dipanen dari fitoekstraksi diklasifikasikan sebagai limbah berbahaya RCRA
5	Aplikasi in-situ menurunkan sebaran kontaminan yang melalui udara dan air	Bioakumulasi polutan seperti logam berat di dalam rantai makanan apabila vegetasi dimakan oleh konsumen tingkat kedua
6	Tidak memerlukan peralatan yang mahal dan keterampilan	Bergantung pada kondisi iklim

No	Kelebihan	Kekurangan
	operator yang tinggi dan khusus	
7	Mudah diimplementasikan	Pengenalan jenis-jenis yang tidak alami dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati
8	biaya yang diperlukan lebih murah dibandingkan dengan metode konvensional	Perlu diperhatikan konsumsi jaringan tanaman yang terkontaminasi

Sumber: (Mustafa & Hayder, 2021)

## 2.7. Mekanisme Fitoremediasi

Mekanisme fitoremediasi dan efisiensi fitoremediasi bergantung pada jenis kontaminan, sifat tanah dan ketersediaan hayatinya. Terdapat beberapa cara tanaman membersihkan maupun memulihkan area yang terkena kontaminan. Penyerapan kontaminan pada tanaman terjadi terutama melalui sistem akar, di mana merupakan mekanisme utama untuk mencegah toksisitas. Sistem akar menyediakan luas permukaan yang sangat besar yang menyerap dan mengakumulasi air dan nutrisi penting untuk pertumbuhan bersama dengan kontaminan non-esensial lainnya (Sukono dkk, 2020).



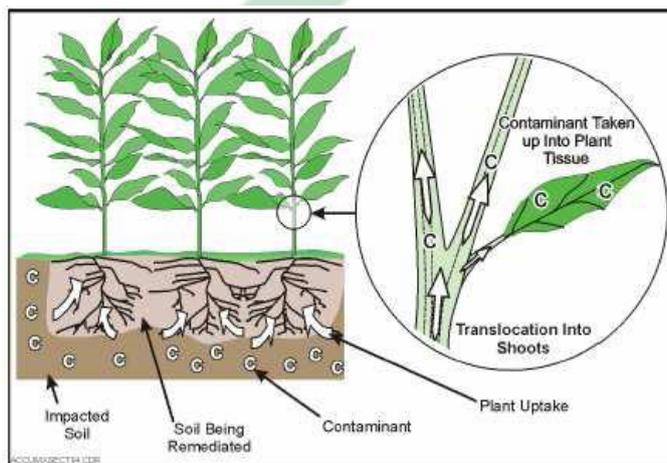
**Gambar 2. 2** Mekanisme Fitoremediasi  
(Sumber: Sukono dkk, 2020)

## 1. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi dikenal sebagai akumulasi tanaman adalah nama lain untuk *phytoextraction*. Polutan diambil oleh akar tanaman dan kemudian dipindahkan ke bagian tanaman yang lain yaitu pada batang dan daun. Metode ini bekerja dengan baik untuk membersihkan kontaminan anorganik (Pranoto, 2013).

Ada banyak manfaat dari *phytoextraction*. Biaya *phytoextraction* yang murah, dan dapat digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan racun di dalam tanah secara permanen. Hingga 95% lebih sedikit polusi yang harus diserap, dan racun dapat didaur ulang dari biomassa tanaman yang tercemar dalam beberapa situasi (Sukono dkk., 2020).

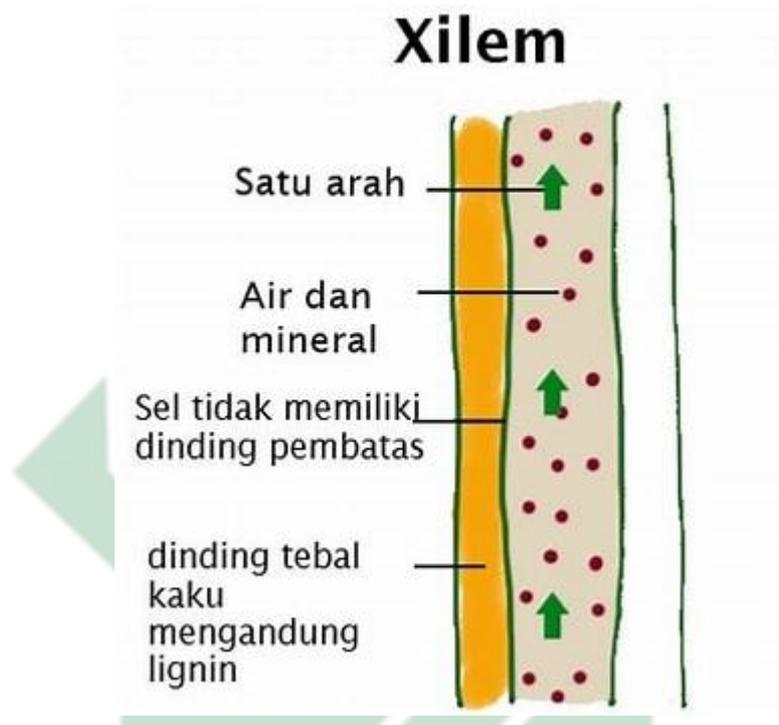
Contoh dari fitoekstraksi yaitu fitoremediasi dari tanaman Coontail menurut (Furze dkk., 2022) *Phytoextraction*: Penyerapan kontaminan dari lingkungan yang terkontaminasi oleh organ/bagian pada tanaman yang menyerap lalu mentranslokasikan ke seluruh bagian tanaman. *C. demersum* tidak memiliki akar aktif yang relatif besar, meskipun menyerap unsur-unsur dengan seluruh tubuhnya (Furze dkk., 2022).



**Gambar 2.3** Fitoekstraksi  
(Sumber: Pranoto, 2013)

Penyerapan melalui mekanisme fitoekstraksi dapat melalui jaringan xilem. Xilem merupakan suatu jaringan pengangkut yang

terdiri dari berbagai macam bentuk sel. Xilem terdiri dari trakeid dan unsur pembuluh. Traked ditemukan di dalam xilem hampir semua tumbuhan vaskuler. Trakeid adalah sel-sel yang panjang dan tipis dengan ujung meruncing. Air bergerak dari sel ke sel terutama melalui ceruk, sehingga air tidak perlu menyeberangi dinding sekunder yang tebal.



**Gambar 2. 4 Xilem**  
(Sumber: *www.google.com* )

Menurut (Kusumaningrum, 2017), unsur-unsur xilem terdiri dari unsur trakeal, serat xilem, dan parenkim xilem.

1) Unsur trakeal

Unsur trakeal merupakan unsur yang bertugas dalam pengangkutan air beserta zat terlarut di dalamnya, dengan sel-sel yang memanjang, tidak mengandung protoplas (bersifat mati), dinding sel berlignin, mempunyai macam-macam noktah. Unsur trakeal terdiri dari dua macam sel yaitu trakea dan trakeida.

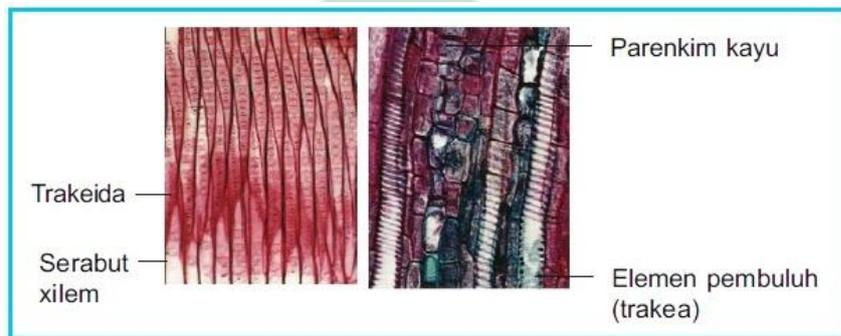
2) Serat xilem

Serat xilem merupakan sel panjang dengan dinding sekunder yang biasanya berlignin. Ada dua macam serat pada tumbuhan, yakni

serat trakeid dan serat libriform. Serat libriform mempunyai ukuran lebih panjang dan dinding selnya lebih tebal dibanding serat trakeid. Dijumpai adanya noktah sederhana pada serat libriform, sedangkan serat trakeid memiliki noktah terlindung.

### 3) Parenkim xilem

Parenkim xilem biasanya tersusun dari sel-sel yang masih hidup. Dijumpai pada xilem primer maupun xilem sekunder. Pada xilem sekunder dijumpai dua macam parenkim, yaitu parenkim kaku dan parenkim jari-jari empulur.



**Gambar 2. 5** Unsur-unsur xilem  
(Sumber: [www.google.com](http://www.google.com) )

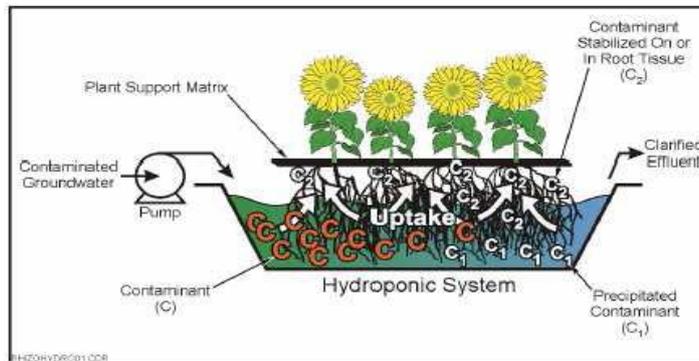
## 2. Rhizofiltrasi

Akar tumbuhan mengadsorpsi pada zona akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar, polutan yang berada di dalam tanah di serap akar tanaman diambil oleh akar atau menempel pada akar. (Pranoto, 2013).

Tanaman yang akan digunakan untuk pembersihan dibesarkan atau ditumbuhkan di rumah kaca dengan akarnya di air, bukan di tanah. Untuk menyesuaikan diri dengan tanaman dan setelah sistem perakaran besar dikembangkan, air yang terkontaminasi dikumpulkan dari tempat pembuangan limbah dan dibawa ke tanaman untuk menggantikan sumber air mereka (Sukono dkk., 2020).

Metode ini dapat menyerap zat berbahaya dalam cairan atau pada akar tanaman di zona akar. Sebagian besar waktu, logam atau senyawa organik dari air tanah (*in situ*), air permukaan, atau air limbah digunakan dalam rhizofiltrasi. Rhizofiltrasi dapat digunakan untuk

menghilangkan Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, dan Cr dari akar (Sukono dkk., 2020).

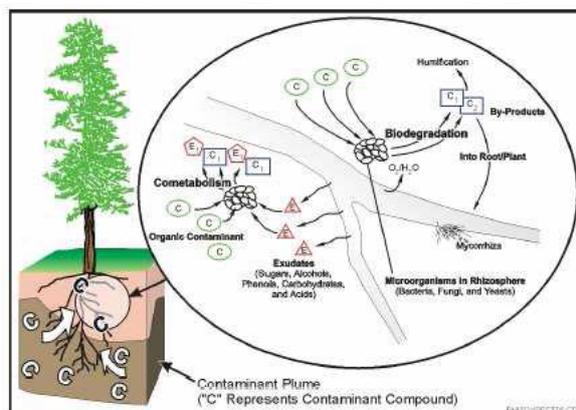


**Gambar 2. 6** Rhizofiltrasi  
(Sumber: Pranoto, 2013)

### 3. Fitodegradasi

Fitodegradasi adalah saat tanaman menghilangkan logam berat dari tanah dan menggunakan enzim, seperti oksigenase (enzim yang memungkinkan organisme dapat memanfaatkan oksigen) dan dehalogenase (enzim yang menganalisa pengangkatan atom halogen dari substrat) untuk menghilangkan polutan (Tampubolon dkk., 2020).

Bakteri memecah polutan di tanah, yang dibantu oleh ragi, jamur, gula, asam, dan alkohol dari akar tanaman. Eksudat memberi makan mikroorganisme (bakteri dan jamur) yang memecah kontaminan dan organisme lain di dalam tanah. Cara yang tepat untuk membersihkan sampah organik adalah dengan metode ini. Berbagai jenis rumput dapat digunakan (Pranoto, 2013).

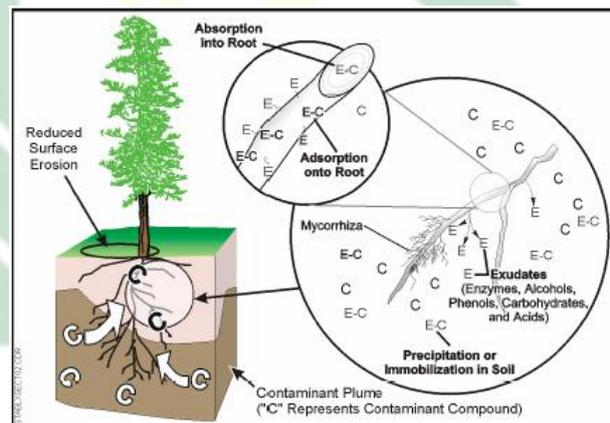


**Gambar 2. 7** Fitodegradasi  
(Sumber: Pranoto, 2013)

#### 4. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi (*phytostabilization*) adalah proses di mana mengandalkan kemampuan akar untuk menghasilkan eksudat dari akar untuk mengimobilisasi polutan atau kontaminan di daerah rizosfer (Tampubolon dkk., 2020). Imobilisasi adalah suatu keadaan tubuh dalam kondisi tidak dapat bergerak secara aktif sebagai akibat adanya gangguan pada organ tubuh (Oktarina dkk., 2017).

Akar tanaman menahan kontaminan di tempatnya, yang mengumpulkan, menyerap, dan mengendapkan juga menstabilkan imobilisasi kontaminan di zona akar, berbeda dengan rhizofiltrasi yang hanya menempelkan kontaminan pada akar. Metode ini biasanya digunakan untuk membersihkan bahan anorganik (Pranoto, 2013).



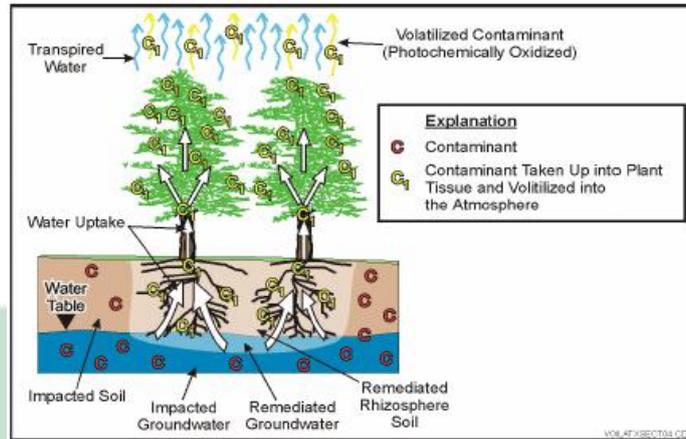
**Gambar 2. 8** Fitostabilisasi  
(Sumber: Pranoto, 2013)

#### 5. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi (*phytovolatilization*). Tumbuhan mengambil polutan, melepaskannya ke udara sebagai uap air. Teknik ini bekerja dengan baik dengan polutan organik. Tumbuhan kapas dan paku-pakuan merupakan contoh tumbuhan yang dapat dimanfaatkan (Pranoto, 2013).

Fitovolatilisasi juga melibatkan kontaminan yang dibawa ke dalam tubuh tumbuhan. Namun, dalam fitovolatilisasi, kontaminan dengan bentuk yang mudah menguap atau produk penguraian yang mudah

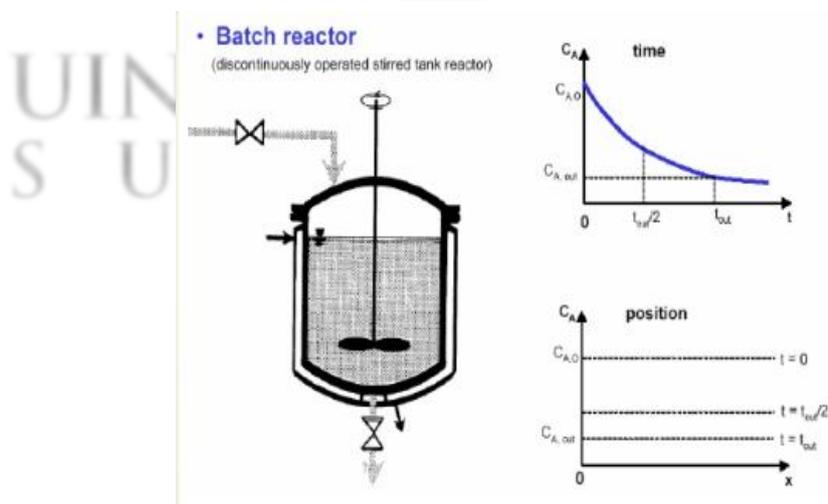
menguap dibawa ke dalam tubuh tumbuhan oleh uap air dari daun. Fitovolatilisasi juga dapat menyebarkan polutan dari batang atau bagian lain tanaman yang dilalui polutan sebelum mencapai daun (Sukono dkk., 2020).



**Gambar 2. 9** Fitovolitalisasi  
(Sumber: Pranoto, 2013)

## 2.8. Sistem Batch

Sistem batch adalah proses di mana semua reaktan digabungkan pada awal proses, dan produk kemudian diekstrak dari sistem setelah proses. Dalam prosedur ini, penambahan semua reagen dilakukan pada awal proses, dan tidak ada penambahan atau pengurangan lebih lanjut yang dilakukan saat prosedur sedang berjalan (Christian W. Y, dkk, 2019).



**Gambar 2. 10** Sistem Batch  
(Sumber: Permadi, 2019)

Berikut ini adalah beberapa manfaat yang didapat dengan menggunakan sistem Batch:

1. Lebih mudah digunakan karena semua reagen dimasukkan hanya pada awal proses
2. Biaya dan harga alat tidak terlalu tinggi

Proses menggunakan reaktor batch merupakan sebuah proses dimana dimasukkan semua reaktan bersama-sama pada awal proses dan hasil produk akan dikeluarkan pada saat akhir proses. Dalam proses tersebut, semua reagen akan ditambahkan pada awal dan tidak ada lagi penambahan ataupun pengeluaran yang dilakukan selama proses masih berlangsung (Permadi, 2019).

## 2.9. Nilai Efisiensi

Perhitungan nilai efisiensi dilakukan dengan mempertimbangkan baik konsentrasi logam yang terdapat pada tumbuhan maupun konsentrasi logam yang terdapat pada air limbah (Permadi, 2019). Rumus yang diterapkan menurut (Lidiana, 2022) adalah sebagai berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad \text{Rumus 2.1 Efisiensi Penurunan}$$

Keterangan:

%E : Efisiensi Penurunan

C<sub>0</sub> : Konsentrasi Awal

C<sub>t</sub> : Konsentrasi Akhir

## 2.10. Proses Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah proses pemindahan tanaman ke berbagai ke berbagai kondisi di sekitarnya, seperti kelembaban, cahaya, dan suhu, yang biasanya tidak mereka alami dalam lingkungan yang terkontrol (aseptik dan heterotrofik) termasuk tahap terakhir dalam proses pertumbuhan jaringan dalam suatu kultur (Permadi, 2019). Tanaman (*planlet*) tidak akan bertahan pada kondisi lapangan jika belum diaklimatisasi dengan kondisi lingkungan disana. Untuk menyesuaikan diri dengan tanaman, pertama-tama tanaman

harus dibawa keluar dari rumah kaca atau lingkungan terlindung lainnya. Aklimatisasi juga disebut sebagai proses penyesuaian tanaman hasil kultur jaringan ke lingkungan baru sebelum ditanam dan digunakan sebagai tanaman induk untuk produksi. Aklimatisasi juga dilakukan untuk mengetahui mampu atau tidaknya tanaman beradaptasi pada lingkungan tumbuh yang kurang aseptik (Permadi, 2019).

### 2.11. Integrasi Keislaman

Pada Al-Qur'an mengingatkan bahwasannya kerusakan yang terjadi di daratan maupun di lautan adalah akibat perbuatan manusia. Terdapat pada surat Ar-Rum ayat 41 sebagai berikut:

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)”

Dalam pengolahan limbah secara biologis atau dikenal juga dengan fitoremediasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan tumbuh-tumbuhan yang telah diciptakan oleh Allah SWT di muka bumi ini sesuai dengan firman Allah SWT. Hal ini dapat dilakukan sebagai bagian dari upaya pengelolaan lingkungan guna mengatasi pencemaran logam berat yang ditimbulkan oleh kegiatan industri. Berikut firman Allah pada ayat 7 dari Q.S. Asy-Syu'ara:

أَوَلَمْ 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?”.

Ayat ini menjelaskan bahwasannya banyak sekali tumbuhan-tumbuhan yang baik dan memberikan manfaat di bumi. Seperti tanaman Coontail yang memiliki manfaat dapat menyerap logam berat yang dapat mencemari

lingkungan. Maka dari itu penelitian ini memanfaatkan tanaman Coontail untuk media fitoremediasi limbah yang mengandung pencemar logam berat.

Dengan ini tumbuhan terbukti mampu meminimalisir pencemaran zat-zat yang berbahaya yaitu logam berat. Seperti yang dijelaskan dalam Al-Qura'an (QS. Al-An'am ayat 99).

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرَّمَانَ مِثْلَهَا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ <sup>قُلْ</sup> أَنْظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ

Artinya: “Dan Dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang korma mengurai tangkai- tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (Kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman” (QS. Al-an'am : 99).

Pada ayat lain juga dijelaskan mengenai manfaat dari tumbuhan yang diciptakan di bumi ini seperti tanaman coontail. Terdapat pada surat Al-Qaaf ayat 9:

وَنَزَّلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً مُّبْرَكًا فَأَنْبَتْنَا بِهِ جَدَّتٍ وَحَبَّ الْحَصِيدِ<sup>لَا</sup>

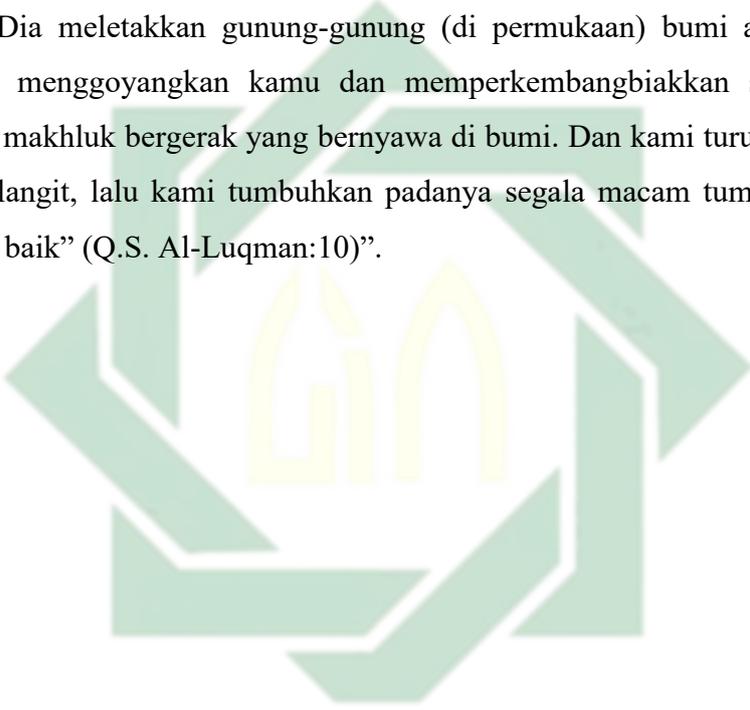
Artinya: “Dan Kami turunkan dari langit air yang banyak manfaatnya lalu Kami tumbuhkan dengan air itu pohon-pohon dan biji-biji tanaman yang diketam”.

Tumbuhan merupakan salah satu makhluk hidup ciptaan Allah SWT sebagai bentuk kekuasaannya yang dapat digunakan dan dipelihara oleh

manusia. Hal tersebut telah tertuang dan diperjelas dalam firman Allah SWT pada Q.S Al-Luqman ayat 10 :

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

Artinya : “Dia menciptakan langit tanpa tiang sebagaimana kamu melihatnya, dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi agar ia (bumi) tidak menggoyangkan kamu dan memperkembangbiakkan segala macam jenis makhluk bergerak yang bernyawa di bumi. Dan kami turunkan air hujan dari langit, lalu kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik” (Q.S. Al-Luqman:10)”.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## 2.12. Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa jurnal dari penelitian terdahulu mengenai fitoremediasi yang menjadi bahan referensi dalam penelitian ini sebagai berikut:

**Tabel 2. 3** Penelitian Terdahulu

NO.	Nama Penulis	Judul	Pembahasan/kesimpulan
1	(Septy Audiyanti, Zahidah Hasan, Herman Hamdani, 2019)	Efektivitas Enceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) Sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Sungai Citarum	Pohon, rerumputan, dan tanaman air semuanya memiliki peran dalam fitoremediasi, tumbuhan tersebut memiliki peran yaitu proses pencucian racun melalui media tanaman. Pendekatan eksperimental digunakan untuk melakukan penelitian ini, dan rata-rata, dua percobaan terpisah dijalankan dengan masing-masing 15 ulangan. Eceng gondok digunakan sebagai kedua perlakuan dalam penelitian ini. Pembacaan akhir untuk bahan organik berkisar antara 36,41 hingga 63,87 miligram per liter (mg/L), dan secara signifikan lebih rendah setelah pengolahan air apsintus. Hewan yang diberi makan selada air menunjukkan tingkat kelangsungan hidup yang lebih tinggi, dengan hasil yang berkisar antara 52 hingga 88 persen.
2	(Ajeng & Wesen, 2013)	Penyisihan Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Proses Fitoremediasi	Dalam penelitian skala laboratorium yang dilakukan, tanaman bambu air ( <i>Equisetum hymale</i> ) digunakan dalam prosedur fitoremediasi untuk menyisihkan polutan (Pb). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memastikan dan mengetahui seberapa baik prosedur penyisihan logam yang ada pada tanaman bambu air tersebut untuk mampu menurunkan konsentrasi timbal (Pb) dalam sampah buatan manusia. Prosedur fitoremediasi yang melibatkan tanaman telah dipelajari di laboratorium dengan limbah buatan manusia untuk menentukan kemanjurannya. Reaktor fitoremediasi berukuran panjang 65 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 27 cm digunakan untuk penelitian. Debit bervariasi dari 100 ml/menit hingga

NO.	Nama Penulis	Judul	Pembahasan/kesimpulan
			300 ml/menit, sedangkan umur bambu air bervariasi dari 30 hari hingga 60 hari dengan kepadatan 15 tanaman per meter persegi. Ditemukan bahwa pada laju debit 200 ml/menit untuk tanaman bambu air berumur 30 hari, 76% kandungan timbal (Pb) dapat dihilangkan dengan menggunakan sistem fitoremediasi dan tanaman bambu air ( <i>Equisetum hymale</i> ).
3	(Jamil, 2015)	Perbedaan Penyerapan Logam Pb Pada Limbah Cair Antara Tanaman Kangkung Air ( <i>Ipomoea aquatica forsk</i> ), Genjer ( <i>Limnocharis flava</i> ), dan Semanggi ( <i>Marsilea drummondii L</i> )	Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap biota air tawar yang dapat dirugikan oleh pencemaran lingkungan, terutama dari logam berat di wilayah perairan, dan meminum air yang tercemar berisiko. Industri yang menggunakan logam Pb menghasilkan limbah cair yang biasanya dibuang ke sungai. Hal ini tentu saja berdampak terhadap pencemaran lingkungan. Fitoremediasi merupakan salah satu metode pembersihan tanah atau air yang tercemar sehingga dapat digunakan kembali. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kemampuan tanaman kangkung, genjer, dan semanggi dalam menyerap Pb dari air limbah. Seratus gram kangkung, genjer, dan semanggi digunakan pada kelompok perlakuan. Uji Kruskal Wallis dan Normalitas digunakan dengan tingkat signifikansi 5% atau 95% dalam penelitian ini. Tepatnya, ada 27 sampel berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman kangkung memiliki rerata serapan Pb tertinggi pada limbah cair sebesar 0,66 (13,2%), diikuti oleh tanaman genjer sebesar 0,58 mg/l (11,2%) dan tanaman semanggi masing-masing sebesar 0,55 mg/l (11,1%). Pada akhirnya, penyelidikan ini tidak menemukan perbedaan yang signifikan secara statistik antara kelompok. Hasilnya, ketiga tanaman tersebut tidak ada yang berpotensi sebagai alat

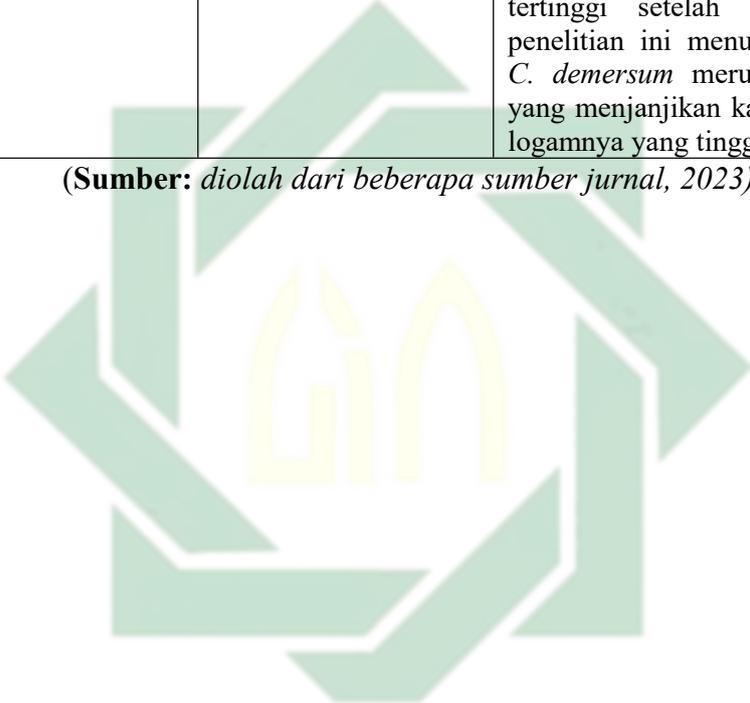
NO.	Nama Penulis	Judul	Pembahasan/kesimpulan
			fitoremediator penyerapan Pb dalam limbah cair.
4	Dinda Ayu Isnaeni	Observasi Lapangan, Karakteristik Fisik Limbah Cair, Analisis COD, Analisis (TS, TSS, dan TDS), dan Analisis (BOD dan DO) Pada Limbah Tahu Industri XYZ di Yogyakarta	<p>Waste adalah limbah dari suatu proses produksi. Limbah cair, padat, dan gas dibedakan berdasarkan bahan pembuatnya. Jelas bahwa membuang limbah cair ke saluran air akan berdampak negatif pada ekosistem perairan dan kualitas pasokan air. Hasil limbah dari proses pembuatan tahu dikenal sebagai limbah industri tahu. Agar dapat dibuang dengan baik, ampas tahu harus melalui prosedur tertentu. Limbah tahu memiliki nilai potensial karena sifat fisik dan kimianya, namun hal ini tidak dapat ditentukan tanpa terlebih dahulu menganalisis karakteristik limbah. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari lebih dalam tentang sifat kimia dan fisika limbah cair, meliputi pH, BOD<sub>5</sub>, dan kadar COD, serta warna, suhu, dan kandungan padatan (TS, TSS, dan TDS).</p> <p>Hingga 1,5 liter limbah cair pabrik tahu dikumpulkan dan dianalisis karakteristiknya seperti pH, warna, dan suhu. Selain metrik primer ini, kami juga melihat konsentrasi BOD<sub>5</sub>, COD, TS, TSS, dan TDS. Sementara metode gravimetri digunakan untuk menentukan kadar TS, TSS, dan TDS, metode titrimetri digunakan untuk menentukan kadar BOD<sub>5</sub> dan COD. Parameter air limbah industri tahu diuji, dan hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel berwarna putih keruh, memiliki pH 4,06, dan memiliki suhu 33,80 derajat Celcius. Terdapat 3,2 mg/L BOD<sub>5</sub>. Seharusnya ada sekitar 1.200 mg/L COD di dalam air. Kadar TS, TSS, dan TDS adalah 9.490, -410, dan 4.190 mg/L. Nilai pH, COD, TSS, dan TDS tidak sesuai dengan yang dianggap dapat diterima dalam hal kualitas.</p>
5	(Lupitasari &	Pengaruh Cahaya dan	Tubuh kita menggunakan oksigen

NO.	Nama Penulis	Judul	Pembahasan/kesimpulan
	Kusumaningtyas, 2020)	Suhu Berdasarkan Karakter Fotosintesis <i>Ceratophyllum demersum</i> sebagai Agen Fitoremediasi	yang dihasilkan oleh tumbuhan melalui proses yang disebut fotosintesis. Fotosintesis sangat penting bagi kehidupan seperti yang kita ketahui karena merupakan satu-satunya sumber energi bagi hampir semua organisme. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh faktor lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya terhadap fotosintesis tumbuhan coontail ( <i>Ceratophyllum demersum</i> ) yang gas oksigennya sangat penting bagi kelangsungan hidup biota perairan. Dalam percobaan ini, kami menggunakan metode Ingenhousz dengan tiga variasi: perlakuan udara terbuka, udara tertutup, dan air panas (40°C). Pada suhu 40 °C, kami mendapatkan 30 gelembung dalam 40 menit, yang merupakan hasil maksimal yang kami lihat. Meskipun tumbuhan coontail memiliki kemampuan fotosintesis yang cukup tinggi, namun dapat bermanfaat sebagai agen fitoremediasi dalam menjaga kelangsungan hidup biota perairan.
6	(Polechońska dkk, 2018)	<i>Evaluation of Ceratophyllum demersum as the accumulative bioindicator for trace metals</i>	Dalam penelitian ini membahas mengenai kapasitas serapan logam C. demersum cukup tinggi. Hasil BF melebihi indeks 103 untuk Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Rb dan Zn menjadikan spesies tersebut sebagai bioakumulator yang baik untuk unsur-unsur tersebut. Kandungan logam jejak dalam jaringan tanaman berbeda antara area yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik yang kuat dan lemah.
7	(Abdallah, 2012)	<i>Phytoremediation of heavy metals from aqueous solutions by two aquatic macrophytes, Ceratophyllum demersum and Lemna gibba L.</i>	Pada penelitian ini dilakukan percobaan menggunakan dua makrofit akuatik, <i>L. gibba</i> dan <i>C. demersum</i> , diuji untuk menghilangkan Cr dan Pb secara bersamaan. Makrofit terbukti sangat efektif dalam penyerapan logam berat tersebut pada empat konsentrasi, yaitu 2,0, 4,0, 10,0 dan 15,0 mg/L. Tumbuhan ini berhasil menghilangkan logam tanpa

NO.	Nama Penulis	Judul	Pembahasan/kesimpulan
			toksisitas yang nyata. Korelasi yang tinggi antara konsentrasi logam akhir dalam air dan konsentrasi logam dalam makrofit menunjukkan bahwa tanaman ini dapat digunakan secara efektif untuk menghilangkan logam berat dari larutan logam berat yang berbeda.
8	(Mustafa & Hayder, 2021)	<i>Recent studies on applications of aquatic weed plants In phytoremediation of wastewater: A review article</i>	Pada penelitian tersebut membahas mengenai penerapan tumbuhan air dalam fitoremediasi air limbah sangat menguntungkan karena memiliki kemampuan yang luar biasa untuk menyerap dan mendegradasi polutan (nitrat, fosfat, logam berat) dari air limbah. Oleh karena itu, meningkatkan kualitas air limbah sebelum dibuang ke badan alam. Teknik fitoremediasi juga dapat digunakan untuk pemulihan nutrisi seperti nitrat dan fosfat dari air limbah, yang dapat digunakan dalam produksi pupuk, struvite dan bahan tambahan makanan. Di antara tanaman air, <i>Salvinia molesta</i> dan <i>Pistia stratiotes</i> telah banyak digunakan untuk pengolahan air limbah pertanian, domestik dan industri.
9	(Permadi, 2019)	Pemanfaatan Bambu Air ( <i>Equisetum sp.</i> ) Untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Menggunakan Fitoremediasi Sistem Batch	Pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui penurunan yang dapat dilakukan oleh tanaman bambu air dalam menurunkan kandungan logam timbal dengan sistem batch yang digunakan. Sedangkan untuk konsentrasi masing-masing reaktor adalah 0,787, 0,754, 0,765, dan 0,821 ppm, dan penelitian menggunakan sistem batch dengan variasi plant 25 dan 75 untuk masing-masing 2 reaktor pada waktu pengambilan sampel pada hari ke 3, 6, 9, dan 12. Reaktor A (25 tanaman pada 0,787 ppm), Reaktor B (25 tanaman pada 0,754 ppm), Reaktor C (75 tanaman pada 0,765 ppm), dan Reaktor D (75 tanaman pada 0,821 ppm) semuanya memiliki konsentrasi akhir 0,004 mg/l ( 99,69%), 0,003 mg/l (97,61%), 0,004 mg/l (99,75%), dan

NO.	Nama Penulis	Judul	Pembahasan/kesimpulan
			0,007 mg/l 99,5%
10	(Dogan dkk., 2018)	<i>Cadmium and lead bioaccumulation potentials of an aquatic macrophyte Ceratophyllum demersum L.: A laboratory study</i>	Dalam penelitian ini, kemampuan fitoremediasi <i>C. demersum</i> yang dipapar Cd dan Pb pada konsentrasi berbeda diselidiki. Telah ditentukan bahwa jumlah logam berat dalam tanaman meningkat dengan bertambahnya waktu dan konsentrasi. Konsentrasi logam tertinggi diperoleh pada konsentrasi Cd (2 mg/L) dan Pb (100 mg/L) tertinggi setelah 5 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa <i>C. demersum</i> merupakan tanaman yang menjanjikan karena akumulasi logamnya yang tinggi.

(Sumber: diolah dari beberapa sumber jurnal, 2023)



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



*“Halaman Sengaja Dikосongkan”*

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Rancangan Penelitian**

Penelitian ini akan melakukan fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman coontail (*Ceratophyllum demersum*), dan merupakan studi penelitian eksperimental skala laboratorium untuk menurunkan kadar kadmium (Cd) dan timbal (Pb) menggunakan sistem batch. Penelitian ini menggunakan pendekatan secara deskriptif-kuantitatif dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penurunan logam berat berdasarkan variasi jumlah tanaman dan kondisi tanaman selama masa uji fitoremediasi.

#### **3.2. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratium UINSA untuk tahap aklimatisasi sampai penelitian fitoremediasi, pengukuran pH, pengukuran suhu, dan ciri fisik tanaman (perubahan batang, warna daun). Serta untuk pengujian sampel penurunan Cd dan Pb akan dilakukan di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya. Waktu penelitian akan dimulai pada bulan maret 2023. Untuk pengambilan sampel penelitian dilakukan selama 17 hari termasuk proses aklimatisasi.

#### **3.3. Alat dan Bahan Penelitian**

##### **3.3.1 Alat**

1. 5 buah reaktor Batch yang memiliki ukuran panjang 30 cm x lebar 20 cm x tinggi 20 cm untuk masing-masing logam berat Pb dan Cd
2. pH meter
3. Gelas ukur
4. Gelas beaker
5. Pipet bulb
6. Thermometer
7. Neraca analitik
8. Spatula

9. Labu ukur 500 ml
10. Batang pengaduk
11. Corong kaca
12. Kaca arloji
13. Botol sampel 100 ml
14. Alat menulis
15. Label

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Aquades
2. Tanaman Coontail kriteria panjang tanaman sekitar 5-20 cm.
3. Logam Cadmium asetat ( $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$ ) kemurnian 99%



**Gambar 3. 1 Logam Cadmium**

#### 4. Logam timbal nitrat ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) kemurnian 98%



**Gambar 3. 2 Logam Timbal**

#### 3.4. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat 2 variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat sebagai berikut:

1. Variabel bebas dalam penelitian ini merupakan variasi jumlah tanaman yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsentrasi dari limbah yang mengandung logam berat Cd dan Pb.

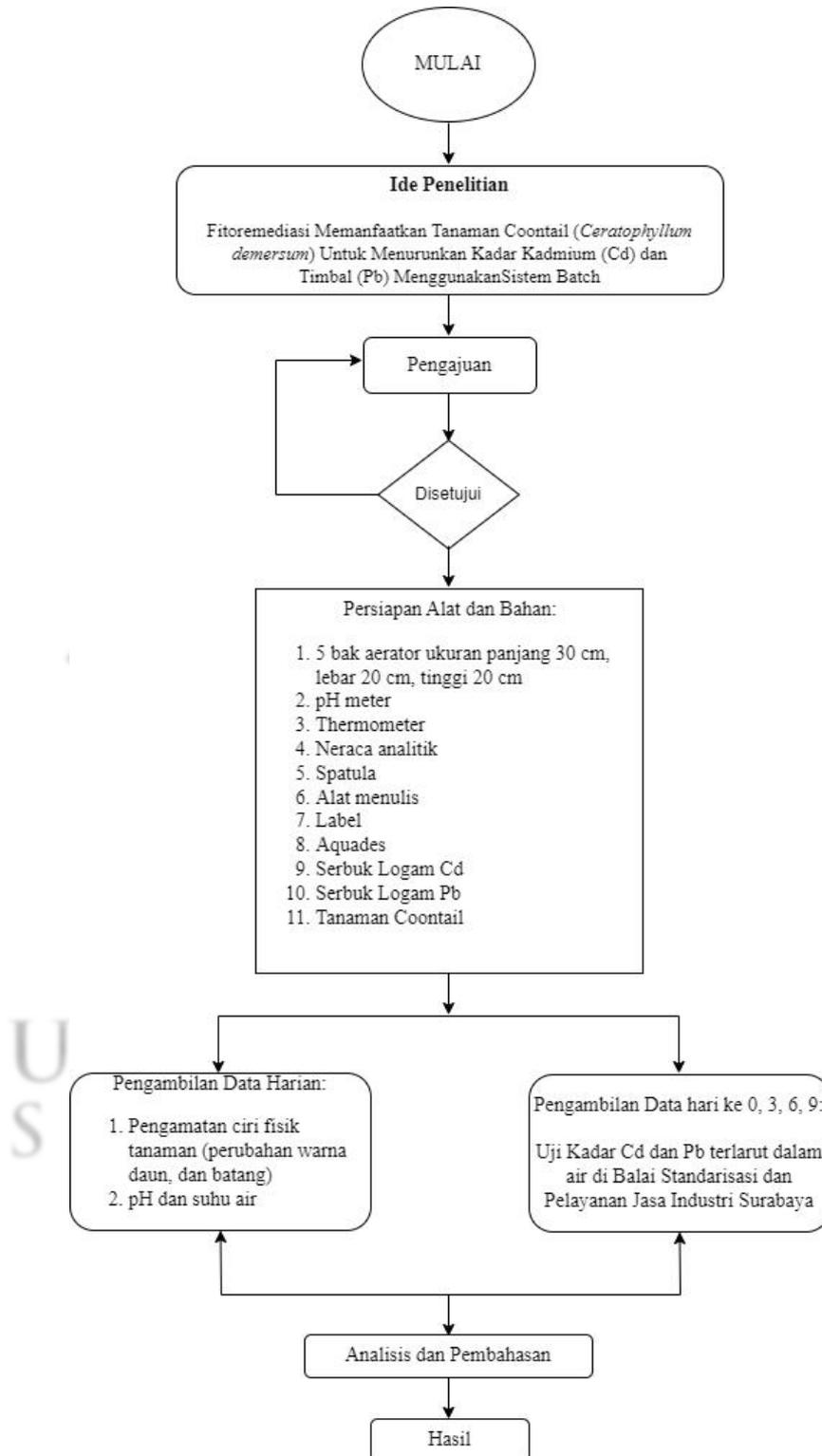
Hipotesa dari Penelitian ini sebagai berikut:

$H_0$  = tidak ada perbedaan penurunan kadar Cd dan Pb berdasarkan variasi jumlah tanaman

$H_1$  = adanya perbedaan penurunan kadar Cd dan Pb berdasarkan variasi jumlah tanaman

### 3.5. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini memiliki prosedur penelitian sebagai berikut:



**Gambar 3. 3** Prosedur Penelitian

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

### 3.5.1 Pembuatan limbah artifisial

Larutan logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb) sebagai limbah artifisial masing-masing dibuat dengan konsentrasi 10 mg/L dan air sebanyak 3 liter dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

#### a. Pembuatan limbah artifisial Pb

Diketahui :

$$\text{Ar. Pb} = 207,2$$

$$\text{Mr. Pb (NO}_3)_2 = 331,22$$

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

$$\text{Kemurnian} = 98\%$$

Membuat larutan induk 1000 ppm, 500 ml

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

$$M = \frac{gr}{\text{Ar.Pb. } L}$$

$$M = \frac{gr}{207,2 L}$$

$$\frac{gr}{L} = 0,0048 \text{ M}$$

Larutan induk Pb yang akan dibuat molaritasnya 0,0048 M, 500 ml

$$M = \frac{gr}{\text{Mr. Pb(NO}_3)_2} \times \frac{1000}{mL}$$

$$0,0048 \text{ M} = \frac{gr}{331,22} \times \frac{1000}{500}$$

$$gr = \frac{0,0048 \times 331,22}{2}$$

$$= 0,79 \text{ gram Pb (NO}_3)_2$$

Jadi jumlah larutan Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> yang dibutuhkan sebesar 0,79 gram untuk dilarutkan kedalam 500 mL aquades. Setelah itu dalam pembuatan sampel air limbah dengan konsentrasi 10 mg/l, larutan induk diencerkan lagi dengan aquades.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ mg/l} \times V_1 = 10 \text{ mg/l} \times 3000 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{10 \frac{mg}{l} \times 3000 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 30 \text{ ml}$$

Jadi untuk membuat 3 liter limbah Pb dengan konsentrasi 10 mg/l dibutuhkan larutan induk sebanyak 30 ml.

b. Pembuatan limbah artifisial Cd sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Ar. Cd} = 112,4$$

$$\text{Mr. Cd (CH}_3\text{CO}_2)_2 = 266,52$$

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

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

Membuat larutan induk 1000 ppm, 500 ml

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

$$M = \frac{gr}{\text{Ar.Pb. } L}$$

$$M = \frac{gr}{112,4 L}$$

$$\frac{gr}{L} = 0,0089 \text{ M}$$

Larutan induk Cd yang akan dibuat molaritasnya 0,0089 M, 500 ml

$$M = \frac{gr}{\text{Mr. Pb(NO}_3)_2} \times \frac{1000}{\text{mL}}$$

$$0,0089 \text{ M} = \frac{gr}{266,52} \times \frac{1000}{500}$$

$$gr = \frac{0,0089 \times 266,52}{2}$$

$$= 1,18 \text{ gram Cd (CH}_3\text{CO}_2)_2$$

Jadi jumlah larutan Cd (CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> yang dibutuhkan sebesar 1,18 gram untuk dilarutkan kedalam 500 mL aquades. Setelah itu dalam pembuatan sampel air limbah dengan konsentrasi 10 mg/l, larutan induk diencerkan lagi dengan aquades.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ mg/l} \times V_1 = 10 \text{ mg/l} \times 3000 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 3000 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 30 \text{ ml}$$

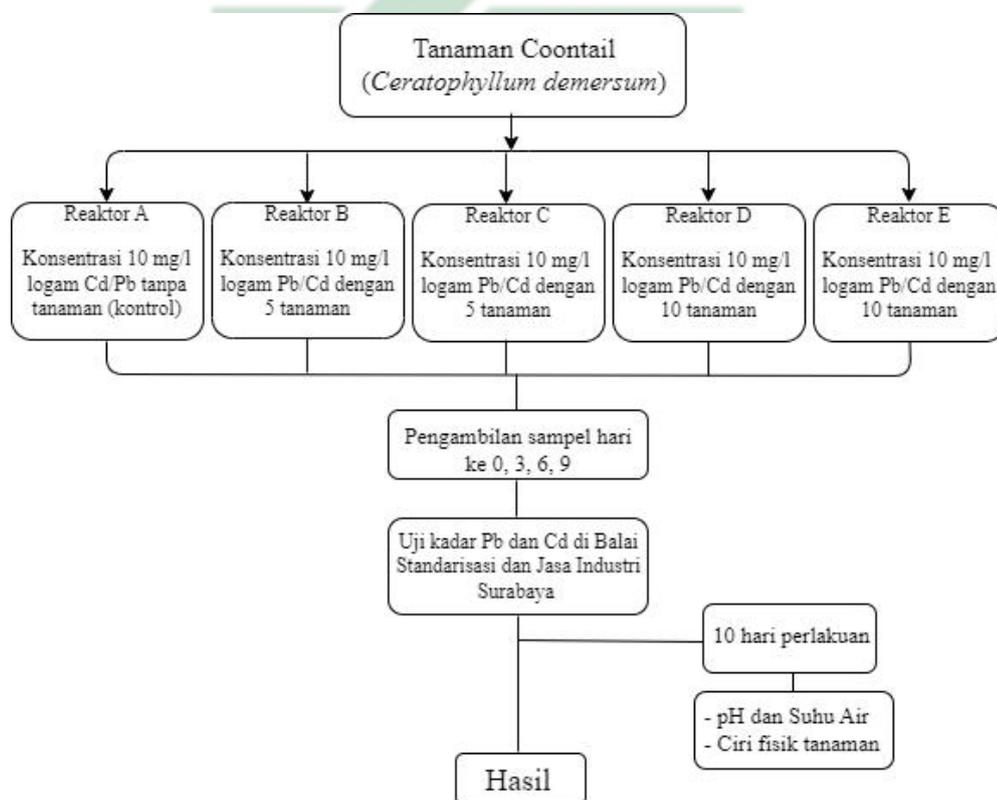
Jadi untuk membuat 3 liter limbah Pb dengan konsentrasi 10 mg/l dibutuhkan larutan induk sebanyak 30 ml.

### 3.5.2 Kriteria Tanaman Uji

Kriteria tanaman yang akan digunakan dalam penelitian ini berdasarkan panjang tanaman. Panjang tanaman yang akan digunakan pada proses aklimatisasi yaitu dengan panjang 5-10 cm. Sedangkan untuk panjang tanaman yang digunakan dalam proses fitoremediasi memiliki panjang antara 5-20 cm.

### 3.6. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:



**Gambar 3. 4 Kerangka Penelitian**

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

### 3.7. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan disusun dalam 2 kali pengambilan sampel. Rancangan ini memiliki 2 variabel, yaitu variasi jumlah tanaman dan variasi pengambilan sampel/hari. Tabel berikut adalah gambaran dari kombinasi keduanya:

a. Rancangan Percobaan untuk limbah artifisial Cd

**Tabel 3. 1** Rancangan Percobaan Limbah Cd

No	Jumlah Tanaman (X)	Waktu pengambilan sampel/hari (Y)			
		Y1	Y2	Y3	Y4
1	0 tanaman/kontrol (X1)	X1,Y1	X1,Y2	X1,Y3	X1,Y4
2	5 tanaman (X2)	X2,Y1	X2,Y2	X2,Y3	X2,Y4
3	5 tanaman (X3)	X3,Y1	X3,Y2	X3,Y3	X3,Y4
4	10 tanaman (X4)	X4,Y1	X4,Y2	X4,Y3	X4,Y4
5	10 tanaman (X5)	X5,Y1	X5,Y2	X5,Y3	X5,Y4

Keterangan: X (reaktor) = Variasi jumlah tanaman  
 Y (waktu) = Variasi waktu

Dari proporsi diatas diperoleh kombinasi perlakuan sebagai berikut:

**XI,Y1** = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-0

**XI,Y2** = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-3

**XI,Y3** = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-6

**X1,Y4** = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-9

**X2,Y1** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-0

**X2,Y2** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-3

**X2,Y3** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-6

**X2,Y4** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-9

**X3,Y1** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-0

**X3,Y2** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-3

**X3,Y3** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-6

**X3,Y4** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-9

**X4,Y1** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-0

**X4,Y2** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-3

**X4,Y3** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-6

**X4,Y4** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-9  
**X5,Y1** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-0  
**X5,Y2** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-3  
**X5,Y3** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-6  
**X5,Y4** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-9

b. Rancangan Percobaan untuk limbah artifisial Pb

**Tabel 3. 2** Rancangan Percobaan Limbah Pb

No	Jumlah Tanaman (X)	Waktu pengambilan sampel/hari (Y)			
		Y1	Y2	Y3	Y4
1	0 tanaman/kontrol (X1)	X1,Y1	X1,Y2	X1,Y3	X1,Y4
2	5 tanaman (X2)	X2,Y1	X2,Y2	X2,Y3	X2,Y4
3	5 tanaman (X3)	X3,Y1	X3,Y2	X3,Y3	X3,Y4
4	10 tanaman (X4)	X4,Y1	X4,Y2	X4,Y3	X4,Y4
5	10 tanaman (X5)	X5,Y1	X5,Y2	X5,Y3	X5,Y4

Keterangan: X (reaktor) = Variasi jumlah tanaman  
 Y (waktu) = Variasi waktu

Dari proporsi diatas diperoleh kombinasi perlakuan sebagai berikut:

**X1,Y1** = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-0

**X1,Y2** = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-3

**X1,Y3** = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-6

**X1,Y4** = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-9

**X2,Y1** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-0

**X2,Y2** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-3

**X2,Y3** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-6

**X2,Y4** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-9

**X3,Y1** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-0

**X3,Y2** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-3

**X3,Y3** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-6  
**X3,Y4** = jumlah tanaman 5 dengan pengambilan sampel hari ke-9  
**X4,Y1** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-0  
**X4,Y2** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-3  
**X4,Y3** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-6  
**X4,Y4** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-9  
**X5,Y1** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-0  
**X5,Y2** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-3  
**X5,Y3** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-6  
**X5,Y4** = jumlah tanaman 10 dengan pengambilan sampel hari ke-9

### 3.8. Analisis Data

Analisa data merupakan analisis dari semua data yang dikumpulkan sehubungan dengan penelitian fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) untuk menurunkan kadar kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) menggunakan sistem batch. Data ini berupa penurunan kadar Cd dan Pb yang telah mengikuti proses fitoremediasi, serta pH, dan suhu. Setelah pengumpulan data, selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan teknik deskriptif dan statistik. Berikut adalah metode yang digunakan untuk menganalisis data dalam penelitian ini:

#### 1. Metode deskriptif

Metode deskriptif digunakan untuk menjelaskan penurunan kadar Cd dan Pb dengan perlakuan tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) dengan jumlah tanaman yang bervariasi selama rentang waktu 10 hari. Untuk memudahkan penyusunan data, metode deskriptif dengan grafik digunakan dalam penelitian ini. Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan efisiensi penurunan konsentrasi (Lidiana, 2022):

$$\%E = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad \text{Rumus 3. 1 Efisiensi Penurunan}$$

Keterangan:

%E : Efisiensi Penurunan

C<sub>0</sub> : Konsentrasi Awal

$C_t$  : Konsentrasi Akhir

Pengambilan sampel limbah artifisial kadmium (Cd) dan timbal (Pb) dilakukan pada hari ke 0, 3, 6, 9 dalam jangka waktu 10 hari di masing-masing reaktor. Pengujian sampel dilakukan untuk mengukur kadar logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb) menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) sesuai SNI 6989.84:2019 yang akan diuji di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya. Untuk menganalisis data perubahan ciri fisik tumbuhan dilakukan dengan cara mendokumentasikan tumbuhan selama penelitian.

## 2. Uji Statistik

Uji komparatif akan digunakan dalam proses analisis penelitian ini. Uji normalitas merupakan salah satu prasyarat yang harus dipenuhi sebelum melanjutkan dengan pengujian. Jika hasil uji normalitas menunjukkan hasil distribusi normal, analisis data *One Way Anova* akan dipilih sebagai metode analisis data. Apabila data berdistribusi tidak normal dan tidak homogen maka akan menggunakan opsi uji non parametrik Kruskal Wallis. Dari uji tersebut ditentukan hipotesis awal ( $H_0$ ) tidak adanya perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap penurunan kadar Cd atau Pb, dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) adanya perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap penurunan kadar Cd atau Pb.

UIN SUNAN AMPEL  
SURABAYA



*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Tanaman

Penelitian ini menggunakan tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) dengan karakteristik tanaman yang digunakan pada penelitian ini yaitu berdasarkan panjang tanaman yang berukuran 5-20 cm untuk proses aklimatisasi sampai dengan fitoremediasi.



**Gambar 4. 1 Pengukuran Tanaman**

### 4.2 Aklimatisasi

Aklimatisasi bertujuan untuk menstabilkan dan menyesuaikan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang akan digunakan nantinya. Pada proses aklimatisasi pertama-tama yaitu melakukan pengisian air aquades kedalam suatu bak yang diisi oleh tanaman lalu diamati selama 7 hari dan juga melakukan pengamatan pada perubahan fisik yang terjadi pada tanaman tersebut. Umumnya, perubahan yang terjadi pada tanaman tersebut yaitu perubahan warna pada bagian batang tanaman dikarenakan tidak mendapat asupan nutrisi yang baik karena hanya diberikan air saja. Hasil aklimatisasi akan dijelaskan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 berikut:

**Tabel 4. 1** Aklimatisasi Tanaman Coontail Untuk Fitoremediasi Pb

<b>Hari</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Gambar</b>
1	Kondisi tanaman pada hari pertama aklimatisasi masih berwarna hijau dengan batang daun yang juga masih segar. Untuk pengambilan gambar dilakukan pada pukul 10.00 WIB.	
2	Pada hari ke-2 kondisi tanaman masih sama seperti hari pertama dan tidak ada perubahan warna pada daun maupun batang yaitu masih terlihat hijau dengan batang daun yang masih segar.	
3	Pada hari ketiga kondisi tanaman mulai ada perubahan di beberapa tanaman yang ada pada bak aklimatisasi. Beberapa tanaman mulai berubah warna dan batang yang sedikit memudar dapat dilihat tanda bulat merah disamping pada gambar disamping.	

Hari	Penjelasan	Gambar
4	<p>Pada hari ke-4 pengamatan, kondisi tanaman belum mengalami perubahan pada kondisi fisik dan tidak terdapat perubahan warna yang masih sama pada hari sebelumnya dimana daun masih berwarna hijau segar.</p>	
5	<p>Pada hari ke-5 pengamatan, kondisi tanaman juga masih belum mengalami perubahan warna pada fisik tanaman dan masih sama seperti pada hari ke-4.</p>	
6	<p>Pada hari ke-6 kondisi tanaman mulai ada daun yang gugur dari batangnya bisa dilihat pada tanda bulat merah disamping. Untuk kondisi batang masih berwarna sedikit memudar menjadi hijau terang, pada beberapa batang tanaman juga ada yang masih berwarna hijau segar.</p>	

Hari	Penjelasan	Gambar
7	Pada hari ke-7 kondisi tanaman tidak mengalami perubahan secara signifikan dan masih sama seperti hari sebelumnya pada hari ke-6. Tidak ada perubahan warna pada batang maupun daun yang terjadi pada hari ke-7.	

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

**Tabel 4. 2** Aklimatisasi Tanaman Coontail Untuk Fitoremediasi Cd

Hari	Penjelasan	Gambar
1	Kondisi tanaman pada hari pertama aklimatisasi berwarna hijau dengan batang daun yang juga masih segar. Untuk pengambilan gambar dilakukan pada pukul 9.45 WIB.	
2	Pada hari kedua pengamatan kondisi tanaman masih sama seperti hari pertama dan belum ada perubahan warna pada daun maupun batang yang masih hijau dengan batang daun masih segar.	
3	Pada hari ketiga pengamatan kondisi tanaman mulai ada perubahan di beberapa tanaman yang ada pada bak aklimatisasi. Beberapa tanaman mulai berubah warna pada daun yang	

Hari	Penjelasan	Gambar
	sedikit memudar menjadi warna hijau muda dapat dilihat tanda bulat merah pada gambar.	
4	Pada hari ke-4 pengamatan kondisi tanaman belum mengalami perubahan pada warna daun maupun batang tanaman masih sama seperti hari sebelumnya.	
5	Pada hari ke-5 peengamatan terlihat kondisi batang tanaman masih belum mengalami perubahan warna pada fisik tanaman dan masih sama seperti pada hari sebelumnya. Akan tetapi ada beberapa daun kecil yang rontok dapat dilihat pada tanda bulat yang ada digambar.	
6	Pada hari ke-6 kondisi tanaman mulai ada yang gugur daunnya dapat dilihat pada tanda bulat merah yang digambar. Untuk kondisi batang masih berwarna sedikit kekuningan dan ada beberapa tanaman juga yang masih berwarna hijau.	

Hari	Penjelasan	Gambar
7	Pada hari ke-7 kondisi tanaman mengalami perubahan dimana daun semakin banyak yang mengalami kerontokan dapat dilihat pada tanda bulat merah pada gambar. Sedangkan untuk kondisi batang tidak mengalami perubahan dan masih sama seperti hari sebelumnya.	

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

### 4.3 Hasil dan Pembahasan Fitoremediasi

#### 4.3.1 Fitoremediasi Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*)

Tahap setelah proses aklimatisasi yaitu melakukan penelitian terhadap fitoremediasi tanaman Coontail selama 10 hari dengan menggunakan masing-masing reaktor yang akan dimasukkan tanaman yang telah melalui proses aklimatisasi. Pada penelitian ini menggunakan beberapa pembagian jumlah tanaman yang akan dimasukkan ke dalam reaktor yaitu 5 batang tanaman dengan konsentrasi 10 mg/l logam berat Pb atau Cd dan 10 batang tanaman dengan konsentrasi 10 mg/l logam berat Pb atau Cd.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

### A. Fitoremediasi Dengan Logam Berat Timbal (Pb)

Berikut merupakan pengamatan harian pada tanaman selama proses fitoremediasi logam berat timbal dengan tanaman Coontail yang berlangsung selama 10 hari. Beberapa pengamatan harian yang dilakukan antara lain kondisi fisik tanaman, pH, dan suhu. Penjelasan lebih lengkap akan disajikan pada tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4. 3** Proses Fitoremediasi Dengan Logam Berat Timbal (Pb)

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
Hari Ke-0	 <p>Pada hari ke-0 pengamatan, tanaman terlihat masih berwarna hijau namun ada beberapa tanaman yang bertanda bulat merah diatas berwarna sedikit</p>	 <p>Pada hari ke-0 pengamatan, tanaman terlihat kekuningan pada gambar yang bertanda bulat merah pada beberapa batang tanaman dan untuk pengamatan pH</p>	 <p>Pada hari ke-0 pengamatan, tanaman terlihat pada gambar diatas yang bertanda bulat kondisi batang beberapa tanaman berwarna sedikit kekuningan dan</p>	 <p>Pada hari ke-0 pengamatan, beberapa batang tanaman berwarna kekuningan pada gambar diatas bertanda bulat merah dan untuk pengamatan pH pada hari ke-0</p>

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
	kekuningan karena sebelumnya sudah melewati proses aklimatisasi dan untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,40, sedangkan suhu air 24,1°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat dengan hasil yaitu sebesar 9,71 mg/l	diperoleh hasil 6,49, sedangkan suhu air 23,9°C. Pada reaktor C juga dilakukan pengujian kadar logam berat dengan hasil yaitu sebesar 9,98 mg/l.	untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,48, sedangkan suhu air 24 °C . Pada reaktor D juga dilakukan pengujian kadar logam berat dengan hasil yaitu sebesar 9,60 mg/l.	diperoleh hasil 6,59, sedangkan suhu air 23,9°C . Pada reaktor E juga dilakukan pengujian kadar logam berat dengan hasil yaitu sebesar 9,19 mg/l.
Hari ke-3	 <p>Pada hari ke-3 pengamatan,</p>	 <p>Pada hari ke-3 pengamatan,</p>	 <p>Pada hari ke-3 pengamatan,</p>	 <p>Pada hari ke-3 pengamatan,</p>

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
	tanaman terlihat sudah mulai ada daun yang rontok pada tanaman dapat dilihat tanda bulat merah yang ada pada gambar, sedangkan untuk warna batang mulai menguning dapat dilihat pada gambar dan untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,52 , sedangkan suhu air 23,7°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 7,89 mg/l	tanaman mulai terdapat daun yang rontok dapat dilihat pada tanda bulat merah diatas, sedangkan pada batang tanaman masih berwarna hijau muda dan untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,76, sedangkan suhu air 26 °C . Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 7,6 mg/l.	tanaman terlihat mulai ada beberapa daun yang rontok dilihat pada tanda bulat merah diatas, untuk kondisi batang masih hijau dan tidak ada perubahan apapun dan untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,77, sedangkan suhu air 26,2°C. Pada reaktor D juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 7,23 mg/l.	tanaman terlihat mulai rontok dibeberapa daun yang ada pada batang tanaman terlihat pada tanda bulat merah diatas, tetapi untuk kondisi batang masih hijau dan tidak ada perubahan. Untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,74, sedangkan suhu air 23,7 °C . Pada reaktor E juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 7,55 mg/l.

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
Hari ke-6	 <p>Pada hari ke-6 pengamatan, tanaman terlihat mulai kekuningan pada bagian batang serta daun dari tanaman rontok. Akan tetapi mulai muncul tunas daun baru yang dapat dilihat pada tanda merah diatas. Untuk hasil pengamatan pH diperoleh hasil 6,80, sedangkan suhu air</p>	 <p>Pada hari ke-6 pengamatan, tanaman mulai kekuningan pada bagian batang dan ada beberapa batang yang mulai patah serta daun dari tanaman rontok dapat dilihat pada gambar, akan tetapi masih terdapat tanaman yang berwarna hijau dapat dilihat pada tanda bulat merah diatas. Untuk</p>	 <p>Pada hari ke-6 pengamatan, tanaman mulai berubah warna kekuningan pada bagian batang serta daun dari tanaman rontok. Akan tetapi mulai muncul tunas daun yang baru pada batang tanaman dapat dilihat pada tanda bulat merah diatas. Untuk pengamatan pH diperoleh hasil</p>	 <p>Pada hari ke-6 pengamatan, tanaman terlihat mulai berubah menjadi warnanya menjadi kekuningan pada bagian batang serta daun juga dari tanaman mulai rontok. Sedangkan tanaman juga masih ada yang berwarna hijau pada tanda bulat merah yang ada pada gambar. Untuk hasil</p>

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
	21,3 °C .. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 4,8 mg/l	pengamatan pH diperoleh hasil 6,84, sedangkan suhu air 22,0°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 4,82 mg/l	6,81, sedangkan suhu air 26,0°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 4,86 mg/l	pengamatan pH diperoleh hasil 6,82, sedangkan suhu air 25,9°C.. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 4,3 mg/l
Hari ke-9	 <p>Pada hari ke-9 pengamatan, tanaman mulai terlihat berubah warna menjadi kecoklatan dan</p>	 <p>Pada hari ke-9 pengamatan, tanaman terlihat mulai berubah warna pada batang yang semakin</p>	 <p>Pada hari ke-9 pengamatan, tanaman terlihat mulai semakin</p>	 <p>Pada hari ke-9 pengamatan, tanaman terlihat makin kekuningan</p>

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
	daun-daun semakin banyak yang rontok dari batang tanaman dan kondisi batang juga mulai banyak yang patah dapat dilihat pada gambar, sedangkan pada batang terdapat tunas daun yang tumbuh. Untuk pengukuran pH didapatkan hasil 6,88, sedangkan suhu air 25,1°C. Pada reaktor B diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 1,77 mg/l	kekuningan dan juga mulai patah pada beberapa batang. Akan tetapi masih ada batang dan daun yang masih berwarna hijau dapat dilihat pada tanda merah diatas. Untuk pengukuran pH didapatkan hasil 6,92, sedangkan suhu air 25,2°C. Pada reaktor C juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 1,35 mg/l.	kekuningan dapat dilihat pada tanda bulat merah diatas, akan tetapi terdapat pertumbuhan tunas daun yang baru pada batang tanaman. Untuk pengukuran pH didapatkan hasil 6,92, sedangkan suhu air 26,1°C. Pada reaktor D juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 1,28 mg/l.	pada beberapa batang tanaman dan daun semakin banyak yang rontok dari batangnya. Sedangkan ada pertumbuhan tunas baru yang dapat dilihat pada tanda bulat merah. Untuk pengukuran pH didapatkan hasil 6,99, sedangkan suhu air 25,8°C. Pada reaktor E juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 1,16 mg/l.

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

**B. Fitoremediasi Dengan Logam Berat Cadmium (Cd)**

Berikut merupakan pengamatan harian pada tanaman selama proses fitoremediasi logam berat cadmium dengan tanaman Coontail yang berlangsung selama 10 hari. Beberapa pengamatan harian yang dilakukan antara lain kondisi fisik tanaman, pH, dan suhu. Penjelasan lebih lengkap akan disajikan pada tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4. 4** Proses Fitoremediasi Dengan Logam Berat Cadmium (Cd)

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
Hari Ke-0	 <p>Pada hari ke-0 pengamatan, tanaman terlihat masih berwarna hijau namun ada beberapa tanaman yang berwarna sedikit kekuningan dapat dilihat pada tanda merah yang ada pada</p>	 <p>Pada hari ke-0 pengamatan, tanaman terlihat kekuningan pada beberapa batang serta daun tanaman dapat dilihat tanda merah yang ada pada gambar diatas. Akan tetapi masih ada</p>	 <p>Pada hari ke-0 pengamatan, tanaman terlihat ada yang berwarna kekuningan pada beberapa batang tanaman pada gambar dapat dilihat yang terdapat tanda bulat merah dan untuk</p>	 <p>Pada hari ke-0 pengamatan, tanaman terlihat kekuningan pada beberapa batang maupun daun tanaman yang dapat dilihat pada tanda bulat merah diatas dan untuk pengamatan pH pada hari ke-0</p>

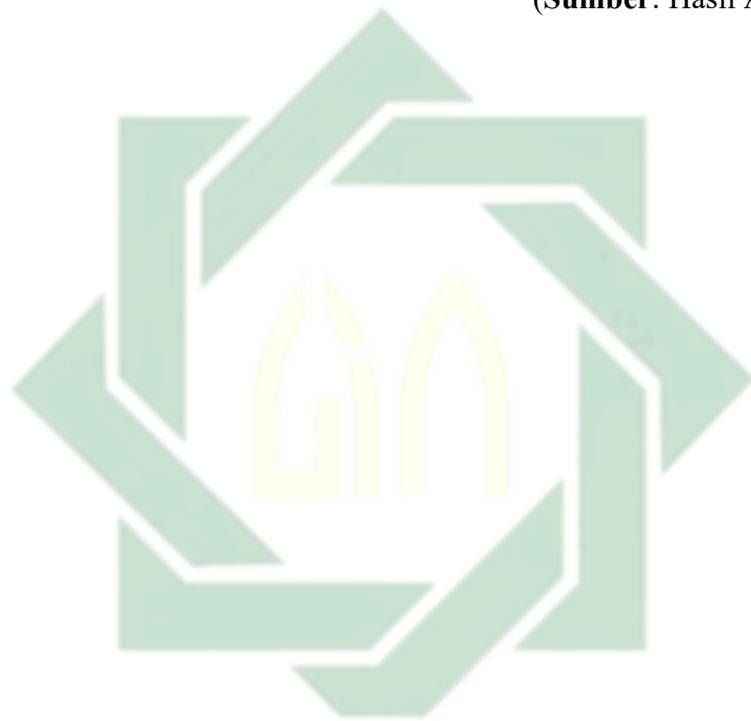
Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
	gambar diatas karena sebelumnya melewati proses aklimatisasi dan untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,70, sedangkan suhu air 25,2°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat dengan hasil yaitu sebesar 9,3 mg/l.	tanaman yang terlihat masih segar dan untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,71, sedangkan suhu air 25,3°C. Pada reaktor C juga dilakukan pengujian kadar logam berat dengan hasil yaitu sebesar 9,6 mg/l.	pengamatan pH diperoleh hasil 6,76, sedangkan suhu air 24,6°C. Pada reaktor D juga dilakukan pengujian kadar logam berat dengan hasil yaitu sebesar 9,9 mg/l.	diperoleh hasil 6,77, sedangkan suhu air 24,2°C. Pada reaktor E juga dilakukan pengujian kadar logam berat dengan hasil yaitu sebesar 9,8 mg/l.
Hari ke-3	 <p>Pada hari ke-3 pengamatan, tanaman terlihat sudah mulai ada daun yang rontok pada tanaman akan tetapi kondisi batang masih sama seperti hari sebelumnya</p>	 <p>Pada hari ke-3 pengamatan, tanaman terlihat juga ada yang sudah mulai rontok pada beberapa tanaman akan tetapi kondisi batang masih ada yang</p>	 <p>Pada hari ke-3 pengamatan, kondisi tanaman terlihat mulai ada beberapa daun mulai ada yang berubah menjadi kuning pada gambar diatas bertanda bulat</p>	 <p>Pada hari ke-3 pengamatan, tanaman juga terlihat mulai rontok pada beberapa daun yang ada pada batang tanaman, tetapi untuk kondisi batang masih hijau dan</p>

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
	masih berwarna hijau namun beberapa ada yang berwarna kekuningan terdapat pada tanda merah diatas dan untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,79. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 7,6 mg/l	berwarna hijau dan ada beberapa yang berwarna kekuningan terdapat pada tanda merah yang ada pada gambar diatas, untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,77, sedangkan suhu air 22,5°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 7,2 mg/l	merah, untuk kondisi batang masih hijau dan tidak ada perubahan apapun dan untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,79, sedangkan suhu air 22,4°C. Pada reaktor D juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 6,4 mg/l.	tidak ada perubahan, pada gambar dengan tanda merah diatas menunjukkan perubahan warna pada beberapa batang menjadi kuning. Untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,81, sedangkan suhu air 22,0°C. Pada reaktor E juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 6,1 mg/l.
Hari ke-6	 <p>Pada hari ke-6 pengamatan, tanaman terlihat mulai kekuningan pada bagian batang serta daun dari tanaman yang rontok yang ditunjukkan pada</p>	 <p>Pada hari ke-6 pengamatan, tanaman masih terlihat kekuningan pada bagian batang dan ada beberapa batang yang mulai patah serta daun dari</p>	 <p>Pada hari ke-6 pengamatan, tanaman mulai berubah warna kekuningan pada bagian batang serta daun dari tanaman rontok dilihat pada gambar yang bertanda</p>	 <p>Pada hari ke-6 pengamatan, tanaman terlihat mulai berubah menjadi kekuningan pada bagian batang serta terdapat daun dari tanaman yang rontok ditunjukkan</p>

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
	tanda merah diatas. Untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,82, sedangkan suhu air 23,4°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 4,9 mg/l	tanaman rontok ditunjukkan pada tanda merah diatas. Untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,84, sedangkan suhu air 22,9°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 4,37 mg/l	merah diatas. Untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,89, sedangkan suhu air 22,9°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 3,5 mg/l	pada tanda merah diatas. Untuk pengamatan pH diperoleh hasil 6,99, sedangkan suhu air 25,9°C. Pada reaktor B juga diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 3,36 mg/l
Hari ke-9	 <p>Pada hari ke-9 pengamatan, tanaman mulai terlihat berubah warna menjadi kecoklatan dan daun-daun semakin banyak yang rontok dari batang tanaman dan kondisi batang juga mulai banyak yang patah dapat dilihat</p>	 <p>Pada hari ke-9 pengamatan, tanaman terlihat mulai berubah warna pada batang yang semakin kekuningan dan juga mulai patah pada beberapa batang yang ditunjukkan pada tanda merah diatas. Untuk pengukuran pH</p>	 <p>Pada hari ke-9 pengamatan, tanaman terlihat mulai semakin kekuningan yang ditunjukkan pada tanda merah diatas, akan tetapi masih terdapat beberapa tanaman yang berwarna hijau. Untuk pengukuran pH didapatkan</p>	 <p>Pada hari ke-9 pengamatan, tanaman terlihat warna tanaman semakin kecoklatan pada beberapa batang tanaman dan daun semakin banyak yang rontok dari batangnya ditunjukkan pada tanda merah diatas. Untuk pengukuran</p>

Hari	REAKTOR			
	REAKTOR B (5 TANAMAN)	REAKTOR C (5 TANAMAN)	REAKTOR D (10 TANAMAN)	REAKTOR E (10 TANAMAN)
	pada tanda merah yang ada pada gambar. Untuk pengukuran pH didapatkan hasil 6,98, sedangkan suhu air 23,3 °C. Pada reaktor B diuji kandungan logam berat yaitu sebesar 2,7 mg/l	didapatkan hasil 6,98, sedangkan suhu air 23,3 °C. Pada reaktor C juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 2,37 mg/l.	hasil 7,11, sedangkan suhu air 23,2 °C . Pada reaktor D juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 1,5 mg/l.	pH didapatkan hasil 7,13, sedangkan suhu air 24,9 °C. Pada reaktor E juga dilakukan pengujian kadar logam berat yaitu sebesar 1,36 mg/l.

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)



Berdasarkan data tabel hasil uji kandungan logam berat diatas menunjukkan bahwa adanya penurunan selama proses fitoremediasi yang berlangsung selama 10 hari. Adapun pengamatan selama proses fitoremediasi yaitu terjadinya perubahan morfologi pada tanaman Coontail. Pada tiap reaktor mengalami penurunan yang berbeda-beda, hasil penurunan yang paling tinggi terjadi pada reaktor yang didalamnya terdapat lebih banyak jumlah tanaman yaitu pada reaktor D dan E dengan 10 tanaman yang ada pada reaktor tersebut.

Pengamatan harian mengenai pH dan suhu selama proses fitoremediasi terhadap kandungan logam berat Pb dan Cd, pengamatan dilakukan selama 10 hari pada tiap reaktor fitoremediasi. Pada uji fitoremediasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti pH dan suhu. Adapun pH air selama masa uji fitoremediasi ini tercatat pada angka berkisar antara 6,26–7,17. Nilai pH selama proses fitoremediasi dapat berubah dikarenakan adanya mekanisme air limbah yang bereaksi dengan ion OH<sup>-</sup> dan juga bisa karena dipengaruhi oleh suhu (Munandar dkk., 2018). Suhu yang mengalami penurunan dapat menyebabkan kenaikan kelarutan oksigen air dan meningkatkan nilai pH menjadi basa (Munandar dkk., 2018). Nilai pH secara tidak langsung dapat mempengaruhi perkembangan dan pertumbuhan tanaman, pada nilai pH yang kurang dari 4 untuk sebagian jenis tumbuhan air akan mengalami kematian karena tidak dapat mentoleransi pH yang terlalu rendah (Suryadi dkk., 2017). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Munandar dkk., 2018), pH mengalami kenaikan selama proses fitoremediasi tanaman Coontail yang awalnya pH 6,7 meningkat menjadi pH yang netral atau normal.

Mekanisme fitoremediasi dari tanaman Coontail menurut (Furze dkk., 2022) yaitu *Phytoextraction*: Penyerapan kontaminan dari lingkungan yang terkontaminasi oleh organ/bagian pada tanaman yang menyerap lalu mentranslokasikan ke seluruh bagian tanaman. *C. demersum* tidak memiliki akar aktif yang relatif besar, meskipun menyerap unsur-unsur dengan seluruh tubuhnya (Furze dkk., 2022). Penyerapan pada tanaman

Coontail melalui daun dan juga batang melewati jaringan pengangkut xilem yang mengangkut air lalu mengalirkan ke bagian lain pada tanaman ini. Pada batang tanaman didalamnya terdapat jaringan pengangkut yang terdiri dari xilem. Fungsi utama xilem yaitu menjadi pengangkut air serta zat-zat yang terlarut di dalamnya (Kusumaningrum, 2017). Menurut studi struktural menunjukkan bahwa logam berat yang diserap oleh tanaman ini disimpan pada dinding sel, vakuola, dan ruang antar sel yang ada pada daun dan batang dalam bentuk air sebagai nutrisi untuk tanaman (Dogan dkk., 2018). Akibatnya tanaman dalam jangka waktu yang terus menerus menyerap air yang mengandung logam berat dapat mengalami kematian karena adanya logam berat yang bersifat toksik dalam air yang digunakan sebagai nutrisi dan juga digunakan dalam proses fotosintesis (Pourrut dkk., 2011).

Pigmen fotosintesis (klorofil a, b dan karotenoid) adalah komponen penting dari fotosintesis, dan perubahan kandungannya dapat berdampak besar pada semua sistem tanaman. Pada penelitian yang dilakukan oleh Dogan dkk., 2018 diteliti kandungan klorofil a, b, dan karotenoid C. demersum yang dipapar Cd dan Pb pada konsentrasi berbeda selama 1, 3 dan 5 hari. Kandungan pigmen fotosintesis tanaman yang terpapar kedua logam tersebut menurun secara signifikan. Penurunan tersebut disebabkan oleh pengikatan Cd ke kelompok enzim sulfhidril yang bertanggung jawab untuk sintesis klorofil dan dengan demikian menghentikan sintesis klorofil. Kedua logam tersebut juga menghambat sintesis klorofil secara kuat dengan merusak enzim yang terlibat dalam fotosintesis (Dogan dkk., 2018).

### **C. Hasil Pengujian Logam Berat Pb dan Cd**

Berikut merupakan hasil pengujian terhadap kandungan logam berat Pb dan Cd selama proses fitoremediasi berlangsung. Pengujian dilakukan pada hari ke-0, 3, 6, dan 9 pada tiap reaktor fitoremediasi.

**Tabel 4. 5** Hasil Uji Kandungan Logam Berat

Reaktor	Hasil Uji Logam Berat Pb (mg/l)				Hasil Uji Logam Berat Cd (mg/l)			
	Hari Ke-0	Hari Ke-3	Hari Ke-6	Hari Ke-9	Hari Ke-0	Hari Ke-3	Hari Ke-6	Hari Ke-9
A	9,40	9,38	9,32	9,31	9,5	9,42	9,40	9,34
B	9,71	7,89	4,8	1,77	9,3	7,6	4,9	2,7
C	9,98	7,6	4,82	1,35	9,6	7,2	4,37	2,37
<b>Rata-rata Reaktor (B dan C)</b>	9,85	7,75	4,81	1,56	9,45	7,4	4,64	2,54
D	9,60	7,23	4,86	1,28	9,9	6,4	3,5	1,5
E	9,19	7,55	4,3	1,16	9,8	6,1	3,36	1,36
<b>Rata-rata Reaktor (D dan E)</b>	9,40	7,39	4,58	1,22	9,85	6,25	3,43	1,43

(Sumber: Data Primer, 2023)

Berdasarkan data tabel hasil uji kandungan logam berat diatas menunjukkan bahwa adanya penurunan selama proses fitoremediasi yang berlangsung selama 10 hari. Hasil pengujian kadar logam berat pada hari ke 9 menunjukkan adanya penurunan selama proses fitoremediasi. Pada tiap reaktor mengalami penurunan yang berbeda-beda, hasil penurunan yang paling tinggi terjadi pada reaktor yang didalamnya terdapat lebih banyak jumlah tanaman yaitu pada reaktor D dan E dengan 10 tanaman yang ada pada reaktor tersebut rata-rata hasil dari uji logam berat Pb.

Penyerapan yang terjadi pada tanaman Coontail mungkin disebabkan oleh ligan seperti glutathione dan phytochelatin synthase, protein pengikat logam dalam strukturnya dan pada studi struktural menunjukkan bahwa logam berat terutama disimpan di dinding sel, vakuola, dan ruang antar sel (Dogan dkk., 2018)

Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Dogan dkk., 2018), konsentrasi logam berat Pb dan Cd mengalami penurunan setelah dilakukan proses fitoremediasi dengan tanaman Coontail sampai dengan hari ke 5 penelitian. Pada penelitian tersebut bahwa jumlah logam

berat dalam tanaman meningkat dengan bertambahnya waktu dan konsentrasi.

#### 4.3.2 Efisiensi Removal Tanaman Coontail dalam mengurangi Pb

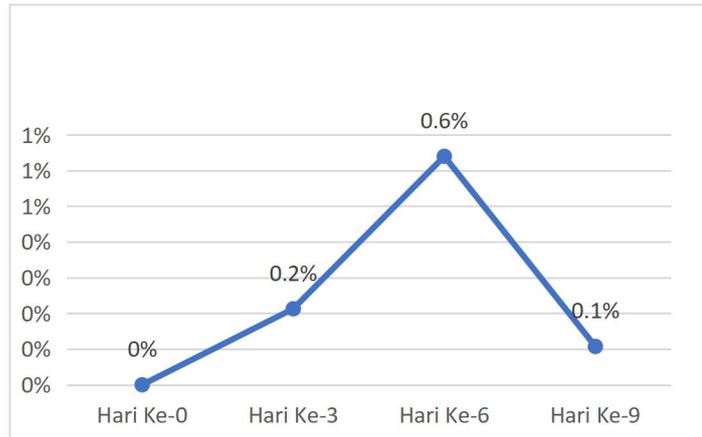
Proses fitoremediasi tanaman Coontail selama 10 hari mengalami penurunan pada tiap reaktor yang terdapat logam berat Pb didalamnya. Adanya penurunan tersebut berdasarkan hasil uji laboratorium *BARISTAN* yang menunjukkan penurunan konsentrasi logam berat selama proses berlangsungnya fitoremediasi. Berikut merupakan tabel hasil dari perhitungan efisiensi penurunan logam berat Pb.

**Tabel 4. 6** Hasil Efisiensi Removal Logam Berat Pb

Reaktor	Hasil Efisiensi Removal Logam Berat Pb (%)			
	Hari Ke-0	Hari Ke-3	Hari Ke-6	Hari Ke-9
A	0%	0,2%	0,6%	0,1%
B	0%	18,7%	39,2%	63,1%
C	0%	23,8%	36,6%	72,0%
<b>Rata-rata Reaktor (B dan C)</b>	0%	21,3%	37,9%	67,6%
D	0%	24,7%	32,8%	73,7%
E	0%	17,8%	43,0%	73,0%
<b>Rata-rata Reaktor (D dan E)</b>	0%	21,3%	37,9%	73,3%

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Pengujian dilakukan pada hari ke-0, 3, 6, dan 9 pada tiap-tiap reaktor yang didalamnya terdapat tanaman Coontail. Hasil penurunan konsentrasi tersebut kemudian dihitung menggunakan rumus efisiensi removal untuk mengetahui persen penurunan konsentrasi pada tiap-tiap reaktor saat proses fitoremediasi. Berikut merupakan hasil dari uji laboratorium sebelum dilakukan perhitungan efisiensi removal yang dijelaskan melalui grafik dibawah ini.



**Gambar 4. 2** Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor A

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

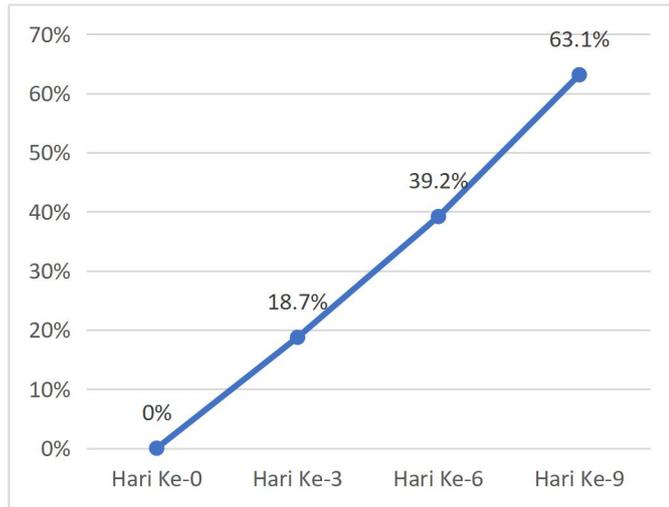
Hasil penurunan pada reaktor A pada hari ke-9 dengan hasil 9,31 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,40. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,40 - 9,31}{9,40} \times 100\%$$

$$\%E = 0,95\%$$

Dari perhitungan diatas efisiensi removal pada reaktor A yaitu sebanyak 0,95%. Reaktor A merupakan reaktor kontrol tanpa adanya tanaman. Adanya penurunan konsentrasi logam berat pada reaktor kontrol bisa terjadi karena sifat logam berat yang mudah mengendap di dasar air pada reaktor (Munandar dkk., 2018).



**Gambar 4.3** Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor B

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

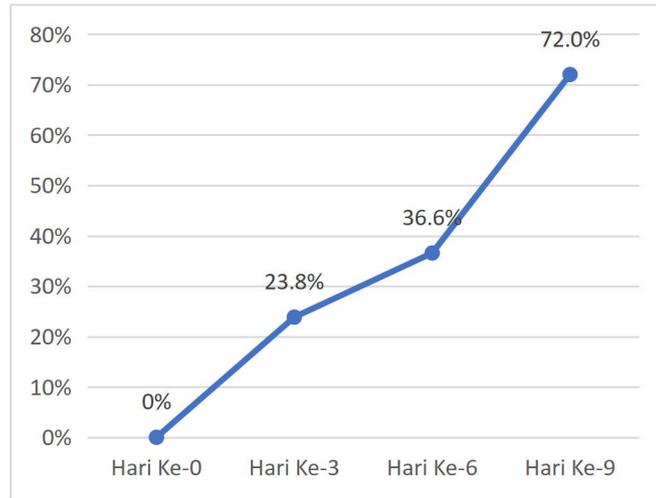
Hasil penurunan pada reaktor B pada hari ke-9 dengan hasil 1,77 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,71. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,71 - 1,77}{9,71} \times 100\%$$

$$\%E = 81\%$$

Dari perhitungan diatas efisiensi removal pada reaktor B yaitu sebanyak 81%. Reaktor B merupakan reaktor dengan 5 tanaman Coontail didalamnya.



**Gambar 4. 4** Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor C

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Hasil penurunan pada reaktor C pada hari ke-9 dengan hasil 1,35 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,98. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

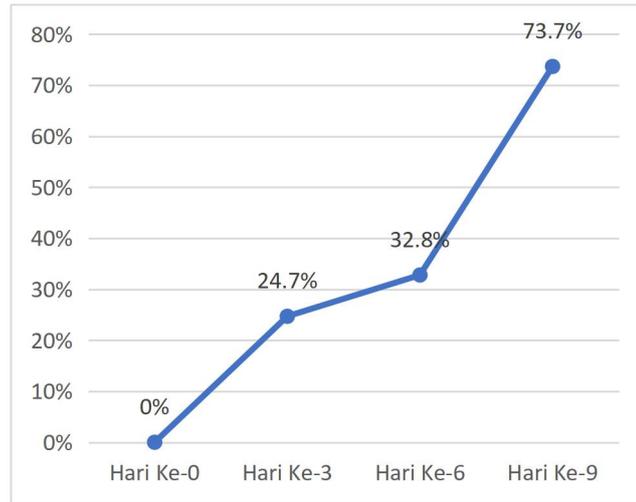
$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,98 - 1,35}{9,98} \times 100\%$$

$$\%E = 86,4\%$$

Dari perhitungan diatas efisiensi removal pada reaktor C yaitu sebanyak 86,4%. Reaktor C merupakan reaktor duplo dengan 5 tanaman Coontail didalamnya.

Dari hasil perhitungan efisiensi pada reaktor B dan C dapat dirata-rata untuk efisiensi dari 5 tanaman coontail pada penelitian ini yaitu dengan hasil sebesar 83,7%.



**Gambar 4. 5** Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor D

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

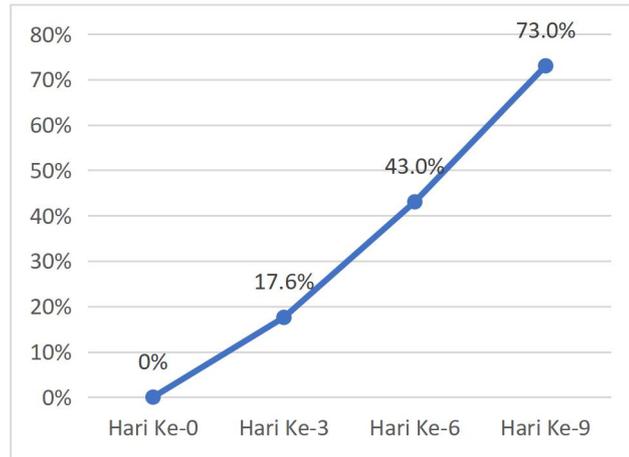
Hasil penurunan pada reaktor D pada hari ke-9 dengan hasil 1,28 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,6. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,6 - 1,28}{9,6} \times 100\%$$

$$\%E = 86,6\%$$

Dari perhitungan diatas efisiensi removal pada reaktor D yaitu sebanyak 86,6%. Reaktor D merupakan reaktor dengan 10 tanaman Coontail didalamnya.



**Gambar 4. 6** Grafik Efisiensi Removal Pb Reaktor E  
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Penurunan tertinggi yaitu pada reaktor E yaitu pada hari ke-9 dengan hasil 1,16 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,19. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,19 - 1,16}{9,19} \times 100\%$$

$$\%E = 87,3\%$$

Dari perhitungan efisiensi diatas dari reaktor E yaitu sebanyak 87,3% penurunan konsentrasi pada logam berat selama proses fitoremediasi mulai dari hari ke-0 sampai dengan hari ke-9 pengujian. Pada reaktor E tanaman Coontail yang dipakai yaitu sebanyak 10 tanaman.

Dari hasil perhitungan efisiensi pada reaktor D dan E dapat dirata-rata untuk efisiensi dari 10 tanaman coontail pada penelitian ini yaitu dengan hasil sebesar 86,95%.

Perbedaan penyerapan yang terjadi pada tiap-tiap reaktor dapat disebabkan karena pH. Semakin netral pH air yang ada pada reaktor maka nilai serapan akumulasi pada tanaman air juga tinggi (Munandar dkk., 2018). Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Munandar dkk., (2018), pada penelitian tersebut tanaman

Coontail mampu menurunkan kandungan logam berat Pb hingga 81,1%.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Abdallah (2012), fitoremediasi tanaman Coontail pada logam berat Pb dengan hasil penurunan mencapai 95% pada konsentrasi 15 mg/l. Hal yang sama terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Dogan dkk. (2018), pada penelitian tersebut tanaman Coontail mampu menurunkan kadar Pb pada konsentrasi 100 mg/l setelah 5 hari fitoremediasi.

#### 4.3.3 Efisiensi Removal Tanaman Coontail dalam mengurangi Cd

Fitoremediasi tanaman Coontail selama 10 hari menggunakan logam berat Cd didalamnya. Selama proses tersebut ada penurunan konsentrasi pada logam berat. Berdasarkan hasil uji laboratorium *BARISTAN* yang menunjukkan penurunan konsentrasi logam berat selama proses berlangsungnya fitoremediasi.

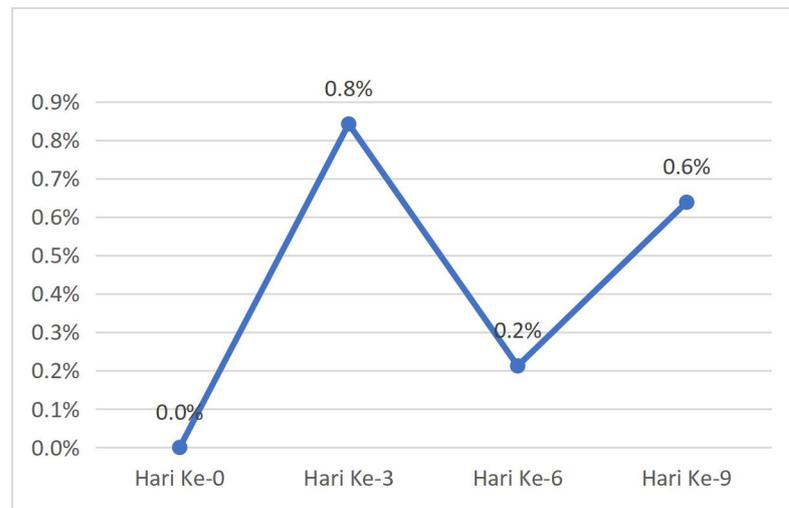
**Tabel 4. 7** Hasil Efisiensi Removal Logam Berat Cd

Reaktor	Hasil Efisiensi Removal Logam Berat Cd (mg/l)			
	Hari Ke-0	Hari Ke-3	Hari Ke-6	Hari Ke-9
A	0,0%	0,8%	0,2%	0,6%
B	0,0%	18,3%	35,5%	44,9%
C	0,0%	25,0%	39,3%	45,8%
<b>Rata-rata Reaktor (B dan C)</b>	0%	21,6%	37,4%	45,3%
D	0,0%	35,4%	45,3%	57,1%
E	0,0%	37,8%	44,9%	59,5%
<b>Rata-rata Reaktor (D dan E)</b>	0%	36,6%	45,1%	58,3%

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Pengujian dilakukan pada hari ke-0, 3, 6, dan 9 pada tiap-tiap reaktor yang didalamnya terdapat tanaman Coontail. Hasil penurunan konsentrasi tersebut kemudian dihitung menggunakan rumus efisiensi removal untuk mengetahui persen penurunan konsentrasi pada tiap-tiap reaktor saat proses fitoremediasi. Berikut merupakan hasil dari uji

laboratorium sebelum dilakukan perhitungan efisiensi removal yang disajikan melalui grafik dibawah ini.



**Gambar 4. 7** Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor A  
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

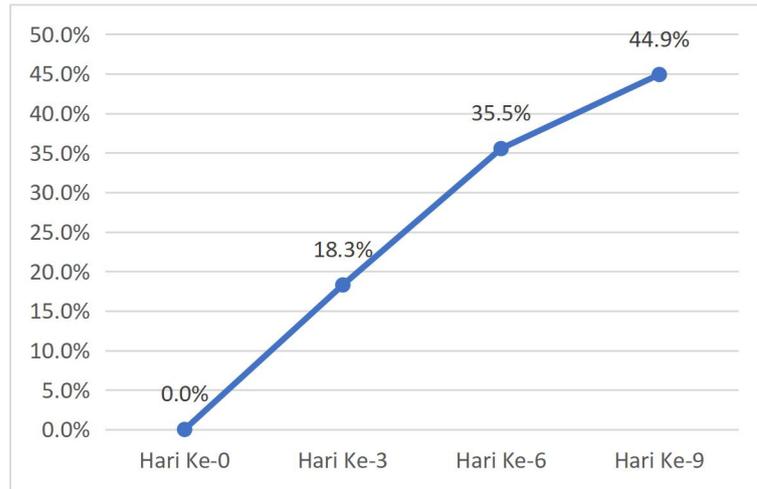
Hasil penurunan pada reaktor A pada hari ke-9 dengan hasil 9,34 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,5. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,5 - 9,34}{9,5} \times 100\%$$

$$\%E = 1,6\%$$

Dari perhitungan diatas efisiensi removal pada reaktor A yaitu sebanyak 1,6%. Reaktor A merupakan reaktor kontrol tanpa tanaman. Pada reaktor A ini mengalami penurunan pada logam berat tanpa adanya tanaman dalam reaktor, penurunan konsentrasi logam berat bisa terjadi karena sifat logam berat yang mudah mengendap di dasar air pada reaktor (Munandar dkk., 2018).



**Gambar 4. 8** Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor B  
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

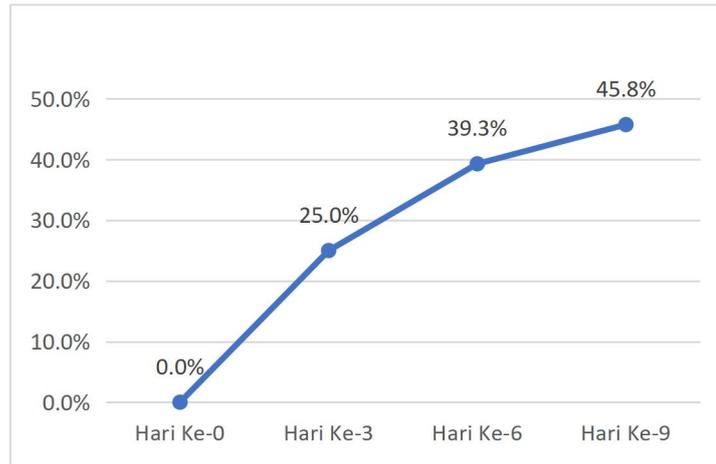
Hasil penurunan pada reaktor B pada hari ke-9 dengan hasil 2,7 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,3. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,3 - 2,7}{9,3} \times 100\%$$

$$\%E = 70\%$$

Dari perhitungan diatas efisiensi removal pada reaktor B yaitu sebanyak 70%. Reaktor B merupakan reaktor dengan 5 tanaman Coontail didalamnya.



**Gambar 4. 9** Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor C

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Hasil penurunan pada reaktor C pada hari ke-9 dengan hasil 2,37 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,6. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

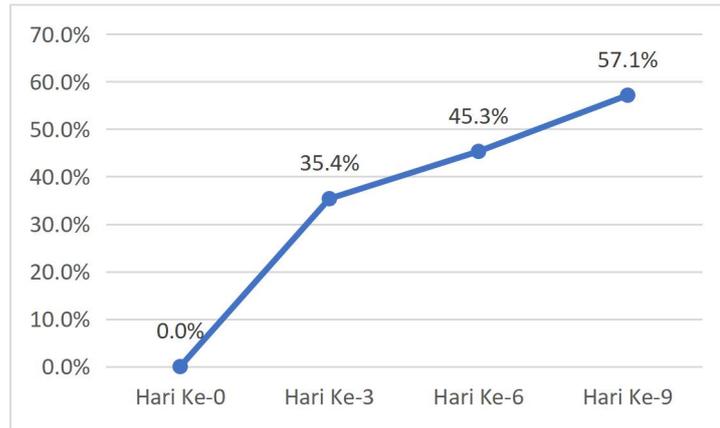
$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,6 - 2,37}{9,6} \times 100\%$$

$$\%E = 75\%$$

Dari perhitungan diatas efisiensi removal pada reaktor C yaitu sebanyak 75%. Reaktor C merupakan reaktor duplo dengan 5 tanaman Coontail didalamnya.

Dari hasil perhitungan efisiensi pada reaktor B dan C dapat dirata-rata untuk efisiensi dari 5 tanaman coontail pada penelitian ini yaitu dengan hasil sebesar 72,5%.



**Gambar 4. 10** Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor D

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Hasil penurunan pada reaktor D pada hari ke-9 dengan hasil 1,5 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,9. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

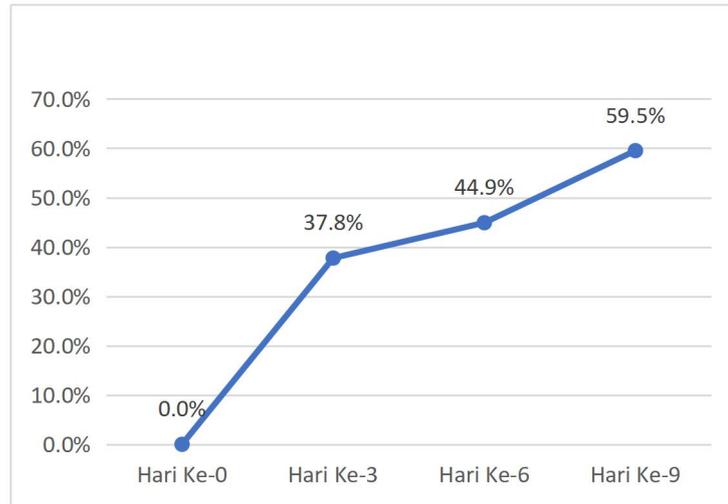
$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,9 - 1,5}{9,9} \times 100\%$$

$$\%E = 84\%$$

Dari perhitungan diatas efisiensi removal pada reaktor D yaitu sebanyak 84%. Reaktor D merupakan reaktor dengan 10 tanaman Coontail didalamnya.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



**Gambar 4. 11** Grafik Efisiensi Removal Cd Reaktor E

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Penurunan tertinggi yaitu pada reaktor E yaitu pada hari ke-9 dengan hasil 1,36 dari konsentrasi awal pada hari ke-0 yaitu 9,8. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efisiensi removal pada logam berat sebagai berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{9,8 - 1,36}{9,8} \times 100\%$$

$$\%E = 86\%$$

Dari perhitungan efisiensi diatas dari reaktor E yaitu sebanyak 86% penurunan konsentrasi pada logam berat selama proses fitoremediasi mulai dari hari ke-0 sampai dengan hari ke-9 pengujian. Pada reaktor E tanaman Coontail yang dipakai yaitu sebanyak 10 tanaman. Dari hasil perhitungan efisiensi pada reaktor B dan C dapat dirata-rata untuk efisiensi dari 10 tanaman coontail pada penelitian ini yaitu dengan hasil sebesar 85%.

Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Aasim dkk., 2023), pada penelitian tersebut tanaman Coontail mampu menurunkan kandungan logam berat Cd hingga mencapai 93,8%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Dogan dkk. (2018), fitoremediasi pada tanaman Coontail juga mampu menurunkan kadar

logam Cd pada konsentrasi 2 mg/l dalam 5 hari proses fitoremediasi. Pada penelitian (Dogan dkk., 2015), tanaman Coontail ini mampu mengakumulasi logam berat Cd sebesar 34%.

Perbedaan penyerapan yang terjadi pada tiap-tiap reaktor dapat disebabkan karena pH. Semakin netral pH air yang ada pada reaktor maka nilai serapan akumulasi pada tanaman air juga tinggi (Munandar dkk., 2018).

#### 4.3.4 Analisa Perbedaan Variasi Jumlah Tanaman terhadap Kemampuan Tanaman Coontail dalam mengurangi konsentrasi Kadmium (Cd)

Analisa perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap kemampuan tanaman Coontail dalam mengurangi konsentrasi logam berat Cd pada penelitian ini akan menggunakan aplikasi SPSS. Dalam pengujian ini akan menggunakan uji parametrik *One Way Anova*. Sebelum dilakukan uji parametrik, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas lalu dilanjutkan dengan uji homogen karena kedua uji tersebut merupakan syarat dapat dilakukannya uji *One Way Anova*. Berikut merupakan hasil dari uji normality dari data penurunan konsentrasi logam berat selama proses fitoremediasi.

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Jumlah tanaman	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasil uji	0	,220	4	.	,980	4	,900
	5	,164	8	,200*	,918	8	,417
	10	,196	8	,200*	,895	8	,260

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

**Gambar 4. 12** Hasil Uji Normalitas Data Penurunan Konsentrasi Cd

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Dari uji normality diatas menunjukkan bahwa nilai signifikansi melebihi 0,05 yang berarti data berdistribusi normal. Dari data tersebut lalu dapat dilanjutkan dengan uji homogen. Berikut

merupakan hasil dari uji homogen dari data penurunan konsentrasi logam berat selama proses fitoremediasi.

#### Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil uji	Based on Mean	7,118	2	17	,006
	Based on Median	6,713	2	17	,007
	Based on Median and with adjusted df	6,713	2	12,478	,010
	Based on trimmed mean	7,114	2	17	,006

**Gambar 4. 13** Hasil Uji Homogen Data Penurunan Konsentrasi Cd

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Dari hasil uji homogen diatas menunjukkan bahwa nilai signifikansi tidak melebihi 0,05 yang berarti data tersebut tidak homogen. Karena data tidak homogen maka akan menggunakan opsi uji nonparametrik Kruskal-Wallis. Berikut merupakan hasil dari uji non parametrik Kruskal-Wallis dari data penurunan konsentrasi logam berat selama proses fitoremediasi.

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
Hasil uji	
Kruskal-Wallis H	,176
df	1
Asymp. Sig.	,674

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable:  
Jumlah tanaman

**Gambar 4. 14** Hasil Uji Kruskal Wallis Data Penurunan Konsentrasi Cd

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Dari hasil uji non parametrik Kruskal-Wallis diatas menunjukkan bahwa nilai p-value atau *Asymp.Sig* melebihi 0,05 yang berarti tidak adanya perbedaan terhadap variasi jumlah tanaman terhadap penurunan kadar Pb dan hipotesa yang didapat adalah H0 diterima

dimana tidak adanya perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap penurunan kadar Cd.

Hal ini dapat disebabkan oleh variasi jumlah tanaman yang dipakai tidak terlalu banyak variasinya yaitu cuma 2 variasi saja. Hasil penelitian ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh (Setiyono dan Andik, 2017) fitoremediasi logam Kromium dengan menggunakan tanaman enceng gondok, kayu apu, dan kayambang, dimana hasil dari uji Kruskal-Wallis menunjukkan nilai p-value atau *Asymp.Sig* yang melebihi 0,05 yang berarti tidak terdapat perbedaan. Hal tersebut juga dikarenakan jumlah variasi tanaman yang digunakan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Lidiana, 2022), pada penelitian tersebut hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan nilai *Asymp.Sig* yang melebihi 0,05 yang berarti tidak terdapat perbedaan. Hasil tersebut dapat disebabkan tidak ada perbedaan nyata pada uji karena penggunaan variasi jumlah tanaman dan waktu paparan dalam penelitian tersebut terlalu sedikit. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh (Laili, 2017), pada penelitian tersebut hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan adanya perbedaan dengan menggunakan 3 variasi jumlah tanaman (2 tanaman, 3 tanaman, dan 4 tanaman) dengan lama waktu kontak 30 hari. Pada penelitian tersebut menggunakan empat kelompok dimana masing-masing kelompok terdiri dari 5 replikasi.

#### **4.3.5 Analisa Perbedaan Variasi Jumlah Tanaman terhadap Kemampuan Tanaman Coontail dalam mengurangi konsentrasi Timbal (Pb)**

Analisa perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap kemampuan tanaman Coontail dalam mengurangi konsentrasi logam berat Pb pada penelitian ini akan menggunakan aplikasi SPSS. Dalam pengujian ini akan menggunakan uji parametrik *One Way Anova*. Sebelum dilakukan uji parametrik, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas lalu dilanjutkan dengan uji homogen karena kedua uji tersebut merupakan syarat dapat dilakukannya uji *One Way Anova*. Berikut merupakan

hasil dari uji normality dari data penurunan konsentrasi logam berat selama proses fitoremediasi.

**Tests of Normality**

Jumlah tanaman	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasil uji 0	,302	4	.	,827	4	,161
5	,185	8	,200*	,910	8	,357
10	,185	8	,200*	,910	8	,355

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

**Gambar 4. 15** Hasil Uji Normalitas Data Penurunan Konsentrasi Pb

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Dari uji normality diatas menunjukkan bahwa nilai signifikansi melebihi 0,05 yang berarti data berdistribusi normal. Dari data tersebut lalu dapat dilanjutkan dengan uji homogen. Berikut merupakan hasil dari uji homogen dari data penurunan konsentrasi logam berat selama proses fitoremediasi.

**Test of Homogeneity of Variances**

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil uji	Based on Mean	6,650	2	17	,007
	Based on Median	6,304	2	17	,009
	Based on Median and with adjusted df	6,304	2	13,977	,011
	Based on trimmed mean	6,646	2	17	,007

**Gambar 4. 16** Hasil Uji Homogen Data Penurunan Konsentrasi Pb

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Dari hasil uji homogen diatas menunjukkan bahwa nilai signifikansi tidak melebihi 0,05 yang berarti data tersebut tidak homogen. Karena data tidak homogen maka akan menggunakan opsi uji nonparametrik Kruskal Wallis. Berikut merupakan hasil dari uji non parametrik Kruskal Wallis dari data penurunan konsentrasi logam berat selama proses fitoremediasi.

## Test Statistics<sup>a,b</sup>

	Hasil uji
Kruskal-Wallis H	,397
df	1
Asymp. Sig.	,529

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:  
Jumlah tanaman

**Gambar 4. 17** Hasil Uji Kruskal Wallis Data Penurunan Konsentrasi Pb

(**Sumber:** Hasil Analisa, 2023)

Dari hasil uji non parametrik Kruskal Wallis diatas menunjukkan bahwa nilai p-value atau *Asymp.Sig* melebihi 0,05 yang berarti tidak adanya perbedaan terhadap variasi jumlah tanaman terhadap penurunan kadar Pb atau hipotesa yang didapat adalah H0 diterima dimana tidak adanya perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap penurunan kadar Pb.

Hasil penelitian ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh (Setiyono dan Andik, 2017) fitoremediasi logam Kromium dengan menggunakan tanaman enceng gondok, kayu apu, dan kayambang, dimana hasil dari uji Kruskal-Wallis menunjukkan nilai p-value atau *Asymp.Sig* yang melebihi 0,05 yang berarti tidak terdapat perbedaan.

Hal ini dapat disebabkan dari beda variasi jumlah tanaman yang hanya memakai 2 variasi saja yaitu 5 dan 10 tanaman, seharusnya memakai variasi jumlah tanaman yang lebih beragam supaya dapat terlihat perbedaannya. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Lidiana, 2022), pada penelitian tersebut hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan nilai *Asymp.Sig* yang melebihi 0,05 yang berarti tidak terdapat perbedaan. Hal tersebut dapat disebabkan tidak ada perbedaan nyata pada uji karena penggunaan variasi jumlah tanaman dan waktu paparan dalam penelitian tersebut yang terlalu sedikit. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh (Laili, 2017), pada penelitian

tersebut hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan adanya perbedaan dengan menggunakan 3 variasi jumlah tanaman (2 tanaman, 3 tanaman, dan 4 tanaman) dengan lama waktu kontak 30 hari. Pada penelitian tersebut menggunakan empat kelompok dimana masing-masing kelompok terdiri dari 5 replikasi.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan penelitian diatas sebagai berikut:

1. Efisiensi tanaman Coontail dalam menurunkan kadar limbah logam Pb dengan 5 tanaman sebesar 81% dan 86,4 dengan hasil rata-rata sebesar 83,7%, sedangkan hasil pada reaktor dengan 10 tanaman sebesar 86,6% dan 87,3% dengan hasil rata-rata sebesar 86,95%. Pada reaktor dengan logam berat Cd dengan 5 tanaman penyerapan yang dihasilkan sebesar 70% dan 75% dengan hasil rata-rata sebesar 72,5%, dan reaktor dengan 10 tanaman penyerapan yang dihasilkan sebesar 84% dan 86% dengan hasil rata-rata sebesar 85%. Penyerapan tertinggi terdapat pada reaktor dengan 10 tanaman yang memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 87,3% pada logam Pb dan 86% pada logam Cd.
2. Berdasarkan dari uji statistik non parametrik Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa hasil *Asymp.Sig* tidak melebihi 0,05 yang artinya  $H_0$  diterima dimana tidak adanya perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap penurunan kadar Pb dan Cd.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dari pembahasan penelitian diatas sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan konsentrasi yang lebih besar dan waktu tinggal yang lebih lama pada fitoremediasi tanaman Coontail.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan menambah variasi jumlah tanaman yang akan digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

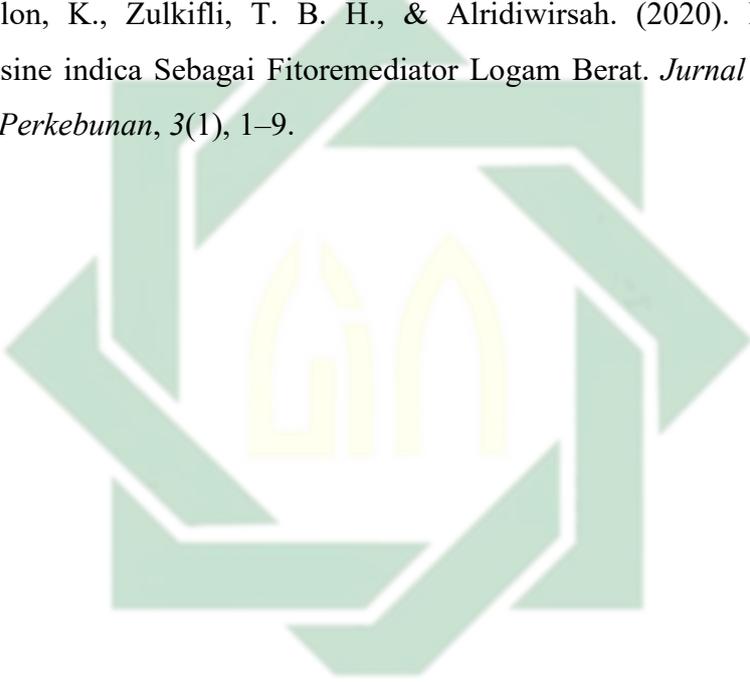
- Aasim, M., Ali, S. A., Aydin, S., Bakhsh, A., Sogukpinar, C., Karatas, M., Khawar, K. M., & Aydin, M. E. (2023). Artificial intelligence–based approaches to evaluate and optimize phytoremediation potential of in vitro regenerated aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 40206–40217. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25081-3>
- Abdallah, M. A. M. (2012). Phytoremediation of heavy metals from aqueous solutions by two aquatic macrophytes, *Ceratophyllum demersum* and *Lemna gibba* L. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 33(14), 1609–1614. <https://doi.org/10.1080/09593330.2011.640354>
- Ajeng, A. B., & Wesen, P. (2013). Penyisihan Logam Berat Timbal (Pb) dengan Proses Fitoremediasi. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 5(2), 17–23.
- Christian W. Y, Sasmita. A., E. S. (2019). Pengaruh Penambahan Medium Nutrient Broth (NB) terhadap Pertumbuhan *Bacillus* sp. pada Bioremediasi BOD, COD, Minyak dan lemak di Air Permukaan. *Jom Fteknik*, 6(2), 1–6.
- Dogan, M., Akgul, H., Inan, O. G., & Zeren, H. (2015). Determination of cadmium accumulation capabilities of aquatic macrophytes *Ceratophyllum demersum*, *Bacopa monnieri* and *Rotala rotundifolia*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 14(4), 1010–1017.
- Dogan, M., Karatas, M., & Aasim, M. (2018). Cadmium and lead bioaccumulation potentials of an aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* L.: A laboratory study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148(August 2017), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.058>
- Dzakwan, M. A., & Ni'am, A. C. (2021). Kajian Jenis Tanaman Rumput Untuk Teknologi Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat. *Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, dan Infrastruktur II*, 413–421. <http://disbun.jabarprov.go.id/akarwangi>,
- Furze, J. N., Eslamian, S., Raafat, S. M., & Swing, K. (2022). *Competitive Bioaccumulation by Ceratophyllum demersum L.* (Vol. 2). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-98584-4\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-98584-4_1).

- Ghassani, K. N., & Titah, H. S. (2022). Kajian Fitoremediasi untuk Rehabilitasi Lahan Pertanian Akibat Tercemar Limbah Industri Pertambangan Emas. *Jurnal Teknik ITS*, 11(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i1.82682>
- Hidayah, W. N., Ilham, M., & Irwanto, R. (2020). Re-Inventarisasi Keanekaragaman Tanaman Air Dan Persebarannya Di Kebun Raya Purwodadi-Lipi. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek (SNPBS) ke V*, 209–218.
- Husaini, D. drg. R. A. dan D. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusiaan*. Lambung Mangkurat University Press.
- Jamil, A. Q. (2015). Perbedaan penyerapan logam Pb pada limbah cair antara tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica* forsk), genjer (*Limnocharis flava*), dan semanggi (*Marsilea drummondii* L). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian*, 66(April), 1-7.
- Kusumaningrum, R. (2017). Peranan Xilem Dan Floem Dalam Pertumbuhan Dan Perkembangan Tumbuhan. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 123–130.
- Laili, N. N. (2017). Fitoremediasi Tanaman Mangrove Jenis *Rhizophora apiculata* Terhadap Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Tanah. *repository Universitas Jember*.
- Lidiana, R. (2022). *Efektivitas dan Efisiensi Tanaman Genjer (Limnocharis flava) Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Batch*. 1–83.
- Lupitasari, D., & Kusumaningtyas, V. A. (2020). Pengaruh Cahaya dan Suhu Berdasarkan Karakter Fotosintesis *Ceratophyllum demersum* sebagai Agen Fitoremediasi. *Jurnal Kartika Kimia*, 3(1), 33–38. <https://doi.org/10.26874/jkk.v3i1.53>
- Munandar, A. A., Kusuma, Z., Prijono, S., & Irawanto, R. (2018). Fitoremediasi air tercemar timbal ( Pb ) dengan *Semna minor* dan *Ceratophyllum demersum* serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan *Lactuca sativa*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 867–874. <http://jtsl.uib.ac.id>
- Mustafa, H. M., & Hayder, G. (2021). Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 355–365.

<https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.009>

- Oktarina, E., Adrianto, R., & Ira Setiawati. (2017). Imobilisasi Bakteri pada Kitosan-Alginat dan Kitin-Alginat Immobilization of Bacteria on Chitosan-Alginate and Chitin-Alginate. *Majalah Teknologi Agro Industri (Tegi)*, 9(2), 1–8.
- Permadi, M. I. (2019). Pemanfaatan Bambu Air (*Equisetum* sp.) Untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Menggunakan Fitoremediasi Sistem Batch. In *digilib.uinsa.ac.id* (Vol. 8, Nomor 5).
- Polechońska, L., Klink, A., Dambiec, M., & Rudecki, A. (2018). Evaluation of *Ceratophyllum demersum* as the accumulative bioindicator for trace metals. *Ecological Indicators*, 93, 274–281. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.05.020>
- Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., & Pinelli, E. (2011). Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 213, 113–136. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9860-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9860-6_4)
- Pranoto. (2013). Fitoteknologi Dan Ekotoksikologi Dalam Pengolahan Sampah Menjadi Kompos. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(1), 66–73.
- Septy Audiyanti, Zahidah Hasan, Herman Hamdani, dan H. H. (2019). Efektifitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Sungai Citarum The Effectiveness of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) as Agent of Phytorem. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, X(1), 111–116.
- Setiyono, Andik, R. G. (2017). Pengendalian Kromium (Cr) yang Terdapat di Limbah Batik Dengan Metode Fitoremediasi. *Unnes Journal of Public Health*, 6(3), 156–160.
- Sudarmaji, J. Mukono, C. I. P. (2006). Toksikologi Logam Berat B3 Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2(23), 129–142.
- Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., & Satriawan, D. (2020). Mekanisme Fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(2), 40–47. <https://doi.org/10.35970/jppl.v2i2.360>

- Suryadi, Isna Apriani, U. K. (2017). Uji Tanaman Coontail (*Ceratophyllum Demersum*) Sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1).  
<https://doi.org/10.26418/jtllb.v5i1.18541>
- Syed, I., Fatima, H., Mohammed, A., & Siddiqui, M. A. (2018). *Ceratophyllum demersum* a Free-floating Aquatic Plant: A Review. *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research*, 6(02), 10–17.  
<https://doi.org/10.30750/ijpbr.6.2.3>
- Tampubolon, K., Zulkifli, T. B. H., & Alridiwirah. (2020). Kajian Gulma *Eleusine indica* Sebagai Fitoremediator Logam Berat. *Jurnal Agroteknologi dan Perkebunan*, 3(1), 1–9.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A