

**UJI EFEKTIVITAS REMEDIASI MENGGUNAKAN
TANAMAN *COONTAIL* (*Ceratophyllum demersum L.*) DALAM
PENYISIHAN KADAR LOGAM BESI (Fe) PADA LIMBAH
ARTIFISIAL**

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

**DIMAS ANANDA NASUTION
NIM. 180702078**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2023 M/ 1445 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

UJI EFEKTIVITAS REMEDIASI MENGGUNAKAN TANAMAN *COONTAIL* (*Ceratophyllum demersum L.*) DALAM PENYISIHAN KADAR LOGAM BESI (Fe) PADA LIMBAH ARTIFISIAL

TUGAS AKHIR

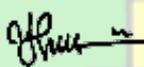
Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Persyaratan Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:
DIMAS ANANDA NASUTION
NIM. 180702078
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 27 Desember 2023
Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

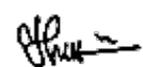
Pembimbing I,

Pembimbing II,


Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 2009118301


Arief Rahman, M.T.
NIDN. 2010038901

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

UJI EFEKTIVITAS REMEDIASI MENGGUNAKAN TANAMAN *COONTAIL* (*Ceratophyllum demersum L.*) DALAM PENYISIHAN KADAR LOGAM BESI (Fe) PADA LIMBAH ARTIFISIAL

TUGAS AKHIR

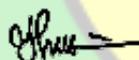
Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Rabu, 20 Desember 2023
7 Jumadil Akhir 1445 H

Di Darussalam, Banda Aceh
Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

Sekretaris,



Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 2009118301



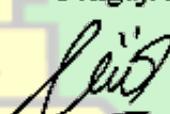
Arief Rahman, M.T.
NIDN. 2010038901

Penguji I,

Penguji II,



Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202



Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.
NIDN. 2015118002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU.
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Dimas Ananda Nasution
NIM : 180702078
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Tugas Akhir : Uji Efektivitas Remediasi Menggunakan Tanaman *Coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) Dalam Penyisihan Kadar Logam Besi (Fe) Pada Limbah Artifisial

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang benar ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 27 Desember 2023

Yang Menyatakan,

Dimas Ananda Nasution

ABSTRAK

Nama : Dimas Ananda Nasution
NIM : 180702078
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Uji Efektivitas Tanaman *Coontail*
(*Ceratophyllum demersum L.*) Dalam
Penyisihan Kadar Logam Besi (Fe) Pada
Limbah Artifisial
Tanggal Sidang : 20 Desember 2023
Jumlah Halaman : 66
Pembimbing I : Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
Pembimbing II : Arief Rahman, S.T., M.T.
Kata Kunci : Besi (Fe), *coontail*, fitoremediasi, dan logam berat

Air limbah industri menyebabkan pencemaran logam berat lingkungan khususnya perairan. Kandungan air limbah yang terkontaminasi logam berat Fe dengan kadar tinggi bersifat toksik yang merusak ekosistem perairan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang tepat dan aman bagi lingkungan. Fitoremediasi merupakan suatu metode yang memanfaatkan kemampuan tumbuhan dalam mereduksi hingga menghilangkan polutan berupa pencemaran logam berat dalam air. Penelitian ini memanfaatkan kemampuan tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) tanaman ini terbukti mampu menurunkan konsentrasi logam berat yang tercemar. Tanaman *coontail* yang digunakan sebanyak 5 tangkai dengan massa tanaman ± 40 gr dengan ukuran panjang tanaman 10 cm - 30 cm dalam satu reaktor yang berisi 5 L air limbah artifisial logam berat (Fe) dengan konsentrasi 12 mg/L. Perlakuan fitoremediasi menggunakan tiga reaktor yaitu UK1 (reaktor kontrol), U2 (5 tanaman *coontail*) dan U3 (5 tanaman *coontail* & aerator). Waktu pemaparan selama 6 hari dengan variasi pengujian hari ke-0, 3, & 6 menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan metode pengujian sesuai SNI 6989-84:1019. Hasil analisis sampel selama 6 hari pada reaktor UK1, U2, dan U3 mengalami penurunan konsentrasi Fe pada hari ke-3 sebesar 11,6 mg/L; 4,178 mg/L; 0,4848 mg/L. Pada hari ke-6 penurunan akhir sebesar 10,87 mg/L; 0,3466 mg/L; 0,3229 mg/L. Persentase efektivitas penyisihan konsentrasi Fe pada hari ke-3 sebesar 3,33%; 64,44%; dan 95,96%, pada hari ke-6 sebesar 9,41%; 97,11%; 97,30%.

ABSTRACT

Name : *Dimas Ananda Nasution*
Number ID Student : *180702078*
Department : *Environmental Engineering*
Title : *The Effectiveness of Coontail Plant
(Ceratophyllum demersum L.) for Removal in
Iron (Fe) Artificial Waste*

Date of Session : *December 20, 2023*
Number of Page : *66*
Advisor I : *Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.*
Advisor II : *Arief Rahman, S.T., M.T.*
Keywords : *Coontail; Heavy metal; Iron (Fe);
Phytoremediaton*

Industrial wastewater causes heavy metal pollution of the environment, especially waters. The content of wastewater contaminated with heavy metal Fe with high levels is toxic which damages the aquatic ecosystem. Thus, an appropriate and environmentally safe method is needed. Phytoremediation is a method of utilizing the ability of plants to reduce to eliminate pollutants in the form of heavy metal contamination in water. The study uses the ability of coontail plant (Ceratophyllum demersum L.), the plant is proven to be able to reduce the concentration of polluted heavy metals. Coontail plants are used in the amount of 5 stalks with a plant mass from ± 40 gr with a plant size length of 10 cm-30 cm in one reactor, containing 5 liters of heavy metal (Fe) artificial wastewater with a concentration of 12 mg/L. The phytoremediation treatment used three reactors where UK1 (control reactor), U2 (5 coontail plants) and U3 (5 coontail plants & Aerator). The exposure time is 6 days with variations in testing Day 0, 3, & 6 using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) with testing methods as SNI 6989-84: 1019. The results of sample analysis for 6 days in UK1, U2, and U3 reactors decreased Fe concentration on day 3rd by 11.6 mg/L; 4.178 mg/L; 0.4848 mg/L. on day 06 the final decrease was 10.87 mg/L; 0.3466 mg/L; 0.3229 mg/L. The percentage effectiveness of Fe concentration removal on day 03 was 3.33%; 64.44%; and 95.96%, on the 6th day it was 9.41%; 97.11%; 97.30%.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah *Subhanahu wa ta'ala* yang telah memberikan kemudahan, taufik, hidayah, pertolongan serta rahmat kepada manusia setiap waktunya. *Shalawat* serta salam kepada Baginda Nabi Muhammad *Shallallahu'alaihi wa sallam* yang merupakan utusan rasul-Nya yang diutus untuk menyampaikan *syariat* Allah, memperbaiki akhlak dan pikiran manusia dengan berkat dan karunia yang Allah berikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Uji Efektivitas Tanaman *Coontail (Ceratophyllum demersum L.)* Dalam Penyisihan Kadar Logam Besi (Fe) Pada Limbah *Artifisial*”**. Tugas akhir ini disusun untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Tugas akhir ini telah disusun dengan maksimal mungkin yang melibatkan bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar pembuatan tugas akhir dari awal sampai dengan selesai. Penulis juga mengucapkan banyak terimakasih kepada Ibunda Mardiah selaku orang tua dari penulis yang telah senantiasa mendoakan, mendukung, memfasilitasi dan memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir. Dan tidak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada sahabat dan teman-teman terdekat yang ikut serta mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Kemudian penulis tak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. M. Dirhamsyah, M.T. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. Selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

4. Bapak M. Faisi Ikhwali, S.T., M.Eng., Selaku Dosen Penasehat Akademi dan sekaligus Dosen Penasehat Akademik yang telah mengarahkan dan membimbing Peneliti.
5. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan masukan serta dukungan kepada Penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Arief Rahman, M.T. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan masukan serta dukungan kepada Penulis, sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Ibu Firda, S.E. yang membantu proses administrasi Prodi Teknik Lingkungan
8. Kepada Sahabat Penulis Bagus Budianto, Nazri Adhlani, S.T., Bimantara Akbar Cahyadinata, S.T., Nur Rizka Jamalia, S.T., Ulfira Rizqi Urwa, S.T., dan Dian Fatziyati, S.T. yang mendorong serta memotivasi hingga membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian.
9. Seluruh teman-teman di Teknik lingkungan Angkatan 2018 dan 2019 serta seluruh pihak yang terlibat yang memberi banyak bantuan dan dukungan penuh baik secara material, moral, kritik, saran dan masukan yang sifatnya membangun dalam kelengkapan penyusunan tugas akhir ini hingga selesai.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak, khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun tetap penulis harapkan untuk lebih menyempurnakan tugas akhir ini.

Banda Aceh, 20 Desember 2023
Penulis,



Dimas Ananda Nasution

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air Limbah	5
2.1.1 Definisi Air Limbah	5
2.1.2 Karakteristik Air Limbah	5
2.2 Logam Berat	8
2.3 Logam Besi (Fe).....	9
2.3.1 Pengertian Logam Besi (Fe).....	9
2.3.2 Dampak Logam Berat Besi (Fe) terhadap Kesehatan	9
2.4 Teknik Remediasi.....	10
2.5 Fitoremediasi	11
2.5.1 Definisi Fitoremediasi	11
2.5.2 Mekanisme Tanaman Fitoremediasi.....	12
2.6 Tanaman <i>Coontail (Ceratophyllum demersum L.)</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Tahapan Penelitian	19

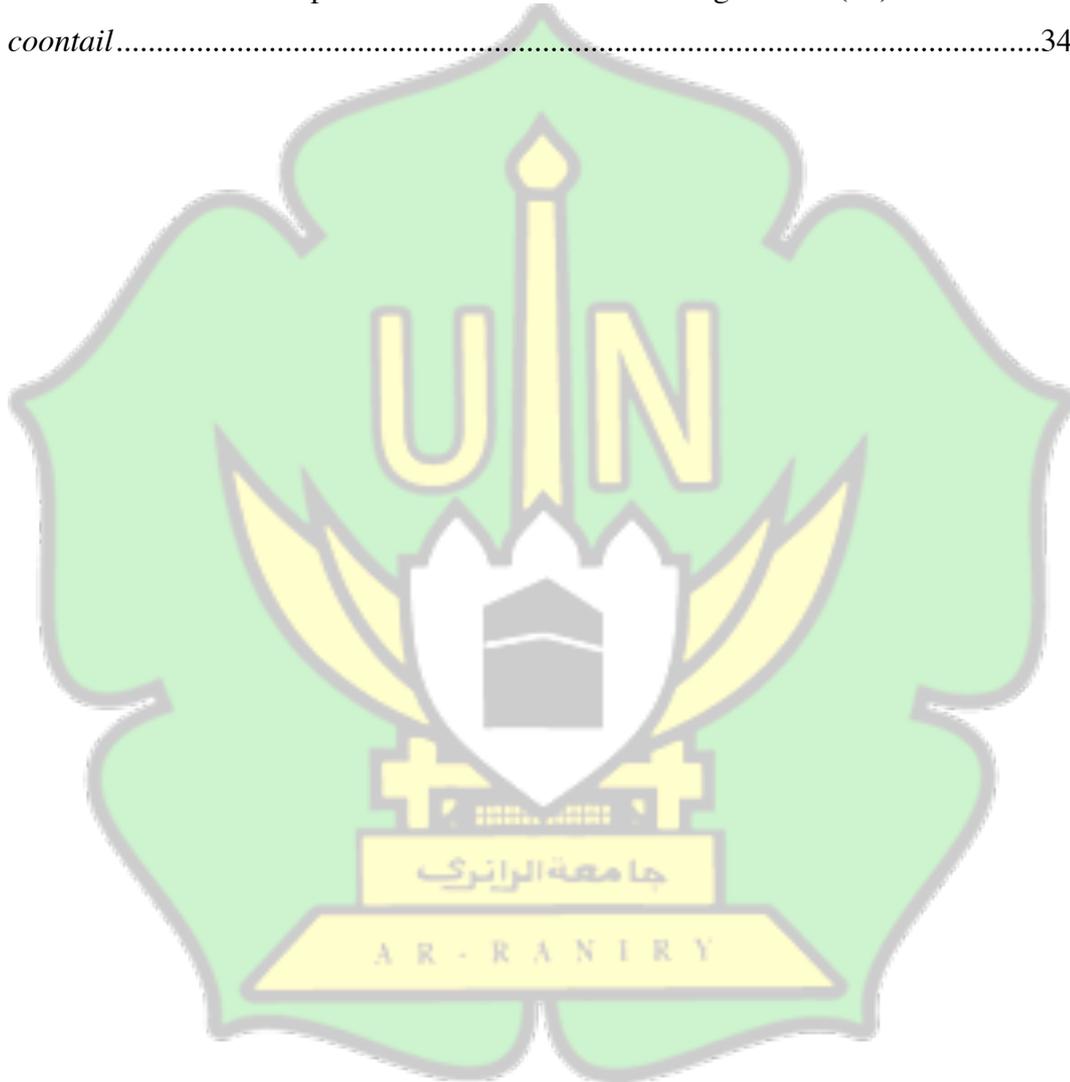
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	19
3.2.1 Waktu	19
3.2.2 Lokasi Penelitian	19
3.3 Kerangka Penelitian.....	19
3.4 Instrumen Penelitian	22
3.5 Variabel Penelitian	22
3.6 Prosedur Kerja	23
3.6.1 Uji Daya Hidup Tanaman.....	23
3.6.2 Pembuatan Larutan Limbah Artifisial Besi (Fe)	24
3.6.3 Rancangan Penelitian	26
3.6.4 Pengambilan Data.....	27
3.7 Analisis Data	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Efektivitas Penyisihan Kadar Besi (Fe) oleh Tanaman <i>Coontail</i>	29
4.2 Laju Penurunan Kadar Besi (Fe) oleh Tanaman <i>Coontail</i>	34
BAB V PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN A	49
LAMPIRAN B	50
LAMPIRAN C	51
LAMPIRAN D.....	57
LAMPIRAN E	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tanaman <i>coontail</i> (<i>Ceratophyllum demersum L.</i>).....	18
Gambar 3.1 Rangkaian Proses Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Tahapan penelitian.....	21
Gambar 3.3 Uji daya hidup tanaman <i>coontail</i> (<i>Ceratophyllum demersum L.</i>).....	23
Gambar 3.4 Proses homogenisasi pada pembuatan larutan induk Fe 500 ml	25
Gambar 3.5 Proses menimbang serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	25
Gambar 3.6 Pengambilan larutan induk sebanyak 60 ml	25
Gambar 3.7 Reaktor kontrol (UK1).....	26
Gambar 3.8 Reaktor kedua (U2) tanaman	26
Gambar 3.9 Reaktor ketiga (U3) tanaman <i>coontail</i> dilengkapi aerator	26
Gambar 4.1 Efektivitas penyisihan logam besi (Fe) pada reaktor (UK1)	30
Gambar 4.2 Efektivitas penyisihan logam besi (Fe) pada reaktor (U2)	31
Gambar 4.3 Efektivitas penyisihan logam besi (Fe) pada reaktor (U3)	32
Gambar 4.4 Efisiensi penyisihan logam besi (Fe) perbandingan ketiga reaktor ..	33
Gambar 4.5 Grafik penurunan kadar logam besi Fe pada reaktor (UK1)	35
Gambar 4.6 Grafik penurunan kadar logam besi Fe pada reaktor (U2)	36
Gambar 4.7 Grafik penurunan kadar logam besi (Fe) pada reaktor (U3).....	37
Gambar 4.8 Perbandingan penurunan kadar logam besi (Fe) reaktor	38
Gambar 4.9 Kondisi tanaman <i>coontail</i> bertunas pada uji reaktor U2 & U3	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi kasus penelitian efisiensi penggunaan tanaman <i>coontail</i>	14
Tabel 3.1 Rancangan percobaan	27
Tabel 4.1 Efektivitas penyisihan logam besi (Fe)	30
Tabel 4.2 Hasil analisa penurunan konsentrasi kadar logam besi (Fe) oleh tanaman <i>coontail</i>	34



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah cair industri merupakan buangan hasil proses atau sisa dari suatu kegiatan industri yang berwujud cair dimana keberadaannya pada suatu tempat tidak dikehendaki lingkungannya. Limbah cair yang tidak dikelola dengan tepat dapat menimbulkan dampak yang buruk terhadap alam dan perairan karena mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan lingkungan, dan mempengaruhi kelestarian makhluk hidup (Afidah dkk., 2023). Hal ini dikarenakan pada limbah cair terkandung beragam senyawa anorganik berbahaya. Senyawa anorganik atau polutan yang menjadi sumber pencemaran, salah satunya adalah logam berat (Setiady, 2022).

Logam berat merupakan salah satu jenis zat polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan. Kontaminasi logam berat dengan kadar yang tinggi pada perairan akibat dari paparan limbah cair industri, suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan, membentuk sedimentasi sehingga memungkinkan menyebabkan masyarakat yang menggunakan air yang mengandung logam berat, sehingga mengakibatkan terjadinya kontaminasi dan kontak langsung dengan tubuh manusia (Nasution & Sihombing, 2017).

Sebagaimana studi kasus yang dilakukan pada kandungan Air Anak Pelus daerah sekitar Industri Batik Dusun Kauman Sukaraja, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah dengan hasil analisa menunjukkan nilai logam besi (Fe) tertinggi senilai 9,95 mg/kg (Nugrayani et al., 2023). Kasus pencemaran logam Fe juga terjadi tepatnya di Perairan Tambak Lorok, Semarang yang terletak di pantai utara Jawa, dikelilingi berbagai industri, PLTU PT Indonesia Power, Pelabuhan Tanjung Mas, hasil identifikasi sampel air yang terkandung logam berat Fe senilai 7,953 hingga 8,62 mg/l. (Prihati et al., 2020). Berdasarkan studi kasus menunjukkan pencemaran logam besi Fe yang cukup memprihatinkan di lingkungan sekitar industri khususnya perairan. Sehingga dibutuhkan metode yang tepat untuk menanggulangi hingga mengurangi permasalahan pencemaran yang diakibatkan oleh logam berat salah satunya logam besi (Fe).

Baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022 tentang Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan dengan Menggunakan Lahan Basah Buatan menyebutkan bahwasanya standar baku mutu parameter besi (Fe) ialah sebesar 5 mg/l maka dari itu hal tersebut bisa dinyatakan sebagai salah satu dari kasus pencemaran besi Fe yang terjadi di beberapa wilayah perairan kabupaten kota di Indonesia. Logam besi Fe dengan kadar yang cukup tinggi dapat membahayakan, bahkan menyebabkan racun bagi makhluk hidup baik tumbuhan, hewan maupun manusia (Supriyantini & Endrawati, 2015).

Salah satu teknik modern yang digunakan untuk pemulihan ekosistem yang terhadap kontaminan adalah fitoremediasi. Fitoremediasi adalah sebuah teknologi pemanfaatan berbagai tumbuhan hidup untuk mengatasi permasalahan lingkungan seperti pencemaran air. Kemampuan tanaman air dalam meremediasi logam, pada jaringan dan sel yang sangat dipengaruhi oleh lamanya waktu, pada saat pemaparan (Irhamni dkk., 2017). Kemampuan tanaman memiliki mekanisme yang cukup baik dalam mereduksi hingga mengurangi kadar kandungan polutan atau limbah yang terkandung didalam suatu perairan (Hartanti dkk., 2014).

Beberapa studi mengemukakan bahwa teknik fitoremediasi aman dan efektif dimanfaatkan, sehingga tidak berdampak serius bagi lingkungan tentunya dengan pemantauan dan pengelolaan yang tepat. melalui penerapan metode ini, penurunan kadar logam mampu menetralkan kondisi di sekitar area lingkungan pada perairan tanah, sungai, danau hingga sumur yang terkontaminasi limbah cair toksik dari aktivitas industri yang tak terkontrol menyebabkan terganggunya kualitas air kerusakan lingkungan. kerusakan dapat dipulihkan melalui usaha fitoremediasi guna mengembalikan daya dukung kualitas tanah dan perairan di wilayah sekitar agar terbebas dari kontaminasi (Hardiani, 2008).

Salah satu tanaman ganggang air *coontail* (*Ceartophyllum demersum L.*) diketahui memiliki kemampuan dalam menyerap hingga mengurangi zat toksik pada air dan tanah sehingga beberapa kali dimanfaatkan guna membersihkan area lingkungan yang tercemar (Al-Thahaibawi, 2021). Berdasarkan uraian-uraian diatas perlu dilakukan penelitian bagaimana efektivitas waktu dan kemampuan tanaman *coontail* sebagai fitoremediator dalam meremediasi limbah logam berat Besi (Fe).

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah yang menjadi topik pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat efektivitas penggunaan tanaman *coontail* dalam menurunkan kadar logam besi (Fe) pada limbah cair artifisial?
2. Bagaimana kemampuan tanaman *coontail* untuk menurunkan kadar logam besi (Fe) pada limbah cair artifisial?

1.3 Tujuan Penelitian

Beberapa hal mengenai tujuan yang diharapkan pada penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui tingkat efektivitas dan efisiensi penggunaan tanaman *coontail* dalam mendegradasi kadar logam besi (Fe) pada limbah cair artifisial.
2. Mengetahui tingkat laju penurunan jumlah kadar logam besi (Fe) pada limbah cair artifisial dari perbandingan nilai konsentrasi besi (Fe) dan keseluruhan variasi jumlah tanaman *coontail*.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa hal mengenai manfaat yang diharapkan pada penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Memberikan wawasan tentang pengolahan air limbah kontaminan logam berat secara fitoremediasi menggunakan tanaman *coontail*.
2. Menambah pengetahuan bagaimana mekanisme kemampuan tanaman akuatik jenis ganggang, *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) sebagai fitoremediator.
3. Memberikan pengetahuan tentang efektivitas fitoremediasi menggunakan tanaman *coontail* dalam mereduksi kandungan logam berat besi (Fe).
4. Memperluas wawasan penulis tentang kemajuan teknologi alternatif sebagai upaya pengelolaan dan pengolahan ekosistem yang ramah lingkungan.

1.5 Batasan Penelitian

Beberapa hal mengenai batasan-batasan pada penelitian ini, diantaranya:

1. Sampel air yang diuji dalam penelitian adalah logam besi (Fe) dari air limbah artifisial (buatan) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 12 mg/L yang dilarutkan didalam 500 ml aquades sebagai larutan induk.
2. Penelitian ini tidak adanya pemilihan usia tertentu pada penggunaan tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*).
3. Tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) yang digunakan dengan ciri fisik dengan struktur batang, daun kuat dan kaku. berwarna hijau tua berukuran tinggi 15-40 cm dengan lebar rata-rata 4-6 cm dan hijau muda berukuran 5-10 cm dengan ukuran lebar rata-rata 2-3 cm.
4. Penelitian ini menggunakan media reaktor berjumlah (3) tiga buah dengan metode sistem *batch*. ukuran reaktor berdasarkan 28×28×16 cm.
5. Kadar sampel air limbah yang diuji sebanyak 3 tahap yaitu pada hari ke-0 ke-3, dan ke-6 melalui uji menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) yang diuji pada Laboratorium.
6. Kemampuan tanaman *coontail* dinilai berdasarkan efektivitas penurunan kadar logam besi (Fe).
7. Penelitian ini menggunakan aerator (stone ball) tanpa perhitungan (debit) jumlah oksigen yang masuk.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

2.1.1 Definisi Air Limbah

Limbah cair atau buangan merupakan air yang tidak dapat dimanfaatkan lagi serta dapat menimbulkan dampak yang buruk terhadap manusia dan lingkungan. Keberadaan limbah cair tidak diharapkan di lingkungan karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Pengolahan yang tepat bagi limbah cair sangat diutamakan agar tidak mencemari lingkungan (Mardana, 2007). Limbah tidak bernilai secara ekonomi maupun daya guna, melainkan dapat memberikan dampak bahaya sebagai pencemar. Khususnya jenis limbah yang mengandung bahan kimia yang sukar terurai oleh organisme bakteri (Umroningsih, 2022).

Limbah cair yang dihasilkan merupakan buangan yang dihasilkan dari kegiatan atau proses industri meliputi bahan-bahan kimia padatan maupun yang terlarut dalam bentuk cairan. Beberapa reaksi yang tercampur berakibat pada perubahan secara fisik, kimia maupun mikrobiologi yang menyebabkan timbulnya zat toksik hingga pathogen dengan kadar melebihi baku mutu, apabila terpapar oleh makhluk hidup akan mengganggu kesehatan dan kerusakan terhadap lingkungan (Andyanto dkk., 2019).

2.1.2 Karakteristik Air Limbah

a. Karakteristik fisika

Karakteristik air limbah ditinjau secara fisik diantaranya berdasarkan: temperatur, warna yang tampak pada kandungan air limbah, aroma dan jumlah padatan yang tersuspensi pada kandungan air limbah. parameter yaitu, temperatur memiliki peranan pada pengolahan pengurangan kadar limbah namun ditinjau dari segi aroma yang khas namun berbahaya. Adapun ciri fisik lain seperti warna dapat dinilai melalui spektrum warna yang beragam, tergantung dari limbah yang dihasilkan. Sedangkan padatan yang terdapat pada air limbah yaitu: *Suspended* atau *Dissolved*, *Settleable* dan *Floatin*.

b. Karakteristik biologi

Karakteristik air limbah secara biologi yaitu, terdapat didalamnya jenis organisme seperti mikroorganisme yang bervariasi hampir dalam semua bentuk pada air limbah. Beberapa sel tunggal yang bebas ataupun berkoloni mampu melakukan metabolisme dengan baik untuk berkembang dan bereproduksi. Bakteri juga berperan penting dalam menentukan kandungan kualitas air limbah.

c. Karakteristik kimia

Karakteristik air limbah secara kimia yaitu meliputi senyawa organik dan anorganik. Kandungan senyawa organik adalah suatu karbon yang dikombinasi satu atau lebih dengan elemen lain seperti unsur Nitrogen, Fosfor, Hidrogen, & Oksigen. Adapun mengenai senyawa non organik lain diantaranya ialah senyawa yang terdiri dari beragam logam non esensial seperti Timbal, Tembaga, Krom, Arsenik dan sejenisnya. Kandungan logam non organik lain didalamnya juga akan bersifat racun (*toxic*) terlebih jika nilai konsentrasi cukup tinggi, sehingga menghalangi proses mikrobiologi hingga menyebabkan kerusakan jika terkontaminasi lingkungan. Gas dalam kandungan limbah cair umumnya berupa oksigen, karbondioksida, nitrogen, amoniak, metana dan hidrogen sulfida.

2.1.3 Faktor yang Mempengaruhi Limbah Cair

Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya sumber utama pencemar pada air limbah digolongkan menjadi zat pencemar bersifat kimia, fisik dan mikrobiologi. (Suharto, 2011:314).

a. Sumber dan jenis pencemar fisik

Sumber dan jenis pencemar fisik pada limbah cair ini meliputi temperatur, warna, pH, aroma dan kadar TSS (*Total Dissolved Solid*) atau biasa disebut dengan total padatan tersuspensi.

b. Sumber dan jenis pencemar kimia organik dan anorganik

Sumber dan jenis pencemar secara kimia yang terdapat pada limbah cair dari senyawa organik meliputi Protein, lemak, karbohidrat, minyak atau pelumas, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Organic Carbon* (TOC), *Total Oxygen Demand* (TOD), alkalinitas. Adapun, zat pencemar senyawa anorganik pada limbah cair meliputi adanya kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), Klorida (Cl), Sulfur (S), hidrogen sulfida, dan jenis gas lain yang terlarut dalam limbah cair.

c. Sumber dan jenis pencemar mikrobiologi

Sumber dan jenis pencemar mikrobiologi yang menghasilkan pencemaran limbah cair sebagai zat pencemar meliputi mikroorganisme/mikroba patogen, bakteri ataupun virus, *salmonella typhi*, cacing parasit, algae, protozoa, dan *coliform*.

2.1.4 Pengolahan Air Limbah

Limbah cair ialah hasil dari proses pengolahan kegiatan industri yang sudah tidak terpakai, kandungan yang terdapat didalam limbah juga beragam. Dilakukannya proses pengolahan limbah cair guna meminimalisir terjadinya resiko pencemaran yang berdampak pada negatif terhadap lingkungan. Secara umum proses yang dilakukan dalam pengolahan limbah cair terbagi dalam 3 proses kombinasi diantaranya proses secara kimia, fisika, dan proses secara biologi (Indrayani & Rahmah, 2018). Sebagaimana yang disebutkan Widjajanti (2009):

1. Proses Fisik

Pengolahan air limbah secara fisika Berfokus menghilangkan zat pencemar berupa sedimentasi atau padatan tersuspensi atau biasa disebut *Total Dissolved Solid* (TSS) yang terdapat pada kandungan limbah yang mempengaruhi warna dan kekeruhan.

2. Proses Kimia

Pengolahan air limbah secara kimia dilakukan dengan penambahan zat maupun bahan dengan senyawa kimia tertentu yang mendestruksi kadar pencemar yang terkandung pada limbah.

3. Proses Biologi

Pengolahan air limbah secara biologi dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan organisme. Prinsip pengolahan biologi ialah secara *aerob* (keterlibatan kandungan oksigen) dan *anaerob* (tidak melibatkan kandungan oksigen). Keterlibatan oksigen mempengaruhi kinerja bakteri, sebagaimana Haslinah (2013) menyatakan bahwa organisme Dapat bekerja dengan baik dengan memanfaatkan suplai oksigen yang cukup dalam mendegradasikan kandungan polutan tersuspensi, koloid, senyawa-senyawa organik dan patogen berbahaya lain yang terdapt pada air limbah. (Sumantri, 2013).

2.2 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur dengan kandungan molekul logam berat dengan kadar tinggi, logam dalam keadaan kadar yang tidak terlalu tinggi atau rendah pada umumnya memiliki sifat beracun bagi makhluk hidup seperti hewan dan bagi tumbuhan (Khatimah, 2022).

Logam berat dengan istilah tersebut digunakan dengan makna yang luas pembahasannya, mencakup didalamnya aktinida, logam radionuklida & senyawa organometal (*loid*). semua zat tersebut secara umum terdapat efektivitas terhadap toksisitas pada mikroba dan bioakumulasi, dan bersifat signifikan terhadap lingkungan sebagai polutan atau karena pengenalan sebagai biosida dan zat lainnya (Bosso & Enzweiler, 2002)

Bosso dan Enzweiler (2002) mengemukakan bahwa beberapa logam berat yang dimaksud antara lain tembaga (Cu), timbal (Pb), Kadmium (Cd), besi (Fe), raksa (Hg), nikel (Ni), dan krom (Cr). namun, logam berat yang disebutkan tidak sepenuhnya berbahaya atau beracun, asalkan kadar yang terkandung tidak melebihi ambang batas atau biasa yang disebut sebagai logam berat esensial. Adapun logam non esensial ialah jenis logam berat yang sama sekali belum terukur manfaat dari logam tersebut atau bahkan memiliki efek toksisitas yang tinggi.

Sebagaimana Yudo dan Said (2017) menyebutkan bahwa logam berat esensial merupakan logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme. Namun, logam tersebut bisa menimbulkan efek racun jika dalam jumlah yang tinggi atau berlebihan. Beberapa logam esensial yaitu: Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lainnya. Adapun logam berat tidak esensial merupakan logam yang tidak dibutuhkan oleh tubuh bahkan terlarang jika dikonsumsi karena efek yang ditimbulkan cukup berbahaya. Beberapa logam tidak esensial diantaranya Hg, Cd, Pb, Cr, dan lainnya.

Hal ini didapatkan bahwa logam dengan kadar yang tinggi, mampu berdampak buruk pada lingkungan sebagai pencemar, baik didalam air, tanah dan udara. yang secara alami berasal dari alam maupun kegiatan industri, serta aktivitas domestik lainnya yang dapat meningkatkan jumlah kandungan logam pada ruang lingkup lingkungan baik tanah, air dan udara. (Widowati, 2008 dalam Lisa. N, 2013).

2.3 Logam Besi (Fe)

2.3.1 Pengertian Logam Besi (Fe)

Besi merupakan unsur kimia yang bersimbol Fe. Umumnya besi ditemukan dalam bentuk kation ferro (Fe) dan juga ferri (Fe²⁺). Kandungan Fe dalam perairan secara alami dimana kondisi pH berkisar 7 (normal) dengan jumlah kadar oksigen terlarut (Rahmawati, 2019). Logam Fe (besi) tergolong jenis logam esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu secara alami sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup. Akan tetapi dalam jumlah yang tinggi mampu menimbulkan efek racun. Secara umum, kandungan pada Fe merupakan logam dengan kelompok makromineral berada dalam kerak bumi, disamping juga termasuk kelompok mikro dalam sistem biologi.

Logam	: Ferrum (Fe)
Nomor atom	: 26
Massa atom	: 55.85 gr/mo
Elektronegativitas	: 1.8
Kepadatan	: 7.8 g/cm ³ pada 20°C
Titik lebur	: 1.536 °C
Titik didih	: 2.861 °C
Radius Vanderwaals	: 0.126 nm
Radius ionic	: 0.076 nm
Isotop	: 8

2.3.2 Dampak Logam Berat Besi (Fe) terhadap Kesehatan

Keberadaan logam Fe juga terdapat pada ruang lingkup perairan dinilai sangat berbahaya karena logam ini tergolong bersifat toksik (racun) yang dapat menyebabkan dampak negative seperti keracunan (berupa muntah), mudah lelah, mual, nyeri pada perut, dan diare. Upaya penurunan kadar logam berat besi pada air sangat diperlukan, karena logam besi dapat mengakibatkan pencemaran pada air dan tanah. Tingginya kadar logam besi Fe, tentu akan berdampak pada kesehatan manusia, diantaranya bisa mengakibatkan keracunan, gusi berdarah, muntah, kerusakan pada organ pencernaan usus hingga penyakit kronis lainnya yang mengakibatkan kondisi kesehatan kian memburuk hingga berujung kematian (Parulian, 2009).

2.4 Teknik Remediasi

Teknologi remediasi merupakan upaya pemulihan pencemaran lingkungan hidup untuk memperbaiki mutu lingkungan hidup. Upaya pemulihan untuk mengembalikan nilai, fungsi, dan manfaat lingkungan hidup termasuk upaya pencegahan kerusakan lahan, memberikan perlindungan, dan memperbaiki ekosistem (Marzuki dkk., 2022). Menurut Luthfiyanto (2023) menyatakan bahwa teknik remediasi merupakan teknologi untuk memulihkan kondisi dan lingkungan baik di ruang lingkup perairan, tanah maupun udara yang telah tercemar oleh pencemar organik dan anorganik sehingga kualitas lingkungan tersebut menjadi membaik dan stabil sebagaimana sebelum terkontaminasi zat pencemar.

Faktor-faktor yang mempengaruhi timbulnya polutan atau zat pencemar bisa terjadi secara alamiah (faktor alam) dan bisa terjadi akibat kegiatan manusia (*anthropogenic*) pencemaran yang ditimbulkan diantaranya seperti limbah domestik dan industri. Mempengaruhi kondisi lingkungan seperti air, tanah maupun udara sekitar sehingga penerapan teknologi remediasi memiliki beberapa jenis dan metode. Tentunya masing-masing mempunyai kelebihan dan keterbatasannya sehingga untuk penerapandi lingkungan yang tercemar harus dipilih dan disesuaikan dengan tujuan remediasi yang akan dicapai (Luthfiyanto, 2023).

Penerapan teknologi remediasi dilakukan dengan menggunakan 2 cara yaitu secara *In-Situ* dan *Ex-Situ*. Remediasi secara *In-situ* dilakukan langsung ditempat kawasan yang terkontaminasi zat pencemar. Sedangkan remediasi secara *ex-situ* dilakukan dan diproses ditempat lain, dengan cara pengambilan sebagian sampel yang terkontaminasi, setelah proses remediasi selesai dapat dikembalikan lagi ditempat semula.

Teknik remediasi yang berkembang dewasa ini dikenal dengan istilah bioremediasi dan fitoremediasi. Bioremediasi merupakan penggunaan bakteri dan mikroorganisme lain untuk mendegradasi/mengurangi zat pencemar maupun limbah B3. proses bioremediasi, reaksi reaksi biologis yang utama adalah reaksi metabolisme sel. Senyawa polutan yang berbahaya dapat didegradasi oleh mikroorganisme baik di dalam ataupun diluar sel melalui reaksi redoks. Reaksi ini dikatalisis oleh enzim-enzim mikrobial yang dihasilkan mikroorganisme (Melati, 2020).

2.5 Fitoremediasi

2.5.1 Definisi Fitoremediasi

Fitoremediasi ialah sebuah teknologi penanganan terhadap limbah berupa pengurangan hingga penghilangan kandungan polutan berbahaya yang terdapat di dalam air atau tanah memanfaatkan bantuan tanaman yang digunakan disesuaikan dengan tanaman yang tersedia di lingkungan sekitar (Sharma dkk., 2021). Metode fitoremediasi penggunaan tumbuhan atau tanaman dengan kondisi tanah dan air yang saling terkait, mikroorganisme rizosfer, dan metode agronomi sebagai perlakuan remediasi dan penyerapan kontaminan ataupun zat/unsur organik maupun anorganik yang berada didalam tanah maupun air tanpa merusak lingkungan itu sendiri (Syranidou dkk., 2016). Saat ini, konsep keberlanjutan ditekankan dalam pembangunan lanskap. dengan demikian, fitoremediasi dapat memenuhi pendekatan ekologi lanskap berkelanjutan dengan memperbaiki ekosistem melalui tanah dan air, memitigasi masalah lingkungan (Ahmad dkk., 2023).

Metode fitoremediasi dinilai cukup aman dan dapat dilakukan tanpa harus menggunakan alat yang berat dan mesin atau kendaraan saat beroperasi, yang dapat mencegah lingkungan sekitar seperti tanah dan air dari kerusakan, sehingga kualitas tanah dan air dapat tetap berada di lokasi setelah polutan dihilangkan (Batool & Saleh, 2020) walaupun metode ini membutuhkan waktu untuk remediasi, tingkat pertumbuhan tanaman yang dimanfaatkan juga dapat dipengaruhi oleh kondisi iklim. dan hidrologi (Sharma dkk., 2021). Tujuan fitoremediasi adalah dengan mereduksi kandungan polutan pada perairan menggunakan tanaman hidup agar tidak menimbulkan pencemaran lebih lanjut. berperan penting dalam konservasi dan pemulihan secara alami pada badan perairan melalui proses fotosintesis, mengurangi zat pencemar, mengatur kestabilan aliran, dan membersihkannya melalui proses sedimentasi serta sebagai penyerapan partikel dan mineral. (Batool & Saleh, 2020)

Salah satu kelebihan metode fitoremediasi tanpa membutuhkan biaya yang besar (ekonomis) dan sederhana hal ini dikarenakan tanaman yang digunakan sangat mudah ditemukan di lingkungan sekitarnya, khususnya area perairan seperti sungai dan danau yang tumbuh banyak di sekitarnya. Fitoremediasi berfokus terhadap pengawasan berupa perawatan terhadap tanaman, media tanam dan paparan cahaya atau sinar matahari sebagai nutrisi (klorofil) bagi tanaman tersebut.

Keunggulan tumbuhan fitoremediator yang dapat meskipun dimanfaatkan untuk menghilangkan polutan tersebut, namun tanaman tetap dapat masuk melalui rantai makanan, lalu hewan yang memakan tumbuhan yang tercemar atau tercemar tersebut (Mishra & Chandra, 2022). Fitoremediasi harus diakui sebagai teknologi sederhana yang efektif dalam pemilihan dan desain penanaman yang berfokus terhadap pemulihan dan remediasi di lokasi (Sharma dkk., 2021). Syarat utama sebagai tanaman (fitoremediator) yang baik diantaranya memiliki perakaran yang dalam, daya tumbuh cepat, konsentrasi biomassa yang tinggi, relatif mudah dipanen dan memiliki kemampuan untuk menyerap logam dalam jumlah besar (DalCorso dkk., 2019).

Beberapa keuntungan dari metode fitoremediasi yakni kemampuan untuk mengurangi hingga menghilangkan gangguan di lingkungan terhadap berbagai polutan, termasuk polutan beberapa logam berbahaya sekalipun. Fitoremediator yang digunakan pada penelitian ini ialah metode fitoremediasi, menggunakan tanaman air jenis *Ceratophyllum demersum* atau biasa dikenal dengan tanaman *coontail* pemakaian metode tersebut dinilai lebih efektif terhadap waktu dan biaya di karenakan memudahkan pengontrolan terhadap variable yang akan diteliti.

2.5.2 Mekanisme Tanaman Fitoremediasi

Fitoremediasi ialah teknologi memperbaiki suatu area (lahan) dengan menggunakan tumbuhan sebagai suatu mekanisme penyerapan logam berat dalam tanah atau air oleh tumbuhan penyerap logam dilakukan melalui penyerapan. proses fitoremediasi mempunyai bentuk yang beraneka ragam, diantaranya seperti tanaman air, ganggang hijau dan yang sejenisnya.

Fitoremediasi memang dikenal memiliki proses yang membutuhkan waktu lama saat proses remediasi berlangsung. beberapa jenis ataupun spesies tanaman tidak mampu di tanam pada area yang memiliki konsentrasi. polutan tinggi. namun, kelebihan fitoremediasi, tidak mengganggu pada ekosistem disamping memberikan nilai lebih pada lahan melalui keindahan dan estetika, yang kemudian metode ini membutuhkan sedikit pengelolaan serta harga yang murah juga fitoremediasi dilakukan secara in situ. beberapa negara telah melakukan uji coba metode ini dengan teknik yang beragam (Saputri & Aminatun, 2018).

Fitoremediasi ini dinilai sebagai salah satu metode yang cukup ramah terhadap lingkungan dan relatif murah untuk digunakan sebagai remediator penghilangan polutan dari ekosistem, terutama in situ (Syranidou dkk., 2016). Mekanisme tanaman fitoremediasi menyerap limbah dengan beberapa metode diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi adalah teknik yang dilakukan secara in situ, treatment diperuntukkan terhadap tanah terkontaminasi polutan pencemar (Bech dkk., 2012) kontaminan di serap secara absorpsi oleh akar, di angkut hingga terakumulasi di tunas dan daun.

b. Fitostabilisasi

Kandungan polutan yang tidak dapat bergerak di diserap oleh akar (presipitasi). proses ini diterapkan untuk mengurangi mobilitas dari kontaminan untuk mencegah dari kontaminan yang masuk kedalam air tanah dan mengurangi kondisi hayati dalam rantai makanan (Kidd et al., 2009) Fitostabilisasi sangat berguna sebagai treatment logam berat seperti Cu, As, Cr, Cd, Pb dan Zn (Zhao dkk., 2016)

c. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi ialah kemampuan tanaman untuk menyerap, zat kontaminan mengalami degradasi didalam daun, lalu menguapkan kontaminan lewat proses transpirasi ke atmosfer. proses fitovolatilisasi berlaku pada kontaminan unsur logam dalam air tanah, tanah, sedimen, dan air limbah (Nur, 2013).

2.6 Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum* L.)

Ceratophyllum demersum L. (famili *Ceratophyllaceae*) biasa disebut *coontail*, ialah merupakan jenis tumbuhan akuatik dikotil herba yang kuat dan kaku dengan daun bercabang, mengapung bebas pada permukaan air (Arnolds dkk., 2018). tumbuhan ini merupakan makrofita tahan air yang secara keseluruhan akan berproduksi dengan pangkal batangnya tersembunyi di substrat kotor atau berlumpur itu tidak menciptakan akar. Itu mudah lepas, dan batangnya yang dapat berkembang menjadi mengambang bebas karena tanaman ini memiliki kemampuan menyebar dengan cepat, sehingga mampu tumbuh berkembang hingga menginvasi berbagai habitat khususnya di perairan (Syed dkk., 2018)

Tanaman ini disebut sebagai ganggang air, lebih populer dijuluki *coontail* karena bentuknya yang menyerupai ekor rakun. tumbuh di alam bebas jenis ini tumbuh mengapung di air yang mengalir dengan lambat. tumbuhan ini memiliki panjang batang 1-3 m, dengan berbagai sisi tunas. pada setiap sisinya memiliki 2-8 segmen dengan panjang daun antara 8- 40 cm. Tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) diketahui memiliki kemampuan dalam menyerap toksik pada air dan tanah sehingga beberapa kali dimanfaatkan guna membersihkan area lingkungan yang tercemar. Selain itu, Patel & Kanungo (2010) menyebutkan bahwa tanaman *coontai* mampu meningkatkan kadar oksigen. Persentase peningkatan nilai oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) sebesar 42,6 hingga 278,6%.

Menurut Al-Thahaibawi (2021), tanaman *coontail* dapat menyerap dan mengurangi kandungan beberapa jenis logam seperti Fe, Cu, Ni, Zn, Cr, Pb dan Cd. Selain mengurangi kadar logam berat tercemar. Reis dkk (2014) mengatakan spesies jenis tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) juga telah terbukti memiliki kapasitas atau yang cukup handal dan baik untuk remediasi penurunan kadar konsentrasi pada kandungan BPA (Bisphenol A).

Tanaman *Coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) merupakan tanaman air yang dapat digunakan sebagai fitoremediator. Itu bisa menyerap logam berat dengan jaringan akarnya. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dasar yang bertujuan untuk mengetahui dan mendalami bagaimana efektivitas dan kemampuan dari ganggang air tanaman *coontail* sebagai fitoremediator terhadap kandungan besi (Fe) pada limbah air lindi. Menurut Suryani (2017) tanaman ini mudah ditemukan di Indonesia dan mampu beradaptasi dengan baik di lingkungan yang tercemar. Penggunaan *Ceratophyllum demersum L.* sebagai fitoremediator diharapkan dapat menurunkan kadar logam berat pada sungai tercemar limbah cair.

Tabel 2.1 Studi kasus penelitian efisiensi penggunaan tanaman *coontail*

Referensi	Judul	Metode	Hasil
(Aasim dkk., 2023)	Pendekatan berbasis kecerdasan buatan untuk mengevaluasi dan	<i>Ceratophyllum demersum L.</i> (7.5 g/l) dipaparkan pada 24 ; 72 ; dan 120 jam pada variasi kadar senilai 0,	Melalui koefisien regresi optimal (U2 Model) menunjukkan penghapusan Cd 0,9996%. hasil yang dicapai ini menunjukkan

	mengoptimalkan potensi fitoremediasi makrofita akuatik <i>Ceratophyllum demersum L.</i> yang diregenerasi secara in vitro.	0,5, 1,0, 2,0, dan 4,0 mg/L kadmium (CdSO ₄ ·8H ₂ O) dalam air.	bahwa regenerasi <i>ceratophyllum demersum</i> secara in vitro secara efektif untuk menurunkan kadar polutan berbahaya di perairan yang terkontaminasi kadmium (Cd).
Qadri dkk, (2022).	<i>Ceratophyllum demersum</i> Alat bio akresi untuk remediasi logam berat	Penelitian dilakukan dengan mengacu pada sejumlah metode fitoremediasi secara ilmiah melalui pemanfaatan kemampuan remediasi <i>Ceratophyllum demersum</i> terhadap logam di danau Dal, alami di Kashmir, India.	Kultur <i>C. demersum</i> keseluruhan menunjukkan efisiensi <i>C. demersum</i> untuk beradaptasi dalam kondisi tercemar dan potensinya menghilangkan logam berat untuk pemulihan berkelanjutan dari sistem perairan yang terdegradasi
Verma & Suthar (2015)	Fitoremediasi pada Air yang Tercemar Timbal (Pb) dengan <i>Lemna minor</i> dan <i>C.demersum</i> serta Pengaruhnya terhadap pertumbuhann <i>Lactuca sativa</i>	Penelitian ini menggunakan Metode RAL (Rancangan Acak Lengkap) terdiri atas perlakuan tanaman air <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Lemna Minor</i> dan konsentrasi Pb	Tanaman akuatik efektif dalam menurunkan kandungan logam Pb dengan kadar tinggi, melalui reduksi dari tanaman <i>C.demersum</i> hingga 81,1% & tanaman <i>Lemnaminor</i> capaian hingg 75.5% konsentrasi Pb ₂ ppm & 5 ppm.

<p>Arnolds, J. L. (2017).</p>	<p>Penggunaan Respon Stres Oksidatif pada Tanaman Air, <i>Ceratophyllum demersum L. (Coontail)</i> sebagai Biomarker Pencemaran Logam pada Konsentrasi Logam yang Berbeda.</p>	<p>Penelitian ini berfokus menyelidiki kemungkinan penggunaan respon biokimia dalam <i>C. demersum</i> sebagai biomarker yang mungkin untuk paparan logam. Berbagai antioksidan / oksidatif diukur pada tanaman yang terpapar kombinasi logam (Al, Cu, Fe, Zn) selama periode paparan lima minggu.</p>	<p>Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa <i>C. demersum</i> memiliki potensi fitoremediasi karena mampu untuk menghilangkan konsentrasi logam yang tinggi dari air yang terkontaminasi. Oleh karena itu, <i>C. demersum</i>, dapat diterapkan sebagai model untuk kontaminasi logam dan fitoremediator setelah peristiwa polusi. Potensi respon antioksidan dan kandungan klorofil sebagai biomarker dari paparan logam pada <i>C. demersum</i> telah dibuktikan.</p>
<p>Al- Thahaibawi (2021).</p>	<p>Kajian Awal Beberapa Ion Logam Berat (Fe, Cu, Ni, Zn, Cr, Pb, dan Cd) dalam Air, Sedimen, <i>Ceratophyllum demersum</i>, Dan <i>Potamogeton pectinatus</i> Tumbuhan dari Marsh Al-Hawizeh, Irak.</p>	<p>Sampel Logam Berat antara air, sedimen dan tanaman air diuji menggunakan Flame Atomic Absorption Spectrophotometer. Selanjutnya dilakukan Analisis Pearson untuk uji (R) nilai dilakukan pada tingkat Signifikansi $P \leq 0,05$ untuk mengetahui korelasi logam berat dengan sampel.</p>	<p>Observasi beberapa logam berat, kadar Fe berkisar antara 5.266 mg/kg di lokasi 1 hingga 13.960 mg/kg (musim gugur). Hasil penelitian menunjukkan Kemampuan <i>C. demersum</i> menyerap logam berat sangat baik Sehingga Logam Fe, Ni, dan Cd berada nilai ambang batas yang diperbolehkan.</p>

<p>Patel & Kanungo (2010).</p>	<p>Efisiensi Ekologi <i>Ceratophyllum demersum L.</i> Dalam Fitoremediasi Nutrien Dari Air Limbah Domestik.</p>	<p>Produktivitas primer bersih <i>Ceratophyllum demersum L.</i> dalam kultur air limbah domestik selama interval waktu satu minggu diestimasi dengan metode Harvest.</p>	<p>Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan nilai pH, oksigen terlarut dan persentase nilai saturasi oksigen sementara, parameter lainnya yaitu Kekeruhan, Salinitas, Konduktivitas listrik, Total padatan terlarut, Alkalinitas dan penurunan nilai senyawa nutrien lain yang signifikan karena penyerapan nutrisi selama Fitoremediasi.</p>
<p>(Parnian dkk., 2022)</p>	<p>Bioremediasi Kadmium dan Nikel dari Lingkungan Asam Lingkungan Akuatik Menggunakan <i>Ceratophyllum demersum</i>.</p>	<p>Data dianalisis dengan analisis varians (ANOVA) dan rata-rata dipisahkan dengan menggunakan uji jarak berganda Duncan pada tingkat probabilitas 5%. Korelasi Pearson juga dilakukan dengan menggunakan program statistik. Analisis statistik dilakukan dengan perangkat lunak SPSS 16 dan MS-Excel 2013.</p>	<p>Efisiensi untuk logam berat telah tercatat masing-masing sekitar 86% dan 97%. Penurunan ini dipercepat oleh kontaminasi logam. Tingkat salinitas yang tinggi menurunkan -1 -1 penyisihan nikel. Penyisihan tertinggi tercatat sebagai R= 86% (Ni = 1 mg L, EC = 5,5 dS m). Penyisihan Penyisihan kadmium terendah diamati sebagai R = 35% (Cd = 4 mg L media salinitas).</p>

Sumber: Jurnal Nasional (*Scholar*) & International (*ScienceDirect; SpringerLink*)

Tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum* L.) diperoleh dari habitatnya yakni danau, sungai rawa, teluk dan perairan sejenisnya. tanaman ini mampu menyerap nitrat, ammonia, memfiksasi nitrogen, juga memiliki kemampuan menghasilkan berbagai senyawa metabolit sekunder (Nurilmala dkk., 2020). Selain itu, tanaman *coontail* diketahui memiliki perkembangan pertumbuhan yang cepat, sehingga memiliki tanaman dengan potensial cukup baik digunakan sebagai tanaman fitoremediasi. berikut klasifikasi mengenai morfologi ilmiah dari jenis tanaman *coontail* :

Tanaman Coontail

Kingdom : Plantae
Subkingdom : Tracheophytes
Superdivision : Spermatophytea
Division : Angiospermae
Class : Dicotyledonae
Ordo : Cearophyllales
Order : Nymphaeales
Family : Ceratophyllaceae
Genus : *Cearophyllum*
Species : *Ceratophyllum demersum*



Gambar 2. 1 Tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum* L.)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan pendekatan secara eksperimental (*True Experimental*) peneliti terlibat langsung di laboratorium melalui beberapa acuan atau skema yang berurut. Tahapan penelitian yang dibuat dan dilakukan guna memperoleh hasil yang sesuai tujuan dan ruang lingkup penelitian. Alur penelitian terdiri dari beberapa urutan yang terstruktur mulai dari Pra penelitian berupa observasi, persiapan, pelaksanaan, pengolahan data, dan penyusunan laporan hasil eksperimen.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

3.2.1 Waktu

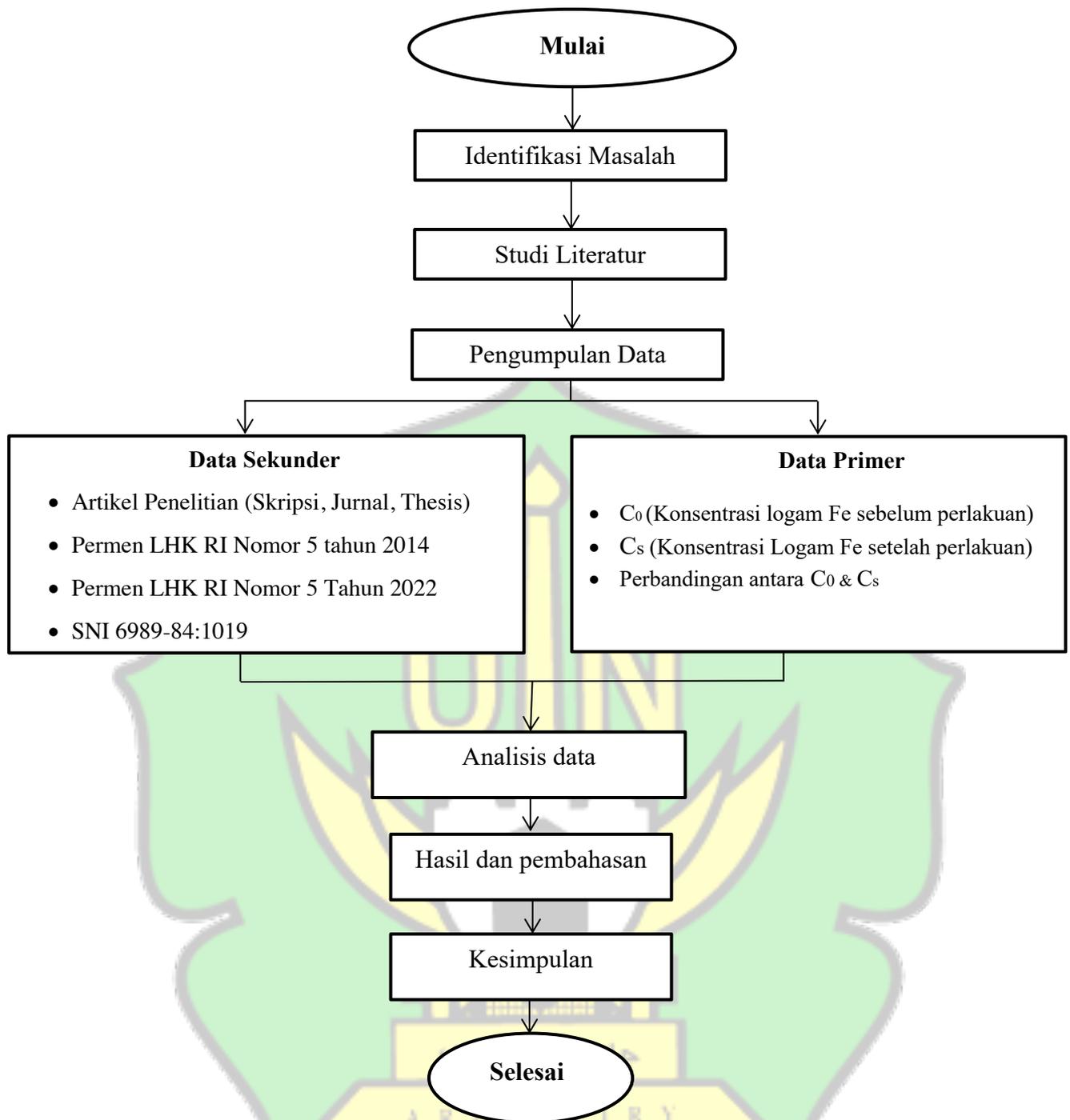
Berdasarkan waktu penyusunan proposal, pra penelitian (uji daya hidup tanaman), dan tahap penelitian yang dilakukan dalam kurun waktu selama 6 hari di bulan Agustus 2023.

3.2.2 Lokasi Penelitian

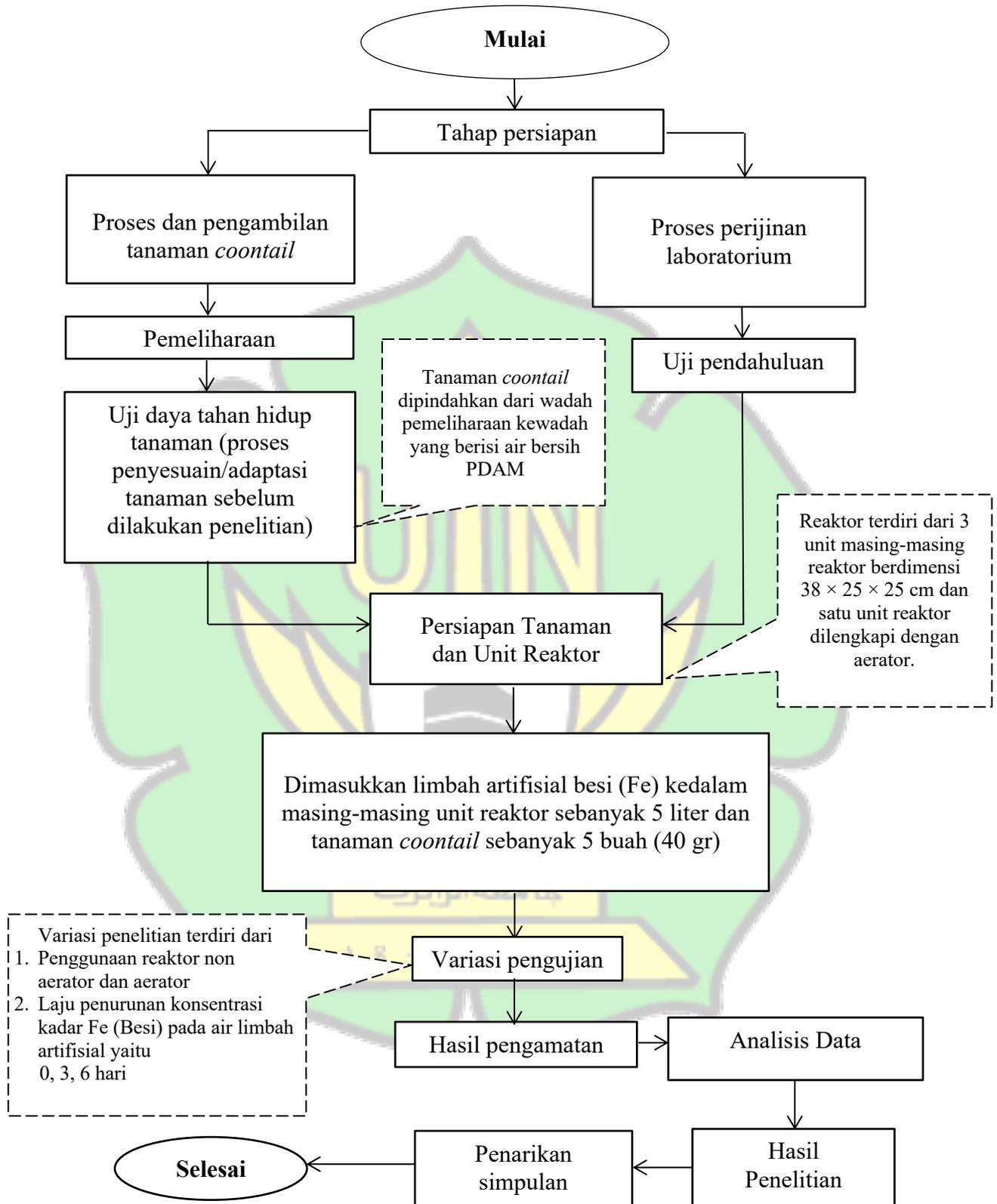
Lokasi penelitian dilakukan bertempat di Laboratorium Multifungsi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Adapun pengujian kadar logam besi (Fe) yang dilakukan di Laboratorium Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.

3.3 Kerangka Penelitian

Kerangka dalam penelitian ini merupakan sebuah pola dasar yang menjelaskan gambaran penelitian secara garis besar berdasarkan alur logika penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3. 1 Rangkaian proses penelitian secara umum



Gambar 3. 2 Tahapan penelitian

3.4 Instrumen Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan beberapa alat dan bahan yang dibutuhkan, diantaranya sebagai berikut:

1. Alat

Beberapa alat yang diantaranya:

- Media reaktor (ukuran panjang 38cm × lebar 25cm × tinggi 25cm).
- Gelas Beaker 100-250 ml
- Pipet ukur 100 ml
- Erlenmeyer 250 ml
- *Rubber bulb*
- Neraca Analitik
- pH Meter
- Aerator
- Saringan

2. Bahan

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya:

- Tanaman *Coontail (Ceratophyllum demersum)*
- Serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Aquades
- Tisu

3.5 Variabel Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengacu atas 2 variabel yaitu variable bebas dan variabel terikat sebagai berikut :

1. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu jumlah variasi sistem reaktor.
2. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu kadar konsentrasi logam besi (Fe) yang terlarut.

3.6 Prosedur Kerja

3.6.1 Uji Daya Hidup Tanaman

Perlakuan awal dalam penelitian ini adalah dengan melakukan persiapan menguji daya hidup tanaman. Uji daya hidup pada tanaman dilakukan agar mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan sekitarnya, secara umum penyesuaian organisme seperti tanaman terhadap perubahan temperatur, kelembaban, cuaca, hingga nutrisi yang didapatkan dari fotosintesis. Hal ini bisa terjadi, disebabkan oleh perubahan iklim atau musim. Proses adaptasi bisa memakan waktu sekitar satu pekan tergantung kebutuhan dan pengawasan tanaman secara fisik. Aklimatisasi bertujuan terhadap tanaman agar dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan sekitarnya, agar tanaman benar-benar layak digunakan dan menghindari terjadinya kegagalan sehingga layak untuk digunakan, sebelum perlakuan fitoremediasi (Purnomo & Anggraini, 2022).



Gambar 3.3 Uji daya hidup tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum*)

Tanaman *coontail* yang dimanfaatkan dalam eksperimen pada tahap persiapan tanaman bukan dari awal pembenihan, melainkan menggunakan tumbuhan yang tumbuh berukuran kecil. Tanaman *coontail* yang dimanfaatkan memiliki ciri secara fisik berupa batang dan panjang berwarna hijau muda dan hijau tua. dibedakan atas faktor umur dengan ukuran panjang rata-rata 8-40 cm. Proses uji daya hidup tanaman *coontail* setidaknya berlangsung selama 7 hari untuk memastikan tanaman dapat beradaptasi kedalam lingkungan berbeda (Kadaria, 2017) Proses uji daya hidup dibutuhkan dengan menumbuhkan tanaman *coontail* kedalam wadah berisi air sumur atau air bersih PDAM.

3.6.2 Pembuatan Larutan Limbah Artifisial Besi (Fe)

Penelitian ini menggunakan sampel air limbah artifisial Fe dari bahan kimia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ konsentrasi 12 mg/L. Pembuatan air limbah Fe artifisial ini mengacu pada perhitungan dasar molaritas, molalitas dan konsentrasi yang dibutuhkan sebagaimana (Choirunnisa, 2022) Adapun perhitungan pembuatan air limbah artifisial Fe adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Ar. Fe} = 56$$

$$\text{Mr. FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 278$$

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

Perhitungan Kadar Molaritas:

$$m = \frac{m}{v}$$

$$m = \frac{gr}{\text{Ar.Fe.L}}$$

$$m = \frac{gr}{56 \text{ L}}$$

$$\frac{gr}{L} = 0.017 \text{ m}$$

Jadi, Molaritas Larutan Besi (Fe) yang akan dibuat senilai 0.0178 m.

Perhitungan Kadar Molalitas :

$$m = \frac{gr}{\text{Mr.FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{ml}$$

$$m = \frac{gr}{278} \times \frac{1000}{500}$$

$$gr = \frac{0.017 \times 278}{2} = 2,5 \text{ gr}$$

Hasil perhitungan molalitas menunjukkan bahwa jumlah serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang dibutuhkan sebanyak 2.5 gr untuk dilarutkan dalam 500 ml aquades sebagai larutan induk. Selanjutnya, larutan induk dilakukan pengenceran lagi menggunakan aquades, untuk membuat air limbah dengan konsentrasi pengenceran sejumlah 12 mg/L dalam 5 liter air.

Setelah menghitung jumlah gram serbuk jumlah serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan mendapatkan larutan induk. Kemudian diencerkan menggunakan persamaan pengenceran dibawah ini, sebagai berikut.

Perhitungan Pengenceran :

$$M1 \cdot V1 = M2 \cdot V2$$

$$1000 = \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot V1 = 12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 5000 \text{ ml}$$

$$V1 = (12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 5000\text{ml}) : 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 60 \text{ ml}$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa limbah artifisial konsentrasi Fe 12 mg/l dalam 500 ml larutan induk, dibutuhkan sebanyak 60 ml untuk dimasukkan ke dalam satu reaktor (masing-masing reaktor) berisikan 5 liter air. Jumlah limbah yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah 15 liter.



Gambar 3. 4 Proses menimbang serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$



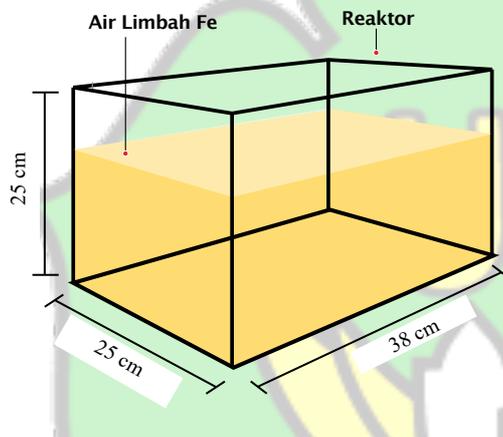
Gambar 3. 5 Proses homogenisasi pada pembuatan larutan induk Fe 500 ml



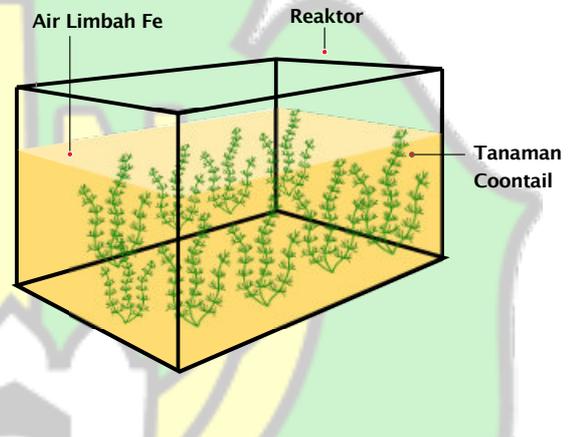
Gambar 3. 6 Pengambilan larutan induk sebanyak 60 ml

3.6.3 Rancangan Penelitian

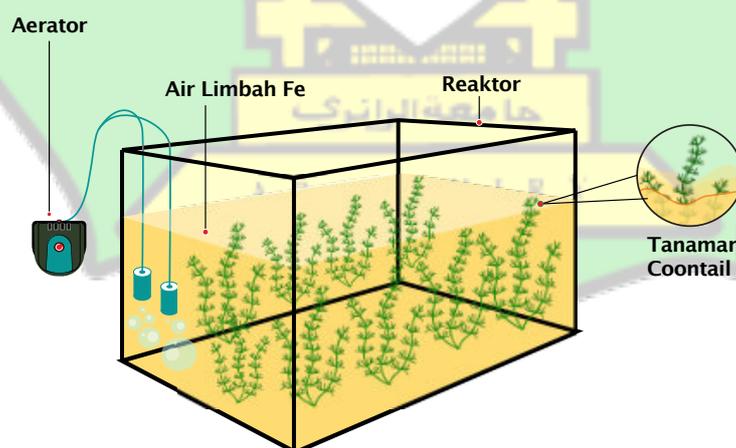
Penelitian ini dilakukan melalui pengamatan menggunakan tiga reaktor berisikan air limbah dengan konsentrasi logam Fe 12 mg/L. Penerapan sistem reaktor diantaranya UK1 merupakan reaktor kontrol air limbah Fe (tanpa tanaman), kedua reaktor lain dimasukkan tanaman *coontail* masing-masing sebanyak ± 40 gram sekitar 5 tanaman (Khang dkk., 2012) dengan variasi umur berbeda dengan panjang ukuran berkisar tanaman 10-40 cm (Kadaria, 2017) U2 berisikan tanaman *coontail*. sedangkan U3 berisikan tanaman *coontail* dilengkapi dengan aerator.



Gambar 3.7 Wadah kontrol (UK1)



Gambar 3.8 Wadah kedua (U2) tanaman



Gambar 3.9 Wadah ketiga (U3) tanaman *coontail* dilengkapi aerator

3.6.4 Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada penelitian ini terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Pengambilan data harian

Pengambilan data harian pada penelitian ini meliputi pengukuran suhu dan pH.

2. Pengambilan data pada hari 0,3, dan 6.

Pengambilan sampel air limbah artifisial dilakukan selama 3 hari sekali pada h-0, h-3, dan h-6 tepatnya pada pukul 10:00 WIB. Pada pengujian ini dapat mempermudah analisis data karena dapat melihat perubahan sampel (Agusetyadevy dkk., 2010). Rancangan percobaan penelitian ini menggunakan percobaan variasi kombinasi tanaman dengan aerator (U2) dan non aerator (U3) pada sistem reaktor, dipaparkan pada air limbah artifisial logam Besi Fe dengan konsentrasi 12 ppm. pengambilan sampel limbah artifisial pada tiap reaktor sebanyak 50 ml setiap 3 hari sekali (Choirunnisa, 2022) yang ditampilkan pada tabel 3.1 berikut ini :

No.	Parameter	Sitem Reaktor	Variasi Waktu/Hari Analisa
1.	Logam Besi (Fe) (mg/L)	UK ₁ H ₀	0
2.		U ₂ H ₀	
3.		U ₃ H ₀	
4.		UK ₁ H ₃	3
5.		U ₂ H ₃	
6.		U ₃ H ₃	
7.		UK ₁ H ₆	6
8.		U ₂ H ₆	
9.		U ₃ H ₆	

Tabel 3.1 Rancangan percobaan

Keterangan :

H₀ : Hari awal pembuatan air limbah artifisial logam (Fe)

H₃ : Hari ke-3 perlakuan

H₆ : Hari ke-6 perlakuan

UK₁ : Unit reaktor kontrol (tanpa tanaman & aerator)

U₂ : Unit reaktor ketiga (5 tanaman *coontail* non aerator)

U₃ : Unit reaktor ketiga (kombinasi 5 tanaman *coontail* dan aerator)

3.7 Analisis Data

Tahapan Analisis terhadap kandungan konsentrasi logam besi (Fe) pada air limbah dilakukan di Laboratorium tepatnya di Laboratorium FST, Universitas Islam Negeri Ar-raniry, Banda Aceh. Menggunakan alat menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) berdasarkan data yang diperoleh dari hasil eksperimen uji remediasi logam berat (Fe) yang berlangsung selama 6 hari. Analisa data yang dilakukan bertujuan guna mengetahui nilai persentase efektivitas penurunan jumlah kadar logam besi (Fe) yang dihasilkan dari proses remediasi dan laju penurunan konsentrasi logam besi (Fe). Tahap analisis data dilakukan bertujuan agar. Berikut rumus efektivitas sebagai berikut.

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

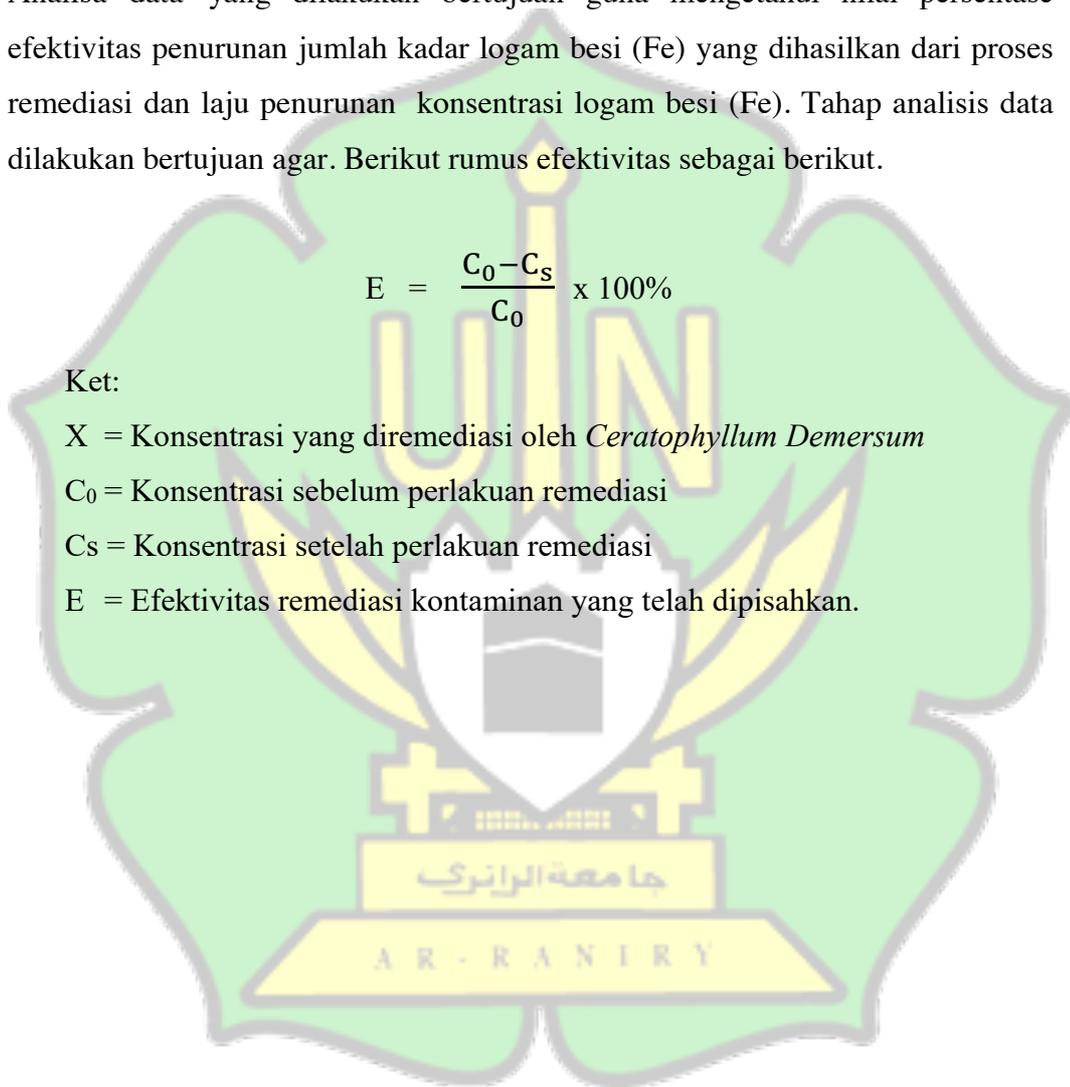
Ket:

X = Konsentrasi yang diremediasi oleh *Ceratophyllum Demersum*

C₀ = Konsentrasi sebelum perlakuan remediasi

C_s = Konsentrasi setelah perlakuan remediasi

E = Efektivitas remediasi kontaminan yang telah dipisahkan.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Efektivitas Penyisihan Kadar Besi (Fe) oleh Tanaman *Coontail*

Penelitian fitoremediasi menggunakan tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) dilakukan untuk mengetahui efektivitas penyisihan kandungan logam berat Besi (Fe) dari limbah artifisial dengan konsentrasi 12 mg/L. Daya penyerapan terhadap logam tersebut dapat diketahui melalui variasi lamanya waktu pemaparan tanaman dengan logam Fe selama waktu penelitian. Pembuatan limbah artifisial Fe dengan konsentrasi yang dibutuhkan adalah sebesar 12 mg/L dengan tahap prosedur dan perhitungan yang akurat.

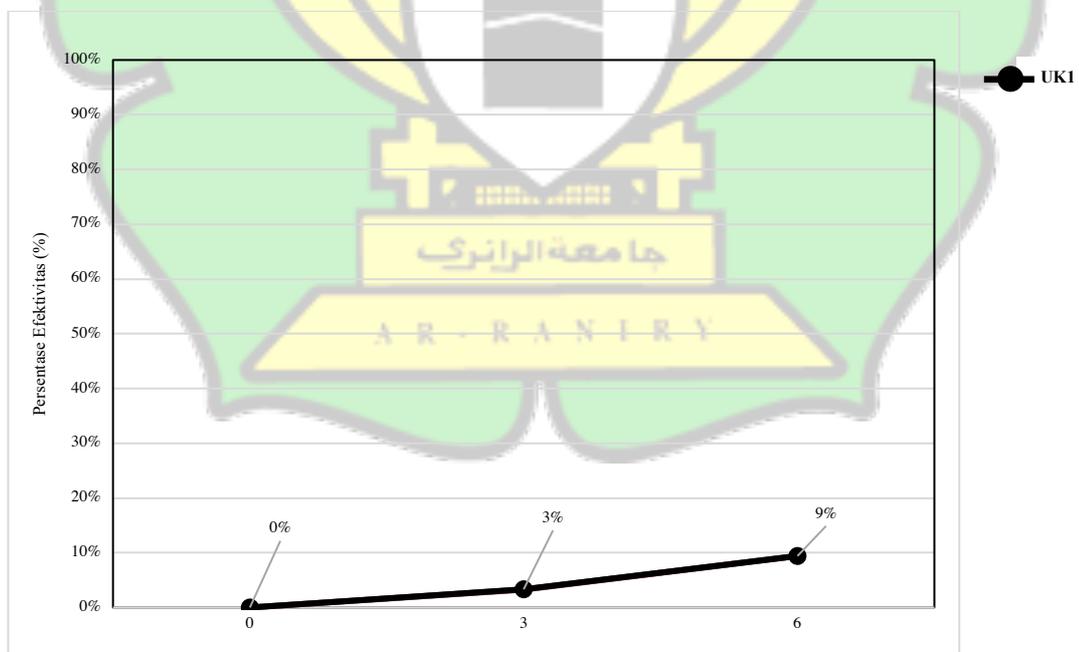
Tanaman *coontail* yang digunakan sejumlah 5 tangkai (Khang dkk, 2012) dengan massa tanaman berkisar ± 40 gr dengan variasi panjang ukuran tanaman 10 cm, 15 cm dan 30 cm per satu reaktor yang berisi 5 liter air limbah logam artifisial besi (Fe) mampu menurunkan konsentrasi logam berat (Fe). Pengujian penurunan kadar logam berat Fe yang dianalisa tiap 3 hari sekali dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan metode pengujian sesuai SNI 6989-84:1019. Penelitian ini menerapkan sistem batch yang dilakukan selama 6 hari dengan pengujian logam berat besi (Fe) pada hari ke Hari ke-0, Hari ke-3, dan Hari ke-6. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan perbedaan nilai penurunan konsentrasi Fe secara berkala. Pada masing-masing reaktor konsentrasi air limbah logam artifisial besi (Fe) hari ke-0 ialah 12 mg/L.

Tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) pada hasil analisis memiliki kemampuan yang sangat baik dalam meremediasi air limbah logam artifisial besi (Fe) konsentrasi 12 mg/L mengalami penurunan hingga di bawah ambang batas maksimum 5 mg/L sebagaimana standar baku mutu yang ditetapkan oleh PERMEN LH No. 05 Tahun 2022 tentang Baku Mutu Pengolahan Air Limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman *coontail* efektif mampu menurunkan konsentrasi Fe dengan sangat efektif dan baik, hal ini dapat dibuktikan melalui hasil data lapangan dan perhitungan persentase efisiensi penyisihan logam berat Fe dapat dibuktikan dari hasil analisa tabel 4.1 dibawah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Efektivitas penyisihan logam besi (Fe)

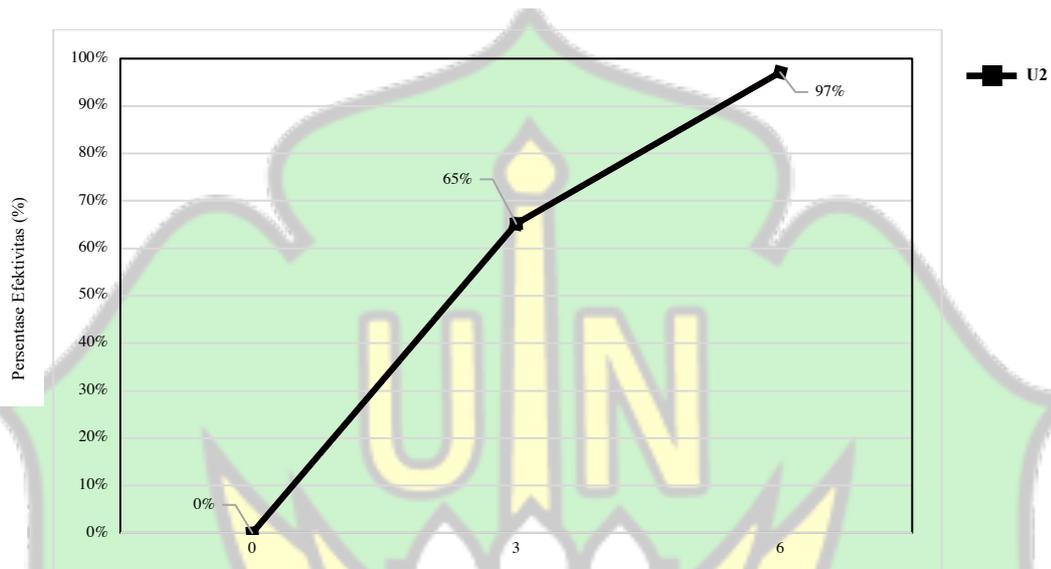
Reaktor	Hari Ke 0	Efektivitas penyisihan Logam Berat Fe (%) / Hari			
		Hari ke 3		Hari ke 6	
	Nilai Awal (mg/L)	Nilai Hasil Penurunan (mg/L)	Efektivitas Penurunan (%)	Nilai Hasil Penurunan (mg/L)	Efektivitas Penurunan (%)
UK1	12	11,6	3,333333	10,87	9,416666
U2	12	4,178	65,18333	0,3466	97,11166
U3	12	0,4848	95,96666	0,3229	97,30916

Berdasarkan hasil analisa data konsentrasi logam berat Fe pada reaktor UK1 (reaktor kontrol, tanpa tanaman) di mana konsentrasi awal sebesar 12 mg/L, lalu di hari ketiga kadar Fe mengalami perubahan berupa penurunan senilai 11,6 dengan persentase sejumlah 3,33%. Pada hari keenam konsentrasi Fe mengalami penurunan sebesar 10,87 mg/L pengurangan nilai dalam kurun waktu enam hari, dengan persentase hanya sejumlah 9,41% dari keseluruhan. Efektivitas penyisihan logam Fe dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Efektivitas penyisihan logam besi (Fe) pada reaktor (UK1)

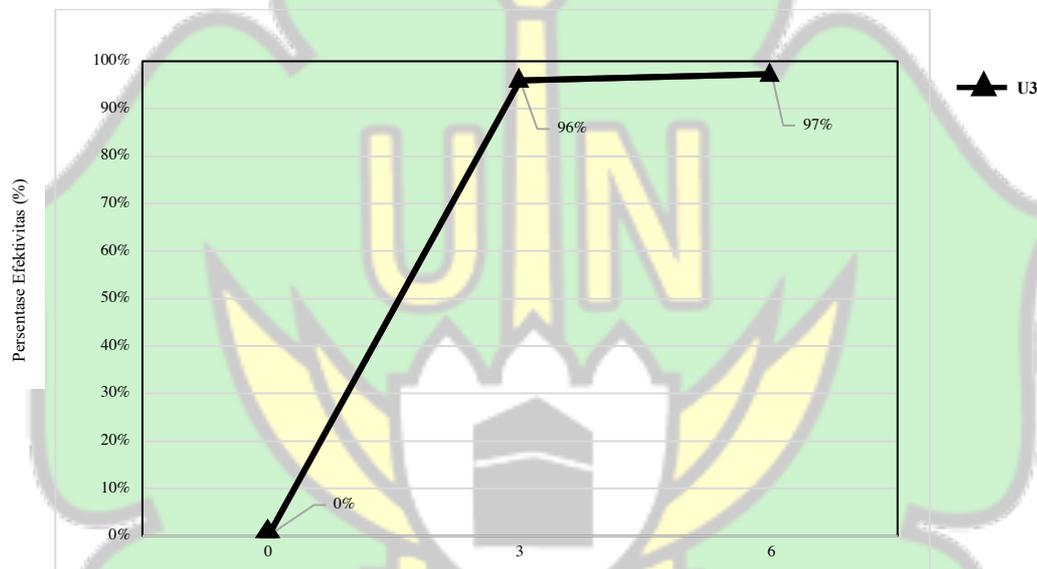
Pada reaktor U2 dengan penerapan sistem reaktor berisi 5 buah tanaman *coontail* tanpa aerator dengan nilai konsentrasi awal sebesar 12 mg/L. Konsentrasi logam Fe artifisial pada mengalami penurunan nilai konsentrasi yang mulai terlihat pada hari ke-3 dimana tanaman *coontail* mampu menurunkan konsentrasi kadar logam Fe mencapai 4,178 mg/L dengan persentase 65,18% pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Efektivitas penyisihan logam besi (Fe) pada reaktor (U2)

Kemampuan penyisihan logam artifisial besi (Fe) oleh tanaman *coontail* terhadap logam fe menunjukkan peningkatan dari hari ke-0. Pada gambar 4.2 uji reaktor U2 terlihat menunjukkan kurva yang terus meningkat dari hari ke-0 hingga ke-6 Hal ini menunjukkan persentase efektivitas dari kemampuan tanaman *coontail* yang terus meningkat hingga hari ke-6 berkorelasi dengan penurunan logam Fe pada reaktor yang telah diuji pada hari ke-6 menunjukkan penurunan kadar konsentrasi logam Fe mencapai 0,3446 mg/L dengan persentase penyisihan 97,11%. Hal ini berkaitan dengan proses rhizofiltrasi yang terdapat pada mekanisme penyerapan tanaman *coontail* dimana logam Fe yang terkandung pada limbah artifisial teradsorpsi melalui permukaan dan memasukkannya ke dalam sistem metabolisme sehingga logam terakumulasi (Kumar dkk., 2022).

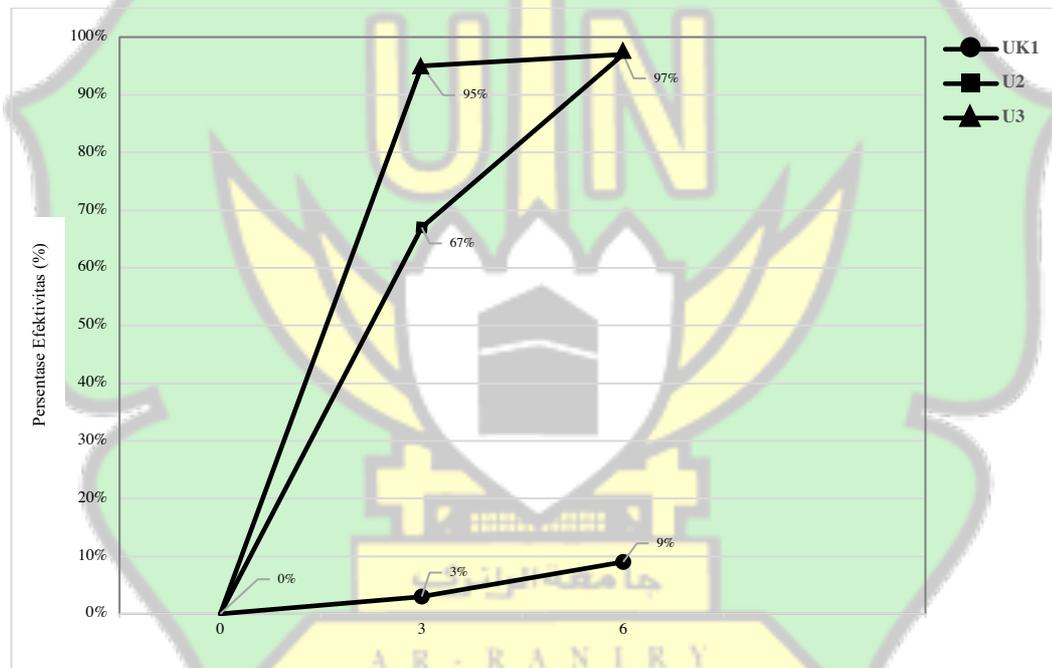
Pada reaktor U3 dengan penerapan sistem reaktor diisi dengan 5 buah tanaman *coontail* kombinasi dengan aerator. Pengujian ini dilakukan dengan konsentrasi Fe awal sebesar 12 mg/L, tingkat penurunan kadar logam mulai terlihat pada hari ke-3 dimana konsentrasi Fe mengalami penurunan sebesar 0,4848 mg/L. dan persentase mencapai 95,96%. Pada hari-6 efisiensi penurunan terjadi hingga mencapai 0,3229 mg/L dengan persentase 97,30%. Hasil pada reaktor U3 dan U2 menunjukkan nilai yang tergolong efektif dan sangat baik sesuai dengan standar PERMEN LH No. 5 tahun 2022. pada reaktor U3 kombinasi tanaman *coontail* dan sistem aerasi sangat memberikan pengaruh dalam proses penyisihan, dengan kenaikan yang cukup tinggi. Persentase efektivitas penyisihan logam Fe pada terlihat Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Efektivitas penyisihan logam besi (Fe) pada reaktor (U3)

Beberapa faktor pengaruh tingginya nilai persentase efisiensi penyisihan pada logam berat dalam fitoremediasi pengolahan air limbah adalah Jenis tanaman (Fitoremediator) dan sistem pengolahan yang diterapkan. Fitoremediator yang digunakan dalam penelitian menggunakan satu jenis tanaman (variasi usia tanaman) dengan kombinasi sistem reaktor aerasi dan tanpa aerasi. Berdasarkan hasil yang didapatkan tingkat efektivitas penurunan tertinggi terjadi pada U3 (kombinasi 5 tanaman *coontail* dengan sistem aerasi). Pamungkas dkk (2022) menyebutkan bahwa penambahan sistem aerasi pengolahan yang diterapkan dalam air limbah mempengaruhi kecepatan efisiensi penyisihan kontaminan pada fitoremediasi.

Hal ini berkesesuaian dengan perbandingan dari hasil pengujian konsentrasi logam berat Fe yang terjadi antara sistem reaktor U3 dan reaktor U2 di mana tingkat efektivitas dari daya serap logam oleh tanaman dapat terlihat pada hari ke-03 bahwa nilai efektivitas pada reaktor U2 sejumlah 65,18% sedangkan pada uji reaktor U3 nilai efektivitas mencapai 95,96%. Namun, penyerapan logam oleh tanaman *coontail* dari kedua sistem reaktor yang divariasikan dengan penambahan aerator dan non aerator tergolong menunjukkan nilai yang sangat efektif, hal ini dapat dibuktikan melalui hasil akhir pengujian pada hari ke-6. Sebagaimana pada gambar 4.4. Nilai efektivitas dari kedua reaktor mencapai 97%. Hanya saja kecepatan reduksi dan penyerapan ion logam Fe pada uji reaktor U3 lebih tinggi sejak hari ke-03 dibandingkan U2 yang hanya menggunakan tanaman.



Gambar 4. 4 Efisiensi penyisihan logam besi (Fe) perbandingan ketiga reaktor

4.2 Laju Penurunan Kadar Besi (Fe) oleh Tanaman *Coontail*

Tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum*) ialah makrofit yang memiliki kapasitas tinggi untuk meningkatkan kadar oksigen dan produksi biomassa yang sangat baik bagi ekosistem perairan (Foroughi dkk., 2010) Mekanisme penyerapan pada tanaman *coontail* terdiri atas 2 jenis yakni fitoekstraksi dan rhizofiltrasi. Menurut Memon dkk (2001) Kemampuan tanaman *coontail* memiliki kemampuan penyerapan logam berat yang terakumulasi dalam jaringan-jaringan dan menguraikannya melalui kemampuan sistem metaboliknya.

Adapun mekanisme rhizofiltrasi ialah kemampuan tanaman *coontail* dalam menghilangkan logam-logam ini melalui adsorpsi permukaan dan memasukkannya ke dalam sistem metabolisme mereka sebagai bentuk terikat. Air limbah yang diperbaiki oleh tanaman mengurangi kerusakan pada lingkungan air (Kumar dkk., 2022). Sehingga proses penyerapan dari kedua mekanisme ini berkorelasi dengan tingkat efisiensi tanaman menyisihkan kadar logam berat Fe pada air limbah.

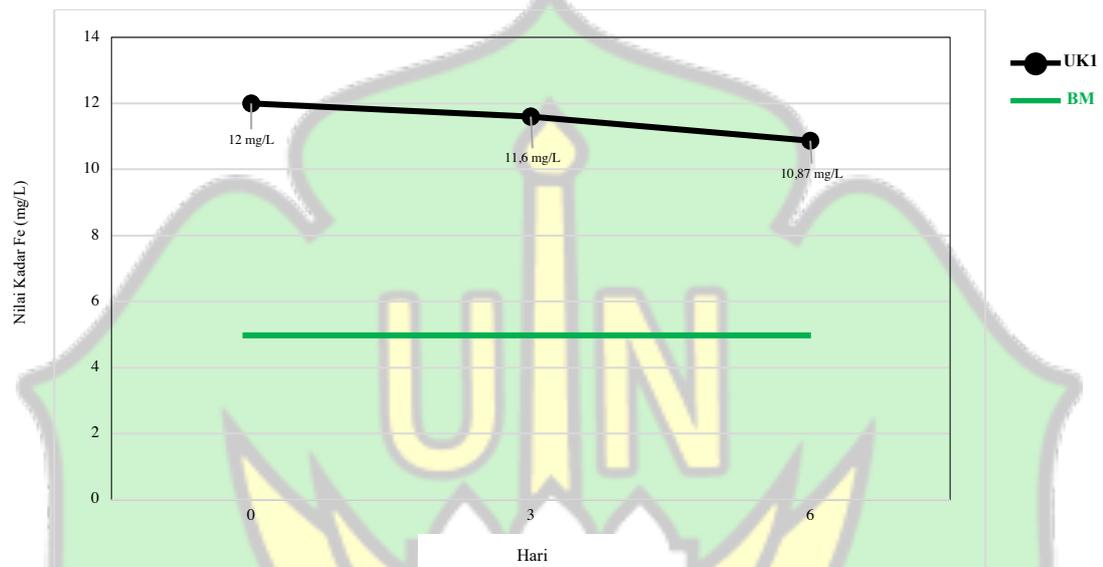
Berdasarkan tinjauan dari hasil analisa data laboratorium, tanaman *coontail* mampu meremediasi kandungan logam berat Fe dengan konsentrasi 12 mg/L. Pengujian sampel menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) metode sesuai SNI 6989-84:2019. Adapun standar baku mutu logam Fe pada air limbah pengujian mengacu pada PERMEN LH No.05 Tahun 2022 mengenai Baku Mutu Pengolahan Air Limbah dengan nilai maksimal 5 mg/L. Berikut ini Tabel 4.2 hasil uji konsentrasi Fe pada hari ke H-0, H-3, dan H-6 pada masing-masing reaktor uji:

Tabel 4.2 Hasil analisa penurunan konsentrasi kadar logam besi (Fe) oleh tanaman *coontail*

No.	Parameter	Variasi Reaktor	Variasi Waktu Analisa	Nilai Fe (mg/L)	Baku Mutu PERMEN LH No.05 Tahun 2022
1.	Besi (Fe)	UK ₁ H ₀	0	12	5 mg/L
2.		U ₂ H ₀		12	
3.		U ₃ H ₀		12	
4.		UK ₁ H ₃	3	11,6	
5.		U ₂ H ₃		4,178	
6.		U ₃ H ₃		0,4848	
7.		UK ₁ H ₆	6	10,87	
8.		U ₂ H ₆		0,3466	
9.		U ₃ H ₆		0,3229	

Sumber : Laboratorium Fakultas Saintek, UIN Ar-Raniry

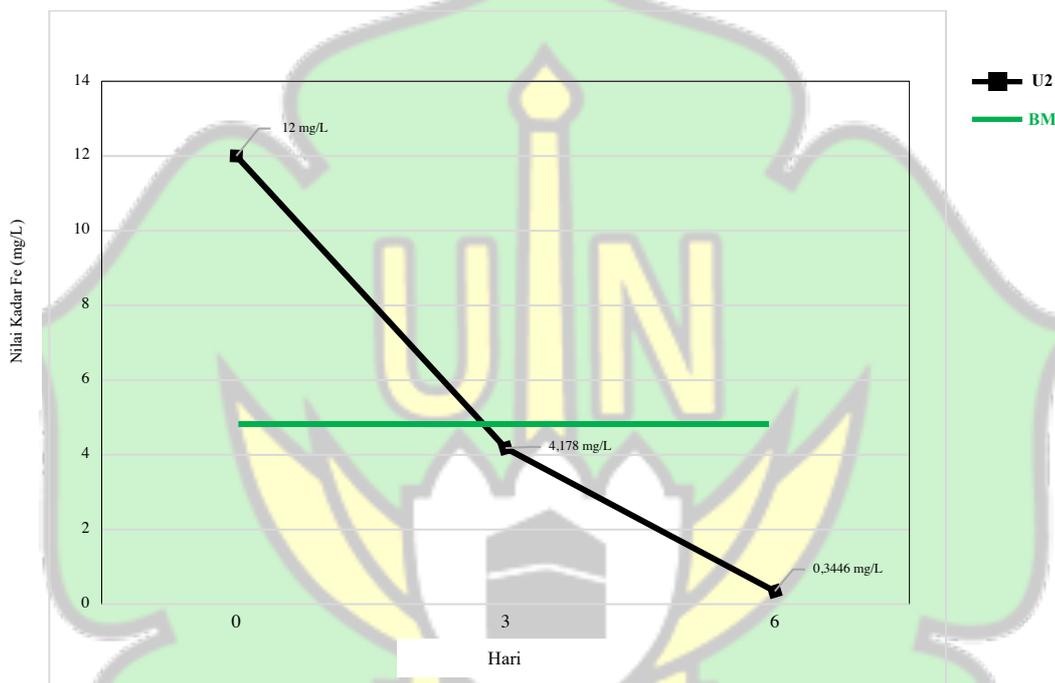
Fitoremediasi menggunakan tanaman *coontail* yang dilakukan selama 6 hari memberikan hasil perbedaan dari tingkat penurunan. Kecepatan penurunan sangat ditentukan oleh variasi sistem reaktor dan lamanya waktu pemaparan sejak hari ke-0 hingga hari ke-6. Variasi sistem reaktor yang diterapkan pada penelitian fitoremediasi ini menunjukkan laju penurunan yang berbeda, hal ini dapat terjadi berdasarkan perbedaan garis kemiringan pada masing-masing grafik yang menunjukkan tingkat efektifitas dan kecepatan penurunan.



Gambar 4.5 Grafik penurunan kadar logam besi Fe pada reaktor (UK1)

Hasil analisa data konsentrasi logam berat Fe pada reaktor UK1 merupakan reaktor kontrol tanpa tanaman dan aerator, konsentrasi awal sebesar 12 mg/L. Pada reaktor kontrol di hari ke-3 kadar Fe mengalami penurunan senilai 11,6, pengurangan kadar Fe dalam kurun waktu 3 hari pergeseran nilai hanya berkisar 0,4 mg/L dengan persentase sejumlah 3,33%. Lalu, pada hari ke-6 konsentrasi penurunan sebesar 10,87 mg/L pengurangan nilai dalam kurun waktu enam hari, pada reaktor kontrol sebanyak 1,13 mg/L dengan persentase hanya sejumlah 9,41% dari keseluruhan. Sebagaimana pada Gambar 4.6. Reaktor pertama UK1 yang merupakan reaktor uji tanpa tanaman dan tanpa adanya proses aerasi mengalami penurunan kadar konsentrasi Fe secara perlahan. Fenomena terjadinya penurunan konsentrasi pada reaktor kontrol dikarenakan logam besi (Fe) mengalami pengendapan, dan terjadinya penguapan secara alamiah (Nurullah, 2018).

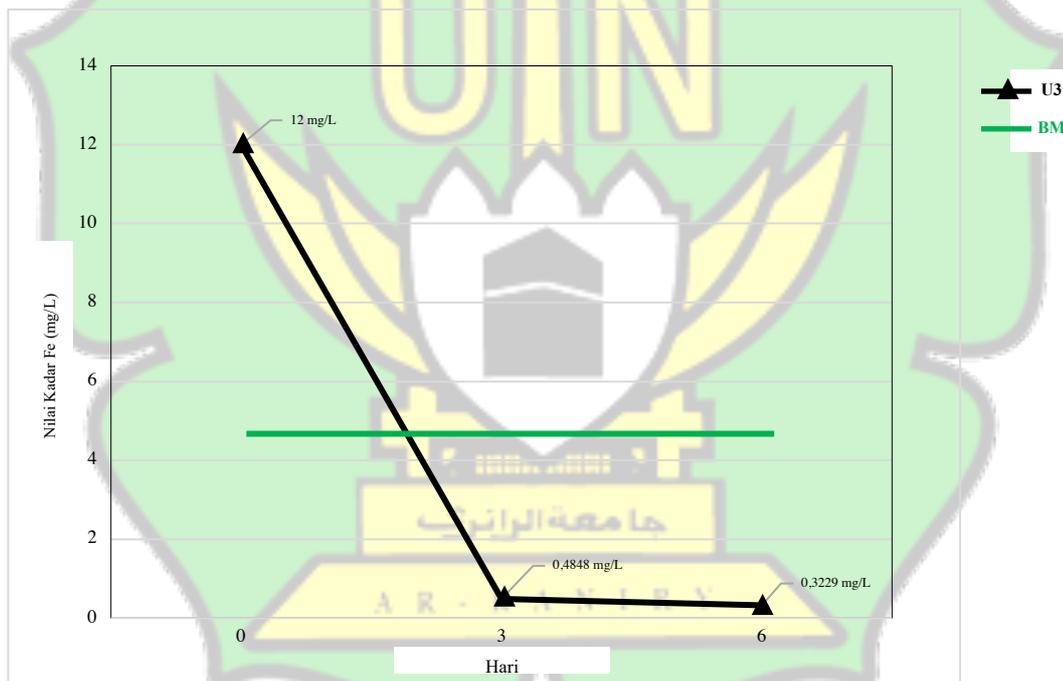
Uji reaktor (U2) dengan penerapan sistem reaktor berupa 5 buah tanaman *coontail* tanpa aerator dengan nilai konsentrasi awal sebesar 12 mg/L. Pada uji reaktor kedua hari ke-3 kadar konsentrasi Fe mengalami penurunan konsentrasi kadar Fe senilai 4,178 mg/L. Kecepatan pergeseran penurunan nilai terjadi dalam kurun waktu 3 hari tanaman *coontail* mampu mengurangi kadar Fe sebanyak 7.822 mg/L dari konsentrasi Fe nilai awal sebesar 12 mg/L. Selanjutnya, pada hari ke-6 efektivitas penurunan mengalami peningkatan yang cukup tinggi dimana konsentrasi logam Fe mengalami penurunan senilai 0.3446 mg/L.



Gambar 4.6 Grafik penurunan kadar logam besi Fe pada reaktor (U2)

Berdasarkan Gambar 4.6 diatas garis kurva pada uji reaktor (U2) mengalami kecepatan penurunan, dimana garis kurva cenderung melandai sejak hari ke-0 hingga hari ke-3. Penurunan sejak hari ke-0 hingga hari ke-3 tanaman *coontail* mampu mengurangi kadar konsentrasi Fe sebanyak 7.822 mg/L. Sedangkan, penurunan sejak hari ke-0 hingga hari ke-6 secara keseluruhan tanaman *coontail* mampu mengurangi kadar konsentrasi Fe sebanyak 11,405 mg/L dengan suhu rata-rata 28°C dan pH 6.86. Penurunan kadar logam Fe yang terakumulasi dengan baik pada sistem reaktor kedua (U2) didukung dengan kadar pH dan kondisi suhu yang stabil, serta oksigen yang cukup, sehingga membuat tanaman *coontail* mampu mereduksi logam dengan sangat baik, meskipun tanpa bantuan suplai dari aerator.

Uji reaktor tiga (U3) dengan penerapan sistem reaktor berupa 5 buah tanaman *coontail* ditambah penggunaan aerator dengan nilai konsentrasi awal sebesar 12 mg/L. Hasil pengujian menunjukkan angka kecepatan penurunan yang cukup tinggi sebagaimana gambar 4.7. Terlihat kurva menurun secara curam pada hari awal ke-0 hingga hari ke-3 dan perlahan melandai hingga ke-6. Berdasarkan hasil analisa data laboratorium pada hari ke-3 penurunan kadar Fe senilai 0.4848 mg/L atau dalam kurun waktu 3 hari tanaman *coontail* mampu meyisihkan kadar Fe sebanyak 11,5152 mg/L. Selanjutnya, penurunan konsentrasi Fe pada hari ke-6 senilai 0.3229 mg/L. dengan kondisi suhu rata-rata adalah 28°C sedangkan pH senilai 6.86. Kadar konsentrasi logam Fe yang terakumulasi oleh tanaman *coontail* secara cepat dipengaruhi suplai oksigen dari penggunaan aerator secara bersamaan saat proses fitoremediasi. Peningkatan jumlah oksigen dalam jumlah yang banyak mengakibatkan reaksi oksidasi menjadi lebih aktif dan cepat.

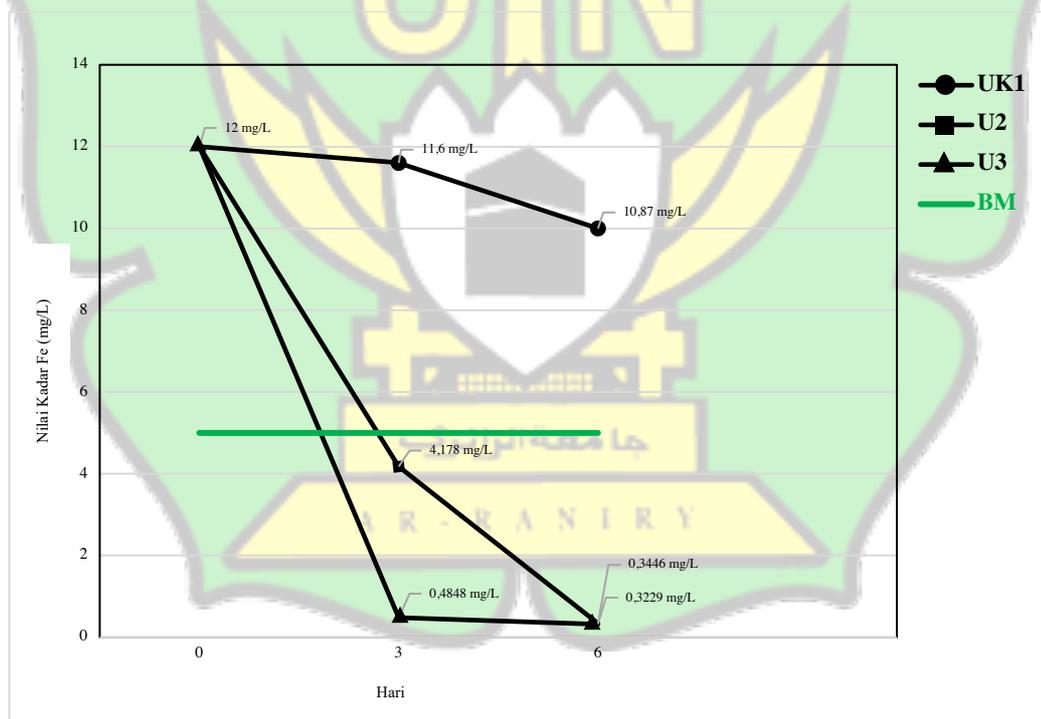


Gambar 4.7 Grafik penurunan kadar logam besi (Fe) pada reaktor (U3)

Sehingga tanaman *coontail* mereduksi ion-ion logam Fe dengan cepat. Kecepatan tanaman *coontail* yang dikombinasikan oleh aerator tidak hanya menghasilkan tingkat efektivitas dengan kecepatan penurunan kadar Fe yang sangat baik dan mampu mengurangi tingkat kekeruhan pada air limbah secara menyeluruh sehingga membuat air limbah tampak lebih jernih dibandingkan sebelumnya.

Penerapan sistem aerasi dalam proses fitoremediasi meningkatkan jumlah pasokan oksigen meningkat (Ruzzi dkk., 2023). Suplai oksigen tercukupi membuat pH menjadi stabil sehingga logam-logam mudah terlarut dalam air. Reaksi oksidasi membuat tanaman merespon perubahan sifat kimia yang terjadi pada tubuhnya agar menghindari kontaminasi yang mengakibatkan keracunan, sehingga membuat tanaman mereduksi logam berat menjadi lebih cepat (Novita dkk., 2022).

Analisa penurunan konsentrasi Fe menggunakan tanaman *coontail* pada hari keenam semua uji reaktor (U2 dan U3) nilai yang didapatkan berdasarkan hasil pengujian telah memenuhi nilai standar baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 05 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah dengan nilai maksimum Fe sebesar 5 mg/L. Kadar konsentrasi Fe pada kedua reaktor (U2) 0.3446 mg/L dan U3 sebanyak 0.3229 mg/L, sehingga nilai ini menunjukkan angka yang berada dibawah nilai ambang batas 5 mg/L atau ≤ 1 mg/L dari standar yang ditetapkan, sehingga air limbah logam Fe dalam penelitian ini tergolong aman bagi lingkungan.



Gambar 4.8 Perbandingan penurunan kadar logam besi (Fe) reaktor

Terkecuali reaktor kontrol (UK1) sistem reaktor kontrol tanpa tanaman dimana kadar konsentrasi Fe masih berada diatas nilai maksimum atau nilai tidak memenuhi standar baku mutus sehingga tergolong tidak aman bagi lingkungan.

Beberapa faktor pengaruh tingginya nilai persentase efisiensi penyisihan pada logam berat dalam fitoremediasi pengolahan air limbah adalah jenis tanaman (Fitoremediator) dan sistem pengolahan yang diterapkan. Fitoremediator yang digunakan dalam penelitian menggunakan satu jenis tanaman (variasi usia tanaman) dengan kombinasi sistem reaktor aerasi dan tanpa aerasi. Keadaan tanaman dari reaksi morfologi tanaman *coontail* melalui batang dan daun secara fisik yang mengalami perubahan dari hari ke-0 hingga hari ke-6 secara berangsur-angsur. Tanaman yang semula hijau dan kaku yang secara perlahan sebagian mengalami kerontokan dan perubahan warna yang menjadi hitam akibat penyerapan logam berat Fe. Selain itu, tanaman memiliki mekanisme beradaptasi dan bertahan hidup dari kondisi tersebut, hal ini dapat dibuktikan sebagaimana gambar di bawah reaktor kedua (U2) sebelah kanan dan reaktor ketiga (U3) sebelah kiri pada hari ke-6 tanaman mulai memunculkan tunas baru berwarna hijau muda. Meskipun kerontokan terjadi pada sebagian jumlah daun, namun kondisi batang masih utuh dan kuat.

Penyisihan kadar logam berat Fe pada saat penelitian tidak hanya berpengaruh pada air limbah, namun juga memberikan dampak pada tanaman *coontail* secara fisik. kondisi tanaman pada reaktor yang mengalami perubahan secara fisik yang berbeda, tanaman *coontail* pada sistem reaktor pada U3 mengalami perubahan fisik yang ditandai dengan perubahan pada warna daun yang mulai menghitam, kerapuhan hingga mengalami kerontokan kerontokan. Sedangkan tanaman *coontail* pada U2 ditandai dengan perubahan secara fisik dari daun yang perlahan menguning dan menghitam hingga mengalami kerontokan secara perlahan, hingga sebagian tanaman mati. Sebagaimana Pamungkas dkk (2022) menyebutkan bahwa penambahan sistem aerasi pengolahan yang diterapkan dalam air limbah mempengaruhi kecepatan efisiensi penyisihan kontaminan pada fitoremediasi. Logam Fe yang terakumulasi pada jaringan-jaringan di dalam batang tanaman menguraikannya melalui sistem metaboliknya sehingga, hal ini juga mempengaruhi kondisi fisik tanaman yang semula segar, berubah menjadi layu dan rontok.

Namun, pada hari ke-6 batang tanaman masih kuat, dan menghasilkan pertumbuhan tunas yang baru pada bagian ujung tanaman. Kemunculan tunas yang baru menunjukkan bahwa tanaman *coontail* mampu beradaptasi dan bertahan hidup dengan baik bersamaan dengan kondisi pemaparan logam pada saat proses fitoremediasi.



Gambar 4.9 Kondisi tanaman *coontail* bertunas pada uji reaktor U2 & U3

Kerusakan yang terjadi pada daun ditandai dengan perubahan warna dan kerontokan. Sebagian daun disebabkan tanaman mengalami nekrosis dan klorosis dari hasil proses pada saat fitoremediasi logam khususnya logam berat Fe berlangsung. Khasanah (2018) juga menyatakan bahwa secara morfologi tanaman fitoremediasi secara aktif menyerap logam berat hingga berusaha bertahan hidup. Meski demikian tanaman akan beradaptasi secara perlahan dan bertumbuh kembali dengan meningkatkan klorofil (Jamil dkk., 2016). Oleh karenanya, tanaman *coontail* mampu bertahan dalam kondisi demikian, disamping mempunyai kemampuan yang sangat baik dalam berfotosintesis (Kadaria, 2017).

Perubahan yang terjadi pada air limbah pada saat fitoremediasi berlangsung, juga mengalami perubahan secara fisik dari perubahan warna. Pada reaktor pertama dan kedua, Air limbah Fe yang semula berwarna kuning nan keruh perlahan memudar dan hilang, air limbah berubah menjadi lebih jernih. Kekeruhan yang diakibatkan tingginya kadar padatan terlarut dari logam Fe secara cepat teroksidasi dan tersisihkan melalui penyerapan tanaman *coontail*. Pemantauan terhadap nilai pH pada air limbah Fe juga dilakukan dengan pengukuran setiap hari. Pada saat fitoremediasi berlangsung selama 6 hari, nilai pH dari ketiga reaktor berada pada nilai pH 6.58 dalam keadaan asam, dalam keadaan suhu berkisar 28°C - 30°C di dalam ruangan.

Menurut Nurfitri dan Rachmatiah (2010) menyatakan bahwa kondisi paling optimal tumbuhan dalam proses fitoremediasi dengan pH air berada pada nilai berkisar antara 6.5 hingga 7 sedangkan suhu air berkisar 17°C - 30°C. Nilai ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini nilai pH dan suhu saat memenuhi kondisi yang cukup optimal bagi tanaman dalam pengujian fitoremediasi. Berdasarkan PERMEN LH RI No. 05 tahun 2014 dan PERMEN LH RI No. 05 tahun 2022 tentang Baku Mutu Air Limbah bahwa nilai pH berkisar 6.0-9.0, sehingga nilai pH air limbah dalam penelitian ini telah memenuhi standar baku mutu nasional dan tergolong sudah aman.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian fitoremediasi yang dilakukan menggunakan tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) dapat diambil kesimpulan bahwa, sebagai berikut:

1. Efektivitas persentase penyisihan logam Fe dengan konsentrasi 12 mg/L pada limbah artifisial uji reaktor yang terjadi pada UK1 (Reaktor kontrol); U2 (5 buah tanaman *coontail*), U3 (5 buah tanaman *coontail* dan aerator) pada hari ke-03 dengan hasil UK1 sebesar 3,33%; U2 sebesar 64,44%; U3 sebesar 95,96%. Dan pada hari ke-06 dengan hasil UK1 sebesar 3,33%; U2 sebesar 64,44%; U3 sebesar 95,96%.
2. Laju penurunan kadar logam Fe dari limbah artifisial konsentrasi 12 mg/L pada limbah artifisial pada uji reaktor UK1; U2; U3 pada hari ke-6 dengan hasil 10,87 mg/L; 0,3466 mg/L; 0,3229 mg/L. Hasil efektivitas penyisihan tertinggi terjadi pada U3 dengan nilai 0,3229 mg/L dengan persentase 97,30% dengan nilai konsentrasi Fe pada limbah tergolong aman dibawah nilai baku mutu 5 mg/L. Sebagaimana standar PERMEN LH No. 5 tahun 2022 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian fitoremediasi penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait penyisihan logam besi (Fe) non artifisial oleh tanaman *coontail* (*Ceratophyllum demersum L.*) terhadap badan air yang tercemar.
2. Perlu dilakukan pengambilan terhadap sampel setiap satu hari sekali, agar dapat mengetahui waktu kecepatan penurunan konsentrasi logam terjadi.
3. Perlu dilakukan penambahan jumlah parameter pada penelitian.
4. Perlu dilakukan perhitungan jumlah debit oksigen yang masuk ke dalam sistem reaktor.

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*, 30(14), 40206–40217.
- Af'idah, H., Nisrina, N., & Karim, A. (2023). Sosialisasi Proses Pengolahan Limbah Cair Di Dhillon Medical Centre Deli Serdang. *Jurnal Medika Husada*, 3(1), 69–78.
- Ahmad, Z., Khan, S. M., Page, S. E., Balzter, H., Ullah, A., Ali, S., Jehangir, S., Ejaz, U., Afza, R., & Razzaq, A. (2023). Environmental sustainability and resilience in a polluted ecosystem via phytoremediation of heavy metals and plant physiological adaptations. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135733.
- Al- Thahaibawi. (2021). Preliminary Assessment of Several Heavy Metal Ions (Fe, Cu, Ni, Zn, Cr, Pb, and Cd) in Water, Sediment, *Ceratophyllum demersum*, and *Potamogeton pectinatus* Plants from Marsh Al-Hawizeh, Iraq. *Journal of Water and Environment Technology*, 19(4), 185–197.
- Andyanto, N., Kaswinarni, F., & Rahayu, P. (2019). Kemampuan Tanaman *Nymphaea pubescens* Dalam Menurunkan Kadar Fosfat dan Amonia Pada Limbah Cair Rumah Tangga. *EDUSAINTEK*, 3.
- Arnolds, J. L., Snyman, R. G., & Odendaal, J. P. (2018). Bioaccumulation of Al, Cu and Zn in coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) after experimental exposure to a metal cocktail “pollution event.” *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(2), 928–937.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total Secara Spektrometri Serapan Atom (SSA)*. SNI 6989-84:2019. Jakarta.
- Batool, A., & Saleh, T. A. (2020). Removal of toxic metals from wastewater in constructed wetlands as a green technology; catalyst role of substrates and chelators. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189, 109924.

- Bech, J., Duran, P., Roca, N., Poma, W., Sánchez, I., Roca-Pérez, L., Boluda, R., Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2012). Accumulation of Pb and Zn in *Bidens triplinervia* and *Senecio* sp. spontaneous species from mine spoils in Peru and their potential use in phytoremediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 109–113.
- Bosso, S. T., & Enzweiler, J. (2002). Evaluation of heavy metal removal from aqueous solution onto scolecite. *Water Research*, 36(19), 4795–4800.
- Choirunnisa, A. T. (2022). Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman.
- DalCorso, G., Fasani, E., Manara, A., Visioli, G., & Furini, A. (2019). Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(14), 3412.
- Foroughi, M., Najafi, P., Toghiani, A., & Honarjoo, N. (2010). Analysis of pollution removal from wastewater by *Ceratophyllum demersum*. *African Journal of Biotechnology*, 9(14), 2125–2128.
- Hardiani, H. (2008). Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 2(2), 64–75.
- Hartanti, P. I., Haji, A. T. S., & Wirosodarmo, R. (2014). Pengaruh kerapatan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap penurunan logam chromium pada limbah cair penyamakan kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 1(2), 31–37.
- Indrayani, L., & Rahmah, N. (2018). Nilai parameter kadar pencemar sebagai penentu tingkat efektivitas tahapan pengolahan limbah cair industri batik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 41–50.
- Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2).
- Jamil, A., Darundiati, Y. H., & Darundiati, N. A. Y. (2016). Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak Dan Jumlah Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) Terhadap Penurunan Kadar Cadmium (Cd) Limbah Cair Batik Home Industry “X” Di Magelang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(4), 763–770.

- Kadaria, S. I. A. U. (2017). Uji tanaman coontail (*Ceratophyllum demersum*) sebagai agen fitoremediasi limbah cair kopi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1).
- Khang, H. V., Hatayama, M., & Inoue, C. (2012). Arsenic accumulation by aquatic macrophyte coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) exposed to arsenite, and the effect of iron on the uptake of arsenite and arsenate. *Environmental and Experimental Botany*, 83, 47–52.
- Khasanah, M., Moelyaningrum, A. D., & Pujiati, R. S. (2018). Analisis Perbedaan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai Fitoremediasi Merkuri (Hg) pada Air. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9(3), 105–110.
- Kidd, P., Barceló, J., Bernal, M. P., Navari-Izzo, F., Poschenrieder, C., Shilev, S., Clemente, R., & Monterroso, C. (2009). Trace element behaviour at the root–soil interface: implications in phytoremediation. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 243–259.
- Kumar, S., Thakur, N., Singh, A. K., Gudade, B. A., Ghimire, D., & Das, S. (2022). Aquatic macrophytes for environmental pollution control. In *Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water* (pp. 291–308). Elsevier.
- Mardana, M. Y. A. (2007). Pengolahan yang Tepat bagi Limbah Cair. Diakses Dari [Http://Akademik.Che.Itb.Ac.Id/Labtek/Wpcontent/Upload/2007/08/Modulpengolahan-Air.Pdf](http://Akademik.Che.Itb.Ac.Id/Labtek/Wpcontent/Upload/2007/08/Modulpengolahan-Air.Pdf), Pada, 4.
- Marzuki, I., Syahrir, M., Ramli, M., Harimuswarah, M. R., Artawan, I. P., & Iqbal, M. (2022). Operasi Dan Remediasi Lingkungan (Vol. 1). *Tohar Media*.
- Melati, I. (2020). Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan dan Prospek Riset. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 8(1).
- Memon, A. R., Aktoprakligil, D., Özdemir, A., & Vertii, A. (2001). Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants. *Turkish Journal of Botany*, 25(3), 111–121.
- Mishra, B., & Chandra, M. (2022). Evaluation of phytoremediation potential of aromatic plants: A systematic review. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 31, 100405.

- Nasution, H. A., & Sihombing, A. T. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dalam Air Sungai Silau Di Kota Kisaran. *INA-Rxiv Papers*, 1–11. <https://osf.io/preprints/inarxiv/7fs5a>
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Safrizal, M. R., Puspitasari, A. I., & Pradana, H. A. (2022). Kajian Perbaikan Kualitas Air Limbah Pengolahan Kopi Menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 11(1), 192–203.
- Nugrayani, D., Hidayati, N. V., Muslih, M., Cahyo, T. N., Putri, A. A., Ummah, A. N., Putri, N. A., & Santoso, F. S. (2023). Potensi Resiko Ekologis Logam Berat (Cd, Cr, Fe) Pada Sedimen Anak Sungai Pelus Sekitar Home Industry Batik Kauman Sokaraja, Banyumas. *Jurnal Perikanan Unram*, 13(3), 796–805.
- Nur, F. (2013). Fitoremediasi logam berat kadmium (Cd). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1), 74–83.
- Nurfitri, A., & Rachmatiah, I. (2010). Pengaruh kerapatan tanaman kiapu (*Pistia stratiotes* L) terhadap serapan logam Cu pada air. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 16(1), 42–51.
- Nurilmala, M., Hizbullah, H. H., Karnia, E., Kusumaningtyas, E., & Ochiai, Y. (2020). Characterization and antioxidant activity of collagen, gelatin, and the derived peptides from yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) skin. *Marine Drugs*, 18(2), 98.
- Nurullah, L. (2018). Analisis Removal Logam Berat Dengan Metode Floating Wetland Menggunakan Tanaman Kolonjono (*Brachiaria Mutica*) Dan Bakteri Pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta, Pt. Kai.
- Pamungkas, B. T., Afifah, F. S., Ilyas, N. I., & Suwazan, D. (2022). Penurunan Kadar TSS, COD, BOD Dan Fosfat Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Kecil Laundry Menggunakan Kombinasi Teknologi Aerasi Dan Fitoremediasi Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Prosiding Sains Dan Teknologi*, 1(1), 516–524.
- Parnian, A., Chorom, M., Jaafarzadeh, N., Anosheh, H. P., Ozturk, M., Unal, D., Yilmaz, D. D., & Altay, V. (2022). Bioremediation of cadmium and nickel from a saline aquatic environment using *Ceratophyllum demersum*. *Chiang Mai J Sci*, 49(2), 339–347.

- Patel, D. K., & Kanungo, V. K. (2010). Ecological efficiency of *Ceratophyllum demersum* L. In phytoremediation of nutrients from domestic waste water. *Int. Quart. J. Environ. Sci*, 4, 257–262.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2022 Tentang Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pertambangan Dengan Menggunakan Metode Lahan Basah. Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta
- Prihati, S. R., Suprpto, D., & Rudiyanti, S. (2020). Kadar logam berat Pb, Fe, dan Cd yang terkandung dalam jaringan lunak kerang batik (*Paphia undulata*) dari Perairan Tambak Lorok, Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 4(2), 116–123.
- Purnomo, Y. S., & Anggraini, N. A. (2022). Pengaruh Pemotongan Akar Tanaman Air Terhadap Penurunan BOD dan COD Limbah Domestik Dengan Metode Fitoremediasi. *Prosiding ESEC*, 3(1), 65–74.
- Rahmawati, A. N. (2019). *Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Singkong Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dalam Air*.
- Ruzzi, F., Irawan, A., & Lisha, S. Y. (2023). Uji Efektivitas Tanaman *Salvinia Molesta* dan *Eichhornia Crassipes* dalam Menurunkan Kadar BOD, COD, Dan TSS pada Limbah Cair Tahu. *CIVED*, 10(1), 311–329.
- Saputri, I. A., & Aminatun, T. (2018). Efektivitas Variasi Biomassa Tanaman Air Kiapu (*Pistia Stratiotes* L.) Dalam Fitoremediasi Limbah Cair Batik. *Kingdom (The Journal of Biological Studies)*, 7(4), 242–245.
- SETIADY, T. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Limbah Cair Industri Berbasis Internet Of Things (*IoT*).
- Sharma, P., Tripathi, S., Sirohi, R., Kim, S. H., Ngo, H. H., & Pandey, A. (2021). Uptake and mobilization of heavy metals through phytoremediation process from native plants species growing on complex pollutants: Antioxidant enzymes and photosynthetic pigments response. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101629.

- Supriyantini, E., & Endrawati, H. (2015). Kandungan logam berat besi (Fe) pada air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1).
- 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.
- Syranidou, E., Christofilopoulos, S., Gkavrou, G., Thijs, S., Weyens, N., Vangronsveld, J., & Kalogerakis, N. (2016). Exploitation of endophytic bacteria to enhance the phytoremediation potential of the wetland helophyte *Juncus acutus*. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1016.
- Umroningsih, U. (2022). Limbah Cair Menyebabkan Pencemaran Lingkungan. *Jisos: Jurnal Ilmu Sosial*, 1(7), 647–666.
- Verma, R., & Suthar, S. (2015). Lead and cadmium removal from water using duckweed - *Lemna gibba* L.: Impact of pH and initial metal load. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1297–1304. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.014>
- Yudo, S., & Said, N. I. (2017). Kebijakan Dan Strategi Pengelolaanair Limbah Domestik Di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 10(2).
- Zhao, L., Li, T., Zhang, X., Chen, G., Zheng, Z., & Yu, H. (2016). Pb Uptake and Phytostabilization Potential of the Mining Ecotype of *Athyrium Wardii* (Hook.) Grown in Pb-Contaminated Soil. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 44(9), 1184–1190.

LAMPIRAN A
HASIL UJI SAMPEL LIMBAH CAIR LOGAM BESI (Fe) ARTIFISIAL



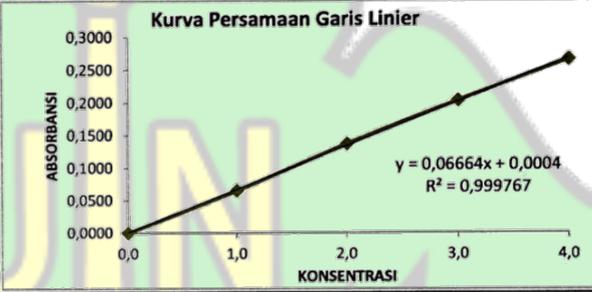
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry
Laboratorium Fakultas Sains & Teknologi
Lab Instrumen FST, Lantai 1, Gedung Laboratorium Multifungsi
Jl. Syekh Abdur Rauf, Kopelma Darussalam, Banda Aceh, 23111

LEMBAR KOMPILASI DATA

1. Nama pengguna layanan : Dimas
2. Tanggal pengujian : 25 September 2023
3. Nama sampel : Air
4. Jumlah sampel : 3
5. Parameter uji : Besi (Fe)
6. Metode uji : SNI 6989-84:2019
7. Pengukuran Larutan Standar

No. Std	Kons (mg/L)	Abs
Blank	0,0	0,0000
Std-1	1,0	0,0651
Std-2	2,0	0,1365
Std-3	3,0	0,2021
Std-4	4,0	0,2647
Nilai r^2	0,999767	
slope	0,06664	
Intercept	0,00040	

Kurva Persamaan Garis Linier



$y = 0,06664x + 0,0004$
 $R^2 = 0,999767$

8. Evaluasi Pengukuran

No	Evaluator	Abs	Kons (mg/L)	fp	Hasil (mg/L)	RSD (%)	Rec (%)
1	Std-7 2 mg/L	0,1297	1,940	1	1,940	0,16	96,89
2	Std-8 2 mg/L	0,1293	1,934	1	1,934	Ok	Ok
3	Std-9 2 mg/L	0,1296	1,939	1	1,939		

MDL = 0,0288 mg/L RSD < 10 % Target Rec = 2 mg/L Batas Rec = 85-115 %

9. Pengukuran Sampel

No	Sampel	Abs	Hasil (mg/L)	Ket
1	Reaktor 1	0,8053	12,08	OK
2	Reaktor 2	0,7834	11,75	OK
3	Reaktor 3	0,8081	12,12	OK

Analisis



Rizki Kumiawan, S.Si.



Banda Aceh, 26 September 2023
Kaf. Zaid FST



Hadi Kumiawan, S.Si., M.Si.

LAMPIRAN B PERHITUNGAN

Lampiran B.1. Efektivitas Penyisihan Logam Besi (Fe) Hari ke-3

5. Unit Reaktor Kontrol 1 (UK1)

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas UK1} &= \frac{C_0 - C_s}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{12 - 11,60}{12} \times 100\% \\ &= 3,33\% \end{aligned}$$

6. Unit Reaktor 2 (U2)

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas U2} &= \frac{12 - 4,178}{12} \times 100\% \\ &= 65,18\% \end{aligned}$$

7. Unit Reaktor 3 (U3)

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas U3} &= \frac{12 - 0,4848}{12} \times 100\% \\ &= 95,96\% \end{aligned}$$

Lampiran B.2. Efektivitas Penyisihan Logam Besi (Fe) Hari ke-6

1. Unit Reaktor Kontrol 1 (UK1)

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas UK1} &= \frac{12 - 10,87}{12} \times 100\% \\ &= 9,41\% \end{aligned}$$

2. Unit Reaktor 2 (U2)

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas U2} &= \frac{12 - 0,3466}{12} \times 100\% \\ &= 97,11\% \end{aligned}$$

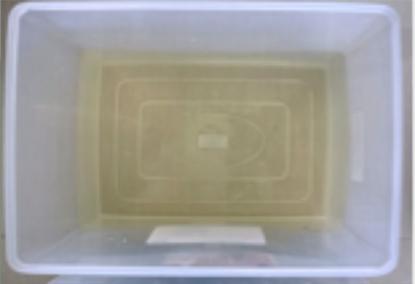
3. Unit Reaktor 3 (U3)

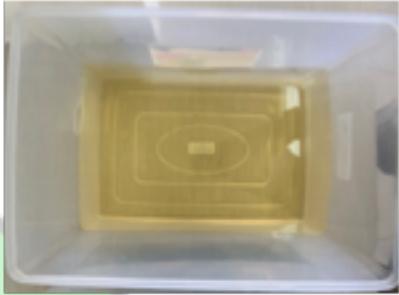
$$\begin{aligned} \text{Efektivitas U3} &= \frac{12 - 0,3229}{12} \times 100\% \\ &= 95,30\% \end{aligned}$$

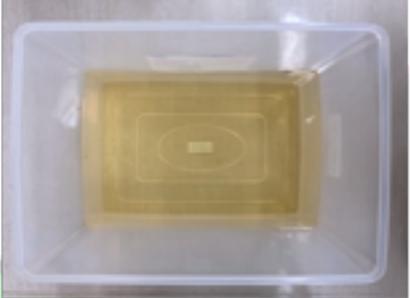
LAMPIRAN C

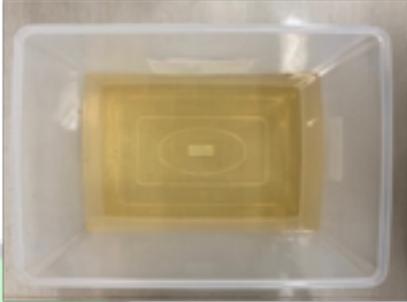
DOKUMENTASI UNIT REAKTOR SAAT EKSPERIMEN

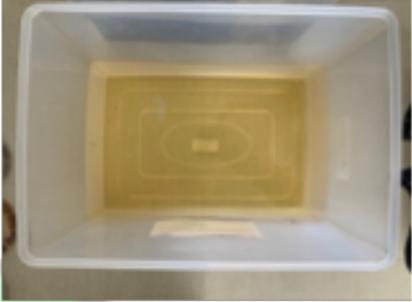
Lampiran C.1. Keadaan Tanaman dan Air Limbah Pada Reaktor Saat Eksperimen

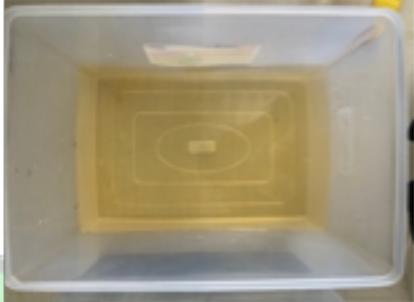
No.	Waktu (Hari)	Reaktor	Kondisi Tanaman	Dokumentasi (Gambar)
1.		UK1	<p>Rektor pertama merupakan reaktor kontrol</p> <p>Pengujian pada nilai Nilai pH air Limbah 6.86 dengan suhu 28°C</p>	
2.	H-0	U2	<p>Reaktor kedua tanaman <i>coontail</i> juga terlihat segar dan hijau.</p> <p>Nilai pH air limbah 6.86 dengan suhu 28°C</p>	
3.		U3	<p>Reaktor pertama saat awal hari penelitian. tanaman <i>coontail</i> terlihat segar dan hijau. dengan sistem reaktor dilengkapi aerator.</p> <p>Nilai pH pada air limbah berkisar 6.86 dengan suhu 28°C</p>	

No.	Waktu (Hari)	Reaktor	Kondisi Tanaman	Dokumentasi (Gambar)
4.		UK1	<p>Warna pada Air limbah kontrol lebih terlihat dibandingkan sebelumnya.</p> <p>Pengujian hasil pH senilai 6.86 dan temperature 28°C</p>	
5.	H-2	U2	<p>Tanaman <i>coontail</i> Secara fisik Masih terlihat hijau dan segar tanpa perubahan.</p> <p>Warna pada Air limbah masih terlihat, dengan pH senilai 6.86 dan temperature 28°C</p>	
6.		U3	<p>Pada hari kedua, Secara fisik Pucuk Tanaman <i>coontail</i> Masih terlihat segar dan hijau. namun, beberapa daun mulai menguning.</p> <p>Warna pada Air limbah tampak berkurang dari sebelumnya. Dengan pH senilai 6.86 dan suhu 28 °C</p>	

No.	Waktu (Hari)	Reaktor	Kondisi Tanaman	Dokumentasi (Gambar)
7.		UK1	Air limbah kontrol berwarna kuning cerah. Dengan hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C	
8.	H-3	U2	<p>Daun dan batang pada Tanaman <i>coontail</i> tidak menunjukkan kerapuhan dan perubahan warna.</p> <p>Hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C</p>	
9.		U3	<p>Sebagian besar daun pada Tanaman <i>coontail</i> mulai layu dan melemah. Dengan warna yang lenih pekat.</p> <p>Namun, warna pada air limbah terlihat jernih. Dengan hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C</p>	

No.	Waktu (Hari)	Reaktor	Kondisi Tanaman	Dokumentasi (Gambar)
10.		UK1	Air limbah kontrol tetap dengan kondisi warna kuning dengan hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C.	
11.	H-4	U2	<p>Tanaman <i>coontail</i> mulai mengalami kerapuhan pada daun-daun tanaman.</p> <p>Kondisi badan air tertutupi oleh zat-zat halus logam, menutupi lapisan air bagina ata.</p> <p>Hasil pengujian pH dari air limbah ini senilai 6.86 & temperature 28 °C.</p>	
12.		U3	Daun-daun pada Tanaman <i>coontail</i> Mulai mengalami kerentanan rapuh dan lemah. Namun, tidak pada batang tanaman yang masih kuat dan hijau. Air limbah Hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C.	

No.	Waktu (Hari)	Reaktor	Kondisi Tanaman	Dokumentasi (Gambar)
13.		UK1	Air limbah kontrol dari Hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C.	
14.	H-5	U2	<p>Tanaman <i>coontail</i> Mengalami kerapuhan pada daun-daunnya.</p> <p>Namun, tidak pada bagian pucuk tanaman.</p> <p>Hasil pengujian pH pada air limbah ini senilai 6.86 dan temperatur 28°C.</p>	
15.		U3	<p>Tanaman <i>coontail</i> Mengalami kerapuhan pada Sebagian besar daun.</p> <p>Namun, kerapuhan tidak terjadi pada pucuk. Terlihat pada pucuk tanaman menghasilkan tunas baru.</p> <p>Hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C.</p>	

No.	Waktu (Hari)	Reaktor	Kondisi Tanaman	Dokumentasi (Gambar)
16.		UK1	<p>Air limbah kontrol tidak mengalami perubahan apapun.</p> <p>Adapun hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C</p>	
17.	H-6	U2	<p>Adapun kondisi Badan air limbah mengalami perubahan warna lebih jernih.</p> <p>Tanaman <i>coontail</i> mengalami kerontokan pada daun, namun bagian pucuk masih terlihat segar dan menghasilkan tunas baru dengan ukuran yang lebih besar.</p> <p>pH senilai 6.86 dan temperature 28°C</p>	
18.		U3	<p>Tanaman <i>coontail</i> mengalami pertumbuhan tunas baru dengan kondisi batas yang masih subur. Sementara itu, daun-daun pada tanaman mengalami kerontokan total.</p> <p>Adapun warna pada air limbah sangat jernih.</p> <p>Hasil pengujian pH senilai 6.86 dan temperature 28°C.</p>	

LAMPIRAN D

STANDAR BAKU MUTU LOGAM BERAT PADA LIMBAH CAIR

Lampiran D.1. Standar Baku Mutu Logam Fe Bagi Industri yang Tidak Memiliki Baku Mutu Berdasarkan PERMEN LHK No.5 Tahun 2014

LAMPIRAN XLVII
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 5 TAHUN 2014
TENTANG
BAKU MUTU AIR LIMBAH

BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
YANG BELUM MEMILIKI BAKU MUTU AIR LIMBAH YANG DITETAPKAN

Parameter	Satuan	GOLONGAN	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2.000	4.000
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
pH	-	6,0-9,0	6,0-9,0
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stannum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,5	1
Fluorida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl ₂)	mg/L	1	2
Amonia-Nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20	30
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1	3
Total Nitrogen	mg/L	30	60
BOD ₅	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100 mL	10.000	

**Lampiran D.2. Standar Baku Mutu Logam Fe Bagi Kegiatan Fasilitas Pelayanan Kesehatan
Berdasarkan PERMEN LHK No.5 Tahun 2014**

**LAMPIRAN XLIV
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 5 TAHUN 2014
TENTANG
BAKU MUTU AIR LIMBAH**

**BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
FASILITAS PELAYANAN KESEHATAN**

A. Fasilitas Pelayanan Kesehatan yang melakukan Pengolahan Limbah Domestik

Parameter	Konsentrasi Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
Fisika		
Suhu	38	°C
Zat padat terlarut	2.000	mg/L
Zat padat tersuspensi	200	mg/L
Kimia		
pH	6-9	
BOD	50	mg/L
COD	80	mg/L
TSS	30	mg/L
Minyak dan Lemak	10	mg/L
MBAS	10	mg/L
Amonia Nitrogen	10	mg/L
Total Coliform	5.000	(MPN/100 ml)

B. Fasilitas Pelayanan Kesehatan yang melakukan Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

Fasilitas Kesehatan yang melakukan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun, yang hasil pengolahannya disalurkan ke IPAL, maka wajib memenuhi Baku Mutu Air Limbah Domestik sebagaimana Bagian A, dan Baku Mutu Air Limbah dengan parameter tambahan sebagai berikut:

Parameter	Konsentrasi Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
Kimia		
pH	6-9	
Besi, terlarut (Fe)	5	mg/L
Mangan, terlarut (Mn)	2	mg/L
Barium, (Ba)	2	mg/L
Tembaga, (Cu)	2	mg/L
Seng, (Zn)	5	mg/L
Krom valensi enam, (Cr6+)	0,1	mg/L
Krom total, (Cr)	0,5	mg/L
Kadmium, (Cd)	0,05	mg/L
Merkuri, (Hg)	0,002	mg/L
Timbal, (Pb)	0,1	mg/L
Stanum, (Sn)	2	mg/L

Lampiran D.3. Standar Baku Mutu Logam Fe Bagi industri Pertambangan Berdasarkan PERMEN LHK No. 5 Tahun 2022

LAMPIRAN II
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 5 TAHUN 2022
TENTANG
PENGOLAHAN AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU
KEGIATAN PERTAMBANGAN DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LAHAN BASAH BUATAN

BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
PERTAMBANGAN DENGAN CARA LAHAN BASAH BUATAN

A. BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BATU BARA DAN LIGNIT

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan /Pencucian
Derajat Keasaman (pH)		6 - 9	6 - 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	400	200
Besi (Fe) Total	mg/l	7	7
Mangan (Mn) Total	mg/l	4	4
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

B. BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN PASIR BESI DAN BIJIH BESI

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)		6 - 9	6 - 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	200	50
Besi (Fe)	mg/l	5	5
Mangan (Mn)	mg/l	1	1

Lampiran D.4. Standar Baku Mutu Logam Fe Bagi Air Limbah Tambang Biji Nikel Berdasarkan PERMEN LHK No. 5 Tahun 2022

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Besi (Fe) Total	mg/l	5	5
Seng (Zn)	mg/l	5	5
Kadmium (Cd)	mg/l	0,05	0,05
Kobalt (Co)	mg/l	0,4	0,4
Tembaga (Cu)	mg/l	2	2
Kromium VI (Cr ⁶⁺)	mg/l	0,1	0,1
Kromium (Cr) Total	mg/l	0,5	0,5
Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,1
Nikel (Ni)	mg/l	0,5	0,5
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

Lampiran D.4. Standar Baku Mutu Logam Fe Bagi Air Limbah Pertambangan Biji Bauksit
Berdasarkan PERMEN LHK No. 5 Tahun 2022

BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BIJIH BAUKSIT			
Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pencucian
Derajat Keasaman (pH)		6 – 9	6 – 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	200	200
Besi (Fe) Total	mg/l	5	5
Mangan (Mn) Total	mg/l	2	2
Tembaga (Cu)	mg/l	-	2
Timbal (Pb)	mg/l	-	0,1
Nikel (Ni)	mg/l	-	0,5
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi	mg/l	100	100

LAMPIRAN E
DOKUMENTASI KEGIATAN PENELITIAN

No.	Kegiatan	Dokumentasi (Gambar)
1.	Uji daya tahan hidup (adaptasi) Tanaman <i>coontail</i>	
2.	Pemilihan jenis tanaman <i>coontail</i> yang digunakan dalam keadaan sehat, kuat dan berwarna hijau segar dengan ukuran 15-40 cm.	
3.	Penimbangan serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 2.5gram menggunakan neraca analitik.	

No.	Kegiatan	Dokumentasi (Gambar)
4.	Penimbangan serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 2.5gram menggunakan neraca analitik.	
5.	Penimbangan aquades yang akan digunakan untuk dilarutkan dengan larutan induk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ didalam unit reaktor (5L).	
6.	Proses penuangan serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2.5 gram kedalam labu ukur 500ml sebagai larutan induk.	

No.	Kegiatan	Dokumentasi (Gambar)
7.	Proses homogenisasi larutan induk.	
8.	Proses pengambilan larutan induk menggunakan pipet ukur untuk dimasukkan kedalam masing-masing unit reaktor sebanyak 60 ml.	
9.	Tanaman <i>coontail</i> yang dipilih dan digunakan dalam proses penelitian fitoremediasi.	

No.	Kegiatan	Dokumentasi (Gambar)
10.	<p>Pemindahan tanaman <i>coontail</i> dimasukkan kedalam masing-masing unit reaktor, setelah dipilih dan ditimbang. Sebanyak 5 tangkai dengan berat ± 40 gram.</p>	
11.	<p>Proses pengambilan sampel air limbah Fe pada masing-masing unit reaktor fitoremediasi untuk diuji di laboratorium.</p>	
12.	<p>Ketiga unit reaktor proses fitoremediasi logam Fe menggunakan Tanaman <i>coontail</i>.</p>	

No.	Kegiatan	Dokumentasi (Gambar)
13.	Jumlah sampel dari ketiga unit reaktor proses fitoremediasi tanaman <i>coontail</i> .	
14.	Tanaman <i>coontail</i> pasca proses fitoremediasi. Mengalami kerontokan pada daun. Namun, tanaman masih bertahan, bagian batang masih kuat dan sehat Serta ujung bagian tanaman menumbuhkan tunas baru.	
15.	Tanaman <i>coontail</i> pasca 3 bulan proses fitoremediasi. Terus beregenerasi dan berkembang.	