

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
MENGUNAKAN TANAMAN MELATI AIR (*Echinodorus palifolius*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

**HARUN RONALDO
NIM. 160702109
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M / 1443 H**

LEMBARAN PERSETUJUAN
FITOREMEDIASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
MENGGUNAKAN TANAMAN MELATI AIR (*Echinodorus palifolius*)

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
HARUN RONALDO
NIM. 160702109
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I,



Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc
NIDN: 2015118002

جامعة الرانيري

Pembimbing II,



Iham Zulfahmi, M.Si
NIDN: 1316078801

A R - R A N I R Y

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Husnawati Yahya, S.SI. M.Sc
NIDN: 2009118301

LEMBARAN PENGESAHAN
FITOREMEDIASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
MENGGUNAKAN TANAMAN MELATI AIR (*Echinodorus palifolius*)

TUGAS AKHIR

Telah diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan dinyatakan Lulus
Serta diterima sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal : Sabtu, 23 Juli 2022
24 Dzulhijjah 1443 H

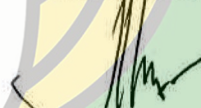
Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

Ketua,



Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc
NIDN: 2015118002

Sekretaris,



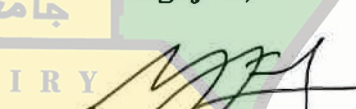
Ilham Zulfahmi, M.Si
NIDN: 1316078801

Penguji I,



Eriawati, M.Pd
NIDN: 2026118102

Penguji II,

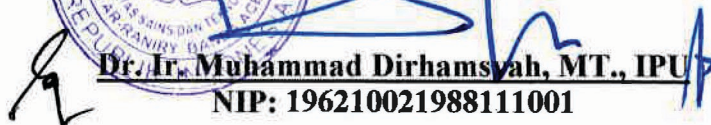


M. Faisi Ikhwali, M.Eng
NIDN: 2008109101

Mengetahui:

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




Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU
NIP: 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Harun Ronaldo

Nim : 160702109

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul : Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan
Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palifolius*)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penelitian skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu mempertanggungjawabkan atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat mempertanggungjawabkan dan ternyata 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.

Demikian pernyataan saya ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 12 Desember 2022

Menyatakan

(Harun Ronaldo)

ABSTRAK

Nama : Harun Ronaldo
NIM : 160702109
Program Studi : Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi (FST)
Judul : Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palifolius*).
Tanggal Sidang : 23 Juli 2022
Tebal Skripsi : 78 Halaman
Pembimbing I : Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc
Pembimbing II : Ilham Zulfahmi, M.Si
Kata Kunci : Logam Berat, Fitoremediasi, Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*).

Logam berat memiliki sifat dapat mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen. Metode yang dapat digunakan untuk meremediasi air tercemar logam berat Timbal (Pb) adalah dengan menggunakan tanaman fitoremediasi. Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) merupakan tumbuhan akuatik berumpun setengah terendam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan translokasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam penyerapan logam berat Timbal (Pb) pada akar dan batang ke dalam biomassa tanaman serta untuk mengetahui pemodelan proses fitoremediasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam menurunkan logam berat Timbal (Pb). Pada penelitian ini menggunakan media tanam, Pb dengan konsentrasi 5 mg/l, 10 mg/l, dan pengulangan masing-masing reaktor. Sampel yang dianalisis pada Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) yaitu akar dan batang selama 0, 10 dan 20 hari proses fitoremediasi. Untuk pengujian logam Timbal (Pb) menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Dari hasil penelitian akumulasi logam berat Pb pada di batang mengalami penurunan secara bertahap mulai dari hari ke-0 hingga pada hari ke-20 dengan nilai tertinggi pada hari ke-10 reaktor A1 yaitu sebesar 0,7210 µg/g, A2 sebesar 0,5310 µg/g B1 sebesar 0,8206 µg/g dan B2 sebesar 0,6332 µg/g. Sedangkan untuk kualitas air tercemar Pb pada reaktor A1 dan A2 sudah sesuai yang diharapkan karena memenuhi baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pada reaktor B1 dan B2 belum memenuhi baku mutu, akan tetapi nilai nya tidak terlalu tinggi dengan baku mutu yang disyaratkan.

ABSTRACT

Name : Harun Ronaldo
Student ID : 160702109
Study Program : Environmental Engineering, Faculty Science and Technology (FST)
Title : Phytoremediation of Heavy Metal Lead (Pb) Using Water Jasmine Plant (*Echinodorus Palifolius*).
Defense Date : July 23, 2022
Number of Pages : 78 Page
Thesis Advisor I : Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc
Thesis Advisor II : Ilham Zulfahmi, M.Si
Key Words : Heavy Metals, Phytoremediation, Water Jasmine Plant (*Echinodorus palaefolius*).

Heavy metals have the property of being able to bind organic matter and settle to the bottom of the waters and unite with sediments. The method that can be used to remediate water polluted by the heavy metal Lead (Pb) is to use phytoremediation plants. Water Jasmine Plant (*Echinodorus palaefolius*) is a semi-submerged aquatic plant. This study aims to determine the translocation ability of the Water Jasmine plant (*Echinodorus palifolius*) in absorbing the heavy metal Lead (Pb) in roots and stems into plant biomass and to determine the modeling of the phytoremediation process of the Air Jasmine plant (*Echinodorus palifolius*) in reducing the heavy metal Lead (Pb). In this study using planting media, Pb with a concentration of 5 mg/l, 10 mg/l, and repetition of each reactor. The samples analyzed were Water Jasmine Plants (*Echinodorus palaefolius*), namely roots and stems for 0, 10 and 20 days of the phytoremediation process. For testing of Lead (Pb) metal using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). From the results of the study, the accumulation of heavy metal Pb in the stems decreased gradually from day 0 to day 20 with the highest value on day 10, reactor A1, which was 0.7210 µg/g, A2, 0.5310 µg/g B1 was 0.8206 µg/g and B2 was 0.6332 µg/g. Meanwhile, the quality of Pb polluted water in reactors A1 and A2 is as expected because it meets the quality standard in Government Regulation Number 82 of 2001 concerning Management of Water Quality and Water Pollution Control, in reactors B1 and B2 it does not meet the quality standard, but the value does not too high with the required quality standard.

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT, Dia-lah yang telah menganugerahkan al-Qur'an sebagai *hudan lin nas* (petunjuk bagi seluruh manusia) dan rahmatan lil'alamin (rahmat bagi segenap alam). Dia-lah yang Maha Mengetahui makna dan maksud kandungan Al-Qur'an. Selawat dan salam semoga tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW utusan dan manusia pilihan, dialah penyampai, pengamal dan pentafsir pertama Al-Qur'an.

Dengan pertolongan dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh sarjana di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Selama persiapan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis tak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.SI. M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh sekaligus dosen Pembimbing Akademik.
3. Bapak Aulia Rohendi, M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Bapak Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc., selaku dosen pembimbing I Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Banda Aceh.
5. Bapak Ilham Zulfahmi, M.Si., selaku dosen pembimbing II Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Banda Aceh.

6. Ibu Eriawati, M.Pd., selaku penguji I tugas akhir Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
7. Bapak M. Faisi Ikhwal, M.Eng., selaku penguji II tugas akhir Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
8. Ibu Farida yang telah banyak membantu dalam proses administrasi.
9. Kakak Nurul, S.Pd., selaku Asisten Laboratorium Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
10. Orang Tua, Kakak, Adik, dan keluarga besar saya yang selalu mendoakan penulis serta memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam mengerjakan penelitian ini.
11. Teman-teman leting 2016 teknik lingkungan yang telah memberikan masukan dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini.
12. Dan semua pihak yang telah terlibat dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Saya berharap Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih banyak kekurangan. Karena itu penulis menerima kritikan dan saran untuk bisa memperbaiki Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Banda Aceh, 12 Desember 2022

Penulis,

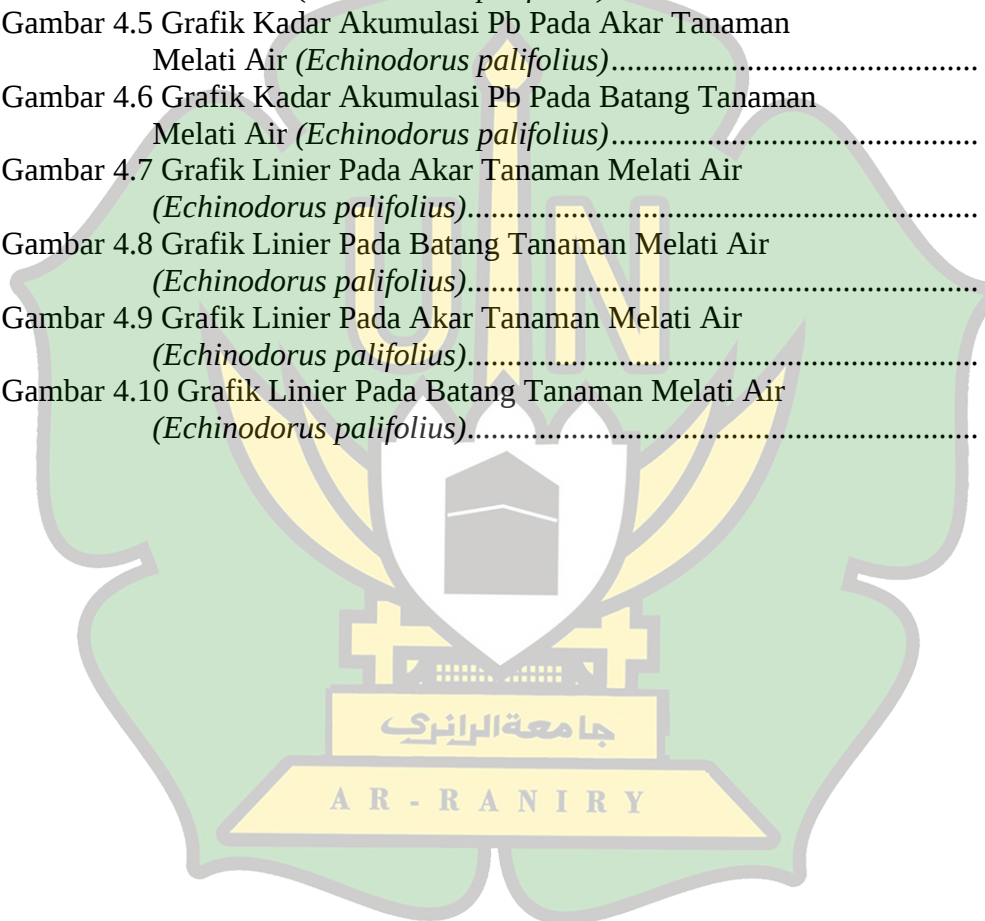
DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penulisan	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Sungai	5
2.2 Logam Berat	6
2.2.1 Karakteristik Logam Berat.....	6
2.2.2 Pencemaran Logam Berat.....	7
2.2.3 Logam Berat di Perairan.....	8
2.2.4 Logam Berat dalam Organisme Air.....	9
2.2.5 Logam Berat dalam Kesehatan.....	9
2.3 Baku Mutu Air.....	9
2.4 Parameter Kualitas Air	10
2.4.1 Parameter Fisika.....	10
2.4.2 Parameter Kimia.....	12
2.5 Timbal (Pb).....	13
2.5.1 Karakteristik dan Sifat Timbal (Pb)	13
2.5.2 Toksisitas Logam Timbal.....	14
2.6 Fitoremediasi	15
2.7 Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>)	18
2.7.1 Klasifikasi Tanaman.....	18
2.7.2 Morfologi	19
2.7.3 Komposisi Kimia Melati Air	19
2.8 Penelitian Terdahulu.....	20
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 22
3.1 Waktu dan Tempat.....	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan.....	22
3.3 Variabel Penelitian	22
3.4 Rancangan Penelitian	27

3.4.1 Persiapan Bahan.....	27
3.4.2 Proses Aklimatisasi.....	27
3.4.3 Proses Penanaman.....	27
3.4.4 Perlakuan	28
3.5 Pengambilan Data.....	28
3.5.1 Pengukuran pH.....	28
3.5.2 Pengukuran Suhu.....	28
3.6 Analisa Data	29
3.7 Diagram Alur Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil.....	31
4.2 Pembahasan	35
4.2.1 Efektifitas Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>) Terhadap Penurunan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Proses Fitoremediasi	35
4.2.2 Faktor Translokasi (FT)	39
4.2.3 Pengaruh Variasi Waktu Kontak Terhadap Kemampuan Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>) Sebagai Tanaman Fitoremediator	40
4.2.4 Pengukuran pH.....	43
4.2.5 Pemodelan Menggunakan Perhitungan Regresi Terhadap Fitoremediasi Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>)	45
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN I	53
LAMPIRAN II.....	58
LAMPIRAN III	64
LAMPIRAN IV	66
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Hidrologi	6
Gambar 4.1 Grafik Pengamatan Perubahan Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palaefolius</i>) Kontrol.....	29
Gambar 4.2 Grafik Pengamatan Perubahan Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palaefolius</i>) Hari Ke-10.....	29
Gambar 4.3 Grafik Pengamatan Perubahan Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palaefolius</i>) Hari Ke-20.....	29
Gambar 4.4 Grafik Nilai Faktor Translokasi (FT) Pada Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>).....	40
Gambar 4.5 Grafik Kadar Akumulasi Pb Pada Akar Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>).....	41
Gambar 4.6 Grafik Kadar Akumulasi Pb Pada Batang Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>).....	43
Gambar 4.7 Grafik Linier Pada Akar Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>).....	47
Gambar 4.8 Grafik Linier Pada Batang Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>).....	47
Gambar 4.9 Grafik Linier Pada Akar Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>).....	48
Gambar 4.10 Grafik Linier Pada Batang Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>).....	48



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Eksperimen Fitoremediasi Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palaefolius</i>)	28
Tabel 4.2 Data Pengamatan Terhadap Perubahan Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palaefolius</i>) Selama 20 Hari	29
Tabel 4.3 Pengamatan Pertumbuhan Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palaefolius</i>) Selama 20 Hari	31
Tabel 4.4 Hasil Analisa Timbal (Pb) Pada Air Setelah Proses . Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>)	35
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran pH Air	44
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran pH Tanah	44
Tabel 4.7 Perhitungan Regresi	45



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan hidup yang sangat pokok bagi semua makhluk hidup. Air dibutuhkan dalam proses pertumbuhan dan perkembangan semua makhluk hidup, baik dalam jumlah sedikit maupun banyak tergantung dari kebutuhan hidupnya. Oleh karena itu, sumber-sumber air bersih sangat penting untuk mendukung kehidupan. Suatu perairan sering mengalami pencemaran yang diantaranya diakibatkan oleh unsur hara yang berlebihan yang berasal dari limbah pertanian, domestik, maupun industri. Pencemaran ini dapat menyebabkan menurunnya nilai guna perairan. Permasalahan lain yang muncul adalah meningkatnya jumlah penduduk Indonesia sehingga limbah yang dihasilkan pun semakin bertambah. Limbah yang dihasilkan tersebut dapat berasal dari limbah cucian, dapur, kamar mandi, industri rumah, dan kotoran manusia.

Sanitasi yang tidak baik dapat mendukung adanya kerusakan atau pencemaran lingkungan yang nantinya akan berdampak kepada kesehatan manusia yang berada disekitar lingkungan tersebut. Kualitas lingkungan perairan bisa berubah disebabkan oleh adanya pembuangan limbah yang tentunya didalam limbah tersebut terdapat pencemar yang terlalu berlebihan melebihi kapasitasnya dan perairan tersebut tidak akan bisa menormalkan atau memulihkan kembali sesuai dengan keadaan semula dengan daya dukung yang terbatas. Perairan bisa teracuni akibat terkontaminasi oleh limbah dan nantinya bisa terkena juga pada ekosistem di dalam perairan tersebut serta yang paling penting ialah bagi kesehatan manusia (Admadhani, dkk, 2016).

Pencemaran perairan dapat terjadi karena limbah industri maupun limbah domestik yang dibuang ke perairan tanpa diolah, atau diolah tetapi kadar polutannya masih di atas baku mutu yang ditetapkan. Gangguan yang terjadi pada lingkungan dan ekosistem perairan pesisir akan menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem dan lingkungan pesisir. Sari (2015) menyatakan bahwa

wilayah pesisir mengalami degradasi secara terus menerus karena perkembangan dan pertumbuhan penduduk yang diikuti dengan meningkatnya pemanfaatan sumberdaya pesisir. Meningkatnya jumlah dan aktivitas penduduk akan menghasilkan limbah seperti limbah domestik sederhana dan limbah industri yang kompleks dan beracun.

Limbah industri adalah hasil proses atau sisa dari suatu kegiatan atau usaha industri yang terwujud dimana kehadirannya pada suatu saat dan tempat tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomis sehingga cenderung dibuang. Limbah industri yang banyak ditemukan pada perairan salah satunya ialah logam berat. Logam berat merupakan zat pencemar yang memiliki efek berbahaya karena sifatnya yang tidak dapat diuraikan secara biologis dan stabil. Logam berat dapat terakumulasi melalui rantai makanan bahkan pada konsentrasi rendah menjadi ancaman bagi hewan, tanaman dan kesehatan manusia. Limbah industri yang mencemari lingkungan salah satunya ialah logam timbal (Pb).

Timbal (Pb) adalah limbah industri yang dapat masuk melalui tanah, udara dan air. Timbal yang ada di dalam air dapat masuk ke dalam organisme di perairan, dan jika air tersebut merupakan sumber air konsumsi masyarakat maka timbal tersebut tentunya akan masuk ke dalam tubuh manusia. Menurut WHO standar Pb bagi manusia adalah 0,15 mg/L jika melebihi dan secara konstan masuk ke tubuh akan memperlambat perkembangan fisik dan mental bayi dan anak-anak, untuk dewasa akan merusak ginjal dan menyebabkan tekanan darah tinggi.

Logam berat memiliki sifat dapat mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air. Mengendapnya logam berat bersama dengan padatan tersuspensi akan mempengaruhi kualitas sedimen di dasar perairan dan juga perairan sekitarnya. Pencemaran yang dihasilkan dari logam berat sangat berbahaya karena bersifat toksik, logam berat juga akan terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses gravitasi. Oleh karena itu, upaya pengurangan kadar timbal (Pb) pada perairan perlu dilakukan. Salah satu

cara mengurangi bahan kimia yang terdapat di perairan adalah dengan cara fitoremediasi atau bioremediasi.

Fitoremediasi didefinisikan sebagai penggunaan tanaman untuk menyerap, mendegradasi, menghilangkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemaran khususnya logam berat maupun senyawa organik lainnya. Tanaman yang sering digunakan dalam pengolahan air limbah adalah tanaman yang hidup di air karena proses yang dilakukan lebih efisien dan tanaman yang dapat bertahan dalam mengolah air limbah adalah tanaman air salah satunya tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pemanfaatan tanaman melati air sebagai agen fitoremediasi yang digunakan untuk pengolahan air yang tercemar.

Tanaman yang mampu menyerap zat pencemar yang memiliki konsentrasi tinggi disebut dengan hiperakumulator. Beberapa tanaman air memiliki sifat hiperakumulator dan digunakan dalam meremediasi zat pencemar logam berat di lingkungan perairan. Akar di sekitar tanaman hiperakumulator mengeluarkan rizosfor atau larutan di sekitar akar yang berfungsi untuk membawa logam pada media tanam menuju sel akar yang kemudian didegradasi oleh enzim yang berada di akar. Di dalam akar tersebut membentuk jaringan lakuna dan aerenkim yang berfungsi untuk pertukaran gas dan menyediakan jalur guna transportasi oksigen dari cabang hingga akar (Smits, 2005).

Penelitian terdahulu menggunakan tanaman melati air dalam menurunkan logam Cu dan Zn dimana tanaman *Echinodorus paleofolius* mampu menyerap logam berat tersebut dengan efisiensi penyerapan masing-masing sebesar 82.9% dan 90.5% (Wibowo dkk., 2014). Tanaman melati air juga efektif dalam menurunkan logam berat Al sebanyak 96,46%, hal ini disebabkan karena tanaman melati air memiliki akar serabut dan batang yang berongga besar sehingga mampu menyuplai oksigen ke akar dengan jumlah yang besar sehingga tanaman melati air dipilih sebagai tanaman fitoremediasi (Santriyana, 2013).

Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan pengujian tentang kemampuan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam menyerap logam berat Timbal (Pb).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian-uraian diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana kemampuan translokasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam penyerapan logam berat Timbal (Pb) pada akar dan batang?
2. Bagaimana pemodelan proses fitoremediasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam menurunkan logam berat Timbal (Pb)?

1.3 Tujuan Penulisan

Dalam penelitian ini memiliki tujuan-tujuan yaitu :

1. Mengetahui kemampuan translokasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam penyerapan logam berat Timbal (Pb) pada akar dan batang.
2. Mengetahui pemodelan proses fitoremediasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam menurunkan logam berat Timbal (Pb).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat-manfaat penelitian sebagai berikut :

1. Sebagai referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya.
2. Sebagai informasi bahwa fitoremediasi tanaman melati (*Echinodorus palifolius*) air mampu membantu menyerap dan menurunkan kadar pencemar logam berat Timbal (Pb) pada perairan.

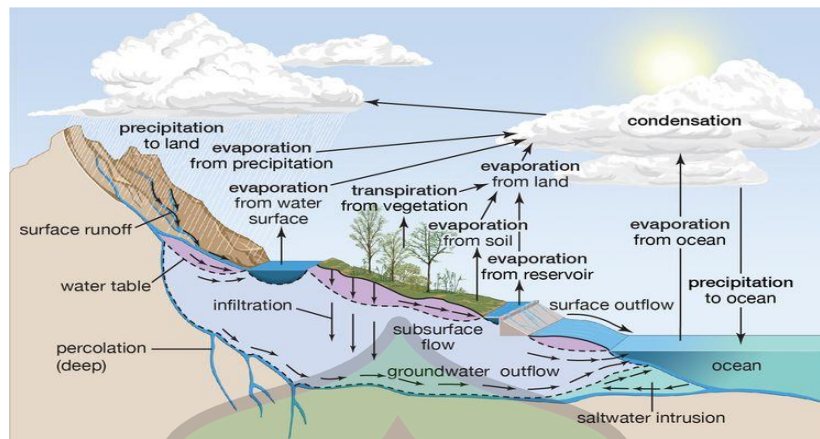
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan hamparan wilayah yang dibatasi oleh pembatas topografi (punggung bukit) yang menerima, mengumpulkan air hujan, sedimen dan unsur hara serta mengalirkannya melalui anak-anak sungai dan keluar pada sungai utama ke laut atau danau. Daerah aliran sungai (DAS) merupakan ekosistem, yang berciri unsur organisme dan lingkungan biofisik serta unsur kimia berinteraksi secara dinamis dan di dalamnya terdapat keseimbangan *inflow* dan *outflow* dari material dan energi (Asdak, 2012).

Pengelolaan DAS dapat disebutkan suatu bentuk pengembangan wilayah yang menempatkan DAS sebagai suatu unit pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang secara umum untuk mencapai tujuan peningkatan produksi pertanian dan kehutanan yang optimum dan berkelanjutan dengan upaya menekan kerusakan seminimum mungkin agar distribusi aliran air sungai yang berasal dari DAS dapat merata sepanjang tahun. Konsep DAS akan berkaitan dengan konsep daur hidrologi, dimana melihat masukan berupa curah hujan yang selanjutnya didistribusikan melalui beberapa cara. Konsep daur hidrologi DAS menjelaskan bahwa air hujan langsung sampai ke permukaan tanah untuk kemudian terbagi menjadi air larian, evaporasi dan air infiltrasi, yang kemudian akan mengalir ke sungai sebagai debit aliran.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

(Sumber : Asdak, 2012)

Ekosistem DAS dapat diklasifikasikan menjadi daerah hulu, tengah dan hilir. DAS bagian hulu dicirikan sebagai daerah konservasi. DAS bagian hilir merupakan daerah pemanfaatan. DAS bagian hulu mempunyai arti penting terutama dari segi perlindungan fungsi tata air, karena itu setiap terjadinya kegiatan di daerah hulu akan menimbulkan dampak di daerah hilir dalam bentuk perubahan fluktuasi debit dan transport sedimen serta material terlarut dalam sistem aliran airnya. Oleh karena itu, ekosistem DAS Perlindungan ini antara lain dari segi fungsi tata air dan oleh karenanya pengelolaan DAS hulu seringkali menjadi fokus perhatian mengingat dalam suatu DAS, bagian hulu dan hilir mempunyai keterkaitan biofisik melalui daur hidrologi (Asdak, 2012).

2.2 Logam Berat

2.2.1 Karakteristik Logam Berat

Logam berasal dari kerak bumi berupa bahan-bahan murni organik dan anorganik. Secara alamiah siklus perputaran logam adalah dari kerak bumi ke lapisan tanah, makhluk hidup, air sehingga mengendap dan akhirnya kembali ke kerak bumi. Istilah logam secara fisik mengandung arti suatu unsur yang merupakan konduktor listrik yang baik dan mempunyai konduktivitas panas, mempunyai rapatan, mudah ditempa, kekerasan dan keelektropositivan yang tinggi (Darmono, 2010).

Menurut Connel dan Miller (1995), logam berat adalah suatu logam dengan berat jenis lebih besar. Logam ini memiliki karakter seperti berkilau, lunak atau dapat ditempa, mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi dan bersifat kimiawi, yaitu sebagai dasar pembentukan reaksi dengan asam. Selain itu logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 gr/cm, mempunyai nomor atom lebih besar dari 21 dan terdapat di bagian tengah daftar periodik.

Logam berat adalah istilah yang digunakan secara umum untuk kelompok logam dan metaloid dengan densitas lebih besar dari 5 g/cm, terutama pada unsur seperti Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb dan Zn. Unsur-unsur ini biasanya erat kaitannya dengan masalah pencemaran dan toksisitas. Logam berat secara alami ditemukan pada batu-batuan dan mineral lainnya, maka dari itu logam berat secara normal merupakan unsur dari tanah, sedimen, air dan organisme hidup serta akan menyebabkan pencemaran bila konsentrasinya telah melebihi batas normal. Jadi konsentrasi relatif logam dalam media adalah hal yang paling penting (Alloway dan Ayres, 1993).

Logam berat dapat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup, tetapi beberapa jenis logam masih dibutuhkan oleh makhluk hidup, walaupun dalam jumlah yang sedikit. Daya toksisitas logam berat terhadap makhluk hidup sangat bergantung pada spesies, lokasi, umur (fase siklus hidup), daya tahan (detoksikasi) dan kemampuan individu untuk menghindarkan diri dari pengaruh polusi. Toksisitas pada spesies biota dibedakan menurut kriteria yaitu biota air, biota darat, dan biota laboratorium. Sedangkan toksisitas menurut lokasi dibagi menurut kondisi tempat mereka hidup, yaitu daerah pencemaran berat, sedang, dan daerah non polusi. Umur biota juga sangat berpengaruh terhadap daya toksisitas logam, dalam hal ini yang umurnya muda lebih peka (Rahardiyan dkk., 2017).

2.2.2 Pencemaran Logam Berat

Pencemaran air dan udara adalah masuk dan dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air/udara dan atau berubahnya

tatanan (komposisi) air/udara oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas air/udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air/udara menjadi kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Pencemaran logam berat terhadap lingkungan perairan terjadi karena adanya suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut dalam kegiatan manusia, dan secara sengaja maupun tidak sengaja membuang berbagai jenis limbah beracun termasuk didalamnya terkandung logam berat ke dalam lingkungan perairan. Sumber utama pemasukan logam berat berasal dari kegiatan pertambangan, cairan limbah rumah tangga, limbah industri dan limbah pertanian.

Menurut Bryan (2011), secara alamiah logam berat juga masuk ke dalam perairan dapat digolongkan sebagai:

1. Pasokan dari daerah pantai, yang meliputi masukan dari sungai-sungai dan erosi yang disebabkan oleh gerakan gelombang dan *gletser*.
2. Pasokan dari laut dalam, yang meliputi logam-logam yang dilepaskan gunung berapi di laut dalam dan dari partikel atau endapan oleh adanya proses kimiawi.
3. Pasokan yang melampaui lingkungan dekat pantai yang meliputi logam yang diangkut ke dalam atmosfer sebagai partikel-partikel debu atau sebagai aerosol dan juga bahan yang dihasilkan oleh erosi *gletser* di daerah kutub dan diangkut oleh es-es yang mengambang.

2.2.3 Logam Berat di Perairan

Pencemaran logam berat dapat merusak lingkungan perairan dalam hal stabilitas, keanekaragaman, dan kedewasaan ekosistem. Dari aspek ekologis, kerusakan ekosistem perairan akibat pencemaran logam berat dapat ditentukan oleh faktor kadar dan kesinambungan zat pencemar yang masuk dalam perairan, sifat toksisitas dan bioakumulasi. Pencemaran logam berat dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur komunitas perairan, jaringan makan, tingkah laku, efek fisiologi, genetic dan resistensi (Racmansyah dkk., 2012).

Logam-logam berat yang terlarut dalam badan perairan pada kehidupan perairan. Meskipun daya racun yang ditimbulkan oleh satu logam berat terhadap semua biota perairan tidak sama, namun hilangnya sekelompok organisme tertentu dapat menjadikan terputusnya satu mata rantai kehidupan. Pada tingkat lanjutan, keadaan tersebut dapat menghancurkan satu tatanan ekosistem perairan (Rahardiyan dkk., 2017).

2.2.4 Logam Berat dalam Organisme Air

Organisme air sangat dipengaruhi oleh keberadaan logam berat di dalam air, terutama pada konsentrasi yang melebihi batas normal. Organisme air mengambil logam berat dari badan air atau sedimen dan memekatkannya ke dalam tubuh hingga 100-1000 kali lebih besar dari lingkungan. Akumulasi melalui proses ini disebut bioakumulasi. Kemampuan organisme air dalam menyerap (absorpsi) dan mengakumulasi logam berat dapat melalui beberapa cara, yaitu melalui saluran pernafasan (insang), saluran pencernaan dan difusi permukaan kulit (Darmono, 2010).

2.2.5 Logam Berat dalam Kesehatan

Logam berat dapat menimbulkan efek gangguan kesehatan pada manusia, tergantung pada bagian mana logam berat tersebut yang terkait pada tubuh serta besarnya dosis paparan. Efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, menyebabkan alergi, bersifat mutagen, teratogen atau karsinogen. Taraf toksisitas logam berat sangat beragam bagi berbagai organisme, tergantung dari berbagai aspek yang antara lain spesies, cara toksikan memasuki tubuh, frekuensi dan lamanya paparan, konsentrasi toksikan, bentuk dan sifat fisika/kimia toksikan serta kerentanan berbagai spesies terhadap toksikan.

2.3 Baku Mutu Air

Klasifikasi dan kriteria mutu air mengacu pada peraturan pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air yang menetapkan mutu air ke dalam empat kelas yaitu :

1. Kelas satu, air yang diperuntukkannya dapat digunakan untuk baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas dua, air yang peruntukkannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukkannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas empat, air yang peruntukkannya dapat digunakan untuk mengairi yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.4 Parameter Kualitas Air

2.4.1 Parameter Fisika

Beberapa parameter fisik yang digunakan untuk menentukan kualitas air meliputi suhu, bau, kecerahan dan kekeruhan.

1. Suhu

Menurut Kordi dan Tacung (2010), suhu mempengaruhi aktivitas metabolisme organisme, karena itu penyebaran organisme baik di lautan maupun di perairan air tawar dibatasi oleh suhu perairan tersebut. Suhu sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan pertumbuhan biota air. Secara umum laju pertumbuhan meningkat sejalan dengan kenaikan suhu, dapat menekan kehidupan hewan budidaya bahkan menyebabkan kematian bila peningkatan suhu sampai ekstrim (drastis). Suhu air juga dapat mempengaruhi kehidupan biota air secara tidak langsung, yaitu melalui pengaruhnya terhadap kelarutan oksigen dalam air. Semakin tinggi suhu air, semakin rendah daya larut oksigen dalam air, dan sebaliknya.

Air bersifat bipolar, oleh karena itu, air bersifat sebagai stabilisator sehingga perbedaan suhu dalam air lebih kecil dan perubahan yang terjadi lebih lambat

dibandingkan di udara. Dengan keadaan ini jarang sekali mendapatkan adanya perbedaan fluktuasi suhu yang mencolok pada perairan. Pada sungai yang cukup deras aliran suhunya relative konstan. Pada sungai besar suhu air sekitar rata-rata suhu udara tahunan. Suhu air kurang bervariasi akan tetapi sangat berpengaruh terhadap organisme air, karena pada umumnya organisme air memiliki toleransi yang sempit (*stenothermal*). Selain itu, perubahan suhu akan mengubah pola sirkulasi, stratifikasi dari gas terlarut sehingga akan mempengaruhi kehidupan organisme air.

2. Kecerahan

Kecerahan merupakan salah satu parameter fisika, kecerahan tergantung pada warna dan kekeruhan perairan yang dapat ditentukan secara visual dengan alat bantu berupa *secchi disk*. Nilai kekeruhan dinyatakan dalam satuan meter. Nilai ini sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca, waktu pengukuran, kekeruhan dan padatan tersuspensi, serta ketelitian orang dalam melakukan pengukuran. Pengukuran kecerahan sebaliknya dilakukan ketika cuaca cerah (Effendi, 2003).

Menurut Kordi dan Tacung (2010), dengan mengetahui kecerahan suatu perairan, maka dapat diketahui juga sampai dimana masih ada kemungkinan terjadinya proses asimilasi dalam air, lapisan-lapisan manakah yang tidak keruh, agak keruh dan paling keruh.

3. Kekeruhan

Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut (Effendi, 2003). Zat terlarut dalam air selain mempengaruhi kekeruhan juga mempengaruhi penetrasi cahaya matahari yang berpengaruh terhadap proses fotosintesis organisme pada ekosistem perairan. Hal ini berpengaruh terhadap ketersediaan oksigen terlarut dalam perairan. Akibatnya penetrasi terbatas akan membatasi organisme air untuk berfotosintesis dalam perairan (Hariyanto,dkk, 2008). Menurut Effendi (2003), kekeruhan pada perairan tergenang (lentik) lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi yang pada sungai (perairan lotik) yang sedang banjir lebih

banyak disebabkan oleh bahan-bahan tersuspensi yang berukuran lebih besar, biasanya berupa lapisan permukaan tanah yang terbawa oleh aliran air pada saat hujan. Kekeruhan yang tinggi dapat mempengaruhi sistem osmoregulasi, misalnya pernafasan dan daya lihat organisme akuatik, serta dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air.

4. Bau

Beberapa sumber utama bau adalah hydrogen sulfida dan senyawa organik yang dihasilkan oleh dekomposisi anaerob. Selain menyebabkan keluhan, bau merupakan salah satu tanda dari adanya gas beracun atau kondisi anaerob pada unit yang dapat memiliki efek merugikan bagi kesehatan atau dampak lingkungan (Hariyanto, 2008).

2.4.2 Parameter Kimia

Parameter kimia yang digunakan untuk menentukan kualitas air seperti, pH, *Dissolved Oxygen* (DO), kesadahan (CaCO_3), timbal (Pb) dan tembaga (Cu) yaitu sebagai berikut:

1. pH

Derajat keasaman (pH) merupakan suatu indeks kadar ion hidrogen (H^+) yang mencirikan keseimbangan asam dan basa. Penentuan pH merupakan tes yang paling penting dan paling sering digunakan pada kimia air (Sati, 2017).

2. *Disolved Oxygen* (DO)

Sumber oksigen terlarut dalam air adalah udara melalui peristiwa difusi dan agitasi air, fotosintesis dari makhluk hidup yang terdapat di dalam air. fotosintesis dipengaruhi oleh densitas tanaman atau makhluk hidup yang dapat berfotosintesis dan lamanya penyinaran. Air mengalir pada umumnya kandungan oksigen yang cukup karena gerakannya menjamin berlangsungnya difusi antara udara dan air (Hariyanto, dkk. 2008).

Oksigen (O_2) merupakan salah satu unsur yang sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup, termasuk di dalam perairan. Dalam perairan oksigen merupakan gas terlarut yang kadarnya bervariasi tergantung pada suhu dan salinitas. Sumber oksigen dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di

atmosfer dan aktivitas fotosintesis tumbuhan air maupun fitoplankton dengan bantuan energi matahari. Difusi juga dapat terjadi karena agitasi atau pergolakan massa air akibat adanya gelombang atau ombak dari air terjun (Effendi, 2003). Menurut Effendi (2003), perairan tawar memiliki kadar oksigen (O_2) terlarut berkisar antara 15 mg/l pada suhu $0^\circ C$ dan 8 mg/l pada suhu $25^\circ C$. Kadar oksigen (O_2) terlarut dalam perairan alami biasanya kurang dari 10 mg/l.

3. Kesadahan ($CaCO_3$)

Kesadahan (*hardness*) adalah gambaran kation logam divalen (valensi dua). Kation-kation ini dapat bereaksi dengan sabun membentuk endapan (presipitasi) maupun anion-anion yang terdapat dalam air membentuk endapan atau karat pada peralatan logam. Pada perairan air tawar, kation divalen yang paling berlimpah adalah kalsium dan magnesium dalam bentuk garam karbonat (Effendi, 2003).

Menurut Kordi dan Tacung (2010), kesadahan air disebabkan oleh banyak mineral dalam air yang berasal dari batuan dalam tanah, baik dalam bentuk ion maupun ikatan molekul. Elemen terbesar yang terkandung dalam air adalah kalsium (Ca^{++}), magnesium (Mg^{++}), natrium (Na^+), dan kalium (K^+).

4. Sulfida (Na_2SO_3)

Sulfida adalah suatu bentuk ion dari sulfur dimana satu ion sulfur tersebut membutuhkan dua elektron untuk mencapai kestabilan. Menurut Effendi (2003), di perairan sulfur berikatan dengan ion hidrogen dengan oksigen, beberapa bentuk sulfur di perairan adalah sulfida (S^{2-}), hidrogen sulfida (H_2S), fero sulfida masuknya sumber Pb ke perairan (Rahardyan dkk., 2017).

2.5 Timbal (Pb)

2.5.1 Karakteristik dan Sifat Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Sunarya, 2007).

Timbal mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,20. Titik leleh timbal adalah 1740°C dan memiliki massa jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$. Logam Pb pada suhu $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$ dapat menguap dan membentuk oksida di udara dalam bentuk timbal oksida (PbO). Timbal (Pb) dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan, bahkan manusia. Masuknya Pb ke tubuh manusia dapat melalui makanan dari tumbuhan yang biasa dikonsumsi manusia seperti padi, teh dan sayur-sayuran (Rahardiyan dkk., 2017).

Logam Pb terdapat di perairan baik secara alamiah maupun sebagai dampak dari aktivitas manusia. Logam ini masuk ke perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Selain itu, proses korofikasi dari batuan mineral juga merupakan salah satu jalur. Di perairan timbal ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Kelarutan timbal cukup rendah sehingga kadar timbal dalam air relatif sedikit. Bahan bakar yang mengandung timbal juga memberikan kontribusi yang berarti bagi keberadaan timbal dalam air (Effendi, 2003).

2.5.2 Toksisitas Logam Timbal

Toksisitas logam berat sangat dipengaruhi oleh faktor fisika, kimia dan biologi lingkungan. Beberapa kasus kondisi lingkungan tersebut dapat mengubah laju absorpsi logam dan mengubah kondisi fisiologis yang mengakibatkan berbahayanya pengaruh logam. Akumulasi logam berat Pb pada tubuh manusia yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan anemia, kemandulan, penyakit ginjal, kerusakan saraf dan kematian.

Timbal dalam bentuk anorganik dan organik memiliki toksisitas yang sama pada manusia. Misalnya pada bentuk organik seperti tetraetil-timbal dan tetrametil-timbal (TEL dan TML). Timbal dalam tubuh dapat menghambat aktivitas kerja enzim. Namun yang paling berbahaya adalah toksisitas timbal yang disebabkan oleh gangguan absorpsi kalsium Ca. Hal ini menyebabkan terjadinya penarikan deposit timbal dari tulang tersebut (Darmono, 2001).

Timbal adalah logam toksik yang bersifat kumulatif sehingga mekanisme toksisitasnya dibedakan menurut beberapa organ yaitu :

1. Sistem hemopoetik : timbal akan menghambat sistem pembentukan hemoglobin sehingga menyebabkan anemia.
2. Sistem saraf pusat dan tepi : dapat menyebabkan gangguan ensefalopati dan gejala gangguan saraf perifer.
3. Sistem ginjal : dapat menyebabkan aminoasiduria, fosfaturia, glukosuria, nefropati, fibrosis dan atrofi glomerular.
4. Sistem kardiovaskular : menyebabkan peningkatan permeabilitas kapiler pembuluh darah.
5. Sistem reproduksi : dapat menyebabkan kematian janin pada wanita dan hipospermia dan teratospermia (Darmono, 2001).

2.6 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan baik secara *ex-situ* menggunakan kolam buatan atau reaktor maupun *in-situ* atau secara langsung di lapangan pada tanah atau daerah yang terkontaminasi polutan yang dimediasi oleh tumbuhan termasuk pohon, rumput-rumputan dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Chaney, dkk, 1995).

Metode fitoremediasi yang sudah digunakan secara komersial maupun masih dalam taraf riset yaitu metode berdasarkan pada kemampuan mengakumulasi kontaminan (*phytoextraction*) atau pada kemampuan menyerap dan mentransportasi air dari dalam tanah (*creation of hydraulic barriers*). Kemampuan akar menyerap kontaminan di dalam jaringan (*phytotransformation*) juga digunakan dalam strategi fitoremediasi. Fitoremediasi juga berdasarkan pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikroba yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam tanah dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah (*phytomining*) (Chaney, dkk, 1995).

Menurut Corseuil dan Moreno (2000), mekanisme tumbuhan dalam menghadapi bahan pencemaran beracun adalah :

- a. Penghindaran (escape) fenologis. Apabila pengaruh yang terjadi pada tanaman musiman, tanaman dapat menyelesaikan daur hidupnya pada musim yang cocok.
- b. Eksklusi, yaitu tanaman dapat mengenal ion yang bersifat toksik.
- c. Toleransi. Tanaman dapat mengembangkan sistem metabolit yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik tertentu dengan bantuan enzim.
- d. Toleransi. Tanaman dapat mengembangkan sistem metabolit yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik tertentu dengan bantuan enzim.

Secara alami tumbuhan memiliki beberapa keunggulan, yaitu :

1. Beberapa famili tumbuhan memiliki sifat toleran dan hiperakumulator terhadap logam berat.
2. Banyak jenis tumbuhan dapat merombak polutan.
3. Pelepasan tumbuhan yang telah dimodifikasi secara genetik ke dalam suatu lingkungan relative lebih dapat dikontrol dibandingkan dengan mikroba.
4. Tumbuhan memberikan nilai estetika.
5. Dengan kepadatan perakaran yang dapat mencapai 100 x 160 km/ha akar, tumbuhan dapat menghasilkan energi yang dapat dicurahkan selama proses detoksifikasi polutan.
6. Asosiasi tumbuhan dengan mikroba memberikan banyak nilai tambah dalam memperbaiki kesuburan tanah (Feller, 2000).

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Chaney, dkk, 1995).

Mekanisme biologis dari hiperakumulasi unsur logam pada dasarnya meliputi proses-proses yaitu:

1. Interaksi rizosferik, yaitu proses interaksi akar tanaman dengan medium tumbuh (tanah dan air). Dalam hal ini tumbuhan hiperakumulator memiliki kemampuan untuk melarutkan unsur logam pada rizosfer dan menyerap logam bahkan dari fraksi tanah yang tidak bergerak sekali sehingga menjadikan penyerapan logam oleh tumbuhan hiperakumulator melebihi tumbuhan normal.
2. Proses penyerapan logam oleh akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih cepat dibandingkan tumbuhan normal, terbukti dengan adanya konsentrasi logam yang tinggi pada akar. Akar tumbuhan hiperakumulator memiliki daya selektivitas yang tinggi terhadap unsur logam tertentu.
3. Sistem translokasi unsur dari akar ke tajuk pada tumbuhan hiperakumulator lebih efisien dibandingkan tanaman normal. Hal ini dibuktikan oleh konsentrasi logam tajuk atau akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih dari satu (Gabbrielli, dkk, 1991).

Menurut Connel dan Miller (1995), mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Pembentukan reduktasi di membrane akar berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui kanal khusus di dalam membrane akar. Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu *xylem* dan *floem* ke bagian tumbuhan lain oleh molekul khelat. Molekul khelat berfungsi mengikat logam yang dihasilkan oleh tumbuhan (Salt, dkk, 1998).

Berbagai jenis tanaman memiliki peranan dalam mengendalikan dan memulihkan pencemaran baik di tanah, udara dan air. Jenis-jenis tumbuhan fitoremediasi diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Kiambang merupakan salah satu tanaman air yang menjadi agen tumbuhan penyerap orthofosfat pada detergent melalui mekanisme fitoremediasi.

- b. Bunga Matahari merupakan tanaman yang masuk de dalam suku compositae (asteraceae), sebuah suku yang mempunyai jenis sangat banyak. Tanaman ini mampu menyerap dan mengakumulasi pencemaran pada proses fitoremediasi badan air yang tercemar.
- c. Teratai tumbuhan akuatik yang merupakan tumbuhan herba menahun dengan rimpang yang menjalar dan tangkai terendam dibawah permukaan air. tumbuhan ini tumbuh di tempat yang tergenang air seperti rawa, selokan dan kolam-kolam.
- d. Eceng Gondok dapat hidup mengapung bebas di atas permukaan air dan berakar di dasar kolam atau rawa jika airnya dangkal. Kemampuan tanaman inilah yang banyak digunakan untuk mengolah air buangan, karena dengan aktivitas tanaman ini mampu mengolah air buangan domestik dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Eceng gondok dapat menurunkan kadar BOD, partikel suspensi secara biokimiawi (berlangsung agak lambat) dan mampu menyerap logam-logam berat seperti Cr, Pb, Hg, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn dengan baik, kemampuan menyerap logam persatuan berat kering eceng gondok lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua (Widianto, 1997).

2.7 Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)

2.7.1 Klasifikasi Tanaman

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Super Divisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Sub Kelas	: Alismatales
Famili	: Alismataceae
Genus	: Echinodorus
Spesies	: <i>Echinodorus palaefolius</i> var. <i>latifolius</i>



Sumber : Dokumentasi Pribadi,
2022

2.7.2 Morfologi

Tumbuhan ini merupakan tumbuhan akuatik berumpun setengah terendam. Daun tunggal dan kaku dengan tangkai bersegi hingga membulat ke arah pangkal daun, panjang tangkai 50-100 cm, diameter 1-3 cm, keras, beralur sepanjang tangkai dan berbintik-bintik putih dengan warna dasar hijau muda. Bentuk daun bulat telur, pangkal berlekuk, ujung membulat, tulang daun menjari banyak dan menonjol jelas ke arah permukaan bawah, permukaan atas kasap, berwarna hijau muda, tepi daun rata dan merupakan anak tulang daun yang menyatu dari pangkal ke ujung daun. Perbungaan muncul di tengah-tengah tangkai daun tersusun seperti untaian payung, bunga berkelopak hijau dan kecil, bermahkota putih tipis kerukuran lebih besar dari kelopaknya, putik dan benang sari berwarna kuning (Hidayat, dkk, 2004).

Habitatnya berada di air yang bervariasi. Persebarannya berada di Amerika tengah, lembah Mississippi dan Venezuela. Perbanyakannya dengan biji dan anakan. Manfaat tanaman akuatik ini adalah sebagai tanaman hias tepi rawa dan akuarium (Hidayat, dkk, 2004).

2.7.3 Komposisi Kimia Melati Air

Komposisi kimia melati air tergantung pada kandungan unsur hara tempatnya tumbuh, dan sifat daya serap tanaman tersebut. Melati air mempunyai sifat-sifat yang baik antara lain dapat menyerap logam-logam berat, senyawa sulfida, selain itu mengandung protein lebih dari 11,5% dan mengandung selulosa yang lebih tinggi dari non selulosanya seperti lignin, abu, lemak, dan zat-zat lain (Forth, 2008).

Hasil analisa kimia dari melati air dalam keadaan segar diperoleh bahan organik 37,59%, C-organik 21,23%, N total 0,28%, P total 0,0011% dan K total 0,016% (Wardini, 2008). Sedangkan menurut Rochyati (1998) kandungan kimia pada tangkai segar adalah air 95,6%, abu 0,44%, serat kasar, 2,09%, karbohidrat 0,17%, lemak 0,35%, protein 0,16%, fosfor 0,52%, kalium 0,42%, klorida 0,26%, alkanoid 2,22%. Dan pada keadaan kering mempunyai kandungan selulosa 64,51%, pentosa 15,61%, silika 5,56%, abu 12% dan lignin 7,69%.

2.8 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa hasil penelitian yang relevan yang berkaitan dengan penelitian mengenai fitoremediasi logam berat pada perairan serta hubungannya dengan kualitas perairan. Menurut Catoline, J dan Arron Moa, G (2015), mengenai “Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan” Hasil penelitian ini menunjukkan, biomassa tanaman terbesar pada reactor kontrol sebesar 92,5%, sedangkan biomassa tanaman pada reaktor limbah sebesar 84,52%. Tanaman mampu menurunkan konsentrasi timbal pada reaktor limbah hingga $<0,0764$ mg/L. Tanaman menyerap logam timbal dari reaktor limbah sebesar 4,87 mg/kg dengan persentase penyisihan 81,72% dan reaktor kontrol sebesar 6,38 mg/kg dengan persentase penyisihan 86,05%. Efisiensi penyerapan tertinggi pada reaktor limbah sebesar 55,97% sedangkan reaktor kontrol sebesar 0%. Berdasarkan penelitian penyerapan logam Pb oleh tanaman melati air, maka konsentrasi logam timbal dalam reaktor limbah mampu diturunkan hingga $<0,0764$ mg/L dengan waktu paparan selama 18 hari.

Penelitian sejenis juga dilakukan oleh Noviarni (2012), yang berjudul “Potensi Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Sebagai Fitoremediator Alternatif Pengolahan Air” Penurunan konsentrasi Pb tertinggi di dalam larutan yaitu 94,12% pada konsentrasi perlakuan 80 mg/L dan Cu 81,82% pada konsentrasi 20 mg/L. Akumulasi Pb pada melati air yaitu 1358,67 mg/kg dan Cu 1036,61 mg/kg pada konsentrasi 80 mg/L. Berdasarkan penelitian ini, penurunan konsentrasi Pb tertinggi di dalam larutan yaitu 94,12 % pada konsentrasi perlakuan 80 mg/L dan Cu 81,82% pada konsentrasi 20 mg/L setelah 7 hari paparan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dan penyelesaian Tugas Akhir ini dilakukan selama 5 (lima) bulan, yaitu dari bulan Februari sampai bulan Juni 2022. Sampel air yang digunakan yaitu air sumur dan pengujian dilakukan di laboratorium. Penanaman tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dilakukan di luar ruangan dan dilakukan pengujian Timbal (Pb) di Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh dan dianalisis oleh Laboratorium Baristand Banda Aceh.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5 buah reaktor terbuat dari kaca dengan panjang 40 cm, lebar 20 cm dan tinggi 20 cm, 13 botol kaca, *ICP-OES (Inductively Coupled Plasma)*, pH meter, Thermometer, Kertas label, Timbangan dan Jerigen.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel air biasa (kran), tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*), Aquades, Jumlah 45 tanaman melati air dengan pembagian 9 tanaman pada masing-masing reaktor.

3.3 Variabel Penelitian

Rancangan percobaan ini memiliki variabel bebas yaitu jumlah tanaman dan pengambilan sampel. Adapun kombinasi dari kedua variabel ditampilkan pada tabel berikut :

- a. Variabel bebas yaitu jumlah tanaman melati air (*Echinodorus palifolius*).

- b. Variabel terikat yaitu konsentrasi Pb.

3.4 Rancangan Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Dalam persiapan ini menggunakan 5 reaktor akuarium yang memiliki Panjang 40 cm lebar 20 cm dan tinggi 20 cm, kapasitas reaktor adalah 10,5 liter dan air limbah dalam reaktor sebanyak 9 liter. Kemudian menyiapkan 9 tanaman melati air dengan berat 50 gram dan 100 gram. Tanaman melati air dengan berat 100 gram mampu menurunkan COD, BOD, pH, suhu, dan DO sebesar 76,68% (Apsari, dkk, 2018).

3.4.2 Proses Aklimatisasi

Tanaman melati air yang digunakan dalam proses fitoremediasi tidak berasal dari benih, melainkan tumbuhan yang sudah tumbuh sebelumnya. Tanaman dipilih dengan berat 50 gram-100 gram. Aklimatisasi tanaman dilakukan dengan mengadaptasikan tanaman melati air pada kondisi sebelum dilakukannya perlakuan. Aklimatisasi pada tanaman melati air dilakukan eksperimen terlebih dahulu dengan merendam dan membiarkan tanaman tersebut selama tujuh hari dalam sampel air sumur untuk mengkondisikan dan memastikan tanaman tidak layu ataupun mati. Kemudian tanaman tersebut dinetralkan kembali selama satu hari sebelum kemudian ditanam pada media yang telah disediakan untuk penelitian (Kasman, dkk, 2019).

3.4.3 Proses Penanaman

Setelah melakukan aklimatisasi pada tanaman, kemudian melati air dibagi menjadi empat bagian yakni 5 reaktor masing-masing berisi 9 tanaman. Variasi jumlah tanaman tidak dilakukan pada proses fitoremediasi, perlakuan dengan jumlah tanaman yang sama dan dengan waktu detensi yang sama juga dapat memberikan pengaruh secara signifikan terhadap penurunan logam berat (Fitra & Rahayu, 2013). Penanaman dilakukan hingga kadar logam berat timbal (Pb) habis terserap oleh tanaman tersebut, pengujian kadar logam pada bagian tanaman dilakukan selang waktu 10 hari sekali pengujian pada masing-masing reaktor.

Perlakuan ini dilakukan karena pada penelitian Wibowo dkk (2014) melakukan penelitian selama 20 hari dengan pengambilan sampel pada hari ke 0, 10 dan 20.

3.4.4 Perlakuan

Penelitian ini dilakukan dengan memasukkan sampel uji ke dalam reaktor masing-masing 9 liter, kemudian memasukkan tanaman yang sudah diaklimatisasi ke dalam reaktor yang telah diisi air sumur dengan jumlah tanaman masing-masing 9 tanaman dan kontrol. Kondisi fisik tanaman yang digunakan adalah memiliki daun yang berwarna hijau, batang yang kaku dengan berat 50 gram-100 gram. Pada proses fitoremediasi ini menggunakan sistem *batch*.

3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada hari ke 0, 10 dan 20 dan seterusnya. Pengujian sampel dilakukan di laboratorium untuk pengukuran kadar timbal (Pb). Selain itu juga mengukur pH dan suhu, apabila pH lebih rendah atau tinggi dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dan suhu dapat mempengaruhi kehidupan di dalam air sehingga suhu dapat mempengaruhi oksigen di dalam air.

3.5.1 Pengukuran pH

Adapun pengukuran pH yaitu dilakukan setiap hari dan menggunakan kertas pH dengan prosedur sebagai berikut:

- a. Menyiapkan pH meter yang akan digunakan.
- b. Memasukkan pH meter ke dalam reaktor yang berisi sampel.
- c. Mendiapkan sampai pengukuran konstan.

3.5.2 III.5.2 Pengukuran Suhu

Adapun pengukuran suhu pada air tanah dilakukan setiap hari dengan menggunakan alat thermometer. Sebagaimana prosedur sebagai berikut:

- a. Menyiapkan thermometer yang akan digunakan.
- b. Memasukkan thermometer ke dalam reaktor berisi sampel.
- c. Mendiapkan sampai pengukuran konstan.

3.6 Analisi Data

Analisis data perubahan ciri fisik dilakukan dengan mendokumentasi tanaman selama penelitian berlangsung. Untuk uji efisiensi *removal* logam Berat Timbal (Pb) dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan :

Ef : Efisiensi variasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*)

Co : Konsentrasi awal sampel

Ct : Konsentrasi akhir sampel



3.7 Diagram Alur Penelitian

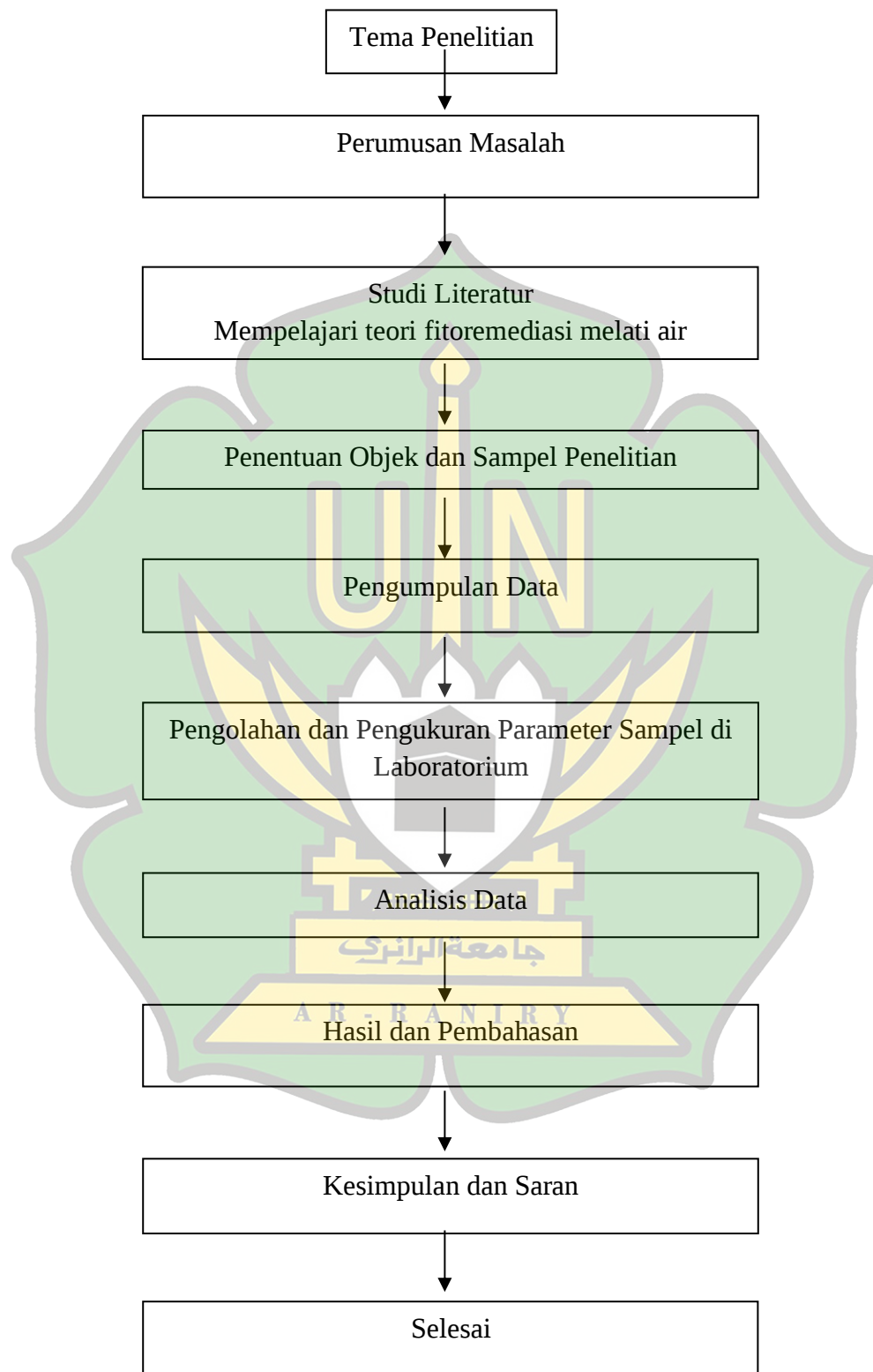


Diagram IV.1 Kerangka Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Hasil pengujian sampel pada tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) setelah perlakuan fitoremediasi ditunjukkan pada Tabel IV.1. Penyerapan atau akumulasi logam berat Pb dalam akar dan batang tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) bervariasi seiring dengan lamanya waktu yang digunakan dalam proses fitoremediasi. Pada hari ke-0 akumulasi logam berat Pb pada akar A₁ sebesar 1,8423 µg/g, A₂ sebesar 1,5721 µg/g, B₁ sebesar 1,6354 µg/g dan B₂ sebesar 1,3272 µg/g, sedangkan akumulasi pada batang A₁ sebesar 0,9531 µg/g, A₂ sebesar 0,8341 µg/g, B₁ sebesar 0,7342 µg/g dan B₂ sebesar 0,7723 µg/g. Sedangkan hari ke-10 akumulasi logam berat Pb pada akar A₁ sebesar 1,0021 µg/g, A₂ sebesar 1,0376 µg/g, B₁ sebesar 1,3032 µg/g dan B₂ sebesar 1,5320 µg/g, dan akumulasi pada batang A₁ sebesar 0,7210 µg/g, A₂ sebesar 0,5310 µg/g, B₁ sebesar 0,8206 µg/g dan B₂ sebesar 0,6332 µg/g. Sedangkan untuk hari ke-20 akumulasi logam berat Pb pada akar A₁ sebesar 0,8622 µg/g, A₂ sebesar 0,8115 µg/g, B₁ sebesar 0,6315 µg/g, B₂ sebesar 0,8330 µg/g dan akumulasi pada batang A₁ sebesar 0,0352 µg/g, A₂ sebesar 0,0552 µg/g, B₁ sebesar 0,0131 µg/g dan B₂ sebesar 0,0221 µg/g.

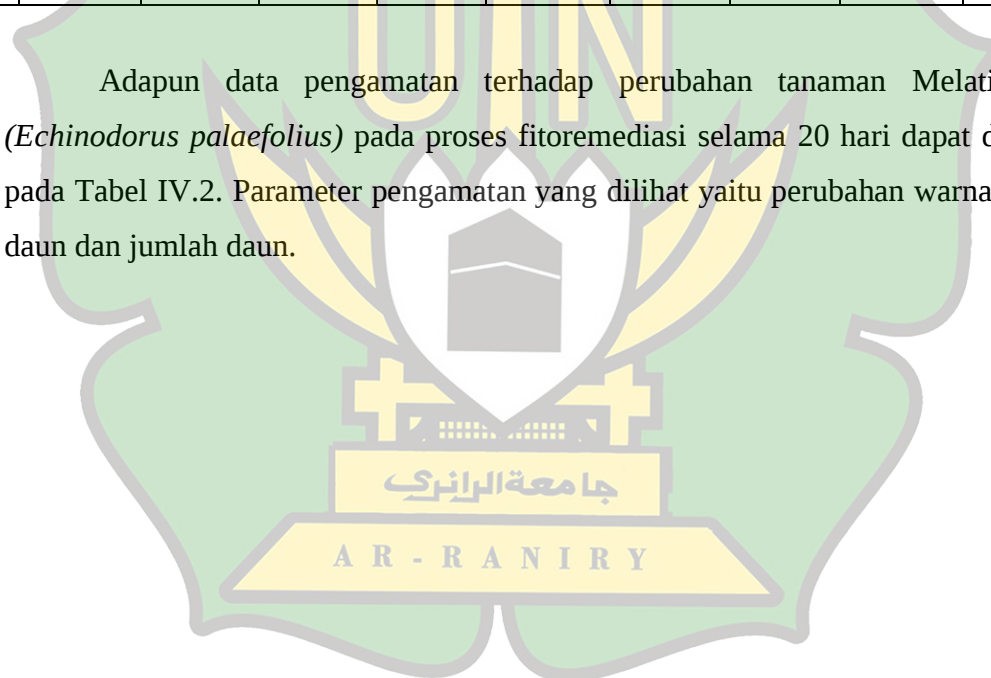
Akumulasi logam berat Pb di batang mengalami kenaikan secara bertahap mulai dari hari ke-0 hingga pada hari ke-20 dengan nilai tertinggi pada hari pertama yaitu sebesar 0,9531 µg/g sedangkan akumulasi logam berat pada akar di hari pertama tidak terlalu rendah dibandingkan dengan hari ke-10 dan ke-20 dengan akumulasinya sebesar 1,8423 µg/g. Sedangkan hasil translokasi Pb dari akar ke batang (FT) yang terlihat pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil bahwa translokasi Pb ke daun (FT) pada hari ke-0 A₁ sebesar 0,5173, A₂ sebesar 0,530, B₁ sebesar 0,4489, B₂ sebesar 0,581, sedangkan translokasi Pb ke daun (FT) pada hari ke-10 A₁ sebesar 0,719, A₂ sebesar 0,511, B₁ sebesar 0,629, B₂ sebesar

0,4133 dan hari ke-20 translokasi Pb ke batang (FT) yaitu A₁ sebesar 0,0408, A₂ sebesar 0,0680, B₁ sebesar 0,0207 dan B₂ sebesar 0,0265.

Tabel 4.1 Hasil Eksperimen Fitoremediasi Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*)

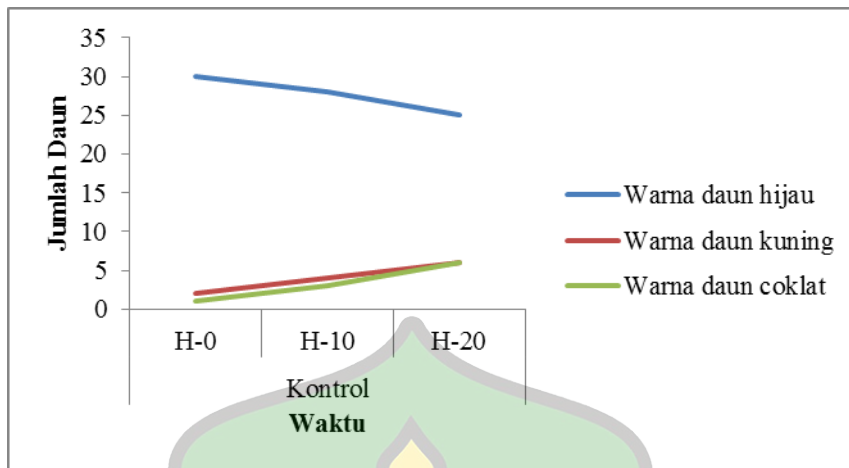
Perlakuan	Label Sampel	Hari Ke-0		TF	Hari Ke-10		TF	Hari Ke-20		TF
		Pb Akar (µg/g)	Pb Batang (µg/g)		Pb Akar (µg/g)	Pb Batang (µg/g)		Pb Akar (µg/g)	Pb Batang (µg/g)	
A (5 mg/l)	A1	1,8423	0,9531	0,5173	1,0021	0,7210	0,7194	0,8622	0,0352	0,0408
	A2	1,5721	0,8341	0,5305	1,0376	0,5310	0,5117	0,8115	0,0552	0,0680
B (10 mg/l)	B1	1,6354	0,7342	0,4489	1,3032	0,8206	0,6296	0,6315	0,0131	0,0207
	B2	1,3272	0,7723	0,5819	1,5320	0,6332	0,4133	0,8330	0,0221	0,0265

Adapun data pengamatan terhadap perubahan tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada proses fitoremediasi selama 20 hari dapat dilihat pada Tabel IV.2. Parameter pengamatan yang dilihat yaitu perubahan warna pada daun dan jumlah daun.

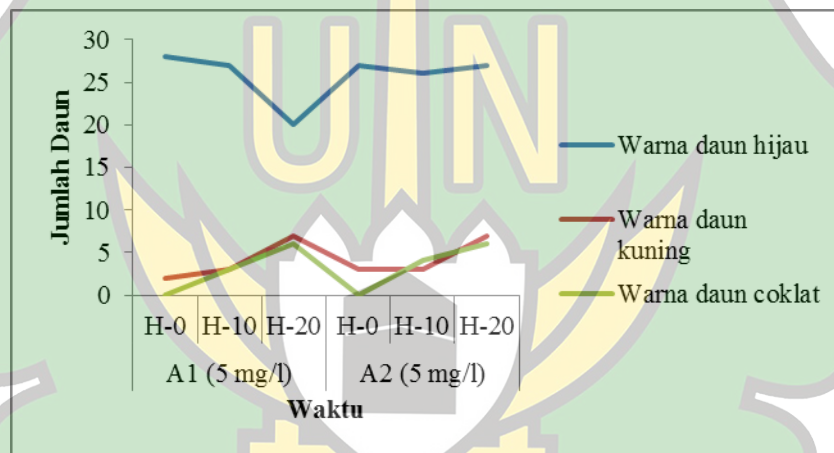


Tabel 4.2 Data Pengamatan Terhadap Perubahan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Selama 20 Hari

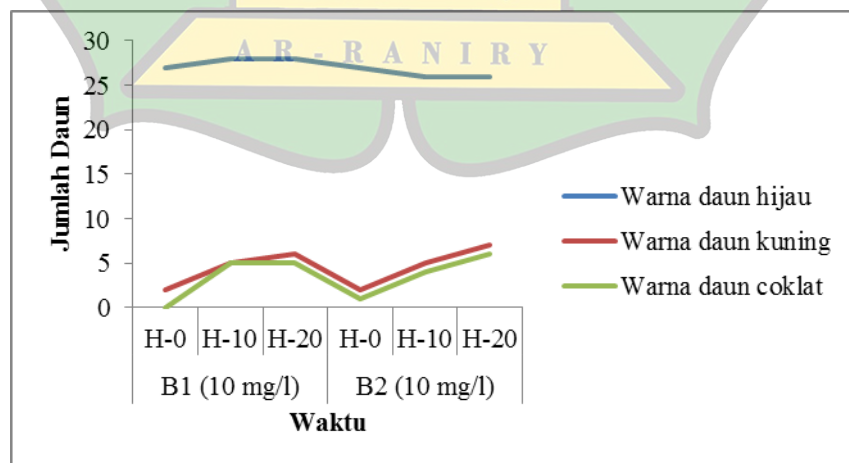
Parameter Pengamatan	Kontrol			A1 (5 mg/l)			A2 (5 mg/l)			B1 (10 mg/l)			B2 (10 mg/l)		
	H-0	H-10	H-20	H-0	H-10	H-20	H-0	H-10	H-20	H-0	H-10	H-20	H-0	H-10	H-20
Warna daun hijau	30	28	25	28	27	20	27	26	27	27	28	28	27	26	26
Warna daun kuning	2	4	6	2	3	7	3	3	7	2	5	6	2	5	7
Warna daun coklat	1	3	6	0	3	6	0	4	6	0	5	5	1	4	6



Gambar 4.1 Grafik Pengamatan Perubahan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Kontrol



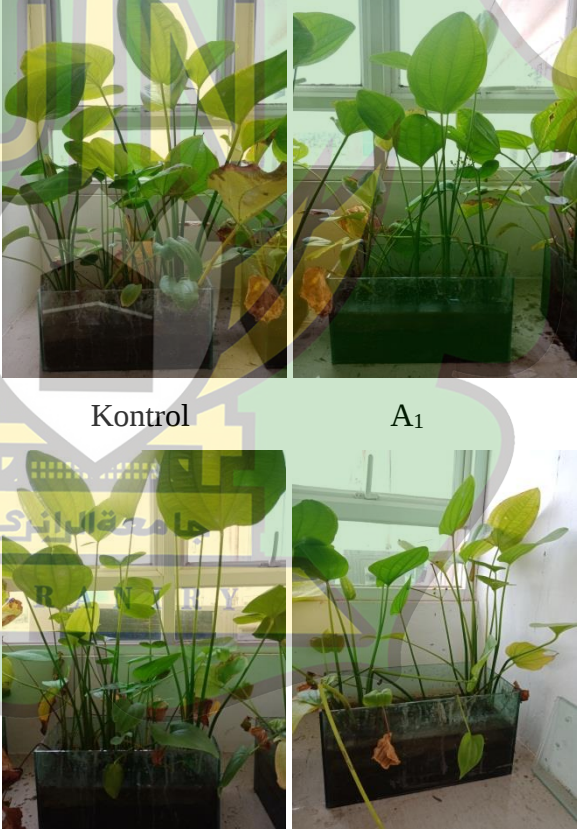
Gambar 4.2 Grafik Pengamatan Perubahan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Hari Ke-10



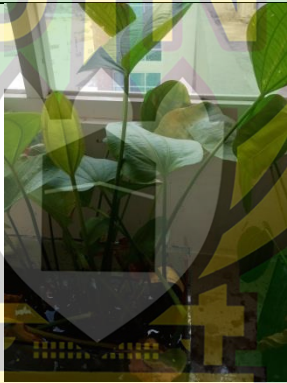
Gambar 4.3 Grafik Pengamatan Perubahan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Hari Ke-20

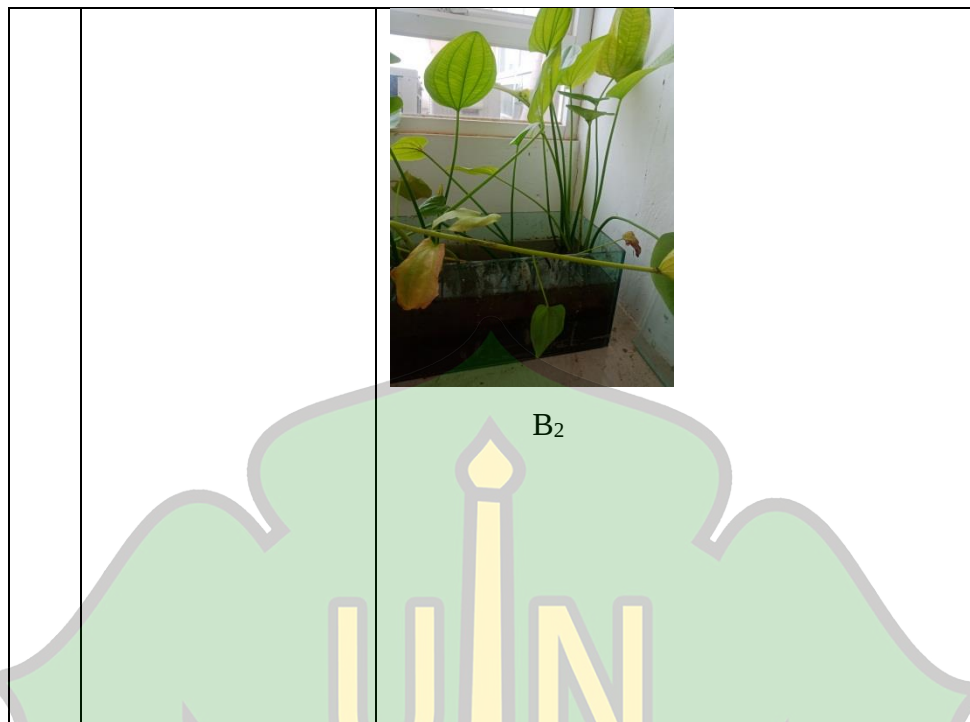
Berdasarkan dari pengamatan peneliti, pada hari ke-10 sudah menunjukkan perubahan pada tanaman Melati Air (*Echinodorus palaeifolius*) seperti pada daun yang disebabkan oleh penyerapan oleh logam berat Pb. Sedangkan pengamatan pada hari ke-20 tanaman mengalami perubahan anatomi yaitu dengan ciri daun mengering, berwarna kuning kecoklatan.

Tabel 4.3 Pengamatan Pertumbuhan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaeifolius*) Selama 20 Hari

No.	Waktu Fitoremediasi	Gambar Pengamatan	
1.	Hari Ke-0	 Kontrol A₁ A₂ B₁	

		 B₂
2.	Hari Ke-10	 Kontrol  A₁  A₂  B₁

			
3.	Hari Ke-20	 Kontrol	 A ₁
		 A ₂	 B ₁



Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dari hari ke 0-10 tanaman juga sudah memperlihatkan perubahan fisiologi, yaitu penambahan jumlah daun dan perubahan warna daun, sementara untuk batang tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dari hari pertama hingga ke-10 mengalami penambahan. Pada hari ke-10 pengamatan, tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) memperlihatkan adanya penambahan pucuk tanaman di antaranya sampel kontrol, A₁, A₂, B₁, dan B₂. Sementara pada pengamatan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) pada hari ke 20, tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) juga mengalami penambahan atau pertumbuhan pucuk dan daun pada tanaman berwarna hijau. Sedangkan untuk batang tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) mengalami penambahan dari hasil pengukuran dari hari pertama sampai akhir penelitian.

Tumbuhan mengakibatkan gejala krosis disebabkan oleh pemaparan logam berat yang terlalu lama dan mengakibatkan penghambatan pada sintesis klorofil. Gejala klorosis dapat juga diakibatkan apabila logam berat tersebut menghambat kerja enzim yang mengkatalis sintesis klorofil (Suhadiyah & Umar, 2016). Perubahan warna pada daun Melati Air (*Echinodorus palifolius*) yang menjadi

kuning kecoklatan diduga tanaman tersebut mengalami toksisitas yang diakibatkan oleh aktivitas abiotik dari zat pencemar (Caroline & Moa, 2015).

Kondisi air yang telah dicampurkan dengan larutan logam Pb yang di fitoremediasi dengan menggunakan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dengan variasi konsentrasi logam Pb pada air yaitu 5 mg/l dan 10 mg/l dengan satu kali pengulangan dan kontrol serta variasi pemanenan pada umur tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) 0, 10 dan 20 hari. Hasil pengujian sampel pada tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) setelah perlakuan fitoremediasi ditunjukkan pada Tabel IV.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisa Timbal (Pb) Pada Air Setelah Proses Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)

Perlakuan	Label Sampel	Hari Ke-10			Hari Ke-20			*Baku Mutu
		Pb Awal (mg/l)	Pb Akhir (mg/l)	Efisiensi	Pb Awal (mg/l)	Pb Akhir (mg/l)	Efisiensi	
A (5 mg/l)	A1	5,1371	0,9756	81,00%	5,1371	0,1425	97,22%	0,3
	A2	5,2054	0,8754	83,18%	5,2054	0,0754	98,55%	
B (10 mg/l)	B1	10,2104	1,5643	84,67%	10,2104	0,7632	92,52%	
	B2	10,1376	2,1437	78,85%	10,1376	0,9721	90,41%	

* Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

Hasil pengujian fitoremediasi yang terlihat pada Tabel IV.4 menunjukkan hasil bahwa pada persentasi 5 mg/l dan 10 mg/l dan pengulangan, terjadi penurunan setiap pengujian sampel yaitu dimulai dari hari ke-0, ke-10 dan pada hari terakhir yaitu hari ke-20. Setiap 0, 10 dan 20 hari sekali dilakukan pengujian terhadap parameter uji yaitu logam berat Timbal (Pb), pH air dan pH tanah. Setiap pengujian menghasilkan penurunan secara signifikan dengan penurunan yang baik setiap pengujian dilakukan.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Efektifitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) Terhadap Penurunan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Proses Fitoremediasi

Kemampuan fitoremediasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*), dimana masing-masing reaktor terdiri dari 9 batang tanaman, setiap reaktor

berisikan larutan Pb dengan perbandingan konsentrasi yaitu 5 mg/l, 10 mg/l dan pengulangan dengan variasi konsentrasi yang sama dan kontrol (tanpa Pb). Proses fitoremediasi pada penelitian ini menggunakan sistem *batch* dimana perlakuan pada tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dilakukan dengan cara mendiamkan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) tersebut ke dalam reaktor yang berisikan air dengan logam berat Pb yang telah dilakukan pengenceran dengan perbandingan yang sudah ditentukan selama kurun waktu 20 hari kerja dan dilakukan pengamatan pada hari ke- 0, 10 dan 20 untuk kadar Timbal (Pb) dan setiap hari melakukan pengecekan pH air dan pH tanah. Hasil fisik yang didapatkan di lapangan menyatakan bahwa tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) mengalami perubahan morfologi. Proses aklimatisasi pada tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) telah mengakibatkan perubahan pada bagian daun tanaman, perubahan tersebut yakni meliputi daun yang semula berwarna hijau kemudian mengering dan menjadi berwarna coklat.

Proses pengujian logam berat Timbal (Pb) di air pada hari ke-10 dengan perlakuan konsentrasi 5 mg/l dan 10 mg/l yaitu A₁ sebesar 0,9756 mg/l, A₂ sebesar 0,8754 mg/l, sedangkan pada B₁ air mencapai hasil uji sebesar 1,5643 mg/l dan B₂ sebesar 2,1437 mg/l. Sedangkan pengujian logam berat Timbal (Pb) di air pada hari ke-20 dengan perlakuan 5 mg/l dan 10 mg/l pada A₁ sebesar 0,1425 mg/l, A₂ sebesar 0,0754 mg/l dan pada B₁ mencapai 0,7632 mg/l dan B₂ sebesar 0,9721 mg/l tersebut mengalami perubahan pada daun dan batang tanaman. Satu persatu daun Melati Air (*Echinodorus palifolius*) berubah warna secara bertahap, perubahan warna pada daun tersebut meliputi daun berubah menjadi kekuningan dan kecoklatan hal ini disebut dengan gejala klorosis hal ini diduga akibat adanya aktivitas kimiawi antara tanaman dengan air yang mengandung senyawa Pb.

Penurunan tertinggi terjadi pada hari ke-20 berturut-turut adalah 0,1425 mg/l, 0,0754 mg/l, 0,7632 mg/l, dan 0,9721 mg/l. Pada hari ke-20 tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) mengalami titik jenuh dan berkurangnya kemampuan dalam penyerapan logam berat dengan maksimal dan menyebabkan kenaikan konsentrasi logam berat pada hari ke-20. Meskipun tanaman Melati Air

(*Echinodorus palifolius*) memiliki efektivitas yang paling baik dalam menyerap logam berat tanaman ini dapat mengalami kejenuhan dimana ditandai dengan daun-daun yang mulai berubah warna menjadi menguning dan mengering (Nisma & Budi, 2008).

Pada proses fitoremediasi menunjukkan hasil penurunan pada setiap reaktor. Reaktor yang berisikan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) mampu menurunkan konsentrasi yang awalnya melebihi baku mutu yakni A₁ sebesar 5,1371 mg/l, A₂ sebesar 5,2054 mg/l, B₁ sebesar 10,2104 mg/l dan B₂ sebesar 10,1376 mg/l. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi fitoremediasi menggunakan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam penyerapan logam berat Timbal (Pb) pada akar dan batang memiliki nilai faktor translokasi yaitu pada air tercemar Pb dengan konsentrasi 5 mg/l dan 10 mg/l dan pengulangan, maka efisiensi penurunan logam berat Besi (Fe) menghasilkan penurunan secara signifikan dengan penurunan yang lebih efisien dari setiap pengolahan yaitu pada hari ke-20 dengan nilai persentasenya A₁ 97,22%, A₂ 98,55% B₁ 90,41% dan B₂ 92,52%.

Penurunan tersebut membuktikan bahwa tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) merupakan tanaman hiperakumulator yang mampu menyerap logam berat Timbal (Pb) dalam air. Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) menyerap logam berat Timbal (Pb) tersebut melalui akar yang langsung bersinggungan dengan media tumbuh yang telah terkontaminasi oleh Pb serta akar tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) memiliki volume perakaran yang banyak, logam Pb pada akar tersebut kemudian didistribusikan ke daun melalui batang. Akar yang dimiliki oleh tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) mampu menyerap logam berat Pb dikarenakan akar dan batang tanaman tersebut terendam oleh media air yang dapat menyerap bahan-bahan yang terkandung di dalam media air. Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) memiliki kemampuan menstabilkan logam berat Pb pada sistem perakarannya serta akar tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam berat Pb dan mengakumulasi ke dalam jaringan tubuhnya (Nisma & Budi, 2008).

Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) mampu menghisap oksigen dan udara melalui daun, batang dan akar tersebut yang kemudian dilepaskan kembali menuju daerah perakaran (*rhizosphere*). Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) memiliki ruang antar sel atau lubang saluran udara sebagai alat transportasi oksigen ke bagian perakaran. Oksigen ini nantinya akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme dalam mengurai bahan organik (Sasono, 2013).

Proses penyerapan Timbal (Pb) yang dilakukan oleh akar tanaman disebut dengan *rhizofiltrasi*. Akar pada tumbuhan mengeluarkan senyawa organik dan enzim yang disebut dengan eksudat akar yang menyebabkan lingkungan *rhizosfer* sangat baik untuk pertumbuhan mikroorganisme. Mikroorganisme tersebut dapat mempercepat proses *rhizofiltrasi*. Logam dengan bentuk ion-ion logam dapat larut dalam lemak dan mampu melakukan penetrasi di dalam membran sel sehingga ion-ion logam tersebut akan terakumulasi di dalam sel dan jaringan tumbuhan. Logam yang berikatan dengan enzim katalisator mampu masuk ke dalam sel dan mengganggu reaksi kimia yang terjadi pada sel. Gangguan ini biasanya terjadi pada jaringan epidermis, palisade dan sponsa. Hal ini ditandai dengan terjadinya nekrosis dan klorosis pada tumbuhan (Haryati, dkk, 2012).

Upaya dalam mencegah keracunan logam terhadap sel dan jaringan, tumbuhan memiliki mekanisme detoksifikasi misalnya menimbun logam tersebut di dalam organ tertentu seperti akar. Pengumpulan logam ke dalam organ tumbuhan merupakan usaha lokalisasi yang dilakukan oleh tumbuhan. Logam tersebut melewati berbagai sel pada tumbuhan yakni *plasmalema*, *sitoplasma*, dan *vakuola*. Logam tersebut akan mengalami lokalisasi atau akumulasi di dalam *vakuola*. Bagian *vakuola* pada sel tumbuhan memiliki fungsi menjaga logam berat tersebut tidak menghambat metabolisme tumbuhan sehingga logam tidak berhubungan dengan proses fisiologi pada sel tumbuhan. Pada jaringan akar, logam tersebut masuk ke dalam korteks dan diakumulasi di dekat *endoderm*. *Endoderm* sendiri berperan sebagai partial barrier terhadap pemindahan logam dari akar (Irawanto, dkk, 2015).

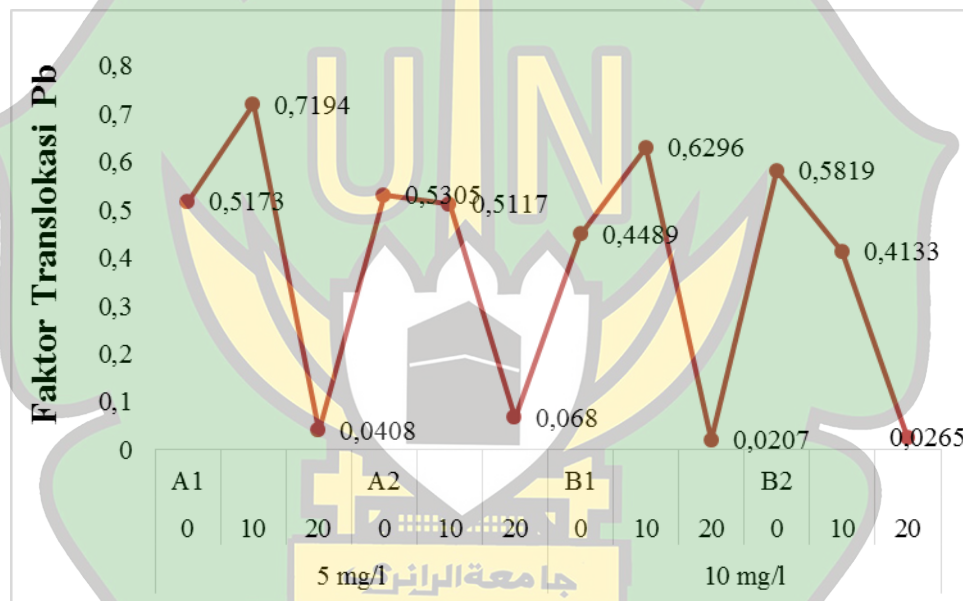
Penyerapan logam berat oleh tanaman dilakukan pertama kali oleh akar kemudian menuju ke batang dan daun. Penyerapan unsur-unsur tersebut dilakukan dengan penyerapan akar melalui membran sel secara osmosis selanjutnya diangkut oleh *xylem* dan *floem* ke bagian tumbuhan lain seperti batang dan daun (Umroh, 2011). Proses masuknya logam berat ke dalam jaringan tumbuhan melalui *xylem* ke semua bagian tumbuhan sampai ke daun dengan cara penempelan partikel logam berat pada daun dan masuk ke dalam jaringan *stomata*. Pengeluaran ion toksik selain terjadi pada daun juga terjadi di akar dengan menarik ion-ion secara aktif melalui *xylem* untuk kembali ke *xylem* parenkim yang kemudian dilepaskan kembali ke dalam media melalui akar.

Akumulasi logam berat yang tinggi oleh tumbuhan dengan cara melemahkan efek racun yang ditimbulkan oleh logam berat yang diserap melalui pengenceran (*dilusi*) dengan menyimpan banyak air guna mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya sehingga toksisitas logam berat tersebut berkurang (Heriyanto & Subiandono, 2011). Akar di sekitar tanaman *hiperakumulator* mengeluarkan *rizosfor* atau larutan di sekitar akar yang berfungsi untuk membawa logam pada media tanam menuju sel akar yang kemudian didegradasi oleh enzim yang berada di akar. Di dalam akar tersebut membentuk jaringan *lakuna* dan *aerenkim* yang berfungsi untuk pertukaran gas dan menyediakan jalur guna transportasi oksigen dari cabang hingga akar (Schussle & Longstreth, 2000).

4.2.2 Faktor Translokasi (FT)

Nilai FT pada tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) ditunjukkan pada Gambar IV.4 Rasio translokasi Pb dari akar ke batang (FT) pada air tercemar Pb dengan konsentrasi 5 mg/l dan 10 mg/l dan pengulangan pada hari ke-0 yaitu A_1 sebesar 0,5173, A_2 sebesar 0,5305, B_1 sebesar 0,4489, B_2 sebesar 0,5819, untuk hari ke-10 translokasi Pb ke batang (FT) yaitu A_1 sebesar 0,7194, A_2 sebesar 0,5117, B_1 sebesar 0,6296 dan B_2 sebesar 0,4133. Sedangkan untuk hari ke-20 translokasi Pb ke batang (FT) yaitu A_1 sebesar 0,0408, A_2 sebesar 0,0680, B_1 sebesar 0,0207 dan B_2 sebesar 0,0265.

Translokasi dari akar menuju batang maupun daun dimungkinkan karena adanya proses *difusi*, *osmosis*, dan daya kapilaritas serta daya isap batang, daun dan tekanan oleh akar. Meningkatnya nilai translokasi Pb ke bagian batang setiap hari nya kemungkinan disebabkan oleh peningkatan pH tanah dan pH pada air sehingga pertumbuhan tanaman menjadi optimal. Selain itu translokasi Pb meningkat juga dipengaruhi oleh luas permukaan serta banyaknya pembuluh pada bagian tanaman yang mempengaruhi pengangkutan air dan hara dalam *xilem* (Zamhar, 2015). Hal yang sama juga ditunjukkan pada penelitian Patandungan (2016) akumulasi logam berat semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu yang digunakan dalam proses fitoremediasi oleh tanaman.



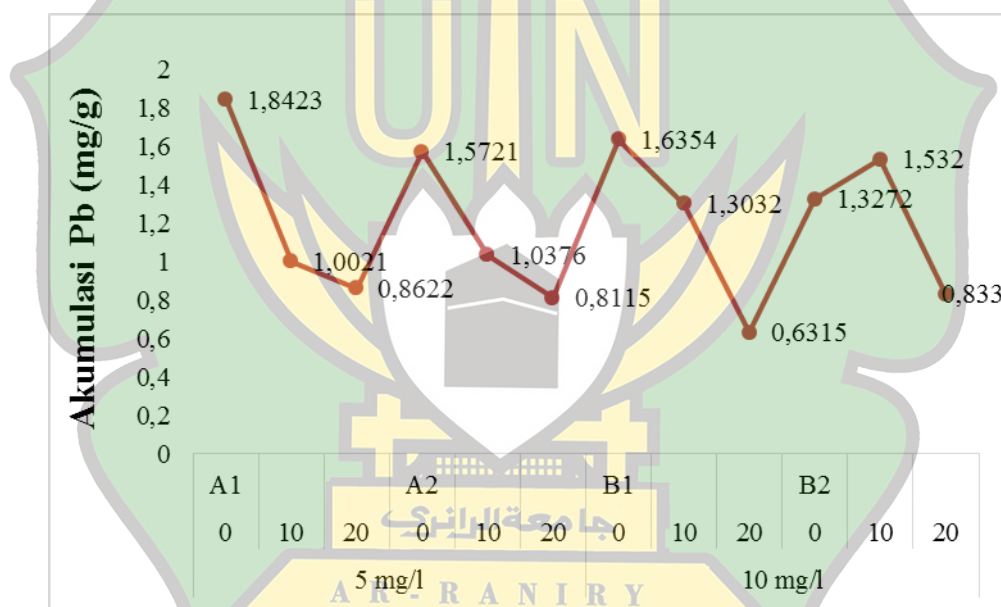
Gambar 4.4 Grafik Nilai Faktor Translokasi (FT) Pada Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)

4.2.3 Pengaruh Variasi Waktu Kontak Terhadap Kemampuan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) Sebagai Tanaman Fitoremediator

Hasil eksperimen menunjukkan pengaruh variasi waktu kontak terhadap kemampuan akar tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) sebagai tanaman fitoremediator dapat dilihat pada Gambar IV.5. Akumulasi logam berat Pb di akar tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) pada hari ke-0 akumulasi pada akar A₁ sebesar 1,8423 µg/g, A₂ sebesar 1,5721 µg/g, B₁ sebesar 1,6354 µg/g dan B₂

sebesar 1,3272 $\mu\text{g/g}$. Sedangkan akumulasi logam berat Pb di akar tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) pada hari ke-10 akumulasi pada akar A₁ sebesar 1,0021 $\mu\text{g/g}$, A₂ sebesar 1,0376 $\mu\text{g/g}$, B₁ sebesar 1,3032 $\mu\text{g/g}$ dan B₂ sebesar 1,5320 $\mu\text{g/g}$. Pada hari ke-20 akumulasi logam berat Pb pada akar A₁ sebesar 0,8622 $\mu\text{g/g}$, A₂ sebesar 0,8115 $\mu\text{g/g}$, B₁ sebesar 0,6315 $\mu\text{g/g}$, B₂ sebesar 0,8330 $\mu\text{g/g}$.

Besarnya akumulasi logam Pb pada hari ke-10 disebabkan karena pada minggu pertama tanaman masih dalam masa pertumbuhan sehingga akumulasi logam beratnya meningkat. Sedangkan pada hari ke-9 juga meningkat, hal ini disebabkan karena tanaman sudah beradaptasi dengan lingkungan logam Pb sehingga penyerapannya meningkat (Elawati, 2015).



Gambar 4.5 Grafik Kadar Akumulasi Pb Pada Akar Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)

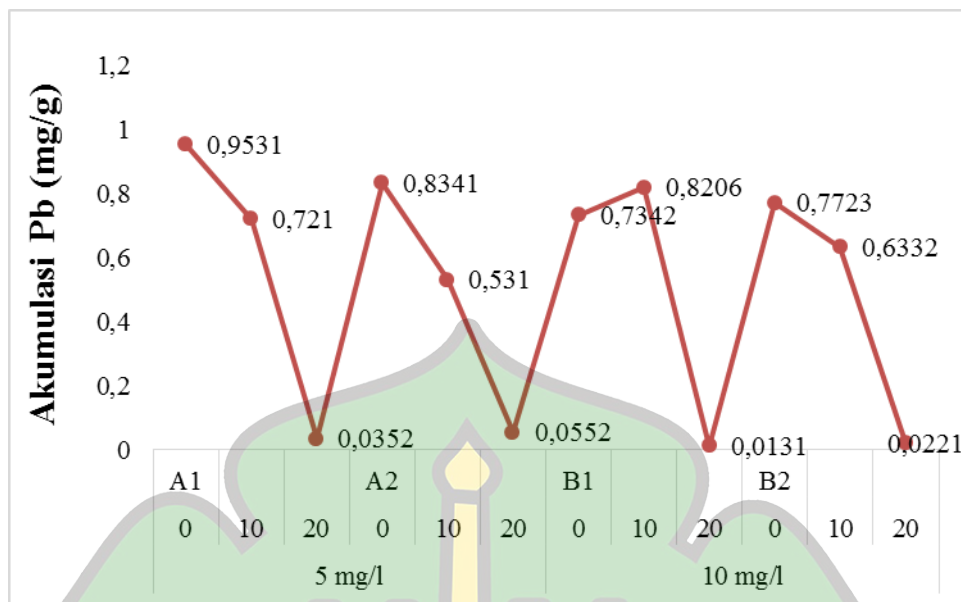
Gambar IV.5 menunjukkan bahwa akumulasi Pb pada batang tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) berturut-turut meningkat seiring dengan lamanya waktu yang digunakan pada proses fitoremediasi untuk menyerap logam berat Pb dalam air selama 20 hari. Akumulasi Pb pada daun berturut-turut meningkat dari hari ke-0 hingga pada hari ke-20 yaitu A₁ sebesar 0,9531 $\mu\text{g/g}$, A₂ sebesar 0,8341 $\mu\text{g/g}$, B₁ sebesar 0,7342 $\mu\text{g/g}$ dan B₂ sebesar 0,7723 $\mu\text{g/g}$, akumulasi pada batang hari ke-10 A₁ sebesar 0,7210 $\mu\text{g/g}$, A₂ sebesar 0,5310

$\mu\text{g/g}$, B_1 sebesar $0,8206 \mu\text{g/g}$ dan B_2 sebesar $0,6332 \mu\text{g/g}$ dan akumulasi pada batang hari ke-20 A_1 sebesar $0,0352 \mu\text{g/g}$, A_2 sebesar $0,0552 \mu\text{g/g}$, B_1 sebesar $0,0131 \mu\text{g/g}$ dan B_2 sebesar $0,0221 \mu\text{g/g}$.

Meningkatnya penyerapan logam Pb pada batang disebabkan oleh lamanya waktu yang digunakan dalam proses fitoremediasi, semakin lama waktu yang digunakan maka konsentrasi logam berat yang diserap akan semakin besar. Selain itu meningkatnya penyerapan logam Pb pada batang juga disebabkan oleh kemampuan logam berat Pb sebagai jenis logam yang mampu menguap ke atmosfer, kemudian polutan Pb dari dalam tanah yang diserap oleh tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) ditransformasikan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer dan kemudian diserap oleh batang dan daun, proses ini disebut *fitovolatilisasi* (Patandungan, 2014).

Besarnya penyerapan logam berat Pb pada bagian akar dibandingkan pada bagian batang karena akar merupakan bagian tumbuhan yang mempunyai daya serap terbaik terhadap logam berat. Hal ini karena akar mempunyai kemampuan untuk membentuk sejumlah besar biomassa akar, sehingga memiliki kapasitas besar untuk mengakumulasi logam berat. Penyerapan yang dilakukan oleh akar disebut *rizofiltrasi*. Tumbuhan mengeluarkan senyawa organik dan enzim melalui akar, sehingga daerah *rizosfer* merupakan lingkungan yang sangat baik untuk tempat tumbuhnya mikroba dalam tanah. Mikroba di daerah *rizosfer* akan mempercepat proses menyerap kontaminan oleh akar. Kemudian diangkut ke jaringan pengangkut (*xylem* dan *floem*) ke bagian tumbuhan yang lain. Sehingga penurunan konsentrasi pada media akibat proses tumbuhan (*fitoproses*) dengan asosiasi peran mikroba tanah.

Fitoproses yang terjadi pada zona akar tumbuhan adalah *fitostabilisasi* sebagai proses imobilisasi kontaminasi dalam tanah, dan *rizofiltrasi* sebagai proses penyerapan kontaminan ke dalam akar (Rony dan Sarwoko, 2015). Selain itu hal lain yang diduga sebagai salah satu alasan akumulasi logam di akar lebih besar dari pada bagian tumbuhan yang lain karena adanya akumulasi logam pada bagian tumbuhan merupakan usaha lokalisasi yang dilakukan oleh tumbuhan, dengan mengumpulkan dalam satu organ (Heriyanto, 2011).



Gambar 4.6 Grafik Kadar Akumulasi Pb Pada Batang Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)

Akumulasi Timbal (Pb) pada akar tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) meningkat seiring dengan lamanya waktu panen yang digunakan dalam proses fitoremediasi untuk menyerap logam berat pada air tercemar Pb. Selama 20 hari masa perlakuan, kadar Timbal (Pb) dalam akar tanaman meningkat dari setiap hari ke- 0, 10 dan 20 hari setelah dianalisis menggunakan *Spektrofotometri Serapan Atom* (AAS) Perkin ELMER PinAAcle 900T. Menurut Kartikasari (2002), konsentrasi Timbal (Pb) dalam akar, batang dan daun mengikuti urutan akar > batang > daun. Hal ini disebabkan karena akar mempunyai merupakan organ tanaman yang berinteraksi langsung dengan logam berat yang terdapat dalam air.

4.2.4 Pengukuran pH

pH merupakan derajat keasaman yang biasa digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman maupun kebasaan yang ada pada suatu larutan. Pada umumnya pH digunakan untuk mengetahui banyaknya suatu konsentrasi ion H^+ yang terdapat di suatu larutan. Nilai pH memiliki pengaruh terhadap proses biokimiawi pada perairan. Hasil pengukuran pH larutan uji selama proses penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran pH Air

Hari Ke-	Kontrol	A ₁ -A ₂		B ₁ -B ₂	
		5 mg/l		10 mg/l	
0	8,0	8,1	7,7	8,0	7,9
10	8,2	7,3	7,3	7,5	7,4
20	8,0	6,6	7,0	6,8	7,0
Rata-rata	8,0	7,3	7,0	7,1	7,0

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa ada perbedaan rata-rata nilai pH pada air limbah di reaktor kontrol, reaktor A₁, reaktor A₂, reaktor B₁ dan reaktor B₂. Pada reaktor 1 atau reaktor kontrol rata-rata nilai pH yaitu 8,0 pada reaktor 2 dengan variasi jumlah 9 tanaman yaitu 7,3 pada reaktor 3 dengan variasi jumlah 9 tanaman yaitu 7,2, sedangkan pada reaktor 4 rata-rata nilai pH yaitu 7,3 dan reaktor 5 nilai rata-rata pH yaitu 7,3. Kenaikan dan penurunan nilai pH ini dipengaruhi oleh adanya aktivitas biokimiawi mikroorganisme yang terdapat pada media air dan akar tanaman.

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran pH Tanah

Hari Ke-	Kontrol	A ₁ -A ₂		B ₁ -B ₂	
		5 mg/l		10 mg/l	
0	7,2	7,8	8,7	8,0	7,6
10	7,0	8,3	8,0	7,7	7,4
20	7,5	6,8	7,0	6,2	7,1
Rata-rata	7,2	7,6	7,9	7,3	7,3

Pada pH asam jaringan tumbuhan akan semakin meningkat kemampuan dalam mengikat unsur dalam air sedangkan apabila pH bersifat basa dapat melemahkan kemampuan jaringan tumbuhan tersebut dalam mengikat unsur dalam air sehingga unsur yang diserap semakin sedikit dan menyebabkan terganggunya metabolisme tumbuhan. Tanaman dapat tumbuh dengan baik pada kisaran pH 5,5-7 karena proses penyerapan unsur hara pada air dapat berlangsung dengan baik (Agusetyadevy, dkk, 2016).

4.2.5 Pemodelan Menggunakan Perhitungan Regresi Terhadap Fitoremediasi Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)

Tabel 4.7 Perhitungan Regresi

Akar	Batang	X ²	Y ²	XY
1,8423	0,9531	3,39407	0,9084	1,755896
1,5721	0,8341	2,4715	0,695723	1,311289
1,6354	0,7342	2,67453	0,53905	1,200711
1,3272	0,7723	1,76146	0,596447	1,024997
1,0021	0,721	1,0042	0,519841	0,722514
1,0376	0,531	1,07661	0,281961	0,550966
1,3032	0,8206	1,69833	0,673384	1,069406
1,532	0,6332	2,34702	0,400942	0,970062
0,8622	0,0352	0,74339	0,001239	0,030349
0,8115	0,0552	0,65853	0,003047	0,044795
0,6315	0,0131	0,39879	0,000172	0,008273
0,833	0,0221	0,69389	0,000488	0,018409
14,3901	6,1251	207,075	37,51685	8,707666

Rumus Perhitungan regresi linear yaitu sebagai berikut:

$$Y = a + bX$$

Keterangan :

Y = Variabel Akibat

X = Variabel Faktor Penyebab

a = Konstanta

b = Koefisien regresi

$$\begin{aligned}
 1. \quad a &= \frac{(\sum y) \cdot (\sum x^2) - (\sum x) \cdot (\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \\
 &= \frac{(6,125) \cdot (207,075) - (14,390) \cdot (8,707666)}{12 \cdot (207,075) - (14,390)^2} \\
 &= \frac{-1,24}{-204,5} \\
 &= 0,0060
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad b &= \frac{n(\sum xy) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \\
 &= \frac{12 \cdot (8,707666) - (14,390) \cdot (6,125)}{12 \cdot (207,075) - (14,390)^2} \\
 &= -0,0799
 \end{aligned}$$

$$3. Y = a + bX$$

$$= 0,0060 + (-0,0799)X$$

Jika X diasumsikan 12 maka :

$$Y = a + bX$$

$$= 0,0060 + (-0,0799).12$$

$$= -0,9528$$

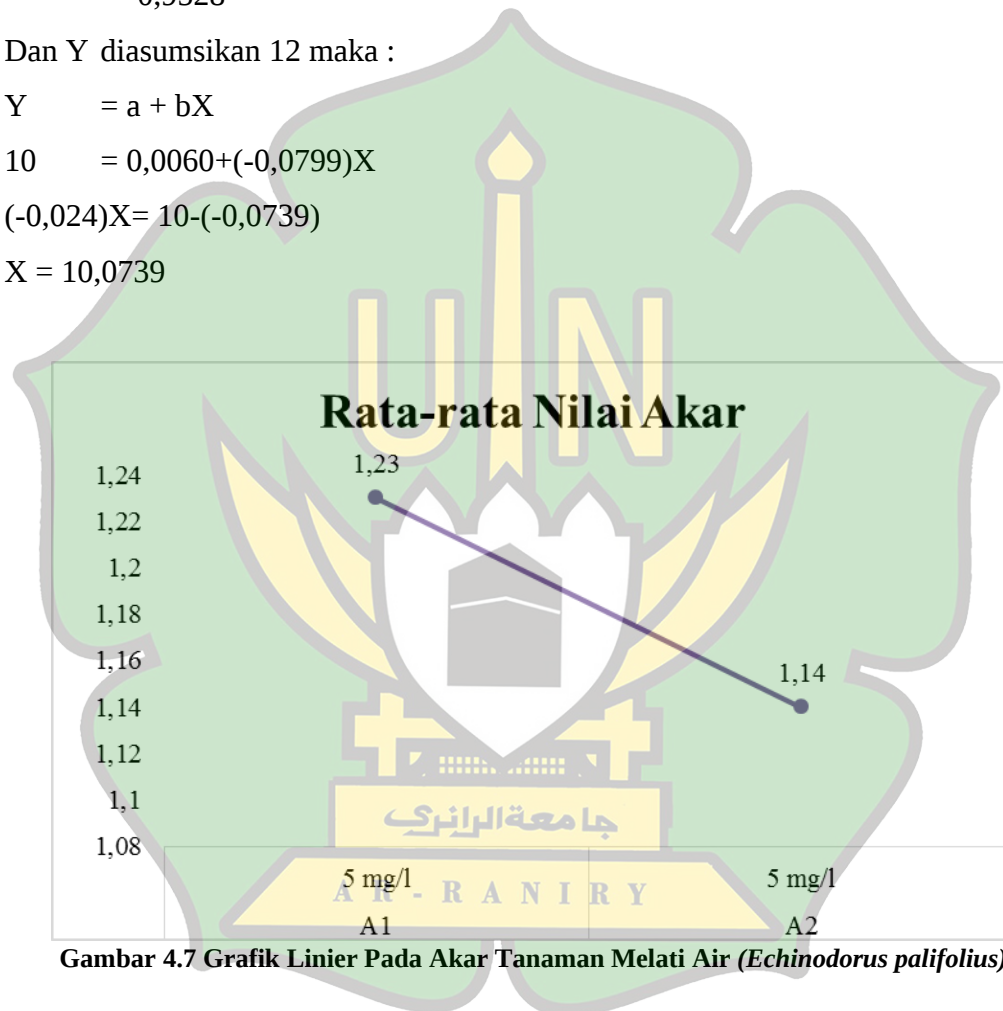
Dan Y diasumsikan 12 maka :

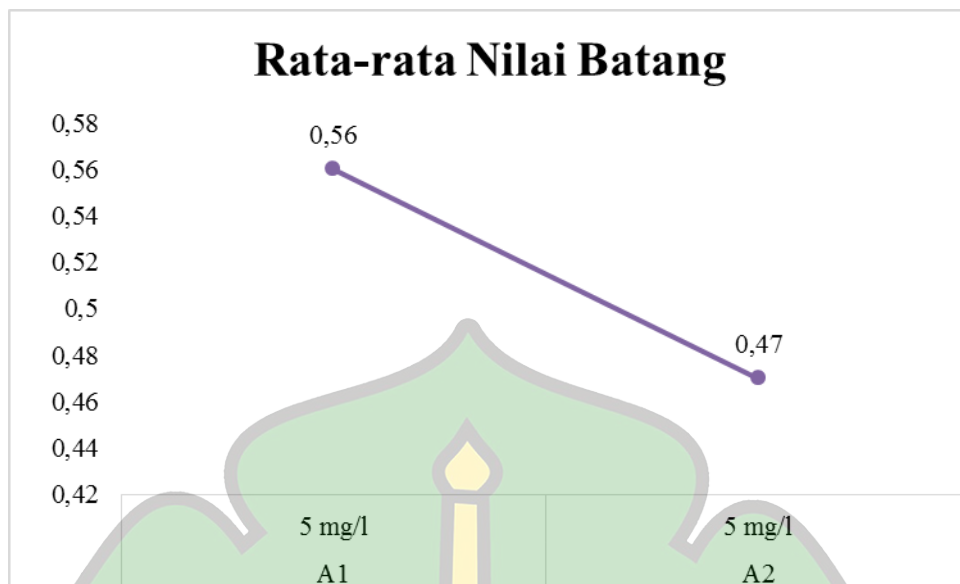
$$Y = a + bX$$

$$10 = 0,0060 + (-0,0799)X$$

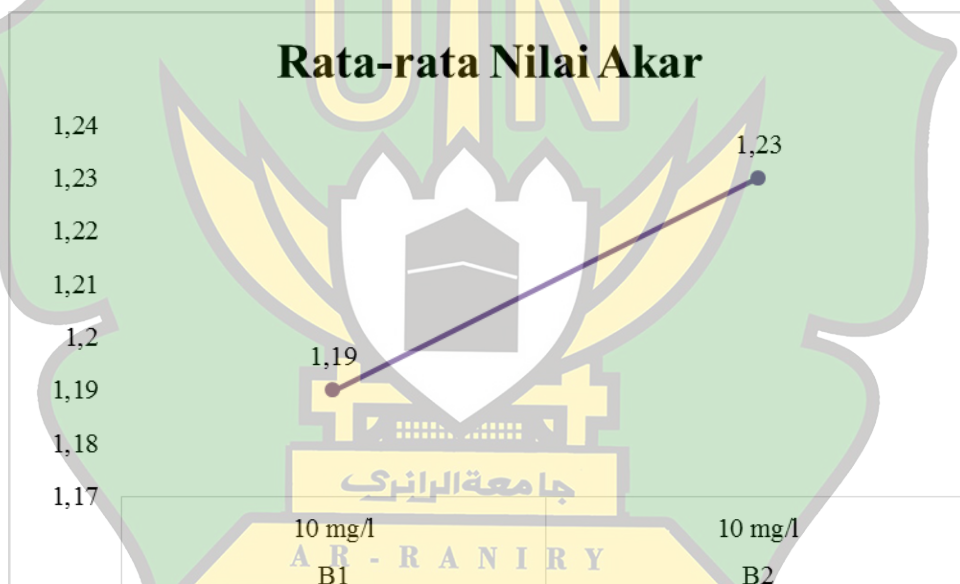
$$(-0,024)X = 10 - (-0,0739)$$

$$X = 10,0739$$

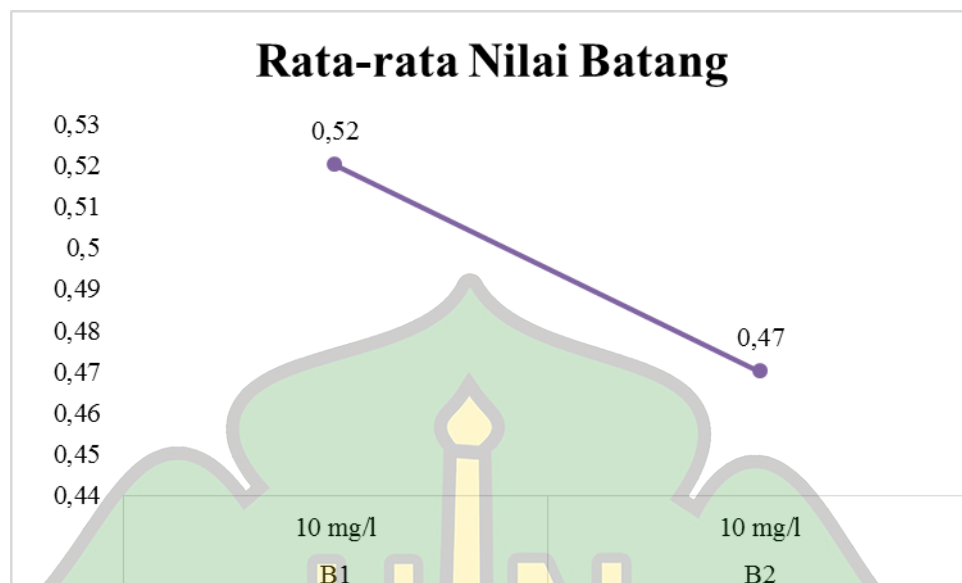




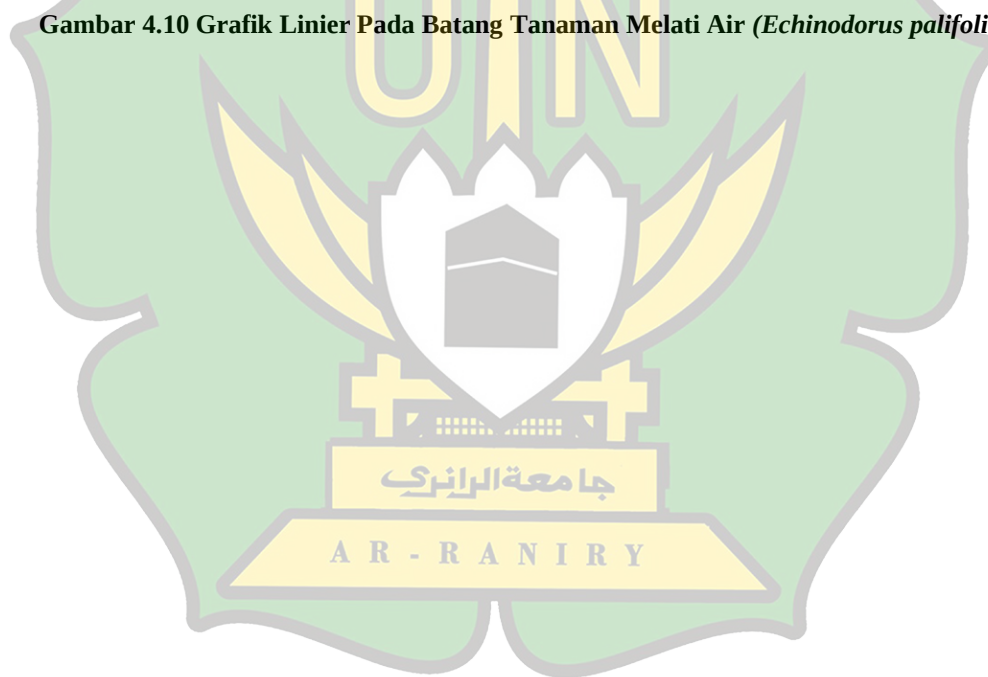
Gambar 4.8 Grafik Linier Pada Batang Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)



Gambar 4.9 Grafik Linier Pada Akar Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)



Gambar 4.10 Grafik Linier Pada Batang Tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*)



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi fitoremediasi menggunakan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam penyerapan logam berat Timbal (Pb) pada akar dan batang memiliki nilai faktor translokasi yaitu pada air tercemar Pb dengan konsentrasi 5 mg/l dan 10 mg/l dan pengulangan, maka efisiensi penurunan logam berat Besi (Fe) menghasilkan penurunan secara signifikan dengan penurunan yang lebih efisien dari setiap pengolahan yaitu pada hari ke-20 dengan nilai persentasenya A1 97,22%, A2 98,55% B1 90,41% dan B2 92,52%.
2. Pemodelan proses fitoremediasi tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dalam menurunkan logam berat Timbal (Pb) dengan menggunakan perhitungan regresi linear mendapatkan hasil sebesar 10,0739.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk proses fitoremediasi air tercemar logam berat Pb menggunakan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) dengan variasi konsentrasi yang berbeda.
2. Hasil penelitian ini diharapkan pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman Melati Air (*Echinodorus palifolius*) mampu mengurangi kadar logam berat lainnya hingga mencapai baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Admadhani, dkk (2016). Analisis Ketersediaan Dan Kebutuhan Air Untuk Daya Dukung Lingkungan (Studi Kasus Malang). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 11-14.
- Agusetyadevy, I., Sumiyati, S., & Sutrisno, E. (2016). *Fitoremediasi Limbah Yang Mengandung Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr)*. 8.
- Anam, M. M., Kurniati, E., & Suharto, B. (2013). *Penurunan Kandungan Logam Pb Dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (Equisetum Hyemale) Dan Zeolit*. 1(2), 17.
- Apsari, L., Kusumawati, E., & Susanto, D. (2018). *Fitoremediasi Limbah Cair Laundry Menggunakan Melati Air (Echinodorus Palaefolius) Dan Eceng Padi (Monochoria Vaginalis)*. 2, 29–38.
- Asdak, Chay, 2012, *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Caroline, J., & Moa, G. A. (2015). *Tanaman Melati Air (Echinodorus Palaefolius) Pada Limbah*. 12.
- Darmono, 2001, *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam*, UI Press, Jakarta.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelola Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta. Kanisius.
- Gabbrielli, R., Mattioni, C., & Vergnano, O. (1991). *Accumulation Mechanisms And Heavy Metal Tolerance Of A Nickel Hyperaccumulator*. 14, 1067–1080.
- Gustaman, R. A. (2017). *Pengendalian Kromium (Cr) Yang Terdapat Di Limbah Batik Dengan Metode Fitoremediasi*. *Unnes Journal Of Public Health*, 6(3), 155.
- Hardiani, Henggar. 2008. *Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi*. *Jurnal Riset Industri*.

- Haryati, M., Purnomo, T., & Kuntjoro, S. (2012). *Kemampuan Tanaman Genjer (Limnocharis Flava (L.)Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas Pada Biomassa Dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda*. 1(3), 8.
- Kasman, M., Herawati, P., & Aryani, N. (2018). Pemanfaatan Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) Dengan Sistem Constructed Wetlands Untuk Pengolahan Grey Water. *Jurnal Daur Lingkungan*, 1(1), 10.
- Kordi, K dan Tacung, 2010, *Pengelolaan Kualitas Air: Dalam Budidaya Perairan*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Kurniawati, L. D. (2018). *Pemanfaatan Tanaman Melati Air (Echinodorus Palaefolius Nees & Mart. Jf Macbr.) Sebagai Agen Fitoremediasi Pada Air Di Daerah Aliran Sungai Opak Desa Banyak, Piyungan Bantul*.
- Nisma, A., & Budi, A. (2008). *Seleksi Beberapa Tumbuhan Air Sebagai Penyerap Logam Berat Cd, Pb, Cu Di Kolam Buatan Fmipa Uhamka*. Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka.
- Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). *Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air Dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi*. 10.
- Patandungan, A., HS, S. dan Aisyah, A. 2016. Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi (*Vetiver zizanioides*) Terhadap Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) Pada Lahan TPA Tamangapa Antang Makassar. *Jurnal Al-Kimia*. volume4 (2), pp: 8-21.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001. Tentang Pengendalian Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Perairan.
- Rahadian, R., Sutrisno, E., & Sumiyati, S. (2017). *Efisiensi Penurunan COD Dan TSS Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu*. 6(3), 8.
- Santriyana, D. D. (2013). Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) Yang Ditumbuhkan Pada Limbah Ipa Pdam Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(1).
- Sari, Y., & Dwiyati, S. T. (2015). *Korosi H₂s Dan Co₂ Pada Peralatan Statik Di Industri Minyak Dan Gas*. 5.

- Sasono, E. (2013). Penurunan Kadar Bod Dan Cod Air Limbah Upt Puskesmas Janti Kota Malang Dengan Metode Constructed Wetland. 11, 11.
- Schussle, E., & Longstreth, J. (2000). *Changes In Cell Structure During The Formation Of Root Aerenchyma In Sagittaria Lancifolia (Alismataceae)*. 1, 12–19.
- Smits, E. P. (2005). *Phytoremediation*. 56, 15–39.
- SNI 06-6989.11-2004 Teknik Pengujian Parameter pH
- SNI 6989.59:2008 Teknik Pengambilan Sampel
- Suhadiyah, S., & Umar, M. R. (2016). Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kiapu Pistia Stratiotes L. Dari Air Sumur Sekitar Workshop Unhas. 5.
- Umroh. (2011). *Kemampuan Tanaman Air Purun (Lepiromia Micronata) Dalam Menyerap Logam Berat (Pb, Cu Dan Zn) Di Bekas Penambangan Timah*. 5.
- Wibowo, P. D., Purnaini, R., & Fitrianiingsih, Y. (2014). Penyisihan Logam Pada Lindi Dengan Sistem Sub-Surface Constructed Wetland. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1).



LAMPIRAN I
DOKUMENTASI PENELITIAN

Gambar	Keterangan
	Pengukuran Awal pH Air
	Pengukuran pH Tanah

Gambar	Keterangan
	Proses Penanaman Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>)
	Sampel air
	Proses Pengambilan sampel pada setiap reaktor

Gambar	Keterangan
	Pengujian pH Air Pada Masing-Masing Reaktor Hari ke-10
	Pengujian pH Tanah Pada Masing-Masing Reaktor Hari ke-10
	Pengujian pH Tanah Pada Masing-Masing Reaktor Hari ke-20

Gambar**Keterangan**

Pengujian pH Air Pada Masing-
Masing Reaktor Hari ke-20



Pengambilan Sampel pada masing-
masing reaktor



Pengukuran tinggi batang tanaman
Melati Air *Echinodorus palifolius*)

Gambar	Keterangan
	Sampel Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>)
	Tanaman Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>)
	Pengambilan Sampel Melati Air (<i>Echinodorus palifolius</i>)

LAMPIRAN II HASIL PENGUJIAN



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN KIMIA

LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN

Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/fax. (0651) 7552222
Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

NOMOR : 331/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Harun Ronaldo
Alamat Pelanggan : Lamdingin-Banda Aceh
Tanggal Diterima : 03 Februari 2022
Jenis Contoh Uji : Air Tercemar Timbal (Pb)
Tanggal di Analisa : 04 Februari 2022
Untuk Keperluan : Penelitian
Baku Mutu : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001
Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

No	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	Kontrol	mg/l	0,3	0,0012	-
2.	A ₁	mg/l	0,3	5,1371	-
3.	A ₂	mg/l	0,3	10,2104	-
4.	B ₁	mg/l	0,3	5,2054	-
5.	B ₂	mg/l	0,3	10,1376	-

Darussalam, 04 Februari 2022

Ketua

Dr. Edi Mulyawar, S.T., M.Eng.

NIP. 196902101998021001

AR - RANIRY



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA

FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN KIMIA

LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN

Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/fax. (0651) 7552222

Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpkl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

NOMOR : 332/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Harun Ronaldo
Alamat Pelanggan : Lamdingin-Banda Aceh
Tanggal Diterima : 14 Februari 2022
Jenis Contoh Uji : Air Tercemar Timbal (Pb)
Tanggal di Analisa : 15 Februari 2022
Untuk Keperluan : Penelitian
Baku Mutu : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001
Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

No	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	A ₁	mg/l	0,3	0,9756	-
2.	A ₂	mg/l	0,3	1,5643	-
3.	B ₁	mg/l	0,3	0,8754	-
4.	B ₂	mg/l	0,3	2,1437	-

Darussalam, 15 Februari 2022

Kemua

Dr. Edi Mufawar, S.T., M.Eng.

196902101998021001

جامعة الرانيري

AR - RANIRY



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN KIMIA

LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN

Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/fax. (0651) 7552222

Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpkl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

NOMOR : 333/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Harun Ronaldo
 Alamat Pelanggan : Lamdingin-Banda Aceh
 Tanggal Diterima : 23 Februari 2022
 Jenis Contoh Uji : Air Tercemar Timbal (Pb)
 Tanggal di Analisa : 24 Februari 2022
 Untuk Keperluan : Penelitian
 Baku Mutu : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001
 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

No	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	A ₁	mg/l	0,3	0,1425	-
2.	A ₂	mg/l	0,3	0,7632	-
3.	B ₁	mg/l	0,3	0,0754	-
4.	B ₂	mg/l	0,3	0,9721	-

Darussalam, 24 Februari 2022

Ketua

Dr. Edi Mufawar, S.T., M.Eng.

NIP. 1969072101998021001

جامعة الرانيري

AR - RANIRY



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA

FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN KIMIA

LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN

Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/fax. (0651) 7552222

Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpkl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

NOMOR : 244/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Harun Ronaldo
Alamat Pelanggan : Lamdingin-Banda Aceh
Tanggal Diterima : 3 Februari 2022
Jenis Contoh Uji : Melati Air (*Echinodorus palaefolius*)
Tanggal di Analisa : 4 Februari 2022
Untuk Keperluan : Penelitian

No	Kode Sampel	Hasil Pengukuran Pb (Conc) by AAS
1.	Sampel 1 Batang A ₁	0,9531
2.	Sampel 1 Batang A ₂	0,7342
3.	Sampel 1 Batang B ₁	0,8341
4.	Sampel 1 Batang B ₂	0,7723
5.	Sampel 1 Akar A ₁	1,8423
6.	Sampel 1 Akar A ₂	1,6354
7.	Sampel 1 Akar B ₁	1,5721
8.	Sampel 1 Akar B ₂	1,3272



Dr. Edy Murawar, S.T., M.Eng.
NIP. 196912101998021001

AR - RANIRY



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA

FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN KIMIA

LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN

Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/fax. (0651) 7552222

Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpkl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

NOMOR : 245/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Harun Ronaldo
Alamat Pelanggan : Lamdingin-Banda Aceh
Tanggal Diterima : 14 Februari 2022
Jenis Contoh Uji : Melati Air (*Echinodorus palaefolius*)
Tanggal di Analisa : 15 Februari 2022
Untuk Keperluan : Penelitian

No	Kode Sampel	Hasil Pengukuran Pb (Conc) by AAS
1.	Sampel 1 Batang A ₁	0,7210
2.	Sampel 1 Batang A ₂	0,8206
3.	Sampel 1 Batang B ₁	0,5310
4.	Sampel 1 Batang B ₂	0,6332
5.	Sampel 1 Akar A ₁	1,0021
6.	Sampel 1 Akar A ₂	1,3032
7.	Sampel 1 Akar B ₁	1,0376
8.	Sampel 1 Akar B ₂	1,5320

Darussalam, 15 Februari 2022

Ketua

Dr. Edy Murawar, S.T., M.Eng.

NIP. 196912101998021001

AR - RANIRY



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA

FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN KIMIA

LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN

Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/fax. (0651) 7552222

Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpkl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

NOMOR : 246/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Harun Ronaldo
Alamat Pelanggan : Lamdingin-Banda Aceh
Tanggal Diterima : 23 Februari 2022
Jenis Contoh Uji : Melati Air (*Echinodorus palaefolius*)
Tanggal di Analisa : 24 Februari 2022
Untuk Keperluan : Penelitian

No	Kode Sampel	Hasil Pengukuran Pb (Conc) by AAS
1.	Sampel 1 Batang A ₁	0,0352
2.	Sampel 1 Batang A ₂	0,0131
3.	Sampel 1 Batang B ₁	0,0552
4.	Sampel 1 Batang B ₂	0,0221
5.	Sampel 1 Akar A ₁	0,8622
6.	Sampel 1 Akar A ₂	0,6315
7.	Sampel 1 Akar B ₁	0,8115
8.	Sampel 1 Akar B ₂	0,8330



Dr. Edy Murawar, S.T., M.Eng.
NIP. 196912101998021001

AR - RANIRY

LAMPIRAN III

PERHITUNGAN FAKTOR TRANSLOKASI

1. Perhitungan Faktor Translokasi (TF) Hari Ke-0

$$TF_{A1} = \frac{0,9531}{1,8423}$$

$$TF_{A1} = 0,51$$

$$TF_{A2} = \frac{0,8341}{1,5721}$$

$$TF_{A2} = 0,53$$

$$TF_{B1} = \frac{0,7342}{1,6354}$$

$$TF_{B1} = 0,44$$

$$TF_{B2} = \frac{0,7723}{1,3272}$$

$$TF_{B2} = 0,58$$

2. Perhitungan Faktor Translokasi (TF) Hari Ke-10

$$TF_{A1} = \frac{0,7210}{1,0021}$$

$$TF_{A1} = 0,71$$

$$TF_{A2} = \frac{0,5310}{1,0376}$$

$$TF_{A2} = 0,51$$

$$TF_{B1} = \frac{0,8206}{1,3032}$$

$$TF_{B1} = 0,62$$

$$TF_{B2} = \frac{0,6332}{1,5320}$$

$$TF_{B2} = 0,41$$

3. Perhitungan Faktor Translokasi (TF) Hari Ke-20

$$TF_{A1} = \frac{0,0352}{0,8622}$$

$$TF_{A1} = 0,04$$

$$TF_{A2} = \frac{0,0552}{0,8115}$$

$$TF_{A2} = 0,06$$

$$TF_{B1} = \frac{0,0131}{0,6315}$$

$$TF_{B1} = 0,02$$

$$TF_{B2} = \frac{0,0221}{0,8330}$$

$$TF_{B2} = 0,02$$

LAMPIRAN IV

PERHITUNGAN EFISIENSI PENURUNAN KADAR Pb

1. Perhitungan Penurunan Kadar Pb Pada Hari Ke-10

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi (Pb}_{A1}) &= \frac{(5,1371-0,9756) \times 100\%}{5,1371} \\ &= 81,00\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi (Pb}_{A2}) &= \frac{(5,2054-0,8754) \times 100\%}{5,2054} \\ &= 83,18\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi (Pb}_{B1}) &= \frac{(10,2104-1,5643) \times 100\%}{10,2104} \\ &= 84,67\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi (Pb}_{B2}) &= \frac{(10,1376-2,1437) \times 100\%}{10,1376} \\ &= 78,85\%\end{aligned}$$

2. Perhitungan Penurunan Kadar Pb Pada Hari Ke-20

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi (Pb}_{A1}) &= \frac{(5,1371-0,1425) \times 100\%}{5,1371} \\ &= 97,22\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi (Pb}_{A2}) &= \frac{(5,2054-0,0754) \times 100\%}{5,2054} \\ &= 98,55\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi (Pb}_{B1}) &= \frac{(10,2104-0,7632) \times 100\%}{10,2104} \\ &= 92,52\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi (Pb}_{A2}) &= \frac{(10,1376-0,9721) \times 100\%}{10,1376} \\ &= 90,41\%\end{aligned}$$

