

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) MENGGUNAKAN
TANAMAN KIAMBANG (*SALVINIA MOLESTA*) DENGAN SISTEM
BATCH**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk melengkapi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) pada
Program Studi Teknik Lingkungan



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

Disusun oleh

DINDA AYU SITI FATIMAH

NIM. H05219004

Dosen Pembimbing

Abdul Hakim S.T., M.T.

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

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

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Dinda Ayu Siti Fatimah

NIM : H05219004

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan penelitian Tugas Akhir saya yang berjudul **“FITOREMEDIASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) MENGGUNAKAN TANAMAN KIAMBANG (*SALVINIA MOLESTA*) DENGAN SISTEM *BATCH*”**

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila suatu saat nanti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia untuk menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Surabaya, 14 Juli 2023

Yang menyatakan,



(Dinda Ayu Siti Fatimah)

NIM H05219004



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031 - 8410298 Fax. 031 - 8413300
E-Mail : saintek@uinsby.ac.id Website : www.uinsby.ac.id

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING
SIDANG TUGAS AKHIR**

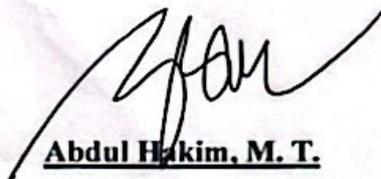
Nama : Dinda Ayu Siti Fatimah
NIM : H05219004
Judul Tugas Akhir : Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman
Kiambang (*Salvinia molesta*) Dengan Sistem *Batch*

Telah disetujui untuk pendaftaran Sidang Tugas Akhir

Surabaya, 26 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Abdul Hakim, M. T.

NIP. 198008062014031200



Ir. Sulistiya Nengseh, M. T.

NIP. 1990100920201211019

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Oleh,

Nama : Dinda Ayu Siti Fatimah

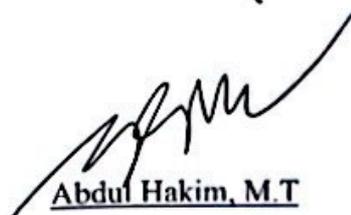
NIM : H05219004

Judul : "FITOREMEDIASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) MENGGUNAKAN TANAMAN KIAMBANG (*SALVINIA MOLESTA*) DENGAN SISTEM *BATCH*"

Telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi
Surabaya, 06 Juli 2023

Mengetahui,
Dosen Penguji,

Penguji I



Abdul Hakim, M.T

NIP. 198008062014031200

Penguji II



Ir. Sulistiya Nengse, M.T

NIP. 199010092020122019

Penguji III



Dedy Suprayogi, S.KM., M.KL

NIP. 198512112014031002

Penguji IV



Amrullah, M. Ag

NIP. 1973090322006041001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Jember
Surabaya



Hamdani, M.Pd
NIP. 196507312000031002



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : DINDA AYU SITI FATIMAH
NIM : H05219004
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : dindaayusf01@gmail.com

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

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

FITOREMEDIASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) MENGGUNAKAN

TANAMAN KIAMBANG (*SALVINIA MOLESTA*)

DENGAN SISTEM BATCH

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 14 Juli 2023

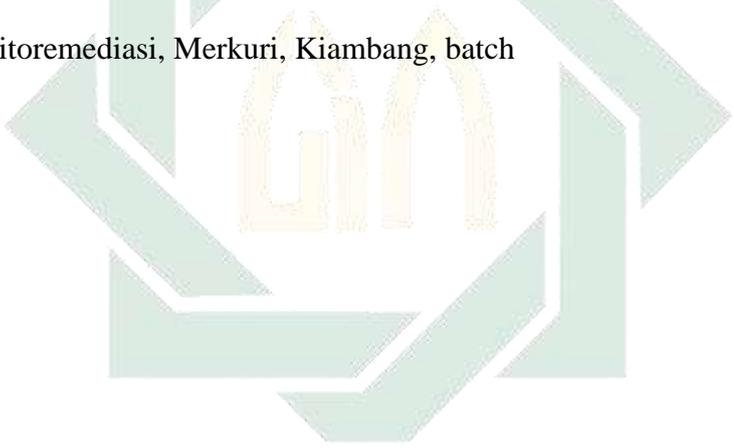
Penulis

(DINDA AYU SITI FATIMAH)

ABSTRAK

Dari sekian banyak jenis logam berat yang mencemari air, logam merkuri (Hg) berpotensi menimbulkan resiko bagi ekologi dan kesehatan manusia. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan pencemaran perairan oleh logam berat adalah dengan melakukan fitoremediasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan tanaman kiambang dalam meremediasi logam berat merkuri (Hg). Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, pengambilan sampel dilakukan pada hari ke 0, 4, 8, 12 selama 12 hari. Kemudian sampel diuji dengan metode SSA (Spektrofotometri Serapan Atom). Hasil dari penelitian ini diperoleh penyerapan logam berat Hg oleh tanaman kiambang selama 12 hari pada reaktor 2,3,4 dan 5 dengan variasi jumlah tanaman mengalami penurunan konsentrasi. Penurunan konsentrasi logam berat Hg pada reaktor 2 turun hingga 0,019 ppm, reaktor 3 turun hingga 0,015 ppm, reaktor 4 turun hingga 0,010 ppm dan reaktor 5 turun hingga 0,006 ppm.

Kata Kunci: Fitoremediasi, Merkuri, Kiambang, batch

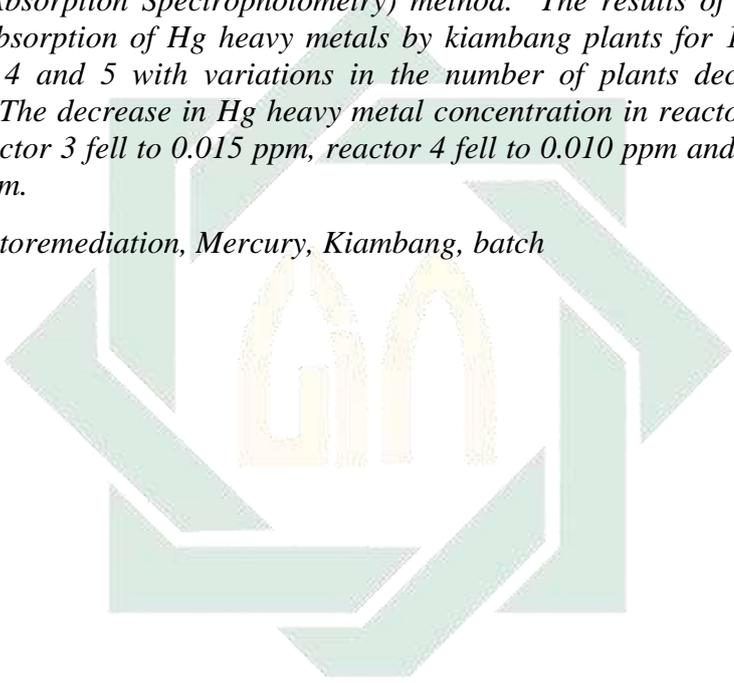


UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

Many types of heavy metals that pollute water, the metal mercury (Hg) has the potential to pose a risk to ecology and human health. One way to overcome the problem of water pollution by heavy metals is to do phytoremediation. The purpose of this study was to determine the ability of kiambang plants to remediate the heavy metal mercury (Hg). The study used an experimental method, sampling was carried out on days 0, 4, 8, 12 for 12 days. Then the sample is tested at BARISTAND by the AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) method. The results of this study obtained the absorption of Hg heavy metals by kiambang plants for 12 days at reactors 2, 3, 4 and 5 with variations in the number of plants decreased in concentration. The decrease in Hg heavy metal concentration in reactor 2 fell to 0.019 ppm, reactor 3 fell to 0.015 ppm, reactor 4 fell to 0.010 ppm and reactor 5 fell to 0.006 ppm.

Keywords: *Phytoremediation, Mercury, Kiambang, batch*



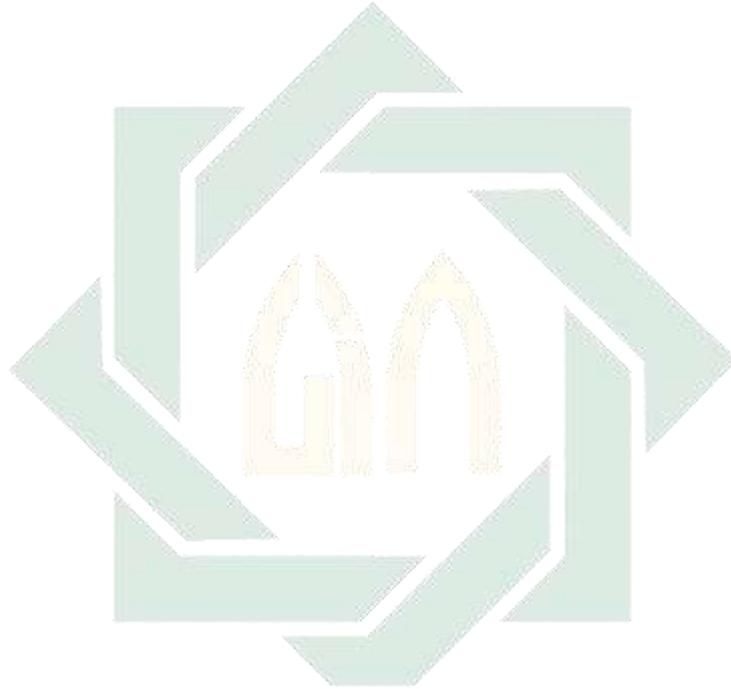
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN TIM PENGUJI	iv
PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah	17
1.3 Tujuan Penelitian.....	18
1.4 Batasan Penelitian	18
1.5 Manfaat Penelitian.....	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	20
2.1 Fitoremediasi	20
2.1.1 Pengertian Fitoremediasi.....	20
2.1.2 Jenis Fitoremediasi.....	21
2.1.3 Aklimatisasi	23
2.1.4 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi.....	23
2.2 Baku Mutu Air Sungai	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>).....	27
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian.....	40
Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian.....	42



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian	43
Tabel 4.1 Kondisi Tanaman Kiambang Pada Tahap Aklimatisasi.....	49
Tabel 4.2 Nilai pH	51
Tabel 4.3 Nilai Suhu Air Limbah	53
Tabel 4.4 Suhu Ruangan	54
Tabel 4.5 Nilai Kelembaban.....	54
Tabel 4.6 Intensitas Cahaya.....	55
Tabel 4.7 Kemampuan Tanaman Kiambang Terhadap Removel Merkuri	56
Tabel 4.8 Efisiensi Tanaman Kiambang Terhadap Penyisihan Merkuri.....	58
Tabel 4.9 Uji Normalitas	60
Tabel 5.1 Hasil Homogenitas	60
Tabel 5.2 Uji <i>ANOVA ONE WAY</i>	61

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam berat merupakan unsur yang banyak digunakan di berbagai industri dan pertanian sebagai bahan baku, aditif dan katalis. Penggunaan logam berat tersebut menimbulkan masalah pencemaran yang sangat serius yang disebabkan oleh pembuangan limbah yang mengandung logam berat ke lingkungan dalam jumlah yang semakin besar di atas konsentrasi alami (Darmono dalam Syamsudin, 2005). Pencemaran logam berat dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan, terutama bagi organisme yang hidup di dalamnya dan juga bagi manusia di sekitarnya.

Pencemaran tanah dan air juga terutama disebabkan oleh limbah pertambangan, residu pupuk dan pestisida, serta bekas fasilitas senjata kimia. Bentuk pencemaran dari berbagai unsur dan bahan kimia berbahaya yang dapat mengganggu keseimbangan fisik, kimia dan biologi badan air. Pencemaran logam berat seperti Kadmium (Cd), Seng (Zn), Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Kobalt (Co), Selenium (Sc), Merkuri (Hg) dan Nikel (Ni) merupakan masalah serius karena dapat menyebabkan pencemaran dapat berpindah dari tanah ke permukaan dan ke dalam air dan dapat menyebar ke lingkungan melalui air, angin atau penyerapan oleh tanaman yang bioakumulasi dalam rantai makanan (Nogawa, *et al.*, 1998 dalam Hidayati 2004). Hal ini dapat menimbulkan gangguan pada manusia, hewan dan tumbuhan, seperti penyakit pencernaan pada manusia karena pencemaran logam berat (Chancy, *et al.*, 1998 dalam Hidayati 2004).

Mengonsumsi makanan dan air yang mengandung logam berat memiliki efek yang berbahaya, terutama bila terakumulasi dengan kadar yang tinggi dan dalam jangka waktu yang panjang. Hal tersebut tentu dapat membahayakan manusia yang sebagian besar kehidupannya bergantung pada lingkungan sekitar. Bahaya tersebut lebih dapat dirasakan oleh makhluk hidup yang melakukan aktivitasnya di sekitar aliran sungai, seperti pada sektor perikanan, pertanian dan aktivitas lainnya. Manusia yang

melakukan aktivitas tersebut tentunya lebih berisiko terpapar limbah logam berat, hal itu dapat terjadi dikarenakan masuknya logam berat ke lingkungan bias melalui air bawah tanah (Sekarwati, 2014).

Dari sekian banyak jenis logam berat yang mencemari air, logam non-besi merkuri (Hg) berpotensi menimbulkan resiko bagi ekologi dan kesehatan manusia. Merkuri (Hg), logam berat semi-volatil telah menarik perhatian luas karena toksisitas yang signifikan. Merkuri yang dilepaskan dari sumber alami yaitu dari letusan gunung berapi dan aktivitas panas bumi, dan sumber buatan yaitu dari pembakaran bahan bakar fosil, penambangan logam dan emisi industri. Limbah merkuri yang dibuang ke lingkungan perairan merupakan racun saraf yang tersedia secara hayati. Oleh karena itu, lingkungan perairan sangat penting untuk siklus Hg dan paparan manusia (Mao et al, 2023).

Merkuri merupakan polutan yang mengancam sumber daya air dan kesehatan manusia (Gu, Lu, Josh & Pierce, 2019 dalam Tapriziah, 2022). Merkuri dan senyawanya sangat diperhatikan karena toksisitasnya yang tinggi dan keberadaannya yang sangat luas di lingkungan. Penggunaan merkuri oleh masyarakat dapat berdampak negatif bagi kesehatan masyarakat itu sendiri maupun kesehatan makhluk hidup lainnya. Merkuri dapat menimbulkan gangguan system syaraf, ginjal pernapasan bahkan dapat mengakibatkan kanker bagi manusia (Edaniati & Fitriani, 2015).

Peraturan Pemerintah memasukkan merkuri sebagai salah satu unsur Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan karakteristik beracun, berdasarkan uji pada tikus dengan LD50 sebesar 37 mg/kg, karsinogenik dan berbahaya bagi lingkungan (KLHK, 2021). Karakteristik beracun yang dimaksud ialah dapat menyebabkan sakit hingga kematian jika masuk ke dalam tubuh, melalui pernapasan, kulit, maupun mulut. Sifat karsinogenik adalah pemicu tumbuhnya sel kanker yang dapat merusak jaringan tubuh (Tapriziah, 2022).

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan pencemaran perairan oleh logam berat adalah dengan melakukan fitoremediasi. Fitoremediasi

adalah suatu metode pengembalian kualitas lingkungan tercemar oleh polutan atau pencemar melalui tumbuhan (Rondonuwu, 2014). Fitoremediasi merupakan salah satu teknik dengan harga terjangkau dan ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai solusi untuk memulihkan lingkungan yang tercemar logam berat. (Sidauruk & Sipayung, 2015). Fitoremediasi memiliki banyak keunggulan jika dibanding dengan metode remediasi yang lain, yaitu perawatan tanaman yang mudah, tanaman yang mudah didapat dan pengeluaran biaya yang tidak mahal (Herlambang & Suryati, 2018). Pemanfaatan tumbuhan dengan baik telah dijelaskan dalam Al-Quran oleh Allah pada Surah Al- Luqman ayat 10 :

Allat SWT telah berfirman pada Al – Quran Surat Al – Luqman ayat 10 :

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوْسًا أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: “Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya bumi itu tidak menggoyangkan kamu; dan memperkembang biakkan padanya segala macam jenis binatang. Dan Kami turunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik”.

Dimana dari ayat diatas dapat ditafsirkan bahwasanya Allah Swt telah menciptakan segala sesuatu yang memiliki manfaat dan kegunaan. Maksud dari segala sesuatu ciptaan itu ialah manusia, hewan dan tumbuhan. Oleh karena itu, segala sesuatu yang diciptakan-Nya bersifat mulia, termasuk tumbuh-tumbuhan (Qutb, 2004). Salah satu kemuliaan dan manfaat dari tumbuhan ialah mampu menjadi fitoremediator pada lingkungan yang tercemar polutan, termasuk logam berat.

Tanaman kiambang merupakan fitoremediator yang baik dalam meremoval limbah organik dan anorganik, dikarenakan sifatnya yang sangat akumulatif (Mcfarland, *et al.*, 2004, dalam Simatupang, 2015).

Kiambang tumbuh di permukaan air dan memiliki laju pertumbuhan sangat cepat, karena karakteristik pertumbuhan yang cepat maka jumlah kiambang banyak ditemui di daerah perairan dengan tidak adanya pemanfaatan yang optimal. Tanaman kiambang memiliki daun berdiameter kecil, panjang dan rapat, maka dari itu diharapkan mampu menyerap logam berat tanpa menghalangi penetrasi cahaya ke dalam air.

Berdasarkan penelitian terdahulu, (Marisa, *et al.*, 2017) tanaman kiambang mampu menyerap logam berat tembaga (Cu) dengan presentase sebesar 81,68% dalam air limbah dengan konsentrasi 20mg/L. (Baroroh, *et al.*, 2018) pun telah melakukan penelitian fitoremediasi menggunakan tanaman kiambang dan diketahui bahwa kiambang mampu meremoval tembaga (Cu) dengan presentase 96% pada konsentrasi 2 mg/L dan 95% pada konsentrasi 5 mg/L. Pemilihan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) sebagai fitoremediator dalam penelitian ini didasari oleh pertimbangan bahwa kiambang dapat tumbuh di perairan yang rendah nutrisi (Pribadi, 2016). Selain itu, tanaman kiambang tidak bernilai ekonomi tinggi dan pemanfaatan kiambang belum banyak diketahui, hanya pemanfaatan kiambang sebagai bahan baku pembuatan pupuk dan sebagai tanaman hias dalam akuarium (Rahmawati, 2016).

Berdasarkan pemaparan diatas, maka penelitian ini memiliki tujuan untuk mengkaji kemampuan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam meremediasi logam berat merkuri (Hg), serta mengamati respon paparan logam berat merkuri (Hg) pada kiambang itu sendiri.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kemampuan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam meremediasi logam berat merkuri (Hg)?
2. Bagaimana efisiensi tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam meremoval kadar logam berat merkuri (Hg)?
3. Bagaimana perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap kadar logam berat merkuri (Hg)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kemampuan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam meremediasi logam berat merkuri (Hg).
2. Menghitung efisiensi tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam meremoval kadar logam berat merkuri (Hg)
3. Mengetahui perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap kadar logam berat merkuri (Hg).

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses fitoremediasi dilakukan menggunakan sistem *batch*
2. Parameter yang diukur adalah logam berat merkuri (Hg)
3. Jenis tanaman yang digunakan ialah kiambang (*Salvinia molesta*)
4. Faktor lingkungan yang diukur meliputi: suhu air dan lingkungan, pH air, cahaya dan fisik tumbuhan
5. Pengambilan sampel dilakukan di hari ke 0, 4, 8 dan 12
6. Menggunakan 5 reaktor berukuran Panjang 35 cm, lebar 15 cm dan tinggi 20 cm

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Instansi

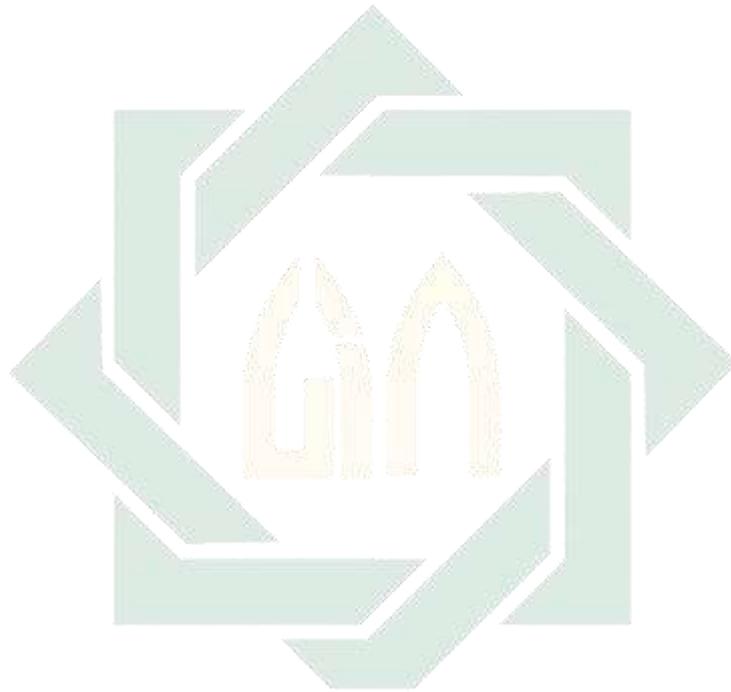
Diharap dapat menjadi acuan dan memberi wawasan bagi mahasiswa di kampus UIN Sunan Ampel Surabaya, mengenai cara alternatif penurunan kadar logam berat merkuri (Hg) di perairan dengan memanfaatkan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*).

2. Akademisi

- a. Menjadi sarana meningkatkan pengetahuan dan wawasan mengenai cara alternatif penurunan kadar logam berat merkuri (Hg) pada air menggunakan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*).
- b. Menjadi sumber data dan bahan perbandingan penelitian di bidang fitoremediasi pencemaran air.

3. Masyarakat

Diharapkan dapat menjadi penerapan langsung pada masyarakat dalam mengurangi pencemaran air dengan teknik fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dengan system *batch*.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fitoremediasi

2.1.1 Pengertian Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah teknologi yang memanfaatkan tanaman dan mikroorganisme untuk membersihkan lingkungan yang tercemar bahan kimia. Fitoremediasi merupakan salah satu metode bioremediasi yang digunakan untuk membersihkan air yang tercemar. Metode ini menggunakan tanaman yang dikenal sebagai akumulator untuk menyerap kontaminan termasuk logam berat melalui sistem perakaran dan memindahkannya ke udara tanaman. Fitoremediasi menggunakan tanaman air muncul sebagai metode yang hemat biaya namun banyak cara, sekaligus mencegah pencucian logam berat dan merusak lingkungan sekitar (Liu, *et al.*, 2020). Tumbuhan air merupakan bagian dari ekosistem yang kompleks, yang dapat bertindak sebagai hiperakumulator logam berat untuk menghilangkan logam berat bersama dengan polutan lainnya melalui fitoremediasi (Ali, *et al.*, 2020).

Meskipun fitoremediasi dianggap sebagai teknologi hijau yang mudah digunakan, layak secara ekonomi dan ramah lingkungan, tetapi masih memiliki beberapa kekurangan seperti pertumbuhan tanaman yang lambat, memakan waktu dan sensitif terhadap logam berat (Yan, *et al.*, 2020). Paparan tanaman pada konsentrasi logam berat yang berbeda dapat menyebabkan fitotoksisitas yang dapat mempengaruhi kinerja fitoremediasi tanaman (Cameselle, *et al.*, 2013).

Selain itu, fitoremediasi logam berat juga merupakan tugas yang sangat berat karena kinerja pengolahan biologis ini dapat dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti kondisi lingkungan, bioavailabilitas logam berat, pemilihan tanaman dan pertumbuhan

tanaman. Karena pengaruh kondisi lingkungan dan bioavailabilitas logam berat sulit dan tidak praktis untuk dimanipulasi, maka pemilihan spesies tanaman merupakan kunci untuk meningkatkan kinerja fitoremediasi logam berat. Terdapat berbagai macam jenis tumbuhan yang berpotensi digunakan sebagai alat fitoremediasi logam berat. Diantara tumbuhan tersebut, tumbuhan hiperakumulator memiliki akumulasi logam berat yang luar biasa yang memungkinkan mengakumulasi logam berat dalam jumlah besar hingga ratusan atau ribuan kali lipat dari tumbuhan akumulator normal. Hingga saat ini, terdapat lebih dari tujuh ratus spesies tanaman seperti selada air (*Pistia stratiotes*) dan sawi india (*Brassica juncea*) yang telah dikenal sebagai tanaman hiperakumulator (Kumar, *et al.*, 2021).

2.1.2 Jenis Fitoremediasi

Adapun jenis-jenis konsep dasar tumbuhan fitoremediasi, sebagai berikut:

a. Fitoekstraksi

Phytoextraction atau *thyrosorption*, *phytoaccumulation* atau *phytosequestration* adalah proses dimana polutan dari air atau tanah diambil oleh akar tanaman dan dipindahkan ke bagian tanaman seperti akar, daun dan batang tanaman. (Hidayati, 2020).

b. Fitovolatilisasi

Merupakan penyerapan polutan oleh tumbuhan dari tanah yang dimana polutan itu dibawa masuk ke dalam tumbuhan dan diolah hingga ditranspirasikan ke atmosfer (Hidayati, 2020). Namun, metode ini memiliki kekurangan seperti penggunaan yang terbatas dan tidak dapat menurunkan polutan secara optimal (Ali. *et al.*, 2013).

c. Fitodegradasi

Merupakan penyerapan oleh tanaman yang kemudian di proses dalam metabolisme tanaman dengan bantuan enzim

(Hidayati, 2020). Contoh enzim tersebut ialah oksigenase dan dehalogenase. Kedua enzim tersebut tidak bergantung pada mikroorganisme pada rhizosfer. Metode ini terbilang efektif dalam menurunkan polutan organik, seperti pestisida, herbisida dan insektisida (Ali, *et al.*, 2013).

d. Fitostabilisasi

Merupakan metode mengubah polutan yang terkandung dalam tanah yang bersifat toksik menjadi senyawa non toksik (Hidayati, 2020). Cara kerja tumbuhan dalam metode ini ialah penyerapan melalui akar, pengendapan dan pengumpulan pengurangan valensi logam rhizosfer.

e. Fitofiltrasi

Merupakan metode penyerapan polutan oleh tumbuhan pada permukaan air yang tercemar. Metode ini dapat dilakukan menggunakan akar, biji dan tunas tumbuhan yang telah dipotong. Metode ini dapat meminimalisir Bergeraknya polutan pada air tanah dengan cara memaksimalkan kinerja tumbuhan dalam mengabsorpsi polutan (Ali, *et al.*, 2013).

f. Fitodesalinasi

Merupakan metode penyerapan polutan menggunakan tumbuhan berupa garam yang berlebih pada tanah. Dimana garam tersebut umumnya digunakan tumbuhan untuk proses pertumbuhan (Ali, *et al.*, 2013).

g. Fitomining

Merupakan proses penyerapan polutan oleh tumbuhan yang kemudian hasil ekstraksinya dapat dimanfaatkan (Hidayati, 2020). Metode ini merupakan pengembangan dari fitoekstraksi yang dimana pada umumnya di aplikasikan di daerah yang memiliki kandungan logam berat yang rendah, juga pada timbunan limbah yang tidak ekonomis (S. Wulandari & Sibarani, 2014).

2.1.3 Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan adaptasi antara tumbuhan dengan lingkungan baru. Hal ini dilakukan sebagai penyesuaian diri tumbuhan sebelum dilakukannya uji fitoremediasi. Air yang digunakan dalam tahap ini adalah air bersih (Rahadian, 2017). Tanaman diaklimatisasi dengan memilih tanaman yang akan digunakan, setelah itu tanaman dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran dari akarnya.

Aklimatisasi pada tanaman biasanya dilakukan selama tujuh hari. Air yang digunakan adalah air bersih. Proses aklimatisasi dapat menggunakan aquades karena aquades bersifat netral, sehingga tanaman tidak terkontaminasi logam berat atau senyawa lainnya (Amalia, 2016). Aklimatisasi dilakukan hingga tanaman benar – benar kuat dan segar, hal ini dapat dilihat dari tetap kokohnya akar dan daun yang hijau.

2.1.4 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi

Dalam konteks negara berkembang, biaya keseluruhan untuk remediasi, persyaratan teknis, penerimaan sosial dan keberlanjutan merupakan masalah utama untuk perawatan lokasi yang terkontaminasi. Sebagai metode pengolahan berbasis tanaman, fitoremediasi memiliki kelebihan dan kekurangan (Gunwal, *et al.*, 2021 dalam Timalsina, *et al.*, 2022), antara lain:

Kelebihan:

1. Membutuhkan biaya yang murah dikarenakan berbasis tanaman sehingga tidak membutuhkan biaya untuk proses fisik dan kimia
2. Membutuhkan teknologi rendah hingga sedang untuk pembentukan, pemeliharaan, serta pasca perawatan
3. Dapat memanfaatkan beberapa spesies tanaman yang tersedia secara umum

Kekurangan:

1. Memerlukannya waktu yang cukup lama

2.3 Logam Berat Tembaga dalam Perairan

Logam berat merupakan bahan beracun yang dapat membahayakan organisme perairan. Pencemaran logam berat dapat berasal dari kegiatan manusia seperti pertambangan, kegiatan industri, maupun limbah rumah tangga yang menggunakan logam dan pertanian yang menggunakan pupuk yang mengandung logam jenis (Lestari dan Trihadiningrum, 2019). Logam digunakan sebagai bahan pelapis kabel dan pipa. Dalam kegiatan pertanian, penggunaan pestisida Bordeaux berpotensi meningkatkan konsentrasi tembaga di perairan. Pestisida jenis Bordeaux mengandung komposisi tembaga sulfat. Aktifitas tersebut yang mengakibatkan cemaran merkuri (Hg) meningkat pada lingkungan perairan (Edwards dan Coleman 2013).

Sumber alami logam berat biasanya terjadi dalam bentuk letusan gunung berapi, pelapukan batuan, sumber biologis, kebakaran hutan dan garam laut. Melalui proses ini logam berat masuk ke ekosfer. Bencana alam dan faktor ekologis tersebut dapat mempengaruhi lingkungan air. Logam berat masuk ke lingkungan melalui pengendapan partikulat atmosfer, seperti pembakaran bahan bakar dan pembuangan lumpur limbah.

Pemantauan secara berkala harus dilakukan untuk mengantisipasi keberadaan merkuri di lingkungan, terutama pada perairan. Dikarenakan merkuri memiliki karakteristik yang berbahaya bagi lingkungan, karena merkuri juga dapat merusak lingkungan perairan, tanah dan sedimen.

2.4 Kiambang (*Salvinia molesta*)

2.4.1 Klasifikasi Tanaman Kiambang

Tanaman kiambang berasal dari kata *ki* : pohon dan kata *ambang* : mengapung, yang umumnya dikenal dengan tanaman air dari genus *Salvinia*. Tumbuhan ini biasanya mengapung di permukaan air, seperti sungai, sawah dan danau.

Kiambang juga dikenal sebagai *Salvinia* raksasa adalah tumbuhan paku yang mengambang bebas dari famili *Salviniaceae* yang mampu menyerap senyawa beracun dari air limbah. Dalam

sistematika (taksonomi) tumbuhan, tanaman kiambang dimasukkan ke dalam klasifikasi berikut :

Kingdom : Plantae

Subkingdom : Tracheobionta

Divisi : Pteridophyta

Kelas : Filicopsida

Ordo : Hydropteridales

Familia : Salviniaceae

Genus : *Salvinia* Seg

Spesies : *Salvinia molesta*



Gambar 2. 1 Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*)

Sumber: (Nurafifah, 2016)

2.4.2 Morfologi Tanaman Kiambang

Kiambang (*Salvinia molesta*) morfologinya memiliki bentuk yang kecil, lonjong, memiliki daun di setiap batangnya, berbulu, berbuku-buku, batang bercabang mendatar dan Panjang hingga 30 cm. Terdapat daun mengapung dan daun tenggelam pada setiap buku (Soerjani, *et al.*, 1987 dalam Nurafifah, 2016).

Pada tanaman kiambang, daun yang mengapung berbentuk oval, dengan Panjang rata-rata 2-4 cm, berwarna hijau dikarenakan terdapat zat hijau daun (klorofil) dan pada permukaan daun ditutupi

rambut-rambut berwarna putih sedikit transparan. Rambut-rambut yang ada pada setiap daun memiliki fungsi untuk mencegah dari basah dan sebagai alat bantu tanaman kiambang mengapung (Rahmawati, 2016). Tanaman kiambang tidak memiliki bunga, maka dari itu proses perkembangannya dengan cara vegetatif. Proses vegetatif tanaman kiambang melalui batang yang telah rapuh kemudian pecah.

2.4.3 Pertumbuhan Tanaman Kiambang

Pertumbuhan kiambang (*Salvinia molesta*) bergantung pada kondisi iklim, tanaman kiambang dapat tumbuh di daerah beriklim subtropis. Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) akan tumbuh dengan optimal pada suhu air 20-30 °C. Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) mudah ditemui di daerah yang beriklim tropis maupun subtropis. Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dapat hidup dan tumbuh pada suhu maksimal 30 °C, pada pH 5-8 dan pada sanilitas 3-34 ppt. Pada perairan yang banyak terkandung nutrisi, tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) mampu tumbuh hingga dalam jumlah 30.000 tanaman per m² (ISSG, 2015).

Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) memiliki proses pertumbuhan yang sangat cepat, maka dari itu jumlah kiambang di perairan melimpah dan banyak dijumpai di lingkungan.

2.4.4 Kiambang Sebagai Fitoremediator

Kiambang salah satu tanaman air yang berpotensi meremediasi pencemaran logam berat, seperti merkuri. Tanaman kiambang adalah tanaman yang baik dalam menurunkan limbah organik dan logam berat. Kiambang memiliki sifat akumulatif yaitu dapat menyerap logam berat sekitar 1% dari berat keringnya. Tanaman kiambang dapat tumbuh dengan cepat sehingga banyak ditemui pada daerah perairan.

Tanaman kiambang juga memiliki sifat hiperakumulator yang artinya dapat hidup diperairan dengan kadar nutrisi yang rendah dan pertumbuhan tanaman yang sangat cepat. 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 et al. 1995). Tanaman kiambang mempunyai banyak kegunaan untuk lingkungan. Pada penelitian yang telah dilakukan (Bunga, 2013) dengan memanfaatkan tanaman kiambang, diketahui bahwa kiambang mampu menurunkan limbah cair yang mengandung timbal (Pb) sebesar 0,182 mg/l dan nikel (Ni) sebesar 0,252 mg/l selama 12 hari.

Berdasarkan hal tersebut diatas tanaman kiambang dapat secara efektif menyerap polutan, namun tidak menghalangi penetrasi cahaya kedalam perairan. Aktivitas tanaman ini mampu mengolah air limbah dengan efisien tinggi. Selain itu juga dapat menurunkan partikel tersuspensi secara biokimiawi (berlangsung lambat) dan mampu menyerap logam berat seperti Cr, Pb, Hg, Cd, Cu, Fe, Mn dan Zn.

2.5 Reaktor Sistem *Batch*

Reaktor dengan sistem batch merupakan proses dimana semua reaktan dimasukkan secara bersamaan pada awal proses dan produk dikeluarkan pada akhir proses. Pada proses ini semua reagen ditambahkan diawal proses dan tidak ada penambahan reagen kembali ketika proses berlangsung (Hidayat, 2019).

Kelebihan dan kekurangan sistem *Batch* antara lain :

1. Pengoperasian yang lebih mudah
2. Biaya yang relatif murah
3. Penggunaan fleksibel dapat dihentikan secara mudah sewaktu – waktu
4. Dapat digunakan untuk campuran limbah kuat dan beracun

Terjadinya pencemaran air sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia. Seharusnya manusia memiliki kewajiban untuk merawat dan menjaga alam, karena manusia telah ditetapkan menjadi khalifah di dunia. Larangan merusak lingkungan sudah dijelaskan dalam Al-Quran oleh Allah, terkandung dalam Surah Al- Baqarah ayat 30, Allah berfirman:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

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

Ayat tersebut menjelaskan bahwa manusia adalah pemimpin di muka bumi, oleh karena itu segala sesuatu yang ada di alam adalah bermanfaat dan diciptakan untuk manusia, dan janganlah manusia merusaknya agar Allah SWT tidak murka.

Ada pula peringatan larangan membuat kerusakan di muka bumi yang dijelaskan pada firman Allah dalam surah Al A'raf ayat 56

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ

اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya : “Dan janganlah kamu membuat kerusakan dimuka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik (Q.s. Al- A'raf :56)”.

Ayat diatas dapat ditafsirkan bahwa manusia dilarang untuk membuat kerusakan di muka bumi. Diciptakannya segala sesuatu yang ada di alam adalah sebagai sebaik-baiknya manfaat untuk manusia. Tidak hanya memanfaatkan alam, manusia juga perlu merawatnya agar semua makhluk hidup tidak terkena dampak buruk dari kerusakan alam.

Selain ayat Al qur'an, penjelasan tentang lingkungan juga terkandung dalam hadist.

عَنْ جَابِرٍ، قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ: «مَا مِنْ مُسْلِمٍ يَغْرِسُ (1552) - 7 غَرْسًا إِلَّا كَانَ مَا أَكَلَ مِنْهُ لَهُ صَدَقَةٌ، وَمَا سُرِقَ مِنْهُ لَهُ صَدَقَةٌ، وَمَا أَكَلَ السَّبُعُ مِنْهُ فَهُوَ لَهُ صَدَقَةٌ، وَمَا أَكَلَتِ الطَّيْرُ فَهُوَ لَهُ صَدَقَةٌ، وَلَا يَزُرُّهُ أَحَدٌ إِلَّا كَانَ لَهُ صَدَقَةٌ»

Artinya: *“Jabir berkata bahwa Rasulullah Saw bersabda, Tidaklah seorang muslim menanam pohon kecuali buah yang dimakannya menjadi sedekah, yang dicuri menjadi sedekah, yang dimakan binatang buas adalah sedekah, yang dimakan burung adalah sedekah, dan tidak diambil seseorang kecuali menjadi sedekah”HR. Muslim*

Hadist diatas menjelaskan mengenai anjuran untuk mengatasi masalah lingkungan dan menjaga lingkungan agar tetap lestari. Hadist ini juga menganjurkan manusia untuk menanam pohon untuk menghidupkan lahan yang telah mati.

Ada pula hadist yang menjelaskan mengenai larangan mengotori lingkungan, yang dijelaskan dalam hadist dibawah ini:

عَنْ مُعَاذِ بْنِ جَبَلٍ، قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ: ”: انْقُؤُوا الْمَلَاعِينَ 26
الثَّلَاثَةَ: الْبِرَارَ فِي الْمَوَارِدِ، وَقَارِعَةَ الطَّرِيقِ، وَالظِّلِّ

Artinya: *“Muad bin Jabal berkata, Rasulullah Saw bersabda, waspadalah terhadap tiga hal: kotoran yang ada di sumber, mengotori tengah jalan dan tempat yang teduh”HR. Abi Daud*

Hadist tersebut menjelaskan larangan mengotori lingkungan dan menjaga kebersihannya. Dan Allah SWT memerintahkan semua umatNya agar tidak merusak dan mencemari lingkungan.

No	Penulis	Judul	Tujuan	Hasil Penelitian
		Alternatif Pengelolaan Lingkungan”	logam berat dan TDS pada limbah air tambang batubara	
5	Brenda Enochs, George Melindl, Grascen Shidemantle, Vanessa Muerthner, David Akerele, Allison Bartholomew, Benjamin Bulgri (2023)	“Short and Long-term Phytoremediation Capacity of Aquatic Plants in Cu-polluted Environments”	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi pelindian jaringan tanaman setelah dekomposisi dan bagaimana pengaruhnya terhadap siklus beku-cair yang disimulasikan, pengaruh logam berat tembaga (Cu) pada hewan bekicot dan dampak fitoremediasi menggunakan tanaman dalam jangka panjang	Hasil dari penelitian ini bahwa duckweed mengungguli rumput pita sebagai fitoremediator pada konsentrasi Cu rendah. Selain itu, untuk tanaman yang ditanam dalam konsentrasi Cu rendah, pencucian dari bahan tanaman yang membusuk tidak berdampak negatif terhadap kelangsungan hidup bekicot, sedangkan pada konsentrasi Cu tinggi, pencucian menyebabkan toksisitas. Terakhir, kami menemukan bahwa siklus beku-cair yang disimulasikan meningkatkan pelepasan Cu dari jaringan tanaman hanya dengan adanya konsentrasi Cu yang tinggi, sehingga kelangsungan hidup bekicot berkurang. Hasil kami menunjukkan bahwa di lingkungan yang cukup tercemar Cu, beberapa tanaman air dapat menghilangkan kontaminan tanpa risiko pencucian jangka panjang. Sebaliknya, fitoremediasi di lingkungan yang sangat tercemar kemungkinan akan membutuhkan penghilangan jaringan tanaman untuk mencegah pencucian logam yang terakumulasi sebelumnya.
6	Israa Abdulwahab Al-Baldawi, Safaa Rasheed Yasin, Salwa Shamram Jasim, Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Asia Fadhile Almansoori, Nur	“Removal of Copper by <i>Azolla filiculoides</i> and <i>Lemna minor</i> : Phytoremediation Potential, Adsorption Kinetics and Isotherms”	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan efektifitas penghapusan tembaga (Cu) dari air tercemar oleh dua spesies tanaman terapung <i>Azolla filiculoides</i> dan <i>Lemna minor</i>	Hasil dari penelitian ini yaitu diketahui Tanaman dipapar dengan konsentrasi Cu(II) yang berbeda (0,25–1,00 mg/L) dan waktu pengambilan sampel (Hari 0, 1, 2, 5 dan 7). Kedua tanaman tersebut dapat menyisihkan Cu pada 1,00

No	Penulis	Judul	Tujuan	Hasil Penelitian
	Izzati Ismail (2022)			<p>mg Cu/L air, dengan tingkat penyisihan tertinggi 100% untuk <i>A. filiculoides</i> dan 74% untuk <i>L. minor</i> pada hari kelima pemaparan. Pada akhir masa pemaparan (Hari ke-7), pertumbuhan <i>A. filiculoides</i> yang dipapar 1,00 mg Cu/L dapat dihambat oleh Cu, namun struktur sel bagian dalam <i>A. filiculoides</i> terorganisir dengan baik dibandingkan dengan periode perawatan awal. Mengenai <i>L. minor</i>, Cu pada 1,00 mg/L berdampak negatif terhadap pertumbuhan dan morfologi (penyusutan struktur dalamnya) tanaman ini. Hal ini disebabkan akumulasi Cu yang lebih tinggi pada <i>L. minor</i> (2,86 mg/g) dibandingkan pada <i>A. filiculoides</i> (1,49 mg/g). Selain itu, laju penghilangan Cu per massa kering tanaman cocok dengan model orde dua semu untuk kedua tanaman, sedangkan data kesetimbangan adsorpsi cocok dengan isoterm Freundlich, yang menunjukkan bahwa adsorpsi Cu terjadi dalam banyak lapisan. Berdasarkan hasil penelitian, kedua spesies tersebut dapat diaplikasikan dalam fitoremediasi perairan tercemar Cu.</p>
7	Hauwa Mohammad Mustafa dan Gasim Hayder (2021)	“Performance of <i>Salvinia molesta</i> Plants in Tertiary Treatment of Domestic Wastewater”	Penelitian ini memiliki tujuan untuk menyelidiki kinerja bobot yang berbeda dari tanaman <i>Salvinia molesta</i> dalam meningkatkan kualitas air limbah domestik yang diolah hingga batas debit yang diperbolehkan.	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tumbuhan asli daerah tropis menurunkan konsentrasi warna sampel air limbah masing-masing sebesar 50,28%, 43,09% dan 49,7% oleh <i>S. grossus</i> , <i>A. pinnat</i> dan <i>S. molesta</i> . Pada saat yang

No	Penulis	Judul	Tujuan	Hasil Penelitian
				sama, penghilangan 100% diamati untuk kebutuhan oksigen. Demikian pula, kinerja <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Salvinia molesta</i> , <i>Lemna minor</i> dan <i>Pistia stratiotes</i> dalam pengurangan fosfor dan COD dari air limbah penggilingan padi selama 15 hari. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa hingga 75% dan 80% pengurangan dicatat masing-masing untuk COD dan fosfor. Namun demikian, sebagian besar literatur yang ada tentang aplikasi tanaman <i>Salvinia molesta</i> berfokus pada fitoremediasi air limbah industri
8	Adriansyah (2018)	“Biosorpsi Logam Berat Cu (II) dan Cr (VI) Menggunakan Biosorben Kulit Kopi Terxanthasi”	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui massa optimum dari logam penyerapan ion logam Cu dan Cr menggunakan biosorben dari kulit kopi	Hasil dari penelitian ini dapat diketahui berat optimum penyerapan ion logam Cu dan Cr sebesar 0,4 dan 0,6 gram dan pH optimum di pH 4. Hasil optimum muncul di waktu ke 100 menit. Kapasitas maksimum biosorpsi sebesar 62,5 mg/g dan 8,064 mg/g.
9	Elida Novita, Agnesa Arunggi Gaumanda Hermawan dan Sri Wahyuningsih (2019)	“Komparasi Proses Fitoremediasi Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Tiga Jenis Tanaman Air”	Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk melihat dan memahami perlakuan efisiensi dalam menurunkan parameter (BOD, COD, TSS, pH N dan kekeruhan) pada limbah tempe dengan tiga jenis tanaman, yaitu kangkung air, kiambang dan eceng gondok.	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fitoremediasi menggunakan kangkung air dan eceng gondok dapat bertahan lebih lama 10 hari jika dibandingkan dengan fitoremediasi menggunakan kiambang. Diperoleh masing-masing nilai efisiensi pada parameter kekeruhan dengan total: 85,03%; TSS 66,44%; COD 59,11%; BOD 77,91% N 61,77%.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Integrasi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya menggunakan metode SSA.

3.2 Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dalam penentuan ide awal dilakukan pada bulan Januari 2023. Selanjutnya pada bulan Februari 2023 hingga Maret dilaksanakan penyusunan proposal. Kemudian pada bulan Maret hingga April 2023 dilakukan pengambilan sampel di lapangan dan pengujian sampel. Pada bulan Mei hingga Juni 2023 dilakukan penyusunan hasil penelitian. Pada bulan Maret sampai dengan bulan Juli dilakukan penelitian.

3.3 Variabel Penelitian

Adapun variabel dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Variabel bebas (*Independent variable*) ialah variasi massa tanaman (*Salvinia molesta*).
- b. Variabel terikat (*dependent variable*) ialah konsentrasi logam berat merkuri (Hg).

3.4 Alat dan Bahan

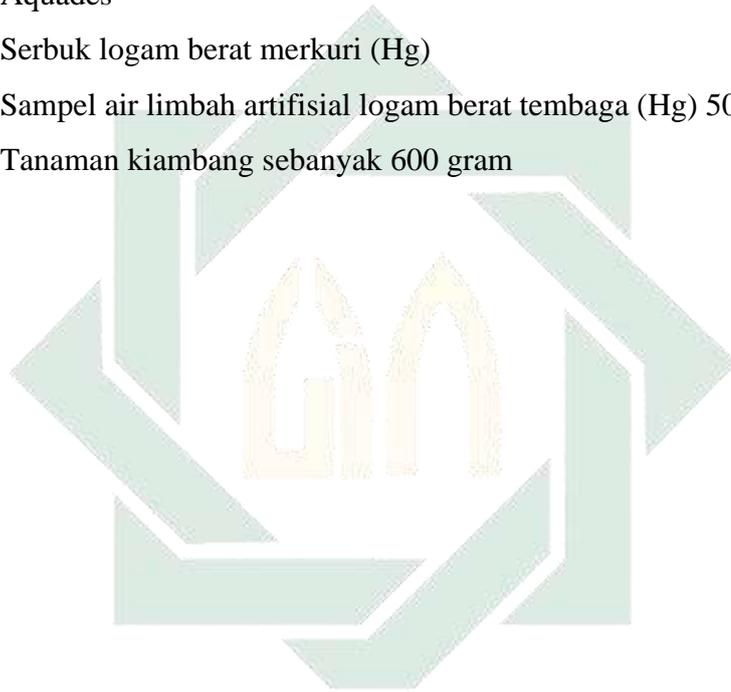
3.4.1 Alat

1. 5 buah reaktor dengan ukuran Panjang 60 cm x lebar 40 cm x tinggi 15 cm
2. 5 buah aerator
3. Pipet
4. Cawan
5. Timbangan digital
6. pH meter

7. Termometer
8. Hygrometer
9. Jerigen besar
10. Botol

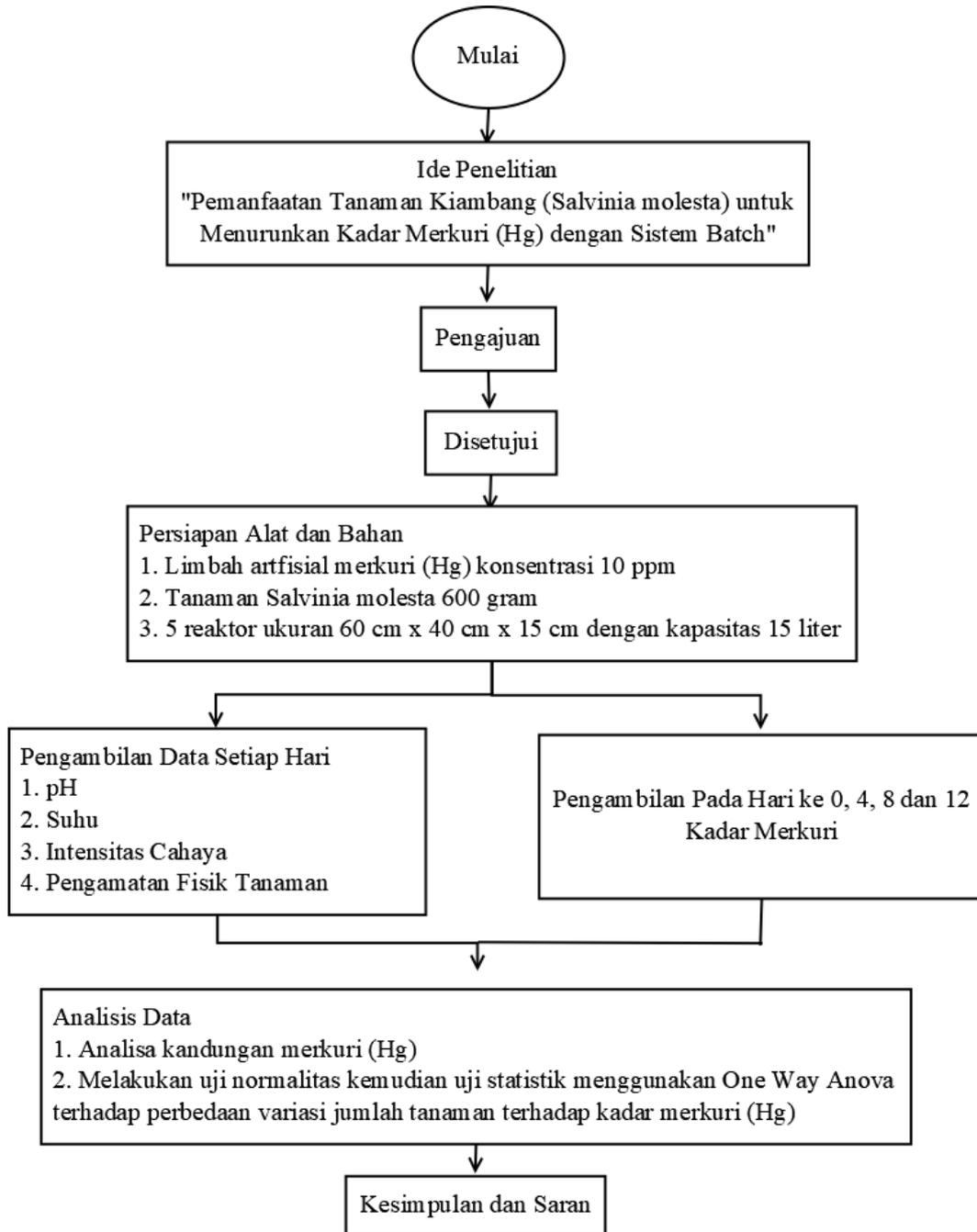
3.4.1 Bahan

1. Aquades
2. Serbuk logam berat merkuri (Hg)
3. Sampel air limbah artifisial logam berat tembaga (Hg) 50 liter
4. Tanaman kiambang sebanyak 600 gram



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

3.5 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

Sumber : Hasil Analisa, 2023

3.5.1 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap persiapan penelitian dilakukan studi literatur terhadap objek penelitian dan penentuan judul penelitian. Pada tahap ini adapun persiapan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini ialah reaktor, thermometer, pH meter, timbangan digital, jerigen besar dan botol. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *batch* dengan kapasitas 10 liter. Reaktor yang digunakan berjumlah 5, yaitu dibagi sebagai reaktor control, 2 reaktor fitoremediasi 100 gram tanaman dan 2 reaktor fitoremediasi 200 gram tanaman.

2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah tanaman kiambang (*Salvinia molesta*), aquades dan serbuk logam berat merkuri (HgCl_2). Berikut adalah persiapan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini :

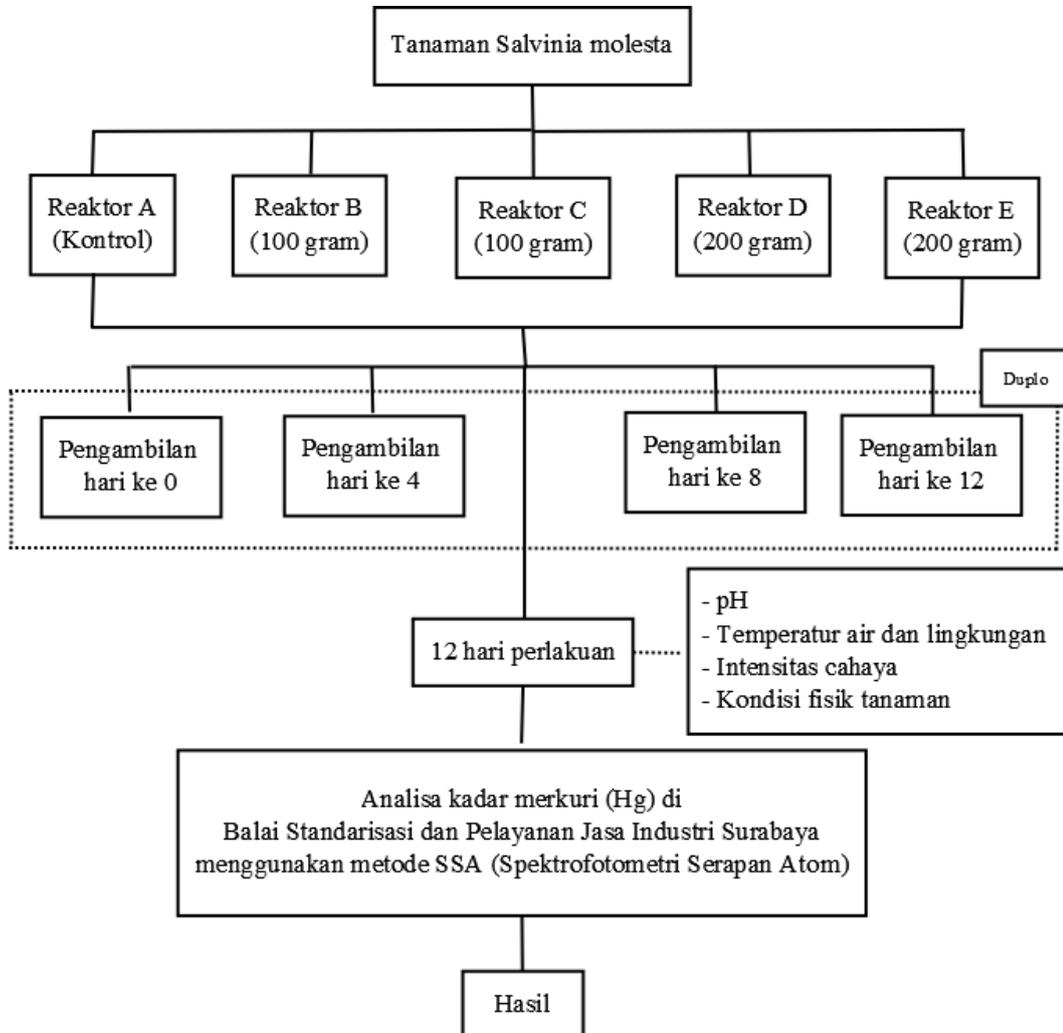
a. Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*)

Kriteria tanaman yang digunakan merupakan tanaman kiambang yang masih segar dan hijau. Daun kiambang berdiameter 40 - 60 mm.

b. Pembuatan air limbah artifisial

Air limbah yang dibuat untuk penelitian ini merupakan air limbah artifisial merkuri (Hg). Berdasarkan rata-rata jurnal penurunan kadar logam berat merkuri, Konsentrasi logam berat merkuri (Hg) yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 mg/L atau 10 ppm.

3.5.2 Kerangka Penelitian



Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian

Sumber : Hasil Analisa, 2023

3.5.3 Rancangan Penelitian

Tujuan dari rancangan penelitian ini adalah agar mengetahui tahap pengambilan data pada percobaan yang dilaksanakan. Berikut adalah perlakuan:

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

No	Massa Tanaman (A)	Waktu Pengambilan Sampel			
		B ₁ (0)	B ₂ (4)	B ₃ (8)	B ₄ (12)
1.	A ₁ (0 tanaman)	A ₁ ,B ₁	A ₁ ,B ₂	A ₁ ,B ₃	A ₁ ,B ₄
2.	A ₂ (100 gram tanaman)	A ₂ ,B ₁	A ₂ ,B ₂	A ₂ ,B ₃	A ₂ ,B ₄
3.	A ₃ (200 gram tanaman)	A ₃ ,B ₁	A ₃ ,B ₂	A ₃ ,B ₃	A ₃ ,B ₄

Sumber : Hasil Analisa, 2023

Keterangan :

A = Massa Tanaman

B = Waktu Pengambilan

A₁,B₁ = Kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-0

A₁,B₂ = Kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-4

A₁,B₃ = Kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-8

A₁,B₄ = Kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-12

A₂,B₁ = 100 gram tanaman *Salvinia molesta* dengan pengambilan sampel hari ke-0

A₂,B₂ = 100 gram tanaman *Salvinia molesta* dengan pengambilan sampel hari ke-4

A₂,B₃ = 100 gram tanaman *Salvinia molesta* dengan pengambilan sampel hari ke-8

A₂,B₄ = 100 gram tanaman *Salvinia molesta* dengan pengambilan sampel hari ke-12

A₃,B₁ = 200 gram tanaman *Salvinia molesta* dengan pengambilan sampel hari ke-0

A₃,B₂ = 200 gram tanaman *Salvinia molesta* dengan pengambilan sampel hari ke-4

A₃,B₃ = 200 gram tanaman *Salvinia molesta* dengan pengambilan sampel hari ke-8

A3,B4 = 200 gram tanaman *Salvinia molesta* dengan pengambilan sampel hari ke-12

3.5.4 Aklimatisasi Tanaman *Salvinia molesta*

Proses ini memiliki tujuan untuk adaptasi tanaman yang akan dipakai dalam penelitian dan kondisi lingkungan yang baru diluar ekosistemnya. Pada proses ini tanaman dapat dialiri dengan air bersih atau dengan air limbah yang akan diuji, pada penelitian ini proses aklimatisasi ini dilakukan menggunakan air bersih.

Proses aklimatisasi ini bertujuan agar tanaman kiambang dapat hidup dengan baik dan tidak mengalami kematian pada saat proses penelitian. Berikut tahap penelitian :

- a. Menyiapkan 2 media tanam untuk uji tanaman uji (*Salvinia molesta*), yaitu air dengan pH netral.
- b. Proses aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dan nantinya akan digunakan tumbuhan yang masih segar dan sehat untuk diaplikasikan pada proses fitoremediasi.

3.5.5 Perlakuan

Dalam proses ini dimasukkan sampel air limbah artifisial merkuri (Hg) sebanyak 10 liter, kemudian dimasukkan tanaman *Salvinia molesta* yang sudah diaklimatisasi dimasukkan ke dalam reactor dengan perlakuan 0 gram tanaman (kontrol), 100 gram dan 200 gram tanaman. Pemilihan tanaman dengan kondisi fisik yang bagus harus diperhatikan dalam proses ini. Limbah artifisial yang digunakan dalam proses ini didapat dari hasil perhitungan berikut :

Diketahui

$$\text{Ar . Hg} = 200$$

$$\text{Mr . Cl}_2 = (2 \times 35,5) = 71$$

$$\text{Mr. HgCl}_2 = 271$$

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

Kemurnian = 99%

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

$$M = \frac{gr}{Ar.Hg.L}$$

$$M = \frac{gr}{200 L}$$

$$\frac{gr}{L} = 0,005 M$$

Dari hasil tersebut dapat kita ketahui berapa banyak massa serbuk untuk menghasilkan molaritas yang sesuai dengan kebutuhan volume :

$$M = \frac{gr}{Mr .HgCl_2} \times \frac{1000}{mL}$$

$$0,0157 M = \frac{gr}{271} \times \frac{1000}{500}$$

$$gr = \frac{0,0157 \times 249,5}{2}$$

$$gr = 0,68 \text{ gram}$$

Kemudian untuk membuat sampel air limbah artifisial merkuri sebanyak 10 liter dengan konsentrasi 10 mg/l, larutan induk diencerkan kembali :

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 10 \text{ mg/L} \times 10.000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mg/L} \times 10.000 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 100 \text{ mL}$$

Larutan induk yang dibutuhkan untuk membuat 10 liter air limbah merkuri (Hg) dengan konsentrasi 10 mg/L sebanyak 100mL.

Dari persamaan di atas diperoleh skema pembuatan air limbah merkuri (Hg) dengan konsentrasi 10 mg/L.

3.5.7 Analisis Data

Tahap ini data akan di analisis melalui pendekatan deskriptif dan statistik.

1. Analisa Deskriptif

Analisis deskriptif merupakan analisis yang digunakan untuk menjelaskan kemampuan *Salvinia molesta* dalam menyisihkan logam berat merkuri (Hg) dari air limbah buatan akibat variasi massa tanaman dan waktu tinggal. Dengan menggunakan rumus tersebut, untuk mengetahui persentase merkuri (Hg) yang menurun pada penelitian ini :

$$\text{Efisiensi (EF)} = (p \text{ awal} - p \text{ akhir}) / p \text{ awal} \times 100 \% \dots\dots\dots(\text{Permadi, 2019})$$

Keterangan :

Ef : Efisiensi variasi massa tanaman kiambang

p awal : Konsentrasi awal sampel

p akhir : Konsentrasi akhir sampel

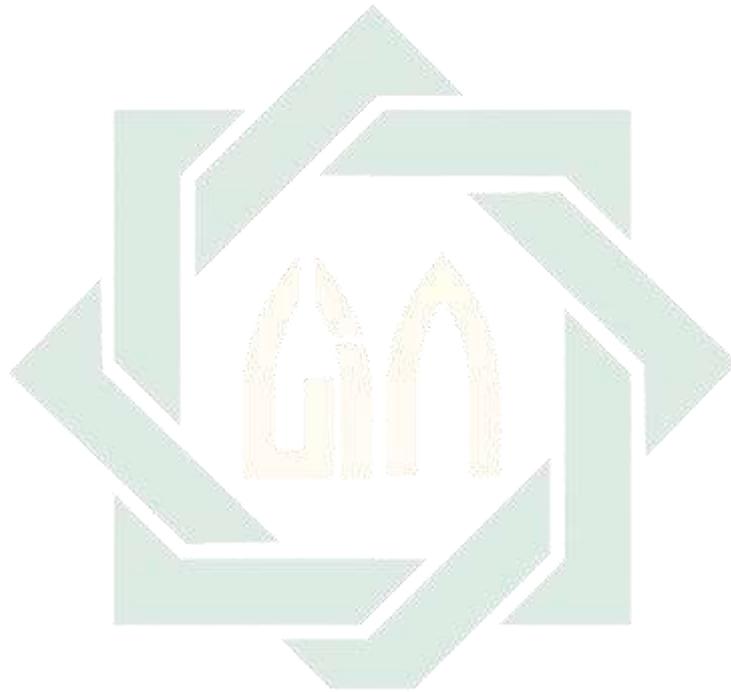
2. Analisa Statistik

Analisa statistik yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *software Statistical Product and Service Solution* (SPSS). Distribusi data diuji dari normalitas dan homogenitas menggunakan analisis Anova (*Analysis of Varians*) *One Way*.

3.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis adalah sebuah hasil sementara yang diambil dari permasalahan yang masih bersifat praduga dikarenakan masih belum diketahui kebenarannya. Hipotesis yang masih bersifat sementara membutuhkan uji kebenaran sebagai bukti agar hipotesis dapat diterima. Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. (H0) = tidak ada perbedaan terhadap variasi jumlah tanaman kiambang dalam meremoval logam berat merkuri (Hg).
- b. (H1) = adanya perbedaan terhadap variasi jumlah tanaman kiambang dalam meremoval logam berat merkuri (Hg).



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Aklimatisasi

Uji fitoremediasi diawali dengan melakukan tahap aklimatisasi tanaman kiambang dengan tujuan supaya tanaman yang akan digunakan untuk penelitian mampu beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Tahap aklimatisasi ini bertujuan untuk menetralkan tanaman kiambang dari media sebelumnya, dengan cara membersihkan tanaman kiambang dari kotoran-kotoran yang masih menempel pada tanaman, kemudian menyiapkan bak yang sudah terisi air. Tanaman kiambang dipilih yang memiliki kondisi fisik hijau dan segar, kemudian memasukkan kedalam bak.

Tahap aklimatisasi ini dilakukan selama tujuh hari dengan pencahayaan alami (sinar matahari) (Ni'ma dkk., 2014). Diharapkan pada tahap aklimatisasi ini tanaman dapat stabil tumbuh subur dan tidak mati. Tahapan aklimatisasi tanaman kiambang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Kondisi Tanaman Kiambang Pada Tahap Aklimatisasi

Waktu Aklimatisasi (hari)	Kondisi Tanaman pada Tahap Aklimatisasi	Gambar
1	Kondisi tanaman kiambang segar dengan daun berwarna hijau dengan akar yang menjuntai	
2	Hari ke- 2, tanaman kiambang masih segar baik daun maupun akar	
3	Hari ke- 3, daun masih segar berwarna hijau dengan akar yang menjuntai ke dalam air	

Tabel 4.3 Nilai Suhu Air Limbah

Hari	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 5
Hari ke- 0	23,6 °C	23,6°C	23,6°C	23,6°C	23,6°C
Hari ke- 1	23,3°C	23,3°C	23,6°C	24,1°C	24,1°C
Hari ke- 2	23,3°C	23,6°C	24,1°C	24,1°C	23,4°C
Hari ke- 3	22,7°C	23,1°C	23,8°C	24°C	23,7°C
Hari ke- 4	23,2°C	23,6°C	23,9°C	24°C	23,7°C
Hari ke- 5	23,6°C	23,6°C	24,1°C	24,1°C	24°C
Hari ke- 6	22,8°C	23,4°C	23,6°C	23,6°C	23,6°C
Hari ke- 7	23,6°C	23,6°C	23,6°C	23,2°C	23,2°C
Hari ke- 8	23,8°C	23,8°C	23,6°C	23,8°C	23,2°C
Hari ke- 9	23,3°C	23,1°C	23,2°C	23,3°C	23,3°C
Hari ke- 10	23,4°C	23,6°C	23,9°C	23,9°C	23,7°C
Hari ke- 11	23,7°C	23,8°C	23,9°C	23,9°C	23,8°C
Hari ke- 12	23,8°C	24,1°C	24,1°C	23,8°C	24°C

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui suhu air limbah terendah sebesar 22,7°C, dan suhu air limbah tertinggi sebesar 24,1°C. Rata-rata dari hasil pengukuran tersebut telah diperoleh sebesar 23,6°C. Kiambang dapat bertahan hidup pada suhu air maksimal 30°C, yang artinya pada penelitian ini suhu air termasuk dalam suhu air yang optimum.

Suhu air limbah setiap harinya beragam, faktor utamanya yaitu suhu lingkungan. Perubahan cuaca yang terjadi pada waktu pengukuran suhu juga dapat mempengaruhi nilai temperatur dari air limbah tersebut. Menurut (Salisbury dan Ross, 1995 dalam Nurfitadkk, 2017), suhu udara dan atau suhu tanah atau air berpengaruh terhadap tanaman melalui proses metabolisme dalam tubuh tanaman, yang tercermin dalam berbagai karakter seperti laju pertumbuhan dan perkecambahan.

4.2.3 Nilai Suhu Ruangan

Suhu ruangan diukur untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penyerapan logam berat merkuri dengan tanaman kiambang. Berikut hasil dari pengukuran suhu ruangan selama proses fitoremediasi.

Tabel 4.4 Suhu Ruangan

Hari	Suhu ruangan (°C)
Hari ke- 0	25,3°C
Hari ke- 1	25,4°C
Hari ke- 2	24,9°C
Hari ke- 3	25,1°C
Hari ke- 4	25,7°C
Hari ke- 5	25,5°C
Hari ke- 6	25,2°C
Hari ke- 7	24,8°C
Hari ke- 8	25,7°C
Hari ke- 9	24,5°C
Hari ke- 10	24,8°C
Hari ke- 11	25,5°C
Hari ke- 12	25,7°C

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa suhu ruangan selama fitoremediasi berkisar antara 24,5 sampai 25,7°C. Tanaman akan tumbuh dengan optimal pada suhu 20 - 30°C (Hibatuallah, 2019).

Tanaman kiambang dapat mengalami mati ketika terpapar suhu < -3°C atau > 43°C selama 2-3 jam (Whiteman, 1991). Pada penelitian ini dapat dikatakan bahwa tanaman berada pada suhu ruangan yang optimal, karena suhu ruangan tidak kurang dari 24,5°C dan tidak lebih dari 30°C.

4.2.1 Nilai Kelembaban

Kelembaban diukur untuk mengetahui pengaruhnya terhadap proses fitoremediasi. Berikut hasil pengukuran nilai kelembaban selama proses fitoremediasi.

Tabel 4.5 Nilai Kelembaban

Hari	Kelembaban (%)
Hari ke- 0	65,5%

mengalami kenaikan menjadi 8,2 mg/l dan pada pengambilan konsentrasi Hg pada H₁₂ mengalami penurunan menjadi 0,023 mg/l. Sedangkan pada kelompok perlakuan pada reaktor 2,3,4 dan 5 pada awal penelitian didapatkan konsentrasi Hg sebesar 9,8 mg/l, kemudian pada pengambilan konsentrasi Hg pada H₄ mengalami penurunan yang secara berurutan menjadi 5,6 mg/l, 4,2 mg/l, 3,9 mg/l dan 3,1 mg/l. Kemudian pada pengambilan konsentrasi Hg pada H₈ mengalami kenaikan yang secara berurutan menjadi 7,4 mg/l, 7,2 mg/l, 6,8 mg/l dan 6,4 mg/l. Selanjutnya pengambilan konsentrasi Hg pada H₁₂ mengalami penurunan secara berurutan menjadi 0,019 mg/l, 0,015 mg/l, 0,010 mg/l dan 0,006 mg/l.

Kenaikan konsentrasi pada H₈ diakibatkan oleh tanaman kiambang yang mengalami titik jenuh. Kejenuhan pada tanaman mengakibatkan ketidak mampuan suatu tanaman dalam menyerap logam merkuri, yang menyebabkan pelepasan kembali logam berat yang telah diserap ke lingkungan (Yuliani, 2019). Meskipun pada H₈ mengalami kejenuhan, pada H₁₂ tanaman telah melewati titik jenuh yang ditandai dengan terjadinya penurunan konsentrasi logam merkuri pada setiap reaktor. Setelah terjadi peningkatan logam oleh zat khelat, logam akan ditranslokasikan menuju organ lainnya dan disimpan pada vakuola sehingga tanaman masih hidup dengan baik dan mampu menyerap logam berat kembali (Aulia, 2020).

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dalam menurunkan kadar merkuri (Hg) menggunakan tanaman kiambang belum memenuhi baku mutu yang sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Air Sungai Kelas I. Adapun data hasil uji laboratorium merkuri (Hg) terdapat pada **Lampiran I**.

4.4 Efisiensi Tanaman Kiambang Terhadap Penyisihan Hg

Kiambang meremoval logam berat merkuri dengan mekanisme rizofiltrasi dan fitoekstraksi. Kiambang dapat mengakumulasi logam pada akar dan daunnya tanpa mempengaruhi regulasi pertumbuhannya. Sebagian besar logam berat diakumulasikan lebih besar pada akar daripada batang

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa efisiensi tanaman kiambang terhadap penyisihan merkuri (Hg) dalam air limbah artifisial pada semua reactor lebih dari 99%. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman kiambang mampu menyerap logam berat merkuri dikarenakan memiliki sifat hiperakumulator. Tanaman kiambang menyerap logam berat merkuri dengan mekanisme fitoekstraksi, karena kiambang menyerap melalui akar yang kemudian ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman. Fitoekstraksi merkuri dapat terjadi karena ion-ion merkuri (Hg) termasuk kelompok ion yang mobile sehingga lebih mudah untuk ditranslokasi ke tajuk tanaman. Merkuri merupakan ion yang mudah untuk disimpan di dalam tempat-tempat penyimpanan seperti vakuola sub seluler, sel epidermal daun dengan kapasitas yang tinggi pada tanaman hiperakumulator (Hidayati, 2009).

Reaktor 1 atau kontrol juga mengalami removal Hg sebesar 99,76% meskipun tanpa adanya tanaman kiambang, hal ini dikarenakan sifat merkuri sama dengan sifat kimia yang stabil terutama di lingkungan sedimen, yaitu mengikat protein, mudah menguap dan mengemisi atau melepaskan uap merkuri beracun walaupun pada suhu ruang (UNEP, 2018).

Penelitian serupa juga dilakukan oleh (Pribadi, 2016) dimana tanaman kiambang telah melalui penyisihan COD, nitrit, dan nitrat didapatkan nilai efisiensi sebesar 79%, 97%, dan 34% yang dilakukan selama 12 hari. Pada penelitian ini *Salvinia molesta* menunjukkan toleransi dan akumulasi merkuri yang tinggi. Berdasarkan kriteria tersebut maka *Salvinia molesta* dapat dikategorikan sebagai tanaman berpotensi sebagai akumulator merkuri.

4.5 Analisa perbedaan variasi jumlah tanaman terhadap kadar logam berat merkuri (Hg)

Data yang telah diperoleh selama penelitian kemudian dianalisis dengan menggunakan *One Way Anova*, setelah dilakukan uji *Saphiro-Wilk*. Uji *Saphiro-Wilk* digunakan karena merupakan metode uji normalitas yang efektif dan valid digunakan untuk sampel berjumlah kecil (Statistikian, 2013).

hasil uji homogenitas, dapat diketahui hasil uji *One Way Anova* yang dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 5.2 Uji ANOVA ONE WAY

ANOVA

hasil uji

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1047.875	2	523.938	.436	.653
Within Groups	20414.125	17	1200.831		
Total	21462.000	19			

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Berdasarkan output diatas sebesar $0,653 > 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini H_0 diterima dan H_1 ditolak, yang artinya tidak adanya perbedaan terhadap variasi jumlah tanaman kiambang dalam meremoval logam berat merkuri (Hg).

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian adalah:

1. Kemampuan tanaman kiambang dalam meremediasi logam berat Hg dalam air limbah dengan waktu paparan 12 hari mampu menurunkan Hg dari konsentrasi awal 9,8 mg/l menjadi 0,006 hingga 0,023 mg/l.
2. Efisiensi tanaman kiambang dalam meremoval logam berat Hg sebesar 99,76% hingga 99,9 %.
3. Hasil analisis data menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan penurunan logam berat Hg dengan variasi jumlah tanaman sebanyak 100 gram dan 200 gram tanaman dalam waktu 12 hari.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian ini adalah:

1. Menambah variasi masa tanaman dan variasi waktu kontak
2. Menambah variasi tumbuhan air lain terhadap logam berat merkuri agar dapat dibandingkan dengan tanaman kiambang.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, N. (2020). *Rancang Bangun Sediment Battery dengan Metode Sediment Microbial Fuel Cell Berbahan Baku Sedimen Hutan Bakau Margomulyo, Balikpapan* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Kalimantan).
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., Yavas, I., Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., Yavas, I., Unay, A., Abdel-Daim, M. M., Bin-Jumah, Hasanuzzaman, & Kalderis. (2020). 2020. Application of Floating Aquatic Plants in Phytoremediation of heavy Metals Polluted Water: A Review. *Sustainability*, 12.
- Amalia, D. (2016). *Uji Aktivitas Antiinflamasi Ekstrak Etanol Daun Pare (Momordica Charantia L.) Terhadap Mencit (Mus Musculus)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar).
- Baroroh, F., Handayanto, E., & Irawanto, R. (2018). Fitoremediasi air tercemar Tembaga (Cu) menggunakan salvinia molesta dan Pistia stratiotes serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman Brassica rapa. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 689-700.
- Cameselle, C., Chirakkara, R.A. and Reddy, K.R.(2013). Electrokinetic enhanced phytoremediation of soils: status and opportunities. *Chemosphere*, 93(4), pp.626-636.
- Edwards, R. S., & Coleman, K. S. (2013). Graphene film growth on polycrystalline metals. *Accounts of chemical research*, 46(1), 23-30.
- Filipus, R. A., Purwiyanto, A. I. S., & Agustriani, F. (2018). Bioakumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) pada Kerang Darah (Anadara Granosa) di Perairan Muara Sungai Lumpur Kabupaten Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan. *Maspri Journal: Marine Science Research*, 10(2), 131-140.
- Herlambang, A., & Suryati, T. (2018). Teknologi fitoremediasi untuk pemulihan

Lahan tercemar minyak. In *Prosiding Seminar Nasional Dan Konsultasi Teknologi Lingkungan, September* (pp. 115-124).

Hibatullah, H. F. (2019). *Fitoremediasi Limbah Domestik (Grey Water) Menggunakan Tanaman Kiambang (Salvinia molesta) Dengan Sistem Batch* (Doctoral dissertation, UIN Sunan Ampel Surabaya).

Hidayati, A. (2004). Senyawa Insektisida Dari Tanaman. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 1(1), 23-27

Hidayati, F., Yonariza, Y., Nofialdi, N., & Yuzaria, D. (2020). Analisis Keuntungan Dan Kendala Penerapan Konsep Sistem Pertanian Terpadu (SPT) di Indonesia. *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis) : Jurnal Agribisnis dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian*, 5 (3), 74 - 83.

Hidayati, N., Syarif, F., & Juhaeti, T. (2009). Pemanfaatan *Salvinia Molesta* DS Mitchell, Akumulator Merkuri di Sawah Tercemar Limbah Penambangan Emas. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 10(3), 249-256.

Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2).

Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Jakarta.

Kumar, S., Meena, R. S., Singh, R. K., Munir, T. M., Datta, R., Danish, S., ... & Kumar, S. (2021). Soil microbial and nutrient dynamics under different sowings environment of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) in rice based cropping system. *Scientific Reports*, 11(1), 1-11.

Lestari, P., dan Trihadiningrum, Y.(2019). The Impact of Improper Solid Waste Management to Plastic Pollution in Indonesian Coast and Marine Environmental Marine Pollution Buletin, 149(1):110505

Liu, S., Yang, B., Liang, Y., Xiao, Y., & Fang, J. (2020). Prospect of phytoremediation combined with other approaches for remediation of heavy metal-polluted soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), 16069–16085.

- Marisa, H., & Estuningsih, S. P. (2017). Hormesis phenomena of some parameter Aspect in usage of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) for phytoremediation process of petroleum liquid waste. *BIOVALENTIA: Biological Research Journal*, 3(1), 45-50.
- Nurafifah, S. (2016). Pengaruh Kombinasi Kiambang (*Salviana Molesta*) Dan Zeolit Terhadap Penurunan Kadmium (Cd). Universitas Airlangga Surabaya.
- Nurfita, A. E., Kurniati, E., & Haji, A. T. S. (2017). Efisiensi Removal Fosfat (PO₄³⁻) Pada Pengolahan Limbah Cair Laundry dengan Fitoremediasi Kiambang (*Salvinia natans*). *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 4(3), 18-26.
- Permadi, R. (2019). Analisis Kualitas Pelayanan Pasien Rawat Inap Kelas III Peserta BPJS Kesehatan di RSUD Gunung Jati Cirebon.
- Pribadi, R. N., Zaman, B., & Purwono, P. (2016). *Pengaruh Luas Penutupan Kiambang (*Salvinia Molesta*) Terhadap Penurunan COD, Amonia, Nitrit, Dan Nitrat Pada Limbah Cair Domestik (Grey Water) Dengan Sistem Kontinyu* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- PP No. 22 Tahun 2021. (t.t.). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021*.
- Qutb, S. (2004). *A Child from the Village*. Syracuse University Press.
- Rahadian, R., Sutrisno, E., & Sumiyati, S. (2017). Efisiensi penurunan COD dan TSS dengan fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L) Studi Kasus: Limbah Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), 1-8.
- Rahmawati, A., Zaman, B., & Purwono, P. (2016). *Kemampuan Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) dalam Menyisihkan Bod dan Fosfat pada Limbah Domestik (Grey Water) dengan Sistem Fitoremediasi secara Kontinyu* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- Rondonuwu, S. B. (2014). Fitoremediasi limbah merkuri menggunakan tanaman

- Dan sistem reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 52-59.
- Sekarwati, N. (2014). *Dampak Logam Berat Cu (Tembaga) dan Ag (Perak) pada Limbah Cair Industri Perak Terhadap Kualitas Air Sumur dan Kesehatan Masyarakat serta Upaya Pengendaliannya di Kota Gede Yogyakarta* (Doctoral dissertation, UNS (Sebelas Maret University)).
- Sidauruk, L., & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi lahan tercemar di Kawasan Industry Medan dengan tanaman hias. *Pertanian Tropik*, 2(2), 157093.
- Simatupang, I., Fatonah, S., & Iriani, D. (2015). Pemanfaatan Kiambang (*Salvinia Molesta* D. Mitch) untuk Fitoremediasi Limbah Organik Pulp dan Karats. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(1), 130-143.
- Siotto M, Squitti R. Copper imbalance in alzheimer's disease: Overview of the Exchangeable copper component in plasma and the intriguing role albumin plays. *Coordination Chemistry Reviews*. 2018;37(1):86–95.
- Syamsudin, A. N., & Achmadi, S. S. (2005). Bioakumulasi Logam Berat oleh Beberapa Galur *Bradyrhizobium japonicum*. *HAYATI Journal of Biosciences*, 12(3), 108-111.
- Timalsina, H., Gyawali, T., Ghimire, S., & Paudel, S. R. (2022). Potential application of Enhanced phytoremediation for heavy metals treatment in Nepal. *Chemosphere*, 306, 135581.
- UNEP. (2018). Global mercury assessment. Retrieved from <https://www.unenvironment.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018>
- Wulandari, S., & Sibarani, L. (2014). Study of Gold Phytomining from Tailing of Amalgamation Using Wild Cassava (*Manihot glaziovii* L.). *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 10(1), 44-53.
- Yan, A., Yamin, W., Swee, N. T., Mohamed, L. M. Y., Subhadip, G., Dan Zhong, C. 2020. Phytoremediation : A Promising Approach for Revegetation og Heavy Metal-Poluted Land. *Frontiers in Plant Science*. 11(1) : 1-15.