

**KEMAMPUAN DAN RESPON PERTUMBUHAN TANAMAN DAUN
TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*) DALAM MENGABSORBSI LOGAM
BERAT TEMBAGA (Cu)**

SKRIPSI



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

OLEH

ALFIN FATWA MEI AFIFUDIN

H71218015

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

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alfin Fatwa Mei Afifudin

NIM : H71218015

Program Studi : Biologi

Angkatan : 2018

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiasi dalam penulisan skripsi saya yang berjudul **“KEMAMPUAN DAN RESPON PERTUMBUHAN TANAMAN DAUN TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*) DALAM MENGABSORBSI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu).”** Apabila saya nanti terbukti melakukan tindakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 12 Januari 2022

Yang menyatakan



Alfin Fatwa Mei Afifudin

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi

KEMAMPUAN DAN RESPON PERTUMBUHAN TANAMAN DAUN
TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*) DALAM MENGABSORBSI LOGAM BERAT
TEMBAGA (Cu).

Diajukan oleh:

Alfin Fatwa Mei Afifudin

NIM: H71218015

Telah diperiksa dan disetujui

Di Surabaya, 12 Januari 2022

Dosen Pembimbing Utama



Eva Agustina, M.Si

NIP. 198908302014032008

Dosen Pembimbing Pendamping



Nirmala Fitria Firdhausi, M.Si.

NIP. 198506252011012010

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

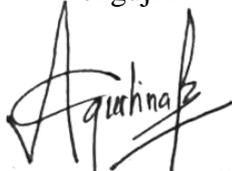
Skripsi Alfin Fatwa Mei Afifudin

Ini telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi

Surabaya, 12 Januari 2022

Mengesahkan,
Dewan Penguji

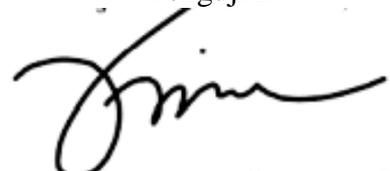
Penguji I



Eva Agustina, M.Si.

NIP. 198908302014032008

Penguji II



Nirmala Fitria Firdhausi, M.Si.

NIP. 198506252011012010

Penguji III



Rony Irawanto, S.Si., M.T.

NIP. 197801082006041005

Penguji IV



Drs. Abdul Manan, M.Pd.I

NIP. 197006101998031002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan
Teknologi UIN Sunan
Ampe Surabaya




Prof. Dr. Hj. Evi Fatimatur Rusydiyah, M.Ag.
NIP. 197312272005012003



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 : Alfin Fatwa Mei Afifudin
NIM : H71218015
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ BIOLOGI
E-mail address : alfinfatwa@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 :

KEMAMPUAN DAN RESPON PERTUMBUHAN TANAMAN DAUN TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*) DALAM MENGABSORBSI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu).

Beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalihmedia/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.

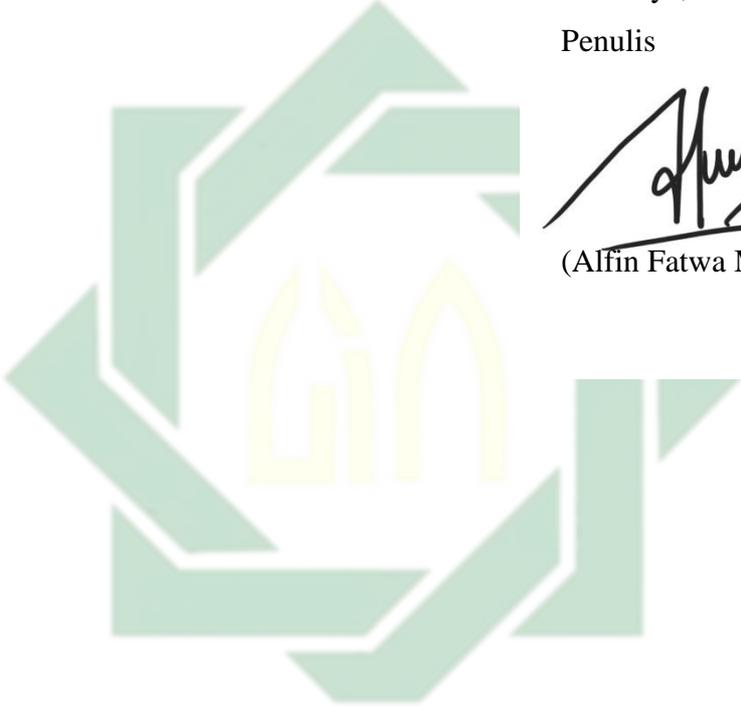
Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 12 Januari 2022

Penulis



(Alfin Fatwa Mei Afifudin)



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRAK

KEMAMPUAN DAN RESPON PERTUMBUHAN TANAMAN DAUN TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*) DALAM MENGABSORBSI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu).

Banyaknya kegiatan pertambangan dan industri yang dilakukan dengan tujuan memajukan perekonomian negara, juga memiliki dampak buruk terhadap lingkungan, salah satunya ialah pencemaran logam berat tembaga (Cu) di perairan. Berbagai cara dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut, diantaranya ialah dengan menggunakan tumbuhan sebagai alat untuk mengurangi polutan di lingkungan, cara ini biasanya disebut teknik fitoremediasi. Salah satu tanaman yang berpotensi fitoremediasi logam Cu ialah tanaman akuatik daun tombak (*Sagittaria lancifolia*). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dan respon tanaman daun tombak dalam mengabsorpsi logam tembaga (Cu). Metode yang digunakan ialah metode eksperimental dengan empat perlakuan (kontrol; 1 mg/L; 2 mg/L; dan 3 mg/L), tiap perlakuan dilakukan dengan tiga kali ulangan, dan waktu detensi diamati selama 2 minggu dan 4 minggu, sehingga terdapat delapan satuan percobaan. Rancangan penelitian yang digunakan ialah Rancangan Acak Lengkap. Hasil pengujian menunjukkan kadar logam Cu yang terserap oleh masing-masing tanaman ialah 0,44 mg/L; 0,72 mg/L; 1,19 mg/L pada waktu 2 minggu, dan 0,6 mg/L; 1,4; 2,01 mg/L pada waktu 4 minggu. Sedangkan nilai efektifitasnya ialah 44%, 36%, dan 40% pada perlakuan 2 minggu, dan 60%, 70%, 67% pada perlakuan 4 minggu. Lebih lanjut, berdasarkan perhitungan faktor translokasi menunjukkan hasil 0,57; 0,60; dan 0,57 pada perlakuan 2 minggu, dan 1,5; 2,33; dan 1,54 pada perlakuan 4 minggu. Selain itu, tanaman daun tombak tidak memberikan respon negatif terhadap paparan logam berat Cu. Hal ini terbukti dengan kondisi morfologinya yang masih terlihat baik. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa tanaman daun tombak bersifat hiperakumulator terhadap logam berat tembaga (Cu) dalam waktu 4 minggu.

Kata kunci: fitoremediasi, logam berat, tembaga (Cu), daun tombak, *Sagittaria lancifolia*, hiperakumulator.

ABSTRACT

ABILITY AND GROWTH RESPONSE OF LANCELEAF ARROWHEAD (*Sagittaria lancifolia*) IN ABSORBING HEAVY METAL COPPER (Cu).

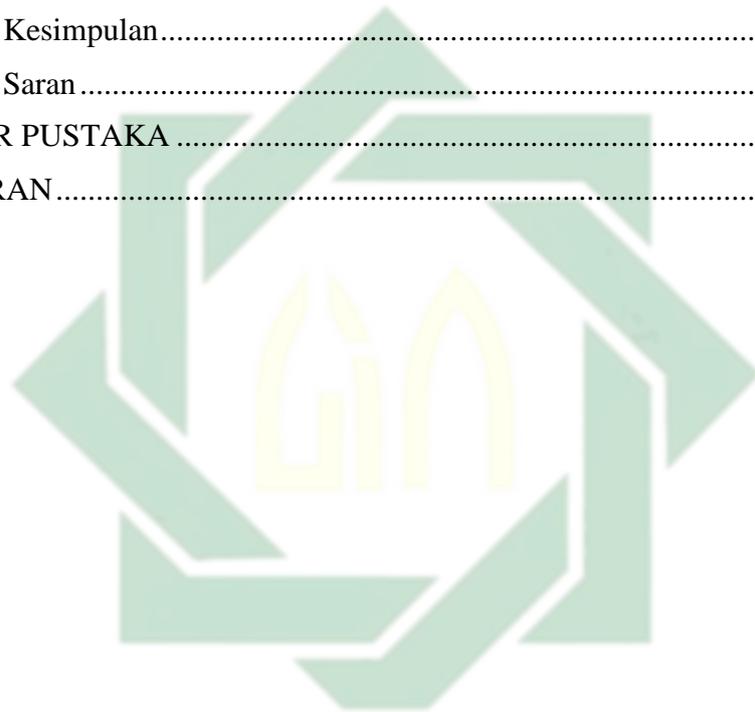
Many activities of mining and industrial activities carried out with the aim of advancing the country's economy also has a negative impact on the environment, one of which is the pollution of heavy metal copper (Cu) in the waters. Various ways can be done to overcome these problems, including using plants as a tool to reduce pollutants in the environment, this method is usually called a phytoremediation technique. One of the plants that have the potential for phytoremediation of Cu metal is the aquatic plant of lanceleaf arrowhead (*Sagittaria lancifolia*). Therefore, this study aims to determine the ability and response of spear leaf plants in absorbing copper (Cu). The method used is an experimental method with four treatments (control; 1 mg/L; 2 mg/L; and 3 mg/L), each treatment was repeated three times, and the detention time was observed for 2 weeks and 4 weeks, so that there were eight experimental units. The research design used was a completely randomized design. The test results showed the levels of Cu absorbed by each plant were 0.44 mg/L; 0.72 mg/L; 1.19 mg/L at 2 weeks, and 0.6 mg/L; 1.4; 2.01 mg/L at 4 weeks. While the effectiveness values were 44%, 36%, and 40% in the 2-week treatment, and 60%, 70%, 67% in the 4-week treatment. Furthermore, based on the calculation of the translocation factor, the results showed 0.57; 0.60; and 0.57 at the 2-week treatment, and 1.5; 2.33; and 1.54 at 4 weeks of treatment. In addition, spear leaf plants did not give a negative response to exposure to heavy metal Cu. This is evidenced by the morphological condition that still looks good. Based on these results, it can be seen that spear leaf plants are hyperaccumulator to heavy metal copper (Cu) within 4 weeks.

Keywords: phytoremediation, heavy metal, copper (Cu), lanceleaf arrowhead, *Sagittaria lancifolia*, hyperaccumulator plant.

DAFTAR ISI

Pernyataan Keaslian	ii
Halaman Persetujuan.....	iii
Pengesahan Tim Penguji Skripsi.....	iv
Lembar Pernyataan Persetujuan Publikasi	v
Kata Pengantar	vi
Abstrak	viii
Abstract	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Lampiran	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	11
1.3 Tujuan Penelitian.....	11
1.4 Manfaat Penelitian.....	12
1.5 Batasan Masalah.....	12
BAB II KAJIAN PUSTAKA	13
2.1 Pencemaran Air	13
2.2 Logam Berat Tembaga (Cu).....	15
2.3 Teknologi Fitoremediasi.....	17
2.4 Tumbuhan Hiperakumulator	21
2.5 Tanaman Daun Tombak (<i>Sagittaria lancifolia</i>)	24
2.6 Penyerapan Logam Berat Cu oleh <i>Sagittaria lancifolia</i>	26
2.7 <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS).....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Rancangan Percobaan.....	33
3.2 Waktu dan Tempat	33
3.3 Alat dan Bahan	34
3.4 Variabel Penelitian	34
3.5 Tahapan Penelitian	35

3.6	Analisis Data	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	<i>Range Finding Test (RFT)</i>	45
4.2	Parameter Kualitas Lingkungan	52
4.3	Kemampuan Absorpsi Tanaman	55
4.4	Respon Pertumbuhan Tanaman	65
4.5	Integrasi Keislaman	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		76
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		78
LAMPIRAN.....		89



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

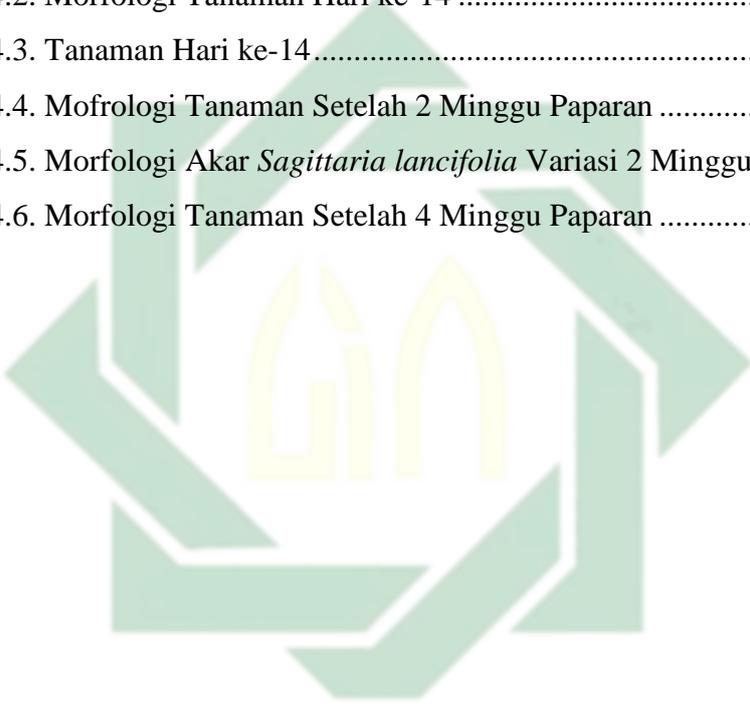
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Waktu Penelitian.....	34
Tabel 4.1. Nilai pH RFT	46
Tabel 4.2. Nilai TDS RFT.....	48
Tabel 4.3. Suhu Air Media.....	49
Tabel 4.4. Kadar Cu dalam Air dan Tanaman	56
Tabel 4.5. Kadar Cu pada Akar.....	57
Tabel 4.6. Kadar Cu pada Tajuk	58
Tabel 4.7. Logam tersisih dan Total logam.....	59
Tabel 4.8. Faktor Translokasi.....	61
Tabel 4.9. Laju Penyerapan.....	62
Tabel 4.10. Efektifitas Penyerapan	63
Tabel 4.11. Daya Penyisihan.....	64
Tabel 4.12. Biomassa Tanaman	66
Tabel 4.13. Jumlah Daun	68

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mekanisme fitoremediasi logam berat	21
Gambar 2.2. Tanaman daun tombak (<i>Sagittaria lancifolia</i>)	21
Gambar 2.3. Respon sel tumbuhan terhadap logam	21
Gambar 4.1. Morfologi Tanaman Hari ke-1	50
Gambar 4.2. Morfologi Tanaman Hari ke-14	50
Gambar 4.3. Tanaman Hari ke-14.....	50
Gambar 4.4. Morfologi Tanaman Setelah 2 Minggu Paparan	70
Gambar 4.5. Morfologi Akar <i>Sagittaria lancifolia</i> Variasi 2 Minggu.....	71
Gambar 4.6. Morfologi Tanaman Setelah 4 Minggu Paparan	71



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Larutan Kerja RFT	88
------------------------------------------------	----



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan industri bagi negara berkembang termasuk Indonesia ialah salah satu penggerak utama dalam upaya pemakmuran dan peningkatan ekonomi masyarakat, di antaranya ialah industri tambang, tekstil, pupuk kimia, elektroplating, dan pestisida kimia. Namun, pesatnya kegiatan pembangunan dan industri juga memiliki dampak yang kurang baik terhadap kualitas lingkungan, salah satunya ialah adanya produk buangan yang dapat membahayakan keberlangsungan hidup organisme dan kualitas alam di sekitar kegiatan industri. Adanya *output* berupa limbah, akan berbahaya dan merusak lingkungan jika tidak diolah terlebih dahulu sebelum limbah tersebut dibuang. Hal ini dikarena limbah tersebut terutama yang berupa cairan sangat mudah untuk masuk ke dalam lingkungan. Akibat dari masuknya limbah tersebut ke dalam lingkungan, akan menyebabkan turunnya kualitas lingkungan atau dikatakan telah tercemar. Salah satu ekosistem yang banyak dijumpai tersemar adalah ekosistem perairan (Afifudin & Irawanto, 2021). Sedangkan menurut Fitria (2014), air termasuk dalam sumber daya alam vital dan terlampau penting dalam kehidupan hampir semua makhluk hidup.

Adanya pencemaran air, sebagian besar disebabkan oleh adanya kegiatan manusia. Padahal sejatinya manusia berkewajiban untuk melestarikan dan merawat alam, karena manusia telah ditetapkan menjadi

khalifah di dunia. Sebagaimana telah tertulis pada Alquran surat Al-Baqarah [2] ayat 30, yakni:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۗ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَن يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ (٣٠)

Artinya: Artinya, “(Ingat) ketika Tuhanmu berkata kepada malaikat, ‘Aku ingin menjadikan khalifah di bumi.’ Mereka bertanya, ‘Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah di sana? Padahal, kami bertasbih memuji dan menyucikan nama-Mu.’ Dia berkata, ‘Sungguh, Aku mengetahui apa yang tidak kalian ketahui.’” (Surat Al-Baqarah ayat 30).

Pada umumnya, air dikatakan tercemar jika terdapat zat-zat pencemar (polutan) yang terkandung di dalamnya, seperti limbah detergen hasil dari kegiatan rumah tangga dan limbah logam berat hasil dari industri. Adapun sifat dari logam berat adalah toksik, yang artinya logam berat berpotensi untuk menyebabkan gangguan kesehatan apabila logam tersebut terakumulasi dalam jangka waktu yang lama didalam tubuh suatu organisme, seperti keracunan, menurunnya fungsi fisiologi, dan gangguan metabolisme tubuh (Rosihan, 2017). Menurut Putranto (2011), kadar logam berat di dalam tubuh yang melebihi ambang batas dan tersimpan dalam jangka waktu yang lama, bisa berpotensi menyebabkan kematian pada makhluk hidup.

Efek yang ditimbulkan jika mengonsumsi logam berat sangat berbahaya, terlebih jika terakumulasi dalam kadar yang tinggi dan dalam waktu yang lama. Hal ini tentunya akan membahayakan masyarakat yang sebagian besar aktivitasnya bergantung pada lingkungan sekitar. Seperti yang telah dijelaskan oleh Mokodongan et al., (2014), bahwa banyak aktivitas makhluk hidup yang dilakukan pada sepanjang aliran sungai, di antaranya ialah pada sektor perikanan, pertanian, industri, maupun aktivitas yang lain. Masyarakat yang melakukan aktivitas tersebut, tentu akan sangat berisiko terpapar limbah terutama logam berat. Sebab, masuknya logam berat ke dalam lingkungan juga bisa melalui air dalam tanah, seperti yang dijelaskan oleh Sekarwati, (2014), bahwa limbah cair yang bersifat berbahaya akan masuk ke dalam tanah sehingga nantinya akan mencemari tanah dan juga akan mengkontaminasi air pada sumur masyarakat. Adapun jenis limbah anorganik hasil dari kegiatan industri yang umum ditemukan pada badan perairan ialah jenis logam berat beracun seperti tembaga (Cu), kromium (Cr), merkuri (Hg), timbal (Pb), aluminium (Al), seng (Zn), dan nikel (Ni) (Zubayr, 2009). Alasan yang mendasari bahayanya logam berat ialah karena logam berat tidak bisa dihancurkan (*non-degradable*) oleh suatu makhluk hidup, sehingga akan terakumulasi ke lingkungan (Rosihan, 2017)

Di antara banyaknya logam berat yang mencemari perairan, logam tembaga (Cu) merupakan salah satu jenis logam berat yang memiliki karakter toksik dan berbahaya yang banyak terdapat di lingkungan perairan (Filipus, 2018). Limbah Cu umumnya dihasilkan oleh industri

tekstil, manufaktur, dan elektroplating atau pelapisan logam, contohnya di Kotagede yang merupakan kota yang terkenal dengan industri elektroplating. Ironisnya, Sekarwati, (2014) telah melaporkan bahwa limbah elektroplating tersebut biasanya langsung dibuang di sekitar lokasi industri, seperti di sungai maupun parit yang nantinya akan terhubung dengan sungai yang lebih besar. Selain di Kotagede, Rukmi, (2019) juga telah memaparkan bahwa di wilayah pesisir pantai di Kota Lamongan juga terdapat kontaminan logam berat tembaga (Cu), yang umumnya berasal dari industri di sekitar pantai, seperti pabrik galangan kapal, pengalengan ikan, dan juga elektroplating. Selain itu, Yunasfi & Singh, (2019) telah melakukan identifikasi logam berat Pb dan Cu pada tumbuhan bakau *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* di perairan Belawan, adapun hasil dari penelitian tersebut, kadar Cu dalam tanaman bakau lebih tinggi daripada Pb, yakni kandungan Cu sebesar 358.707 mg/L sedangkan Pb 69,966 mg/L. Sekarwati, (2014) menambahkan bahwa di Kotagede terdapat kadar tembaga (Cu) sebesar 84,935 mg/L yang telah melampaui batas baku mutu kadar tembaga dalam perairan, yakni sebesar 0,6 mg/L.

Pada dasarnya, tembaga (Cu) merupakan logam esensial yang ada dalam tubuh semua makhluk hidup termasuk manusia. Biasanya tembaga masuk ke dalam tubuh melalui makanan, minuman, maupun suplemen lain yang dikonsumsi makhluk hidup (Siotto & Squitti, 2018). Aqli, (2019) menambahkan bahwa logam Cu diperlukan tubuh dalam konsentrasi yang sangat rendah untuk optimalisasi fungsi metabolisme dan juga pertahanan dari radikal bebas. Namun, kadar Cu yang tinggi akan bersifat toksik

(beracun) dan mengganggu proses metabolisme itu sendiri. Hal ini sejalan dengan penelitian Siotto & Squitti, (2018) yang memaparkan bahwa kadar Cu yang melebihi ambang batas dalam tubuh dapat menyebabkan proses metabolisme terganggu, sehingga menyebabkan timbulnya beberapa penyakit, di antaranya ialah parkinson dan diabetes. Selain pada manusia, Cu juga merupakan logam esensial bagi tumbuhan dalam bentuk Cu^{2+} yang berperan pada proses oksidasi reduksi dan pembentukan enzim (Napitupulu M, 2008)

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan pencemaran logam berat yang terdapat di perairan, adalah dengan fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan suatu teknik untuk mengembalikan kualitas suatu lingkungan yang telah tercemar oleh kontaminan atau polutan dengan menggunakan tumbuhan (Rondonuwu, 2014). Menurut Sidauruk & Sipayung, (2015), teknik fitoremediasi merupakan teknologi yang efektif, ekonomis, dan juga ramah lingkungan, sehingga dirasa mampu untuk dijadikan sebagai solusi dalam meremediasi lingkungan yang tercemar logam berat. Beberapa keunggulan dari fitoremediasi dibanding metode remediasi yang lain ialah biaya yang murah, perawatan tanaman yang mudah, dan kesediaan tanaman yang relatif melimpah (Herlambang, 2018). Selain itu, dengan menggunakan tanaman akan menambah nilai keindahan serta sebagai pemasok oksigen di udara. Pada ekosistem perairan, fitoremediasi tumbuhan akuatik juga sangat cocok untuk diterapkan dalam upaya meremediasi air yang tercemar. Hal ini berbanding lurus dengan banyaknya penelitian yang telah

mengkaji kemampuan tumbuhan akuatik dalam meremediasi polutan-polutan yang bersifat toksik dalam air (Hidayati, 2005). Hanya saja, tidak semua tumbuhan dapat mengabsorpsi polutan tersebut dalam jumlah yang banyak. Hidayati, (2020) telah menjelaskan bahwa pada dasarnya, banyak tumbuhan yang mampu menyerap logam berat di dalam tubuhnya, namun setiap tumbuhan memiliki batas toleransi terhadap logam yang berbeda-beda.

Telah banyak penelitian yang mengkaji kemampuan tumbuhan dalam fitoremediasi logam berat tembaga (Cu), diantaranya ialah oleh Estuningsih et al., (2013) dengan menggunakan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) yang efektif menyerap logam berat Cu dengan presentase peyerapan sebesar 81,68% pada air limbah konsentrasi 20 mg/L. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Raras et al., (2015) dengan hasil bahwa tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes*) mampu menurunkan kadar Cu dalam air yang tercemar dalam 4 minggu pada konsentrasi awal 4,48 mg/L menjadi 2,5 mg/L. Sama dengan penelitian sebelumnya, Baroroh et al., (2018) juga telah melakukan penelitian menggunakan tanaman *Pistia stratiotes* dan *Salvinia molesta* terhadap air yang tercemar logam tembaga (Cu) dengan kesimpulan bahwa tanaman *Salvinia molesta* dapat menurunkan kadar Cu dengan presentase 96% pada konsentrasi 2 mg/L dan dengan presentase 95% pada konsentrasi 5 mg/L, sedangkan tanaman *Pistia stratiotes* mampu menurunkan konsentrasi Cu dengan presentase 94% dalam 2 mg/L dan 90% dalam 5 mg/L. Selain itu, Wahwakhi, (2017) juga telah melakukan penelitian potensi tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dengan

hasil bahwa tumbuhan tersebut efektif untuk meremediasi logam berat Cu dengan mengakumulasiannya paling tinggi pada bagian akar tanaman. Penelitian kandungan logam Cu juga dilakukan oleh Lestari & Pratama, (2020) menggunakan tanaman rami (*Boehmeria nivea*) yang menunjukkan penurunan kadar logam Cu dalam tanah sampai > 50% dengan serapan tertingginya juga pada akar tanaman yakni sebesar 9,920 μm .

Pada penelitian fitoremediasi yang telah dilakukan sebelumnya, beberapa tanaman menunjukkan respon yang tidak baik. Contohnya pada tanaman *Pistia stratiotes* yang mengalami klorosis, yakni kondisi di mana warna daun pada tanaman berubah menjadi kuning bahkan putih yang disebabkan gagalnya pembentukan klorofil sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lambat. (Taufiq et al., 2008) Juga melaporkan terjadi gejala nekrosis atau kerusakan dan kematian sel, yakni tanaman mengalami perubahan warna pada daun sehingga berubah menjadi coklat, kering, dan berbintik sehingga menyebabkan rontoknya daun dan terjadi kematian pada tanaman (Firmansyah & Alfarisi, 2016). Tidak hanya itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Fatoni, (2020), dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) juga menunjukkan reaksi klorosis dan nekrosis di akhir pengamatannya. Pengamatan oleh Estuningsih et al., (2013) dengan menggunakan rumput dalam meremediasi tanah yang tercemar minyak bumi juga menunjukkan respon tanaman klorosis, daun mengkerut, dan pada akar tanaman mengalami reduksi. Dari beberapa kondisi kelainan fisiologis yang telah dipaparkan, dirasa perlu adanya kajian fisiologi berupa respon yang diberikan oleh

tanaman setelah terpapar logam berat, karena pada dasarnya kemampuan tanaman dalam mengakumulasi dan menyerap kontaminan bergantung pada jenis dan karakteristik dari masing-masing tanaman (Hidayati, 2020). Hal inilah juga yang mendasari tujuan dari adanya variasi konsentrasi pada penelitian ini, yakni ingin mengetahui pada konsentrasi berapakah proses penyerapan logam berat yang paling baik oleh tanaman. Umumnya, kadar Cu dalam tanaman ialah 5 mg/L, jika lebih dari itu akan berpotensi menyebabkan kematian pada tanaman.

Di samping adanya permasalahan fisiologis tersebut, penggunaan berbagai jenis tanaman dalam fitoremediasi logam berat tembaga (Cu) masih terbilang kurang beragam dan memiliki beberapa kekurangan. Seperti yang dilakukan oleh Haruna et al., (2012) menggunakan tanaman kangkung darat (*Ipome reptans*) yang merupakan tanaman pangan, sehingga dikhawatirkan terdapat logam tembaga (Cu) dalam tanaman tersebut dan berbahaya apabila dikonsumsi oleh manusia atau organisme lainnya. Oleh karena itulah, dirasa perlu untuk melakukan penelitian dengan menggunakan tumbuhan jenis lain yang sekiranya mampu untuk mengabsorpsi logam berat tembaga (Cu). Salah satunya ialah dengan menggunakan tumbuhan daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) karena tumbuhan ini memiliki beberapa keunggulan, di antaranya ialah tanaman ini tidak dikonsumsi, bisa hidup di air tawar maupun payau, banyak ditemukan di alam terutama sekitar sungai, dan juga pemanfaatan tanaman ini sampai saat ini hanya sebatas untuk tanaman hias saja (Dewi et al., 2018). Selain itu, morfologi daun tanaman ini yang memiliki tangkai daun

yang panjang serta berongga turut mendukung tanaman ini dalam pertahanannya saat terpapar logam berat. Di samping itu, hingga sekarang belum terdapat penelitian yang menggunakan tanaman *Sagittaria lancifolia* dalam meremediasi lingkungan yang tercemar logam berat tembaga (Cu). Penggunaan tanaman *Sagittaria lancifolia* juga dirasa mampu dijadikan sebagai agen dalam meremediasi logam berat tembaga (Cu), karena banyak penelitian terdahulu yang telah menggunakan tanaman jenis ini untuk meremediasi berbagai jenis polutan, seperti Chromium (Cr), minyak mentah, detergen, dan juga tanaman ini mampu untuk menurunkan kadar zat terlarut dalam air.

Penelitian fitoremediasi dengan menggunakan tanaman *Sagittaria lancifolia* salah satunya telah dilakukan oleh Dowty et al., (2001), dengan hasil bahwa tumbuhan *Sagittaria lancifolia* sangat efektif untuk dijadikan fitoremediator dalam lahan yang terkontaminasi minyak mentah. Selain itu, penelitian oleh Serang et al., (2018) juga menyebutkan bahwa tanaman air *Sagittaria lancifolia* memiliki potensi yang tinggi untuk dijadikan sebagai fitoremediator logam berat Chromium (Cr) karena mampu menurunkan kadar Cr dalam air yang tercemar dengan presentase 80,64% atau 4,032 ppm. *Sagittaria lancifolia* juga efektif dalam penurunan nilai TDS atau zat padat terlarut dalam air sebesar 174 mg/L (Kustiyaningsih & Irawanto, 2020). Percobaan menggunakan tanaman *Sagittaria lancifolia* juga telah diterapkan dengan pencemar detergen jenis LAS yang menunjukkan bahwa tanaman tersebut mampu menurunkan kadar LAS dalam air sebesar 81,53% dalam waktu 14 hari dengan konsentrasi 75 mg/L (Fitrihidajati et

al., 2020). Adistiara et al., (2019) juga telah melaporkan bahwa tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) efektif dalam meremediasi perairan tercemar limbah domestik detergen dengan konsentrasi paling efektif sebesar 0.1 g/L. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, telah diketahui bahwa tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) bisa dikatakan cukup efektif dalam meremediasi berbagai polutan pada berbagai ekosistem. Oleh karena itu, diharapkan tanaman ini juga mampu dan efektif untuk dijadikan agen fitoremediasi dalam lingkungan yang tercemar logam berat tembaga (Cu).

Adanya pemanfaatan tumbuhan sebagai agen fitoremediator lingkungan yang tercemar, pada dasarnya telah tertulis dalam Alquran Surat Luqman (31) ayat 10, yakni:

وَإَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Yang artinya: Dan Kami turunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik (10).

Kalimat “*Zauj karim*” pada ayat 10 dalam Surat Luqman tersebut memiliki arti tumbuhan yang baik, yakni tumbuhan yang tumbuh dengan subur dan juga memiliki berbagai manfaat (Shihab, 2002). Dari ayat tersebut dapat diambil pembelajaran bahwasannya Allah Swt telah menciptakan segala sesuatu yang selalu bermanfaat dan juga memiliki keunggulannya masing-masing. Salah satu di antara makhluk Allah yang bermanfaat adalah tumbuh-tumbuhan, karena banyak manfaat yang dapat diperoleh dari tumbuh-tumbuhan, baik itu oleh manusia maupun hewan. Allah Swt memiliki sifat Maha Mulia. Oleh karena itu, segala sesuatu

yang diciptakan-Nya memiliki sifat yang mulia, termasuk di dalamnya ialah tumbuh-tumbuhan(Qutb, 2004). Salah satu kemuliaan dari tumbuhan ialah mampu untuk dimanfaatkan dalam upaya restorasi lahan pada suatu lingkungan yang tercemar oleh polutan, termasuk diantaranya adalah logam berat. Salah satu jenis tumbuhan tersebut ialah *Sagittaria lancifolia* atau yang memiliki nama lokal tumbuhan daun tombak.

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan di atas, maka penelitian ini memiliki tujuan untuk mengkaji potensi dan kemampuan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam mengabsorpsi logam berat tembaga (Cu) dengan beberapa variasi konsentrasi, serta mengetahui respon adanya paparan logam Cu terhadap pola pertumbuhan tanaman *Sagittaria lancifolia* itu sendiri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan permasalahan pada penelitian ini adalah,

1. Bagaimana kemampuan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam mengabsorpsi logam berat tembaga (Cu)?
2. Bagaimana pengaruh paparan logam berat tembaga (Cu) terhadap respon pertumbuhan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Bedasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan di atas, maka tujuan pada penelitian ini adalah,

1. Mengetahui kemampuan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam mengabsorpsi logam berat tembaga (Cu).

2. Mengetahui pengaruh paparan logam berat tembaga (Cu) terhadap respon pertumbuhan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah,

1. Menambah khazanah pengetahuan bagi pembaca khususnya masyarakat umum mengenai pemanfaatan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) selain sebagai tanaman hias.
2. Hasil dari penelitian bisa untuk dijadikan sebagai salah satu upaya pengolahan lingkungan tercemar secara langsung, dan bisa diaplikasikan oleh masyarakat dalam upaya mengembalikan kualitas suatu lingkungan yang tercemar logam berat tembaga (Cu).
3. Memberikan informasi terhadap instansi terkait lingkungan seperti Dinas Lingkungan Hidup dan lembaga yang lain mengenai potensi dari tumbuhan daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam mengurangi kadar logam berat tembaga (Cu) di lingkungan akuatik.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Jenis tanaman yang digunakan sebagai fitoremediator ialah tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*).
2. Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi yakni 0 ppm, 1 ppm, 2 ppm, dan 3 ppm.
3. Logam yang diuji ialah logam tembaga (Cu).

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Air

Berdasar pada Undang-Undang Republik Indonesia No 23 Tahun 1997 yang membahas tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup dan berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 yang membahas tentang Pengelolaan Kualitas dan Pengendalian Pencemaran Air, makna dari pencemaran air merupa masuknya suatu zat, makhluk hidup, energi, atau komponen lain ke dalam suatu badan perairan yang disebabkan oleh adanya kegiatan manusia, sehingga dapat menurunkan kualitas air hingga tingkatan tertentu, sehingga air tersebut tidak dapat berfungsi lagi sebagaimana mestinya (Herlambang, 2018).

Penyebab terjadinya pencemaran air dapat di karenakan adanya zat buangan (limbah) dari berbagai kegiatan yang dilakukan manusia, seperti kegiatan industri, rumah rangka, pertanian, dan peternakan. Adapun menurut (Krisnawati et al., 2015) komponen- komponen penyebab air dapat berupa limbah padat, bahan organik dan olahan makanan, bahan anorganik, minyak, polusi thermal, dan zat kimia seperti sabun, insentisida dan zat pewarna. Selain itu, (Baroroh et al., 2018) menambahkan bahwa pencemaran air umumnya disebabkan oleh adanya zat berupa logam berat, hidrokarbon, radionuklida, pupuk, dan pestisida. Limbah anorganik seperti logam berat tidaklah sama dengan limbah organik, hal ini dikarenakan

logam tidak dapat terurai dan dapat dengan mudah di serap oleh makhluk hidup (Okunowo & Ogunkanmi, 2010)

Polutan berupa logam umumnya dihasilkan oleh berbagai macam industri, diantaranya ialah industri agrokimia yang menghasilkan logam berat Hg, Pb, Sn, dan Zn, industri electroplating (Cr, Cu, Ag, Ni, dan Zn), industri logam (Zn, Ni, dan Pb), industri cat (Al, Cl, Cu, Cr, Pb, dan Zn), Industri otomotif (Ni, Pb, Cu, dan Zn) dan masih banyak lagi jenis industri yang menghasilkan limbah berupa logam (Susanti et al., 2014). Kementerian Kependudukan dan Lingkungan Hidup juga telah menambahkan bahwa jenis toksisitas yang disebabkan logam berat terbagi menjadi 3 kelompok, yakni jenis logam dengan toksisitas tinggi berupa Hg, Cu, Pb, Cd, dan Zn, toksisitas sedang berupa Cr, Ni, dan Co, serta kelompok logam dengan toksisitas rendah berupa Mn dan Fe (Taguge et al., 2014).

Beberapa jenis logam yang umum mencemari lingkungan perairan telah dilaporkan oleh Hamzah & Priyadarshini, (2019) berupa tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), dan cadmium (Cd) yang kadarnya telah melampaui nilai ambang batas. Selain itu, terdapat beberapa jenis logam yang juga mencemari lingkungan, diantaranya ialah nikel (Ni) dan kromium (Cr) yang berasal dari pembuangan industri elektroplating (Mulyaningsih, 2013). Hamzah & Priyadarshini, (2019) telah menjelaskan bahwa dalam mengetahui adanya pencemaran pada suatu perairan dapat diketahui dengan beberapa parameter, diantaranya adalah:

- a. Secara fisik : nilai kekeruhan, suhu, warna, bau, dan rasa.

- b. Secara kimia : nilai pH dan kelarutas zat kimia yang lain.
- c. Secara biologis : jumlah dan diversitas organisme di air.

2.2 Logam Berat Tembaga (Cu)

Logam berat merupakan jenis unsur kimia yang memiliki berat jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 , terletak pada posisi kanan bawah system periodic unsur, memiliki nilai afinitas lebih tinggi terhadap unsur S dan umumnya memiliki nomor atom antara 22 sampai 97 dari periode 4 sampai 7. Logam berat merupakan senyawa yang bersifat bahaya karena dapat merusak lingkungan, serta jika terdapat dalam jumlah banyak pada suatu lingkungan dapat mempengaruhi ekosistem ekologis lingkungan tersebut (Setiawan et al., 2015). Salah satu diantara banyaknya jenis logam berbahaya yang bersifat toksik jika melebihi ambang batas ialah logam berat tembaga (Cu).

Tembaga adalah salah satu unsur logam transisi (golongan 11 B) dengan nomor atom 29. Massa atom relative $63,546 \text{ gram/mol}$, titik lebur $1084,6 \text{ }^\circ\text{C}$ dan titik didih $2567 \text{ }^\circ\text{C}$ (Alpian, 2020). Logam Cu merupakan logam esensial yang mana logam ini dibutuhkan oleh organisme namun dalam batas kadar yang rendah, yakni sebagai koenzim dalam metabolisme tubuh, namun jika kadarnya berlebihan akan bersifat berbahaya dan beracun (Rochyatun et al., 2006). Dibalik sifatnya yang beracun, tembaga juga memiliki berbagai manfaat, diantaranya ialah pada sector industri terutama insudtri pelapisan logam dan industri tekstil. Manfaat-manfaat dari tembaga telah dijelaskan oleh Sunardi dalam Alpian, (2020) yakni:

- a. Salah satu bahan dasar alat-alat listrik seperti kabel.
- b. Salah satu campuran logam seperti perunggu alnico, kuningan, monel, dan campuran logam lainnya.
- c. Senyawa CuSO_4 dapat dimanfaatkan untuk uji kemurnian alcohol, dan uji senyawa hidrokarbon yang mengandung gugus aldehid jika dicampur dengan pereaksi fehling A dan fehling B.
- d. Campuran Cu(OH)_2 dan CuSO_4 dapat digunakan sebagai obat anti serangga dan hama.

Air hasil kegiatan industri yang mengandung logam tembaga dapat menyebabkan pencemaran dan dikhawatirkan akan masuk kedalam tanah sehingga mengkontaminasi air tanah dan air sumur. Hal ini tentunya akan sangat berbahaya jika masyarakat memanfaatkan air tersebut untuk kegiatan sehari-hari, diantaranya seperti mandi, cuci, dan minum. Selain itu, sebuah penelitian oleh Sulistyono & Rokhmah, (2013) melaporkan adanya peningkatan kadar Cu pada saluran irigasi pertanian, adanya fenomena ini tentunya akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi, sehingga akan mempengaruhi bobot gabah hasil dari pemanenan. Faktanya, tembaga (Cu) juga merupakan logam esensial bagi tumbuhan tentunya dengan kadar yang rendah, jika kadar tembaga melebihi 1 mg/L akan menyebabkan keracunan pada organisme perairan. Dirjen Pengawasan Obat dan Makanan (POM) RI juga telah mengatur dan menetapkan ambang batas maksimal kandungan tembaga pada makanan terutama sayur dan buah yakni sebesar 0,05 mg/L.

2.3 Teknologi Fitoremediasi

Fitoremediasi ialah salah satu teknik yang digunakan dalam upaya membersihkan polutan yang berada di lingkungan, baik itu di tanah maupun di air dengan menggunakan tumbuhan, dengan pengertian lain fitoremediasi merupakan teknik membersihkan polutan dengan menggunakan tumbuhan hyperakumulator. Fitoremediasi berasal dari dua kata dasar dalam Bahasa Yunani, yakni *Phyto* yang artinya tumbuhan/tanaman dan *remediare* yang artinya membersihkan sesuatu. Irawanto, (2017) telah mendefinisikan pengertian dari fitoremediasi ialah suatu system yang memanfaatkan tumbuhan untuk mengubah atau mengurangi suatu kontaminan (polutan/pencemar) dalam lingkungan, atau bahkan mengubahnya menjadi sesuatu yang tidak berbahaya dan dapat digunakan kembali.

Prinsip dari fitoremediasi dasarnya mengacu pada kemampuan tumbuhan dan mikroba dalam tanah untuk mengurangi toksisitas suatu senyawa berbahaya dalam lingkungan yang tercemar. Fitoremediasi umum digunakan pada polutan organik maupun non organik seperti logam berat dan hydrocarbon. Dibandingkan dengan metode remediasi yang lain, fitoremediasi merupakan metode atau teknik remediasi yang lebih efektif (Ali et al., 2013). Hal ini dikarenakan proses pembuatan dan perawatannya yang mudah, dan tumbuhan memiliki berbagai cara dalam me-remediasi lingkungan yang tercemar.

Adapun beberapa jenis konsep dasar tumbuhan dalam fitoremediasi ialah sebagai berikut:

a. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi, atau dengan nama lain tiroabsorpsi, fitoakumulasi atau fitosequestrasi merupakan teknik penyerapan polutan dari dalam air atau tanah dengan menggunakan akar tumbuhan dan mentranslokasikannya ke dalam bagian tumbuhan seperti daun, batang, dan akar tumbuhan (Hidayati, 2020). Menurut (Baroroh, 2017) teknik ini merupakan teknik yang tepat untuk diaplikasikan pada kontaminan yang berada di tanah, sedimen, dan sludge.

b. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi ialah penyerapan polutan oleh tumbuhan dari tanah yang mana polutan tersebut dibawa masuk kedalam tumbuhan dan diolah sedemikian rupa hingga kemudian ditranspirasikan ke atmosfer (Hidayati, 2020). Fitovolatilisasi dapat diaplikasikan pada jenis polutan organik dan beberapa jenis logam seperti Hg. Akan tetapi, teknik ini memiliki beberapa kekurangan, diantaranya ialah penggunaannya yang terbatas dan tidak dapat mengurangi polutan secara lengkap. Artinya polutan yang ditranspirasikan bisa saja akan kembali lagi (Ali et al., 2013).

c. Fitodegradasi

Fitodegradasi merupakan penyerapan polutan oleh tumbuhan untuk kemudian diproses dalam metabolisme tumbuhan dengan bantuan enzim (Hidayati, 2020). Contoh

enzim yang terlibat dalam fitodegradasi ialah dehalogenase dan oksigenase, enzim ini tidak bergantung pada mikroorganisme pada rhizosfer. Penyerapan polutan dengan fitodegradasi bisa terbilang kurang begitu efektif, karena sifat dari logam berat yang tidak terdegradasi secara biologi mengakibatkan penyerapan oleh tumbuhan sangat sedikit dalam menghilangkan polutan anorganik. Teknik ini bisa terbilang efektif dalam mengurangi polutan organik, misalnya pada pestisida, insektisidan, dan herbisida (Ali et al., 2013).

d. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi merupakan teknik yang mengubah polutan yang terkandung dalam tanah yang semula bersifat toksik menjadi senyawa non toksik (Hidayati, 2020). Pada umumnya teknik ini menggunakan beberapa tanaman untuk menstabilkan polutan dalam tanah. Teknik ini berguna untuk mencegah pindahnya polutan dalam tanah menuju permukaan air atau kedalam makanan. Menurut Ali et al., (2013), mekanisme tumbuhan pada teknik ini ialah penyerapan melalui akar, pengendapan, dan pengumpulan pengurangan valensi logam rhizosfer.

e. Fitofiltrasi

Fitofiltrasi ialah teknik penyerapan polutan oleh tumbuhan dari permukaan air yang tercemar. Fitofiltrasi dapat menggunakan akar tumbuhan (rhizofiltrasi), biji-bijian

(blastofiltrasi), dan tunas tanaman yang dipotong (caulisfiltrasi). Teknik ini memaksimalkan kemampuan tumbuhan dalam mengabsorpsi polutan, dengan demikian dapat meminimalisir pergerakan polutan pada air tanah (Ali et al., 2013).

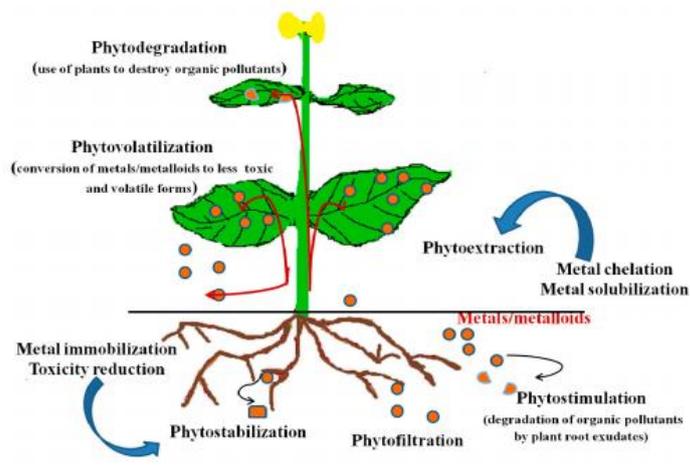
f. Fitodesalinasi

Fitodesalinasi ialah teknik penyerapan polutan oleh tumbuhan berupa garam yang berlebihan pada tanah. Yang mana garam tersebut biasanya digunakan tumbuhan dalam proses pertumbuhannya (Ali et al., 2013).

g. Fitomining

Fitomining merupakan suatu proses penyerapan polutan oleh tumbuhan yang hasil ekstraksinya dimanfaatkan untuk tujuan lain (Hidayati, 2020). (S. Wulandari & Sibarani, 2014) mendefinisikan fitomining merupakan pengembangan dari fitoekstraksi yang bertujuan untuk penyerapan logam berharga untuk dimanfaatkan. Teknik ini umumnya di aplikasikan pada area dengan kandungan logam berharga yang rendah atau pada timbunan ampas hasil pengolahan yang tidak ekonomis jika ditambang secara konvensional.

Adapun gambaran dari proses mekanisme fitoremediasi oleh tumbuhan dapat dilihat pada gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Error! Use the Home tab to apply 0 to the text that you want to appear here..1. Mekanisme fitoremediasi logam berat (Ojuederie & babalola, 2017)

2.4 Tumbuhan Hiperakumulator

Pada dasarnya semua tumbuhan memiliki kemampuan untuk mengabsorpsi polutan, namun dalam jumlah dan ketahanan yang bervariasi. Beberapa jenis dari banyak famili tumbuhan terbukti memiliki ketahanan lebih terhadap polutan atau bersifat hipertoleran, yakni dimana tumbuhan dapat mengakumulasi polutan terutama jenis logam berat tertentu pada konsentrasi yang tinggi. Jadi tumbuhan hiperakumulator merupakan tumbuhan yang mampu mengakumulasi polutan dengan konsentrasi atau kadar yang tinggi pada tajuk maupun akar tumbuhan tersebut (Hidayati, 2005). Tanaman hiperakumulator memiliki beberapa karakteristik utama, diantaranya ialah memiliki ketahanan terhadap polutan terutama logam pada konsentrasi yang tinggi dalam jaringan tajuk dan akarnya, memiliki kemampuan laju penyerapan yang lebih besar dibandingkan jenis tumbuhan lainnya, dan juga mampu mengakumulasi

dan mentranslokasi logam dari akar ke seluruh bagian tumbuhan dengan laju yang tinggi.

Proses hiperakumulasi logam pada tumbuhan menurut (Hidayati, 2020) memiliki serangkaian tahapan fisiologis, yakni:

a. Interaksi rizosferik

Interaksi rizosferik pada tumbuhan berlangsung pada zona perakaran, yakni dengan bantuan eksudat akar yang bertujuan untuk mengubah logam polutan menjadi bentuk yang dapat dengan mudah diserap oleh akar. Akar tumbuhan hiperakumulator memiliki kemampuan untuk mengubah logam polutan menjadi bentuk yang mudah diserap tumbuhan, mempercepat larutnya logam, dan mampu melepaskan kelat. Pelepasan kelat ini berfungsi untuk mengikat logam, dan terbentuk ikatan antara logam-kelat sehingga mudah diserap akar dan ditranslokasikan menuju bagian-bagian tumbuhan yang lain.

b. Penyerapan

Proses penyerapan logam berat oleh akar tumbuhan hiperakumulator terbilang lebih cepat daripada tumbuhan lainnya, hal ini dapat dibuktikan dengan banyaknya kandungan polutan pada akar tumbuhan hiperakumulator. Proses penyerapan logam oleh akar dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya ialah permeabilitas, transpirasi, tekanan akar, dan

system pemacu daya absorpsi logam (*enhanced metal uptake system*).

c. Translokasi

Proses translokasi unsur pada tumbuhan hiperakumulator lebih efektif daripada tumbuhan normal, hal ini dapat diketahui dengan perhitungan rasio konsentrasi logam pada akar dan tajuk tumbuhan melebihi angka satu. Proses translokasi unsur dari akar menuju tajuk tumbuhan umumnya dikendalikan oleh dua mekanisme utama, yakni pergerakan ion ke xylem dan fluks dalam xylem. Selanjutnya, proses hiperakumulasi yang memetakan bentuk dari ikatan logam dan menentukan lokasi penyimpanan didalam tumbuhan iaah melalui proses sekuestrasi dan kompleksasi.

Kemampuan tumbuhan dalam mengabsorpsi dan mengakumulasi polutan juga bergantung pada jenis dan karakteristik pada masing-masing tumbuhan. Namun dalam memaksimalkan kapasitas tumbuhan dapat dilakukan sengan mempengaruhi factor internal dan eksternalnya. Upaya secara inernal dapat mengombinasikan karakter-karakter yang diinginkan pada satu spesies tumbuhan dengan teknik pemuliaan tanaman dan pengembangan ilmu bioteknologi. Adapun upaya secara eksternal yang dapat dilakukan ialah dengan memanipulasi pH, penambahan kelat (*chelating agents*), menambahkan inokulasi mikroba, dan pemberian pupuk pada tumbuhan (Hidayati, 2020). Lama waktu kontak juga memperngaruhi besarnya akumulasi polutan logam didalam tumbuhan,

jika kadar polutan telah melebihi batas toleransi dan tumbuhan sudah berada pada titik jenuh, maka tumbuhan anak memberikan respon fisiologis perlindungan diri dari paparan logam, dan lama kelamaan tumbuhan akan mati (Baroroh, 2017).

2.5 Tanaman Daun Tombak (*Sagittaria lancifolia*)

Sagittaria lancifolia memiliki nama lokal tumbuhan daun tombak, hal ini dikarenakan bentuk daunnya yang menyerupai tombak. Tanaman ini mencolok karena daunnya yang besar dan berbentuk tombak yang tumbuh dari rimpang bawah tanah dan bunganya yang putih berkilau dengan tiga kelopak yang terbentuk di ujung tangkai yang panjang dan tebal. Setiap bunga memiliki tiga sepal hijau, tiga kelopak putih atau merah muda, setidaknya enam benang sari, dan putik yang mungkin berada di bunga terpisah. Tanaman ini suka tumbuh di air tawar atau payau dan biasanya ditemukan di parit, rawa-rawa, dan di sepanjang tepi danau dan sungai. Selain itu, menurut (Hidayah et al., 2020) habitat tumbuhan ini umumnya berada pada kolam-kolam yang tidak terlalu dalam dan sedikit berlumpur.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 2.5. Tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*)

Adapun klasifikasi dari *Sagittaria lancifolia* adalah:

Kingdom : Plantae
Superdivisi : Spermatophyta
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Alismatales
Family : Alismataceae
Genus : *Sagittaria*

Spesies : *Sagittaria lancifolia* (Linnaeus, 1775)

Sagittaria lancifolia bereproduksi baik secara aseksual melalui penyebaran rimpang dan secara seksual melalui reproduksi banyak benih, buah kering yang masing-masing membawa satu biji (Collon & Velasquez, 1989). Benih dapat disebarkan melalui vektor hewan dan melalui hidrokori (penyebaran melalui angin, air, atau gravitasi). Benih berkecambah hanya di bawah cahaya, dan dengan atau tanpa cairan yang tersedia, tetapi periode perkecambahannya lebih pendek saat direndam dalam air. Suhu merupakan factor penting dalam perkecambahan, dengan perkecambahan

100% terjadi pada 20°C (68°F). Perkecambahan berkurang dalam kondisi anaerobik. Pertumbuhan juga bergantung pada suhu (Collon & Velasquez, 1989).

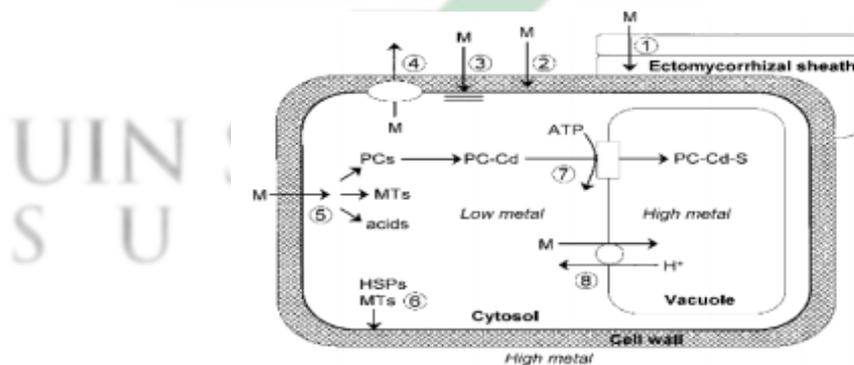
2.6 Penyerapan Logam Berat Cu oleh *Sagittaria lancifolia*

Tembaga (Cu) merupakan unsur esensial bagi tumbuhan, yang artinya Cu memiliki peran penting untuk tumbuhan dalam metabolisme selnya. Terdapat beberapa mekanisme tumbuhan dalam mengabsorpsi logam berat, baik itu secara fisika, biologi, dan fisiologi. Menurut (Meers et al., 2005; Oliveira, 2012) dalam mengabsorpsi logam berat tembaga (Cu) tumbuhan biasanya melakukan penyerapan dalam bentuk aktif dan pasif. Termasuk juga tumbuhan *Sagittaria lancifolia* yang mengabsorpsi tembaga dalam bentuk Cu^{2+} dan melakukan penyerapan secara aktif dan pasif. Penyerapan aktif (metabolic) merupakan penyerapan yang terjadi melalui absorpsi logam dari epidermis atau sel kortikal ke dalam sitoplasma, adapun masuknya bisa terjadi secara simplas (melewati sitoplasma) ataupun apoplas (lewat dinding sel) (Russell, 1977). Selanjutnya setelah logam telah masuk ke dalam jaringan dan sistem metabolisme tumbuhan, logam akan mengalami proses pengkelatan kompleks dengan bantuan peptide sistein, *metallothioneins* (MTs) dan *phytochelatin* (PC). Setelah logam berikatan dengan kelat, maka logam tersebut sudah tidak beracun bagi tumbuhan, dengan kata lain proses ini dinamakan detoxifikasi logam (Bayçu, 2016).

Penyerapan pasif (non-metabolic) merupakan penyerapan logam berat ke dalam sel tumbuhan tanpa memerlukan energi. Hal ini didasari

adanya perbedaan konsentrasi pada luar dan dalam sel. Selain itu, akumulasi logam tembaga (Cu) juga bisa terjadi dengan pengikatan kation logam Cu pada dinding sel. Adapun senyawa yang terlibat dalam penyerapan ini ialah asam galakturonan dan pektin (Hall, 2002). Fernandez menambahkan bahwa sifat serapan Cu juga dapat terjadi secara aktif dan pasif secara bersamaan. Ketika konsentrasi Cu dilingkungan rendah, absorbs secara aktif akan lebih mendominasi, namun pada konsentrasi sedang sampai tinggi serapan secara pasif lebih banyak terjadi. Selain itu pada konsentrasi logam yang tinggi, akan terjadi kerusakan dinding sel dan integritas membran. Sehingga tanaman kehilangan selektivitas serapannya. Dalam kondisi seperti ini, serapan secara pasif sangat mungkin terjadi.

Mekanisme sel tumbuhan dalam merespon adanya paparan logam berat dari lingkungan telah diketahui sebagai berikut:



Gambar 2.6. Respon sel tumbuhan terhadap logam

Suatu zat, terutama logam berat yang masuk kedalam sel tumbuhan akan menewati serangkaian proses detoksifikasi dengan 8 mekanisme pertahanan, yakni:

1. Menghentikan pergerakan logam pada akar tumbuhan dengan bentuan mikoriza,
2. Mengikat logam berat pada dinding sel, terkhusus di apoplas,
3. Mengikat logam pada bagian dalam membrane plasma,
4. Pengeluaran logam oleh sel tumbuhan dengan transport aktif,
5. Pengelatan oleh berbagai transporter logam berat di sitosol,
6. Pengeluaran logam oleh senyawa kelat dengan transport aktif,
7. Setelah pengelatan akan ditranspor aktif ke dalam vakuola bersama phytochelatin (PC),
8. Logam ditranspor dan diakumulasi di vakuola

Mekanisme penyerapan logam berat tembaga (Cu) oleh tumbuhan sangat bervariasi tergantung karakteristik dari masing-masing spesies tumbuhan. Selain itu pH air juga termasuk salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap proses penyerapan logam Cu, hal ini sesuai dengan laporan bahwa serapan Cu meningkat pada konsentrasi pH 4-7 pada tanaman ganggang biru-hijau *Chroococcus parisi* (Fernandes & Henriques, 1991). Selain kadar pH, adanya logam lain dalam lingkungan juga mempengaruhi serapan Cu oleh tumbuhan. Beberapa logam ada yang bersifat pesaing bagi Cu, diantaranya ialah Fe, Cd, Zn, dan Ni (Fernandes & Henriques, 1991). Adapun setelah mengetahui mekanisme tumbuhan dalam mengabsorpsi dan melindungi diri dari polutan seperti logam berat, maka akan dapat diidentifikasi respon morfologi maupun fisiologi tumbuhan setelah terpapar pencemar.

2.7 Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

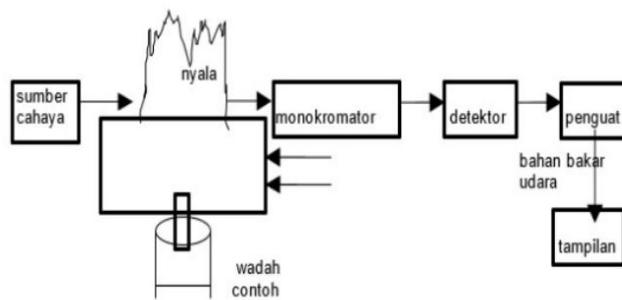
Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) atau Spektroskopi Serapan Atom (SSA) adalah suatu metode analisis senyawa secara kuantitatif yang memiliki tingkat kepekaan yang cukup tinggi dan akurat meskipun pada sampel yang sangat sedikit. Metode analisis menggunakan AAS menyajikan data berupa kadar total unsur logam yang terkandung pada suatu sampel dengan tidak bergantung pada bentuk molekul dari sampel logam yang akan diuji (Gandjar, 2007). Beberapa kelebihan analisis menggunakan AAS adalah tingkat kepekaan yang tinggi, teliti, cepat, metode pengerjaan yang sederhana, dan tidak perlu pemisahan unsur logam yang akan di uji (Wahidin, 2010). Terkait jenis sampel yang bisa diuji di AAS dapat berupa sampel organik dan anorganik, dan preparasi sampelnya dapat dilakukan dengan destruksi basah maupun kering dengan microwave.

Analisis AAS umumnya menggunakan prinsip proses penyerapan energi radiasi pada sumber nyala atom yang menempati tingkatan energi dasar. Menurut Wahidin, (2010), pada setiap electron yang menempati lapisan kulit terluar akan mengalami eksitasi, hal ini dikarenakan atom terkena energi yang berasal dari lampu (sumber radiasi). Atom saat keadaan ini mampu menyerap energi cahaya pada panjang gelombang yang spesifik pada tiap unsurnya. Panjang gelombang yang umum digunakan dalam analisis logam berat tembaga (Cu) dalam AAS ialah sebesar 324,7 nm dan 217 nm, karena panjang gelombang ini merupakan panjang gelombang yang paling kuat dalam menyerap garis transisi

elektronik dari ground state menuju keadaan tereksitasi. Menurut Maria, (2009), prinsip yang mendasari AAS ialah jika cahaya dengan panjang gelombang tersebut dilewatkan pada nyala yang mengandung atom-atom yang dituju, maka sebagian cahaya yang dilewatkan tadi akan diserap oleh atom. Adapun jauhnya penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya jumlah atom dasar yang berada dalam keadaan nyala.

Saat sampel dianalisis dengan AAS, sampel harus berupa larutan yang jernih untuk kemudian dilanjutkan pada tahap pengabutan (aerosol) sebelum sampel dialirkan kedalam nyala. Pelarut dalam sampel kemudian diuapkan sehingga hanya akan meninggalkan partikel garam kering. Menggunakan suhu yang sangat tinggi, garam kering tersebut akan kembali diuapkan hingga struktur garam terpecah menjadi atom-atom bebas. Beberapa atom bebas akan bersatu dengan atom lainnya. Uap atom logam selanjutnya akan tereksitasi energi panas oleh nyala. Hal ini membuat kondisi atom tidak stabil dan membuat atom tersebut kembali pada keadaan aslinya dengan melepaskan energi yang sama dengan yang diterima (Taufikurrahman, 2016)

Adapun prinsip dan skema kerja dari AAS adalah



Gambar 2.7

Umumnya, instrumentasi AAS ialah seperti pada gambar 2.3. Terdapat berbagai jenis komponen yang terdapat di dalam alat AAS. Di antaranya ialah sumber sinar berupa lampu katoda dengan bentuk silinder serta dilapisi oleh logam tertentu. Wadah sampel untuk tempat sampel yang akan di uji. Di sampingnya terdapat monokromator untuk memilih sinar monokromatis dari sinar polikromatis. Kemudian detector yang terletak setelah monokromator dengan fungsi mengukur intensitas cahaya yang telah dipancarkan oleh atom. Penguat berupa amplifier guna memperkuat sinar yang telah diterima oleh detector agar dapat dibaca lebih mudah oleh *recorder*. Selanjutnya semua sinar yang telah diterima akan dicatat hasilnya oleh *readout* (Rohman, 2007).

Metode analisis menggunakan AAS memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Diantara kekurangan dari alat ini ialah terdapat beberapa unsur yang tidak dapat menghasilkan uap atom pada keadaan dasar saat mencapai nyala sehingga tidak dapat terdisosiasi. Beberapa jenis nyala akan lebih cepat untuk beberapa jenis unsur tertentu, sehingga dengan menambah analit juga perlu penggantian sumber gas pembakar, dan perlu

adanya lampu katoda untuk setiap unsur dengan harga yang mahal
(Sastrohamidjojo, 1991).



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Percobaan

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 8 perlakuan (4 perlakuan dengan 2 kali uji) dan 3 ulangan. Ulangan tersebut didasarkan rumus pengulangan Federer dalam (Wibisono & Rahaswanti, 2002) yakni:

$$t(n-1) \geq 15$$

$$8(n-1) \geq 15$$

$$8n - 8 \geq 15$$

$$8n \geq 23$$

$$n \geq 2,8$$

Keterangan: n: jumlah ulangan, t: jumlah perlakuan

Adapun empat perlakuan dibedakan berdasarkan konsentrasi logam berat tembaga, yakni 0 mg/L, 1 mg/L, 2 mg/L, dan 3 mg/L.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret sampai September 2021 yang bertempat di Rumah kaca dan Laboratorium Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi – LIPI.

Tabel 3.1. Waktu Penelitian.

No	Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan	■	■										
2	Penyusunan proposal			■	■	■	■						
3	Uji pendahuluan				■	■	■	■					
	- RFT												
	- Aklimatisasi												
4	Seminar proposal							■					
5	Penelitian									■	■		
6	Analisis data											■	■
7	Penulisan												■
8	Seminar hasil penelitian												■

3.3 Alat dan Bahan

a. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya bak ukuran 5 liter, bak besar, gelas ukur, botol selai kaca, corong, pipet ukur, bulb, timbangan analitik, penggaris, gunting, pH meter, TDS meter, termohigrometer, oven, dan instrument AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*)

b. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya air, larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ aquades, kertas saring, tumbuhan akuatik daun tombak (*Sagittaria lancifolia*), larutan standart Cu, HClO_4 , dan HNO_3 pekat.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini adalah:

- a. Variabel kontrol meliputi jenis tanaman, jumlah tanaman, volume air, jenis logam berat, biomassa tanaman, dan lama waktu detensi.
- b. Variabel bebas meliputi variasi konsentrasi logam berat dalam air.
- c. Variabel terikat meliputi kemampuan tanaman (daya penyisihan logam, laju penyerapan, dan nilai efektifitas) dan respon pertumbuhan tanaman (jumlah daun, biomassa dan morfologi tanaman).

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Aklimatisasi Tumbuhan Akuatik

Sampel objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah tumbuhan akuatik *Sagittaria lancifolia* dengan ukuran ± 45 cm dengan keadaan segar. Sampel diambil dari kolam akuatik Kebun Raya Purwodadi. Sampel tanaman di aklimatisasi di Rumah Kaca Pembibitan selama 1 bulan dengan tujuan agar tanaman beradaptasi dengan lingkungan yang baru dan melakukan regenerasi bagian tubuhnya yang rusak. Disamping itu, selama waktu 1 bulan tersebut diharapkan telah muncul tanaman-tanaman baru, sehingga pada saat perlakuan fitoremediasi bisa menggunakan tanaman dalam keadaan yang sama.

3.5.2 Pembuatan Larutan Kerja

Pembuatan larutan kerja pada variasi konsentrasi 0 mg/L, 1 mg/L, 2 mg/L, dan 3 mg/L yang dibutuhkan ialah dengan

menggunakan rumus pengenceran. Larutan induk yang dipakai ialah $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ konsentrasi 30 ppm. Sedangkan untuk rumus yang dipakai ialah:

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

Keterangan:

M1 : Konsentrasi larutan awal

M2 : Konsentrasi larutan yang diinginkan

V1 : Volume air awal

V2 : Volume air setelah pengenceran

Adapun perhitungan pembuatan larutan kerja Cu menggunakan senyawa $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ terlampir pada lampiran.

3.5.3 *Range Finding Test (RFT)*

Range Finding Test (RFT) merupakan penelitian awal untuk menguji tanaman dalam fitoremediasi, tahapan ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi maksimal logam berat Cu bagi tanaman untuk bisa hidup. Sebelum melaksanakan RFT, tanaman perlu dilakukan aklimatisasi terlebih dahulu sebagai proses adaptasi tanaman setelah dipindah dari lapangan ke rumah kaca. RFT dilakukan selama 2 minggu dengan harapan tanaman sudah menyerap logam berat dengan maksimal sesuai dengan batas toleransi tanaman tersebut. Pada RFT ini, dilakukan dengan variasi konsentrasi 0 mg/L, 1 mg/L, 3 mg/L, dan 5 mg/L. RFT dilakukan dengan menggunakan bak plastik yang berisi 2000 mL air dan telah ditambahkan logam berat Cu, setelah itu, masing-masing bak ditaruh

1 tanaman *Sagittaria lancifolia*. Proses RFT dilakukan dengan 2 kali ulangan dan 4 perlakuan. Adapun parameter yang diamati pada RFT ialah kadar pH dan TDS pada air.

3.5.4 Persiapan Fitoremediasi

Setelah tanaman *Sagittaria lancifolia* diaklimatisasi selama satu bulan, selanjutnya dilakukan persiapan untuk *running* fitoremediasi. Persiapan yang dilakukan ialah berupa persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan. Sedangkan, untuk konsentrasi logam berat yang digunakan mengacu pada hasil dari proses RFT yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah itu, sampel tanaman diambil sejumlah satu tanaman pada tiap satuan percobaan, yang mana pada tiap satuan percobaan telah di isi air yang tercemar logam Cu sebanyak 2 L.

3.5.5 Pelaksanaan Fitoremediasi

Konsentrasi yang digunakan ialah 3 variasi konsentrasi, yakni 1 mg/L, 2 mg/L dan 3 mg/L dan satu kontrol 0 mg/L dengan 3 pengulangan. Variasi konsentrasi ini diterapkan berdasarkan dari uji *Range Finding Test* yang menunjukkan bahwa tumbuhan pada konsentrasi 5 ppm mengalami respon strategi kematian. Pengamatan fitoremediasi dilakukan selama 28 hari dan pengukuran nilai pH dilakukan setiap hari setelah pemberian logam berat Cu. Adapun pengujian kadar logam berat tembaga (Cu) dalam air dan tanaman dilakukan pada hari ke-14, dan 28 setelah pemberian logam berat Cu.

3.5.6 Pengamatan Perlakuan

Pengamatan yang diamati pada penelitian ini ialah kemampuan tanaman yang meliputi laju penyerapan logam berat Cu, daya penyerapan logam oleh tanaman, laju translokasi dan nilai efektifitas penyerapan logam berat oleh tanaman. Selain itu, pengamatan juga berupa morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia* seperti jumlah daun, biomassa tanaman, perbedaan morfologi pada tanaman. Hal ini, dilakukan untuk mengetahui respon tanaman berupa respon morfologi pada saat tanaman tersebut tepapar pencemar logam berat tembaga (Cu). Untuk kontrol lingkungan yang diamati ialah nilai pH. Bersamaan dengan pengamatan, juga dilakukan dokumentasi pada setiap satuan percobaan. Adapun terkait parameter-parameter yang diamati pada penelitian ini secara rinci ialah.

3.5.6.1 Kemampuan Absorpsi

a. Kadar Cu dalam Air dan Tanaman

Pengujian kadar Cu dalam air dan tanaman merupakan parameter utama dalam penelitian. Pengukuran kadar logam tembaga (Cu) dalam tanaman dilakukan dengan pengeringan dan penghalusan sampel terlebih dahulu sebelum di uji, sedangkan untuk sampel air bisa langsung diuji tanpa adanya perlakuan tambahan lain. Pengukuran kadar Cu dilakukan dengan menggunakan instrument AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*).

b. Laju Serap dan Daya Penyerapan

Perhitungan laju penyerapan logam oleh tanaman di dasarkan dengan berat kering logam (mg/kg) yang telah terakumulasi dalam tanaman (tajuk dan akar), dan berat kering tanaman (mg). Adapun rumus perhitungan yang dipakai ialah.

$$LP = \frac{(A \times M) - (B \times N)}{(A + B) \times t}$$

Keterangan:

LP : Laju penyerapan

A : Bobot tajuk

B : Bobot akar

M : Konsentrasi logam dalam tajuk

N : Konsentrasi logam dalam akar

t : Waktu kontak

Sedangkan untuk perhitungan daya penyisihan logam pada penelitian ini ialah berdasarkan pada penurunan kadar logam berat Cu dalam air (mg/L) dalam kurun waktu 28 hari. Adapun untuk rumus perhitungan yang digunakan ialah

$$RE = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Keterangan:

RE : Removal efficiency (daya penyisihan)

A : Konsentrasi awal logam dalam air

B : Konsentrasi akhir logam dalam air

c. Perhitungan Nilai Faktor Translokasi

Perhitungan nilai faktor translokasi dilakukan dengan tujuan mengetahui kemampuan tanaman dalam mentranslokasi logam dari akar menuju seluruh bagian tanaman. Adapun untuk mengitungnya bisa menggunakan rumus.

$$FT = \frac{\text{Kadar logam tajuk}}{\text{Kadar logam pada akar}}$$

Tujuan lain dari perhitungan factor translokasi adalah untuk mengetahui bagaimana mekanisme tanaman dalam mengakumulasi logam berat, apakah termasuk dalam fitostabilisasi ataukah fitoekstraksi. Karena apabila nilai $FT < 1$ maka tanaman tersebut termasuk fitostabilisasi, sedangkan apabila nilai $FT > 1$ maka tanaman tersebut termasuk fitoekstraksi dan termasuk tanaman hiperakumulator.

d. Perhitungan Nilai Efektifitas Penyerapan

Perhitungan nilai efektifitas penyerapan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan logam oleh tanaman. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan ini ialah.

$$\text{Efektifitas Penyerapan (\%)} = \frac{\text{Kadar logam tanaman}}{\text{Kadar logam pada media awal}} \times 100$$

3.5.6.2 Respon Pertumbuhan Tanaman

a. Jumlah Daun

Penghitungan jumlah daun dilakukan satu kali dalam satu minggu atau 4 kali penghitungan selama percobaan. Jenis daun yang dihitung ialah daun yang telah membuka sempurna, hal ini dikarenakan daun tersebut sudah melakukan proses fotosintesis dengan maksimal. Dalam penghitungan jumlah daun dilakukan secara manual dengan mengamati langsung pada tanaman, penghitungan jumlah daun ini juga menggunakan metode non destruktif.

b. Respon Morfologi Tanaman

Pengamatan respon morfologi tanaman dilakukan dengan mengamati langsung pada akar dan tajuk tanaman. Adapun parameter yang diamati ialah warna daun, struktur daun, kelainan-kelainan fisiologi tanaman seperti klorosis dan nekrosis, bentuk dan warna batang, serta bentuk dan warna akar. Pengamatan respon berupa respon morfologi tanaman bertujuan untuk mengetahui perubahan morfologi serta adaptasi tanaman ketika terpapar logam berat Cu. Pengamatan respon morfologi tanaman ini dilakukan satu kali dalam satu minggu.

c. Berat Basah Tanaman

Pengukuran berat basah tanaman dilakukan pada saat setelah pengamatan, karena apabila dibiarkan terlalu lama dikhawatirkan berat basah tanaman akan berkurang. Bagian tanaman yang diukur ialah pada tajuk dan akar,

sehingga perlu dilakukan pemisahan terlebih dahulu sebelum ditimbang. Penimbangan berat basah tanaman dilakukan dengan timbangan analitik dan dengan metode destruktif dan dilakukan dengan timbangan analitik.

d. Berat Kering Tanaman

Pengukuran berat kering pada tanaman dilakukan dengan mengeringkan tanaman, setelah dikeringkan tanaman di oven dengan tujuan menghilangkan kadar air dalam tanaman. Pengeringan dalam oven dilakukan selama ± 2 hari pada suhu 100°C hingga menunjukkan nilai konstan. Penimbangan berat kering tanaman ialah pada tajuk dan akar tanaman dengan menggunakan metode deskriptif dan dengan alat timbangan analitik.

3.5.7 Pemanenan dan Uji Laboratorium

Pemanenan dilakukan dengan pengambilan tanaman secara langsung untuk ditimbang berat basahnya. Pengujian kadar logam Cu pada tanaman dilakukan pada hari ke 14 dan 28 setelah pemberian logam berat, begitupun juga untuk pengukuran kadar logam berat Cu dalam air dilakukan dua kali, yakni pada 14 hari dan pasca fitoremediasi. Pengukuran ini dilakukan dengan mengambil sampel air sebanyak 50 ml. Adapun untuk sampel akar dan tajuk tanaman *Sagittaria lancifolia* diambil sampel berat kering tanaman sebanyak 5 g.

Setelah pemanenan sampel, selanjutnya ialah destruksi sampel akar dan tajuk tanaman. Destruksi yang dipakai dalam penelitian ini ialah jenis destruksi basah. Pertama-tama yang perlu dilakukan adalah pemisahan sampel akar dan tajuk tanaman. Kemudian sampel dikeringkan dengan kering angin sebelum selanjutnya di oven selama ± 2 hari pada suhu 100°C . Setelah sampel dirasa kering, maka sampel dihaluskan dengan mortal dan ditimbang sebanyak 1 gram. Proses destruksi dilakukan dengan menambahkan zat pengoksidasi HNO_3 : HClO_4 dengan perbandingan 2:1 (10 ml : 5 ml), selanjutnya sampel dipanaskan dengan *water bath* dengan suhu 100°C hingga terbentuk larutan jernih dan tidak mengendap. Setelah itu, sampel disaring dengan kertas saring *whatman 42* agar larutan bebas dari pengotor. Selanjutnya dilakukan pengenceran menggunakan HNO_3 0,5 M. Apabila semua sampel telah terkumpul baik air maupun tanaman, selanjutnya dilakukan uji kandungan logam berat tembaga (Cu) yang telah terkumulasi dengan menggunakan instrument AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) (Taufikurrahman, 2016).

3.6 Analisis Data

Analisis data pada beberapa parameter seperti faktor translokasi, laju penyerapan, daya penyerapan, efektifitas, dan perubahan morfologi tanaman dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan menghitung ataupun mengamati secara langsung dan menguraikan data serta fakta secara berurutan. Kadar Cu dalam media dianalisis dengan uji T 2-Samples

Paired dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan antara kadar logam media sebelum dan sesudah treatment. Adapun data-data dari parameter lain seperti biomassa tanaman dan jumlah daun dianalisis menggunakan uji parametrik sidik ragam atau *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan taraf kesalahan 5%, uji ini bertujuan untuk mengetahui adanya perbedaan pengaruh masing-masing perlakuan terhadap parameter yang diamati.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Range Finding Test* (RFT)

Range Finding Test merupakan penelitian pendahuluan untuk mengetahui kemampuan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam menghadapi tekanan pencemar berupa logam berat tembaga (Cu). Terdapat 4 variasi konsentrasi yang digunakan dalam penelitian RFT, yakni 0 mg/L, 1 mg/L, 3 mg/L, and 5 mg/L. Variasi konsentrasi ini didasarkan oleh Serang et al., (2018) yang melaporkan bahwa tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) mampu bertahan pada cekaman logam kromium (Cr) dengan konsentrasi maksimum 5 mg/L.

RFT diawali dengan aklimatisasi tanaman selama 2 minggu. Setelah itu, tanaman diletakkan didalam wadah bak yang berisi 2000 mL air yang sebelumnya telah ditambahkan logam berat Cu sesuai variasi konsentrasi yang digunakan. Selanjutnya tanaman dan air diamati secara berkala selama 2 minggu mengenai parameter-parameter yang telah ditentukan dalam penelitian. Parameter pengukuran yang digunakan saat RFT ialah pH, TDS, dan suhu air. Pelaksanaan RFT dilakukan selama 2 minggu dengan 6 kali pengamatan. Lebih lanjut mengenai hasil RFT tanaman daun tombak dalam fitoremediasi logam berat tembaga (Cu) ialah sebagai berikut:

4.1.1 Nilai pH

Pengukuran pH dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai keasaman pada media pertumbuhan tanaman. Terlihat pada **Tabel 4.1** bahwa pada pengukuran awal, nilai pH pada hari ke-1 variasi konsentrasi 0 mg/L ialah 7,4 sedangkan pada variasi konsentrasi 5 mg/L ialah 5,5. Setelah berkontak dengan tanaman selama 14 hari, nilai pH pada variasi konsentrasi 0 mg/L ialah 8,3 sedangkan pada variasi konsentrasi 5 mg/L ialah 6,7.

Tabel 4.1. Nilai pH RFT

No	Waktu	Variasi Konsentrasi			
		0 mg/L	1 mg/L	3 mg/L	5 mg/L
1	Hari ke-1	7,4	6,8	5,8	5,5
2	Hari ke-4	7,6	7,3	6,5	6
3	Hari ke-6	7,8	7,7	6,7	6,1
4	Hari ke-8	7,7	7,6	7,1	6,2
5	Hari ke-11	8,1	8	7,7	6,5
6	Hari ke-14	8,3	8,1	7,7	6,7

Berdasarkan hasil pada **Tabel 4.1**, menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam Cu dalam air, maka semakin rendah nilai pH-nya. Kadar pH dalam media (air) diakibatkan oleh adanya kelarutan logam dalam air, hal ini karena air yang mengandung logam tinggi cenderung memiliki pH yang asam (Wulandari et al., 2014). Menurut Hramani & Titah (2017) semakin asam suatu media dapat menunjukkan semakin tinggi pula logam berat pada media tersebut, hal ini karena semakin banyak logam berat yang larut pada media tersebut. Kemudian dari pengamatan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai pH mengalami kenaikan antara H+1 pemberian tanaman dan H+14 pemberian tanaman, atau bisa dikatakan nilai pH semakin lama semakin meningkat, hal ini

dikarenakan menurut (Ayres et al., 1994) peningkatan nilai pH larutan dari yang semula asam menjadi basa dapat mengindikasikan turunnya konsentrasi logam berat dalam larutan tersebut. Kenaikan pH menjadi basa mengindikasikan terjadinya penurunan kelarutan logam dalam media (air), lantaran terjadi perubahan kestabilan logam dari semula bentuk karbonat menjadi bentuk hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air sehingga akan mengendap membentuk lumpur (Serang et al., 2018; Sukoasih & Widiyanto, 2017).

Selain itu, menurut (Suryan et al., 2015) jika pada suatu perairan memiliki nilai pH rendah, maka logam berat pada perairan tersebut tinggi, begitupun jika pH perairan tinggi, maka logam beratnya rendah. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa pada penelitian ini terjadi pengurangan kadar logam berat Cu dalam air oleh tanaman daun tombak, ditandai dengan naiknya pH pada masing-masing perlakuan.

4.1.2 Nilai TDS

Total Dissolved Solid atau TDS merupakan partikel terlarut dalam air yang memiliki ukuran yang sangat kecil, yakni kurang dari 2 mikrometer. TDS dapat berasal dari sumber organik maupun anorganik. Diantara bahan organik yang menjadi sumber TDS ialah sampah organik tanaman, limbah pertanian, limbah pencucian, dan lumpur (Rosada, 2020). Nilai TDS berkaitan dengan kekeruhan dalam air, jika pada suatu media atau lingkungan perairan dengan TDS yang tinggi, maka akan menyebabkan keruhnya air pada media

atau lingkungan tersebut. Lebih lanjut, keruhnya air akan mempengaruhi proses fotosintesis pada tumbuhan air.

Tabel 4.2. Nilai TDS RFT

No	Waktu	Variasi Konsentrasi			
		0 mg/L	1 mg/L	3 mg/L	5 mg/L
1	Hari ke-1	180	192	248	344
2	Hari ke-4	199	235	256	348
3	Hari ke-6	205	173	227	380
4	Hari ke-8	182	186	233	316
5	Hari ke-11	209	215	289	364
6	Hari ke-14	207	213	293	367

Pada **Tabel 4.2.** merupakan hasil dari pengukuran nilai konsentrasi TDS. Jika dalam kadar yang normal, TDS tidak memiliki sifat toksik, namun pada kadar yang tinggi TDS dapat menyebabkan pencemaran karena meningkatkan kekeruhan dalam air (Kustiyaningsih & Irawanto, 2020). Berdasarkan **Tabel 4.2** dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar Cu dalam air, maka semakin tinggi pula kadar TDS-nya. Hal ini karena semakin tinggi kadar Cu dalam air, semakin tinggi pula padatan terlarut yang terkandung dalam air tersebut (Sekarwati, 2014). Pada **Tabel 4.2** dapat diketahui bahwa semakin lama waktu pengamatan, nilai TDS dalam air mengalami peningkatan pada setiap variasi konsentrasi. Adanya peningkatan TDS dapat disebabkan banyaknya bahan organik pada media yang dihasilkan oleh sisa-sisa jaringan atau organ tumbuhan yang mengalami kematian (Kustiyaningsih & Irawanto, 2020).

4.1.3 Suhu Air (°C)

Pengukuran suhu dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi lingkungan selama pengamatan. Karena menurut

(Kustiyaningsih & Irawanto, 2020), suhu berhubungan dengan adanya proses metabolisme dan fotosintesis pada tanaman, sehingga jika terjadi peningkatan suhu secara tidak langsung juga akan berdampak terhadap penyerapan nutrisi oleh tumbuhan

Tabel 4.3. Suhu Air Media

No	Waktu	Variasi Konsentrasi			
		0 mg/L	1 mg/L	3 mg/L	5 mg/L
1	Hari ke-1	22,5	22,6	22,6	22,7
2	Hari ke-4	23,5	27,5	23,4	23,5
3	Hari ke-6	25,7	25,7	25,5	25,4
4	Hari ke-8	26,2	26,5	26,8	26,9
5	Hari ke-11	23,6	23	23,8	23
6	Hari ke-14	21,8	21	22,2	22,5
Rata-rata		23,8	24,3	24,05	24

Tabel 4.3 merupakan nilai suhu berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan. Pada penelitian ini, diketahui nilai suhu sangat fluktuatif, namun rata-rata suhu pada saat penelitian ialah berkisar antara 23,8 °C hingga 24,3°C. Angka tersebut masih bisa dikatakan normal karena masih dalam batas baku mutu air berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 yakni 22 °C – 28 °C. Ikawati et al., (2017) telah menyatakan bahwa semakin tinggi suhu, maka semakin tinggi pula laju penyerapan nutrisi oleh tumbuhan. Namun kenaikan suhu yang terlalu ekstrim juga dapat bersifat toksik bagi tumbuhan, seperti pada tanaman kayu apu yang terpapar suhu tinggi akan memberikan respon berupa memendeknya akar (Hendrasarie & Dieta, 2019).

4.1.4 Morfologi Tanaman



Gambar 4.2. Morfologi Tanaman Hari ke-1



Gambar 4.3. Morfologi Tanaman Hari ke-14



(a) (b) (c) (d)

Gambar 4.4. Tanaman Hari ke-14

Keterangan: (a) kontrol; (b) 1 mg/L; (c) 3 mg/L; (d) 5 mg/L

Pertumbuhan diamati pada beberapa parameter, diantaranya ialah perpanjangan dan pertambahan akar, jumlah daun, dan jumlah pertambahan anakan. **Gambar 4.1** menunjukkan kondisi awal tanaman daun tombak. Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa kondisi tanaman pada hari ke-1 sangat baik, hal ini ditandai dengan daun yang segar, tegak, dan berwarna hijau cerah. Sedangkan pada **Gambar 4.2** menunjukkan kondisi tanaman pada hari ke-14.

Kondisi tanaman pada semua perlakuan kecuali pada perlakuan kontrol menunjukkan terdapat beberapa daun yang layu. Adapun secara jelas mengenai kondisi tanaman pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada **Gambar 4.3**. Pada perlakuan kontrol, tanaman terlihat dalam keadaan segar baik itu pada daun, batang, maupun akarnya. Bahkan terlihat munculnya tunas daun dan akar baru yang cukup banyak. Hal ini dikarenakan tanaman tidak mendapatkan cekaman dari logam berat sehingga tanaman bisa melakukan proses fotosintesis dan metabolismenya dengan maksimal.

Pertumbuhan tanaman pada penelitian ini dipengaruhi oleh adanya interaksi antara tanaman daun tombak dan konsentrasi logam Cu. Kondisi perakaran pada kelompok *treatment* menunjukkan kondisi yang tidak baik, terlihat akar mengalami kerusakan dan tidak mengalami penambahan atau pertumbuhan akar (**Gambar 4.3b, 4.3c, 4.3d**). Kondisi terburuk dijumpai pada akar tanaman pada konsentrasi 5 mg/L. Menurun dan rusaknya akan dapat disebabkan oleh hambatan penyerapan nutrisi dan gangguan metabolisme dalam sel (Taiz & Zeiger, 2010), dan akar merupakan organ yang langsung berinteraksi dengan cekaman dan transportasi air serta mineral (Ouzounidou et al., 1995). Selain itu, kondisi daun pada kelompok *treatment* juga mengalami kerusakan berupa layu dan klorosis (**Gambar 3b, c, d**). Hal ini terjadi karena tanaman menyerap logam berat secara berlebih dan menyebabkan terganggunya penyerapan

magnesium dan zat besi sehingga proses sintesis klorofil menjadi terhambat (Y. Novita & Purnomo, 2012) Lebih lanjut, (Maksymiec, 1998a) memaparkan pada konsentrasi tinggi, logam Cu akan menghambat penyerapan nutrisi sehingga nutrisi tidak tertranslokasi sampai bagian *shoot* tanaman. Berdasarkan kondisi morfologi tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) setelah terpapar logam Cu selama 14 hari (**Gambar 2**), terlihat tanaman mengalami gejala kematian. Sehingga dapat diketahui kemampuan maksimal tanaman tersebut dalam mentolerir cekaman logam berat tembaga (Cu) ialah pada konsentrasi 5 mg/L.

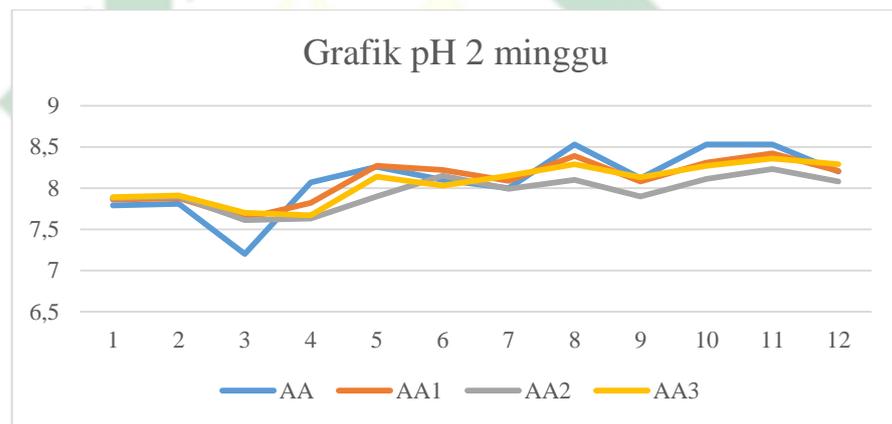
Lebih lanjut berdasarkan hasil uji RFT, tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) mampu untuk dijadikan sebagai tumbuhan fitoremediasi logam berat tembaga (Cu). Adapun konsentrasi maksimum logam berat tembaga (Cu) yang dapat ditolerir oleh tumbuhan daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) ialah pada konsentrasi 5 mg/L. Hal ini karena pada konsentrasi tersebut tumbuhan mulai menunjukkan respon layu pada tajuk dan kerusakan pada akar.

4.2 Parameter Kualitas Lingkungan

Pada penelitian ini, parameter kualitas lingkungan yang diukur ialah nilai pH. Pengukuran pH diukur dengan tujuan untuk mengetahui derajat keasaman pada media pertumbuhan tanaman, karena media yang terlalu asam atau terlalu basah akan mempengaruhi daya penyerapan nutrisi oleh tanaman, meskipun pada media yang dipenuhi zat hara (Baroroh et al., 2018). Lebih lanjut, (Karoba & Nurjasmi, 2015)

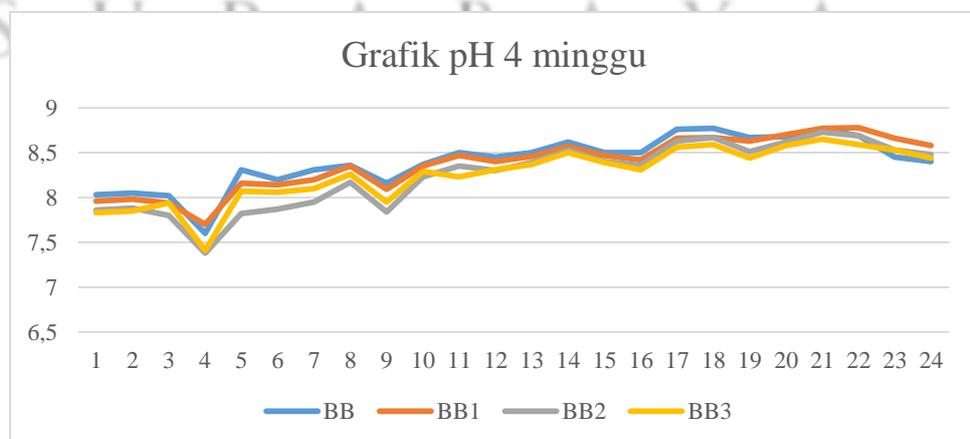
menyatakan bahwa kondisi pH yang tidak optimal akan berpengaruh terhadap penyerapan unsur hara oleh tanaman. Penyerapan unsur hara oleh tanaman akan menjadi terhambat jika medianya terlalu asam dan akan berpotensi menyebabkan lambatnya pertumbuhan tanaman.

Adapun pengukuran pH pada penelitian ini dilakukan pada waktu detensi dua minggu dan empat minggu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara nilai pH terhadap lama waktu kontak tanaman. Lebih lanjut nilai pH dapat dilihat pada **Bagan 4.1** dan **Bagan 4.2** sebagai berikut:



Bagan 4.1. Grafik Nilai pH 2 Minggu

Keterangan: AA: Kontrol; AA1: 1 mg/L; AA2: 2 mg/L; AA3: 3 mg/L



Bagan 4.2. Grafik Nilai pH 4 Minggu

Keterangan: AA: Kontrol; AA1: 1 mg/L; AA2: 2 mg/L; AA3: 3 mg/L

Terlihat pada **Bagan 4.1** bahwasannya pada hari ke-1 nilai pH berada diangka 7,7 – 7,8 namun setelah 2 minggu, nilai pH mengalami kenaikan menjadi 8 – 8,2. Begitupun pada **Bagan 4.2** terlihat pada hari ke-1 nilai pH berkisar antara 7,8 – 8 namun setelah berkontak 4 minggu dengan tanaman, diketahui nilai pH berada diangka 8,4 – 8,5. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui nilai pH pada masing-masing variasi konsentrasi dan variasi waktu kontak mengalami kenaikan, meskipun kenaikannya yang tidak signifikan dan cenderung fluktuatif. Adanya perbedaan nilai pH pada masing-masing variasi konsentrasi tidak begitu signifikan karena perbedaan variasi konsentrasi logam berat Cu pada masing-masing perlakuan juga tidak terlampau jauh.

Selain itu, pH awal pada setiap variabel cenderung lebih asam jika dibandingkan setelah kontak dengan tanaman. Penyebabnya ialah karena terdapat logam berat Cu dengan konsentrasi tinggi pada air yang menyebabkan nilai pH cenderung asam (Sekarwati, 2014). Sesuai dengan (Lestari & Pratama, 2020) yang menyatakan bahwa kandungan Cu dalam media memberikan pengaruh keasaman terhadap pH. Kemudian setelah berkontak dengan tanaman, nilai pH mengalami kenaikan. Hal ini mengindikasikan terjadi penurunan kadar logam berat dalam media, yang mana karena telah terserap oleh tanaman (Ayres et al., 1994). Salah satu penyebab adanya perubahan nilai pH ialah adanya proses fotosintesis dan respirasi oleh tanaman atau mikroorganisme dalam air (Suryadi et al., 2017). Karena pada reaksi fotosintesis akan mengikat banyak senyawa CO₂ sehingga akan meningkatkan pH dalam air. Berdasarkan **Bagan 4.1**;

4.2, rata-rata nilai pH berkisar antara 7,7 – 8,5. Nilai ini masih sesuai dengan Peraturan KLHK No. 68 Tahun 2016 yakni baku mutu pH air berada berkisar 6 sampai 9. Selain itu, menurut (Suryan et al., 2015) jika pada suatu perairan memiliki nilai pH rendah, dapat menjadi salah satu indikator logam berat pada perairan tersebut tinggi, begitupun jika pH perairan tinggi, maka logam beratnya rendah. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa pada penelitian ini terjadi pengurangan kadar logam berat Cu dalam air oleh tanaman daun tombak, ditandai dengan naiknya pH pada masing-masing perlakuan.

4.3 Kemampuan Absorpsi Tanaman

Kemampuan absorpsi tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam menyerap logam berat tembaga (Cu) dapat diketahui dengan beberapa parameter pengukuran, diantaranya ialah kadar Cu dalam air dan tanaman, laju penyerapan, daya serap, faktor translokasi, dan efektifitas penyerapan. Adapun lebih jelas mengenai hasil pengamatan pada parameter-parameter tersebut ialah sebagai berikut:

4.3.1 Kadar Cu dalam Air dan Tanaman

Pengukuran kadar logam berat tembaga (Cu) dalam tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman daun tombak dalam mengabsorpsi logam berat Cu. Pengukuran kadar logam Cu dilakukan dengan menggunakan instrumen AAS. Adapun beberapa parameter yang diukur ialah kandungan logam Cu pada air diawal pengamatan dan diakhir pengamatan serta kandungan Cu pada akar dan tajuk tanaman.

Pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui adanya total logam yang terakumulasi didalam tanaman dan mengetahui logam yang tersisih pada media, serta mengetahui korelasi antara kedua parameter tersebut.

Tabel 4.4. Kadar Cu dalam Air

No	Variasi konsentrasi	Waktu kontak	logam air (mg/L)	
			Awal	Akhir
1	Kontrol	2 minggu	0	0,02
2	1 mg/L	2 minggu	1	0,51
3	2 mg/L	2 minggu	2	1,38
4	3 mg/L	2 minggu	3	2,11
5	Kontrol	4 minggu	0	0,01
6	1 mg/L	4 minggu	1	0,36
7	2 mg/L	4 minggu	2	0,83
8	3 mg/L	4 minggu	3	1,03

Pada **Tabel 4.4** merupakan hasil pengukuran dan analisis kandungan logam Cu pada air dan tanaman. Pada perlakuan kontrol diasumsikan logam awal yang terkandung dalam air ialah 0 mg/L. Namun setelah pengamatan selama 2 minggu dan 4 minggu, diketahui kandungan logam pada air masing-masing 0,02 mg/L dan 0,01 mg/L. Telah diketahui bahwa kisaran normal kandungan Cu pada media (linglungan) ialah sebesar 0,05 – 0,5 (Ed Bloodnick, 2021). Pada **Tabel 4.4** juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu paparan logam dengan tanaman, semakin banyak logam yang terserap oleh tanaman, dibuktikan dengan semakin sedikit kandungan logam yang tersisa dalam media. Hal ini membuktikan bahwa tanaman daun tombak masih mampu mengabsorbsi logam Cu

dengan baik meski telah terpapar logam dalam jangka waktu yang lama. Hasil analisis statistika menunjukkan nilai sig sebesar 0,016 yang artinya terdapat perbedaan antara kadar logam Cu dalam media sebelum treatment dan setelah treatment berupa pemaparan dengan tumbuhan.

Tabel 4.5. Kadar Cu pada Akar

No	Variasi Konsentrasi	Logam akar (mg/L)	
		2 minggu	4 minggu
1	Kontrol	0,008	0,01
2	1 mg/l	0,28	0,24
3	2 mg/l	0,45	0,42
4	3 mg/l	0,76	0,79

Selanjutnya, pada **Tabel 4.5** menunjukkan konsentrasi Cu yang terkandung pada akar tanaman. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa pada akar tanaman kontrol (tanpa paparan Cu) antara minggu ke-2 dan minggu ke-4 terdapat kandungan Cu, meski dalam kadar yang sangat sedikit, yakni 0,008 mg/L pada minggu ke-2 dan 0,01 pada minggu ke-4. Ini membuktikan bahwa Cu merupakan logam esensial bagi tanaman. Selain itu, pada Tabel 4.5 juga dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi logam pada media, semakin tinggi pula kandungan logam yang terserap di akar tanaman. Menurut (Indrasti et al., 2006; Lestari & Pratama, 2020) konsentrasi logam berat pada media memiliki pengaruh terhadap laju penyerapan logam oleh tanaman, yang mana semakin tinggi kadar logam pada media, semakin tinggi pula kadar logam yang bakal diserap oleh tanaman.

Tabel 4.6. Kadar Cu pada Tajuk

No	Variasi Konsentrasi	Logam tajuk (mg/L)	
		2 minggu	4 minggu
1	Kontrol	0,005	0,01
2	1 mg/l	0,16	0,36
3	2 mg/l	0,27	0,98
4	3 mg/l	0,43	1,22

Kemudian, pada **Tabel 4.6** menunjukkan kadar Cu yang telah terserap oleh tanaman daun tombak yang terakumulasi dalam tajuknya. Pada perlakuan control (tanpa paparan Cu), diketahui dalam tajuk tanaman terdapat kandungan logam Cu, meski dalam angka yang sangat sedikit, yakni 0,005 mg/L pada minggu ke-2 dan 0.01 pada minggu ke-4. Sama halnya dengan kadar Cu pada akar (**Tabel 4.5**), adanya logam Cu pada tajuk tanaman membuktikan bahwa logam Cu merupakan logam esensial bagi tanaman, yang artinya dalam kadar yang sedikit logam tersebut dibutuhkan oleh tanaman dalam proses metabolisme tubuh (Djo et al., 2017). Selain itu, berdasarkan **Tabel 4.6** dapat diketahui bahwa semakin tinggi kandungan logam berat pada media, maka semakin tinggi pula kandungan logam Cu pada tajuk tanaman daun tombak. Sama halnya dengan kadar logam pada akar tanaman (**Tabel 4.5**), yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan logam pada media maka semakin tinggi pula logam yang diserap oleh tanaman.

Perbedaannya ialah, pada kandungan logam Cu diakar, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar logam dengan waktu detensi tanaman. Sedangkan pada kandungan logam Cu

ditajuk, terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara kadar logam dengan waktu detensi. Seperti contoh pada variasi 3 mg/L dengan waktu detensi 2 minggu kadar logam Cu diketahui sebesar 0,43 mg/L, sedangkan pada waktu detensi 4 minggu, kadar Cu mencapai 1,22 mg/L. Lebih lanjut, peristiwa ini terjadi pada setiap variasi konsentrasi. Hal ini karena tanaman telah berhasil mentranslokasikan logam Cu yang semula di akar menuju tajuknya (Hidayati, 2016). Hal ini juga dapat mengindikasikan bahwa tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) berpotensi untuk menjadi tanaman hiperakumulator logam berat Cu.

Tabel 4.7. Logam tersisih dan Total logam

No	Variasi konsentrasi	Waktu kontak	Logam tersisih pada media	Total logam tanaman
1	Kontrol	2 minggu	-	0,013
2	1 mg/L	2 minggu	0,49	0,44
3	2 mg/L	2 minggu	0,62	0,72
4	3 mg/L	2 minggu	0,89	1,19
5	Kontrol	4 minggu	-	0,02
6	1 mg/L	4 minggu	0,64	0,6
7	2 mg/L	4 minggu	1,18	1,4
8	3 mg/L	4 minggu	1,97	2,01

Pada **Tabel 4.7** menunjukkan konsentrasi logam Cu yang telah tersisih dari media (air) dan total logam yang terserap oleh tanaman daun tombak. Konsentrasi logam tersisih diperoleh dari konsentrasi logam media sebelum berkontak dengan tanaman dan konsentrasi logam media setelah berkontak dengan tanaman. Sedangkan total

logam tanaman diperoleh dari penambahan kadar logam pada tajuk dan akar tanaman.

Perhitungan logam tersisih pada penelitian ini bermaksud untuk mengetahui kesesuaian antara logam yang hilang pada media dan logam yang tersimpan dari tanaman. Hal ini diasumsikan karena logam yang hilang dasarnya telah terserap dalam tubuh tanaman. Namun, jika dilihat dari **Tabel 4.7** pada perlakuan 1 mg/L, baik dengan waktu detensi 2 minggu maupun 4 minggu terdapat selisih antara logam yang tersisih dan total logam tanaman, yang mana lebih besar logam yang tersisih daripada logam yang terserap tanaman. Adapun selisihnya ialah 0,05 mg/L pada waktu detensi 2 minggu dan 0,04 mg/L pada waktu detensi 4 minggu. Adanya selisih ini dikarenakan logam Cu yang tersisih atau hilang dari media tidak hanya terserap oleh tanaman daun tombak, namun juga ter-evaporasi ke udara, proses ini biasa disebut proses evapotranspirasi (Syranidou et al., 2017). Berbeda halnya dengan perlakuan variasi 1 mg/L, pada semua variasi termasuk control, kadar logam dalam tanaman lebih tinggi daripada kadar logam yang tersisih dari media. Hal ini karena sejatinya Cu merupakan logam esensial bagi tanaman, yang secara normal berada dalam tubuh tanaman (Sağlam et al., 2016)

4.3.2 Faktor Translokasi

Perhitungan faktor translokasi bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan logam dari akar menuju seluruh bagian tanaman (Mleczek et al., 2017). Selain itu,

faktor translokasi juga bertujuan untuk mengetahui bagaimana mekanisme tanaman dalam mengakumulasi logam berat, apakah termasuk dalam fitostabilisasi ataukah fitoekstraksi. Karena apabila nilai $FT < 1$ maka tanaman tersebut termasuk fitostabilisasi (Muliadi et al., 2013), sedangkan apabila nilai $FT > 1$ maka tanaman tersebut termasuk fitoekstraksi dan bisa dikatakan sebagai tanaman hiperakumulator. Karena menurut (Ali et al., 2013) tumbuhan hiperakumulator ialah yang memiliki konsentrasi logam tajuk – akar (faktor translokasi, FT) lebih besar dari 1.

Tabel 4.8. Faktor Translokasi

No	Variasi Konsentrasi	Faktor translokasi	
		2 minggu	4 minggu
1	Kontrol	-	-
2	1 mg/l	0,57	1,5
3	2 mg/l	0,60	2,33
4	3 mg/l	0,57	1,54

Pada **Tabel 4.8** terlihat nilai faktor translokasi dari perlakuan dengan waktu kontak 2 minggu ialah 0,57; 0,60; dan 0,57. Angka tersebut kurang dari 1 yang artinya pada waktu 2 minggu tanaman daun tombak mengakumulasi logam Cu secara fitostabilisasi. Pada mekanisme ini tanaman umumnya menyimpan logam pada akar dan tajuknya secara merata untuk selanjutnya diubah menjadi senyawa non toksik (Hidayati, 2020). Menurut (Lestari & Pratama, 2020) tingginya kandungan logam Cu pada akar tanaman dikarenakan sifat logam tersebut yang memiliki massa besar. Selain itu tembaga cenderung terakumulasi di jaringan akar dengan sedikit translokasi

ke pucuk (Sağlam et al., 2016). Lebih lanjut (Palar, 2008) menambahkan bahwa butuh energi yang lebih besar untuk memindahkan logam dari akar menuju bagian tubuh tanaman lain.

Namun 2 minggu kemudian, atau dengan waktu paparan 4 minggu, nilai faktor translokasi pada masing-masing perlakuan ialah 1,5; 2,33; dan 1,54. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui tanaman daun tombak menyerap dan mengakumulasi logam Cu secara fitoekstraksi. Nilai faktor translokasi > 1 yang mengindikasikan bahwa logam Cu lebih banyak dialokasikan ke bagian tajuk dibandingkan ke bagian akar, sedangkan faktor translokasi < 1 yang mengindikasikan bahwa logam Cu lebih banyak teralokasi di bagian akar (Anisa, 2020; Rohaningsih & Barti, 2015). (Tabel 4.5 & Tabel 4.6).

4.3.3 Laju Penyerapan

Perhitungan laju penyerapan logam oleh tanaman dihitung berdasarkan berat kering logam (mg/kg) yang telah terakumulasi dalam tanaman (tajuk dan akar), dan berat kering tanaman (mg). Jadi parameter laju penyerapan berhubungan dengan kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat.

Tabel 4.9. Laju Penyerapan

No	Variasi Konsentrasi	Laju penyerapan (mg/kg/hari)	
		2 minggu	4 minggu
1	Kontrol	-	-
2	1 mg/l	1,27	1,65
3	2 mg/l	2,38	6,53
4	3 mg/l	3,42	12,11

Berdasarkan **Tabel 4.9** dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar logam berat dan semakin lama waktu pemaparannya maka semakin tinggi pula laju penyerapannya. Sesuai pada **Tabel 4.7** tentang logam yang terserap dan terakumulasi oleh tanaman daun tombak. Pada tabel tersebut juga diketahui semakin tinggi konsentrasi logam Cu dan semakin lama waktu kontakannya maka semakin banyak pula logam yang terserap oleh tanaman. Hal ini diduga karena adanya perbedaan pada dua jenis media, yakni media dalam jaringan dan media pertumbuhan tanaman, dalam hal ini air (Caroline & Arron, 2015). Perbedaan konsentrasi inilah yang merangsang perpindahan massa (logam Cu) karena difusi dan osmosis, dalam hal ini massa zat dalam medium konsentrasi tinggi bergerak ke medium konsentrasi rendah (Haryati et al., 2012).

Adanya laju penyerapan ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya ialah laju transpirasi dan tekanan pada akar (Anisa, 2020). Selain itu, umur tanaman, waktu kontak, jenis logam, dan konsentrasi logam juga turut mempengaruhi nilai dari laju transpirasi (Indrasti et al., 2006; Novita, 2005).

4.3.4 Efektifitas Penyerapan

Perhitungan nilai efektifitas penyerapan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan logam oleh tanaman.

Tabel 4.10. Efektifitas Penyerapan

No	Variasi Konsentrasi	Efektifitas penyerapan	
		2 minggu	4 minggu

1	Kontrol	-	-
2	1 mg/l	44%	60%
3	2 mg/l	36%	70%
4	3 mg/l	40%	67%

Selain laju penyerapan, kemampuan tanaman dalam mengabsorpsi dan mengakumulasi logam berat juga dapat ditentukan oleh efektifitas penyerapan. Seperti yang telah tersaji pada **Tabel 4.10**, dapat diketahui efektifitas penyerapan terendah ialah pada perlakuan 2 mg/L dengan waktu kontak 2 minggu yakni 36%, sedangkan efektifitas penyerapan tertinggi ialah pada perlakuan 2 mg/L dengan waktu kontak 4 minggu yakni 70%. Suatu tanaman dapat dikatakan efektif sebagai tanaman hiperakumulator jika memiliki nilai efektifitas lebih dari 50% (Djo et al., 2017). Oleh karena itu, berdasarkan hasil pengamatan dapat diketahui bahwa tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) efektif menyerap logam Cu dalam waktu 4 minggu. Nilai efektifitas yang tinggi tersebut didukung karena logam Cu merupakan logam esensial bagi tanaman (Fitriyah et al., 2013)

4.3.5 Daya Penyisihan

Perhitungan daya penyisihan logam pada penelitian ini ialah berdasarkan pada penurunan kadar logam berat Cu dalam air (mg/L).

Tabel 4.11. Daya Penyisihan

No	Variasi Konsentrasi	Daya penyisihan	
		2 minggu	4 minggu
1	Kontrol	-	-
2	1 mg/l	49%	64%
3	2 mg/l	31%	59%

4	3 mg/l	30%	66%
---	--------	-----	-----

Pada **Tabel 4.11** menunjukkan daya penyisihan atau *removal efficiency*. Jika dilihat pada perlakuan dengan waktu kontak 2 minggu, diketahui daya penyisihannya semakin menurun seiring naiknya konsentrasi logam Cu. Penurunan efisiensi penyisihan tembaga oleh *Sagittaria lancifolia* seiring dengan peningkatan konsentrasi tembaga mungkin disebabkan oleh toksisitas tembaga yang mempengaruhi proses fisiologis dan kesehatan tanaman (Abbas et al., 2019). Namun pada perlakuan dengan waktu kontak 4 minggu, daya penyisihannya naik pada konsentrasi tertinggi (3 mg/L). Efisiensi penyisihan tembaga yang relatif tinggi dilaporkan dalam penelitian ini juga menunjukkan kemampuan *Sagittaria lancifolia* untuk memediasi pada media yang kurang nutrisi maupun yang bernutrisi, hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya efisiensi penyisihan (Tang et al., 2020).

4.4 Respon Pertumbuhan Tanaman

Pengamatan respon pertumbuhan tanaman sangatlah penting untuk penelitian fitoremediasi. Hal ini karena ketika tanaman terpapar stress seperti cekaman logam berat dalam konsentrasi yang tinggi, umumnya tanaman akan memberikan respon berupa perubahan morfologi. Seperti halnya kelebihan Cu dapat mengganggu perkembangan normal dengan mempengaruhi reaksi biokimia dan proses fisiologis pada tanaman (Guzel & Terzi, 2013). Adapun pengamatan respon pertumbuhan dalam penelitian ini diantaranya ialah biomassa tanaman berupa berat basah dan berat

kering tanaman, jumlah daun, dan perubahan morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia*.

4.4.1 Biomassa Tanaman *Sagittaria lancifolia*

Pengukuran biomassa tanaman dilakukan dengan mengukur berat basah dan berat kering tanaman. Menurut (Ross & Garden, 1974), bobot segar ialah bobot tanaman pada saat dipanen dan sebelum layu serta kehilangan air. Selain itu, Bobot segar menunjukkan hasil aktivitas metabolisme tanaman dan juga hasil fotosintesis tanaman, karena hasil dari fotosintesis digunakan untuk membentuk sel tanaman sehingga dapat berpengaruh pada bobot segar tanaman (Ardiansyah, 2016). Sementara itu, Berat kering tajuk mengungkapkan total biomassa yang dapat diserap tanaman. Menurut (Larcher, 2003) berat kering suatu tanaman merupakan hasil akumulasi bersih dari asimilasi CO₂ yang dilakukan selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pertumbuhan tanaman itu sendiri dapat memperhitungkan baik peningkatan berat basah maupun akumulasi bahan kering. Oleh karena itu, semakin baik tanaman tumbuh, semakin berat berat keringnya.

Tabel 4.12. Biomassa Tanaman

No	Variasi konsentrasi	Waktu kontak	Berat basah (g)	Berat kering (g)		Total (g)
				Akar	Tajuk	
1	Kontrol	2 minggu	70	0,77	5,11	5,88
2	1 mg/L	2 minggu	108	1,18	8,39	9,57
3	2 mg/L	2 minggu	103	0,82	9,1	9,92
4	3 mg/L	2 minggu	107	0,69	8,22	8,91
5	Kontrol	4 minggu	66	0,72	6,41	7,13
6	1 mg/L	4 minggu	65	0,63	4,9	5,53

7	2 mg/L	4 minggu	77	0,8	6,84	7,64
8	3 mg/L	4 minggu	109	1,2	10,2	11,4

Pada **Tabel 4.12** merupakan hasil pengukuran dari biomassa tanaman *Sagittaria lancifolia*. Pengukuran berat basah dan berat kering dilakukan pada minggu kedua dan keempat pada saat pemanenan. Perbedaan berat kering tajuk tidak hanya dipengaruhi oleh berat segar tajuk, tetapi juga oleh jumlah daun karena daun merupakan tempat akumulasi hasil fotosintesis tanaman. Seiring dengan meningkatnya proses fotosintesis, maka hasil fotosintesis yang berupa senyawa organik akan bermigrasi ke seluruh organ tanaman dan mempengaruhi berat kering tanaman (Baderan, 2011) dalam (Ardiansyah, 2016). Hasil bahan kering adalah keseimbangan antara fotosintesis dan respirasi. Fotosintesis meningkatkan berat kering dengan menyerap CO₂, dan respirasi mengurangi berat kering dengan menghilangkan CO₂. Jika respirasi lebih besar dari fotosintesis, berat kering berkurang dan sebaliknya (Ardiansyah, 2016).

Selanjutnya dilanjutkan dengan uji statistika pada kedua parameter tersebut. Hasil uji menunjukkan nilai signifikansi pada berat basah sebesar 0,000 dan pada berat kering sebesar 0,000. Oleh karena itu, dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat perbedaan rata-rata antara berat basah dan berat kering pada masing-masing perlakuan. Perbedaan rata-rata pada berat tajuk dapat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dan zat hara pada tiap perlakuan

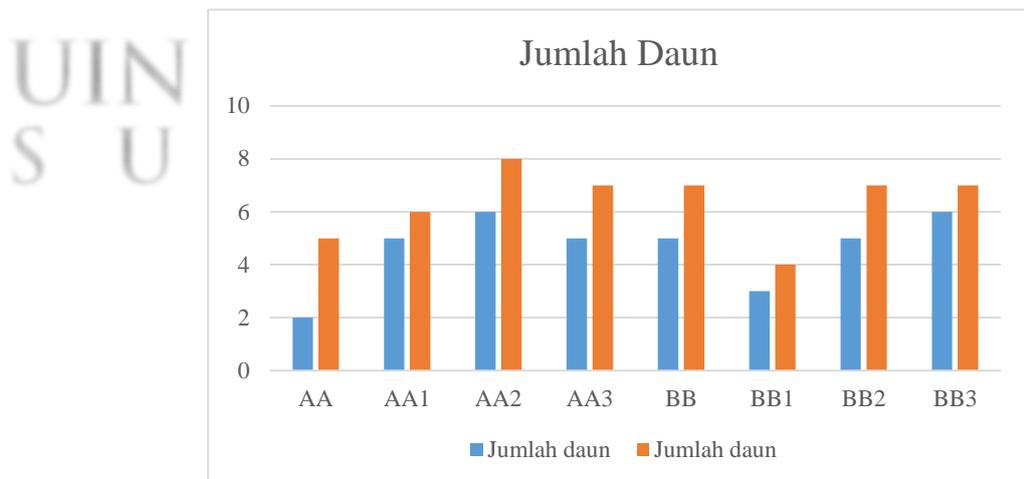
(Ardiansyah, 2016). Berbeda pada berat kering, perbedaan rata-rata pada berat kering dapat disebabkan oleh proses fotosintesis pada masing-masing tanaman (Baderan, 2011).

4.4.2 Jumlah Daun

Daun merupakan salah satu bagian tumbuhan yang berfungsi sebagai tempat sintesis makanan untuk metabolismenya. Semakin banyak jumlah daun, semakin banyak pula tempat bagi tumbuhan untuk memproduksi makanannya sehingga hasilnya juga akan semakin banyak (Ardiansyah, 2016).

Tabel 4.13. Jumlah Daun

No	Variasi konsentrasi	Waktu kontak	Jumlah daun	
			Sebelum	Sesudah
1	Kontrol	2 minggu	2	5
2	1 mg/L	2 minggu	5	6
3	2 mg/L	2 minggu	6	8
4	3 mg/L	2 minggu	5	7
5	Kontrol	4 minggu	5	7
6	1 mg/L	4 minggu	3	4
7	2 mg/L	4 minggu	5	7
8	3 mg/L	4 minggu	6	7

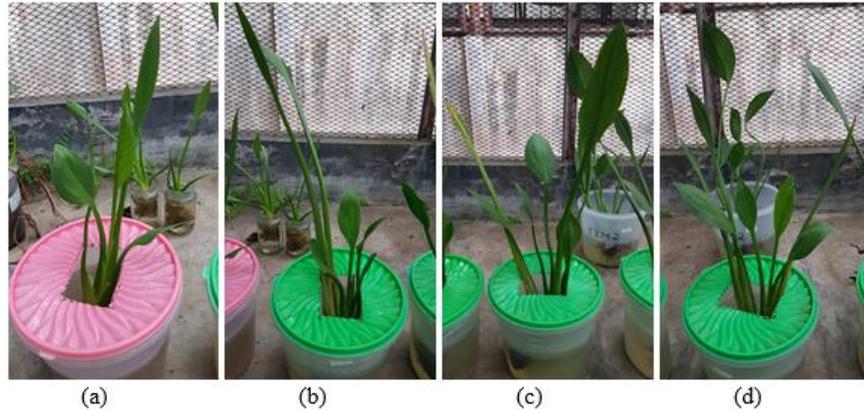


Bagan 4.3. Grafik Jumlah daun

Pada **Tabel 4.10** telah terlihat rata-rata jumlah daun saat sebelum treatment dan setelah treatment. Kemudian, Jika dilihat dari **Bagan 4.3**, diketahui bahwa pada masing-masing perlakuan rata-rata jumlah daun mengalami penambahan pada sebelum dan sesudah treatment. Rata-rata penambahan jumlah daun ialah sebanyak dua lembar, namun pada perlakuan kontrol dengan waktu kontak 2 minggu menunjukkan penambahan paling banyak, yakni sebanyak tiga daun. Adanya penambahan rata-rata jumlah daun menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh antara paparan logam tembaga (Cu) dengan jumlah daun *Sagittaria lancifolia*. Lebih lanjut setelah dilakukan uji statistik antara jumlah daun sebelum dan sesudah treatment, nilai sig yang diperoleh ialah 0,000. Berdasarkan nilai tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan antara jumlah daun sebelum dan sesudah treatment. Hal ini sesuai dengan **Bagan 4.3** yang menunjukkan penambahan jumlah daun pada semua perlakuan.

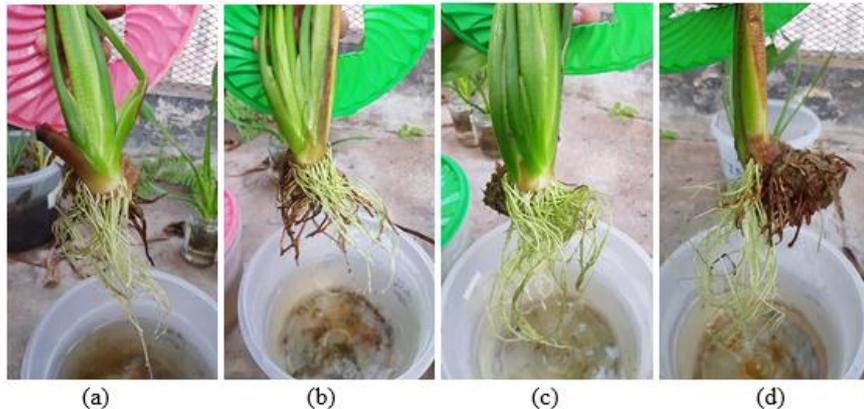
4.4.3 Perubahan Morfologi Tanaman

Pengamatan perubahan morfologi tanaman bertujuan untuk mengetahui perubahan morfologi serta adaptasi tanaman *Sagittaria lancifolia* ketika terpapar logam berat Cu. Adapun lebih lanjut tentang perubahan morfologi tanaman setelah terpapar logam Cu selama 2 minggu dapat dilihat pada contoh **Gambar 4.4**:



Gambar 4.5. Morfologi Tanaman Setelah 2 Minggu Paparan
 Keterangan: (a) kontrol; (b) 1 mg/L; (c) 2 mg/L; (d) 3 mg/L

Terlihat pada **Gambar 4.4** kondisi tanaman *Sagittaria lancifolia* setelah terpapar logam Cu selama 2 minggu masih dalam kondisi yang cukup baik. Hal ini ditandai dengan warna batang dan daun yang masih dalam kondisi segar. Selain itu, bentuk dan strukturnya juga masih dalam kondisi kuat. Berdasarkan kondisi tersebut, dapat diketahui bahwa tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) cukup kuat pada lingkungan yang tercemar logam Cu selama 2 minggu, karena tidak terdapat gejala klorosis maupun nekrosis pada daunnya. Klorosis pada daun merupakan salah satu gejala awal umum keracunan tembaga (Verma & Bhatia, 2014). Gejala lainnya adalah pertumbuhan akar terhambat, yang meliputi perkembangan yang buruk, percabangan berkurang, penebalan, dan warna gelap (Nair & Chung, 2015). Gejala-gejala tersebut berbanding terbalik dengan kondisi akar *Sagittaria lancifolia* yang baik dan masih dapat bertumbuh, seperti terlihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.6. Morfologi Akar *Sagittaria lancifolia* Variasi 2 Minggu
 Keterangan: (a) kontrol; (b) 1 mg/L; (c) 2 mg/L; (d) 3 mg/L

Begitu pula pada tanaman yang terpapar logam Cu selama 4 minggu. Kondisi morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia* terlihat masih dalam keadaan baik seperti pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7. Morfologi Tanaman Setelah 4 Minggu Paparan
 Keterangan: (a) kontrol; (b) 1 mg/L; (c) 2 mg/L; (d) 3 mg/L

Terlihat pada **Gambar 4.7** kondisi morfologi *Sagittaria lancifolia* setelah 4 minggu terpapar logam Cu. Menurut Sağlam et al., (2016) Kelebihan Cu dapat mempengaruhi proses fisiologis penting pada tanaman dan menyebabkan masalah dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Di sisi lain, kelebihan Cu ditandai dengan berkurangnya biomassa tanaman, klorosis daun, pertumbuhan akar terhambat, kecoklatan, dan nekrosis. Efek

toksisitas Cu sebagian besar akan berpengaruh terhadap pertumbuhan akar tanaman. Hal ini karena air dan nutrisi masuk ke tanaman melalui akar, setiap cacat atau malformasi akar menimbulkan masalah bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Sedangkan, terlihat pada **Gambar 4.6** akar *Sagittaria lancifolia* juga masih dalam kondisi yang baik, ditandai dengan warnanya yang masih hijau dan masih lebat. Kondisi tersebut jauh dari ciri-ciri tanaman yang terpapar toksisitas Cu. Umumnya tanaman yang terkena toksisitas Cu akan mengalami klorosis yang biasanya ditandai dengan adanya bercak atau lesi berwarna krem atau putih (Lee et al., 1996). Peningkatan hasil toksisitas tembaga dalam membentuk daerah nekrotik di ujung dan tepi daun (Sağlam et al., 2016).

Berdasarkan **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.6** terlihat kondisi tanaman *Sagittaria lancifolia* pada paparan 2 minggu maupun 4 minggu terlihat cukup baik, sehingga dapat diketahui bahwa pada lingkungan yang tercemar logam Cu dengan konsentrasi 3 mg/L *Sagittaria lancifolia* masih bisa bertahan dengan cukup baik. Hal ini ditandai dengan kondisi akarnya yang masih hijau dan lebat, batangnya yang masih kokoh, serta daunnya yang terlihat masih hijau dan kokoh, bahkan masih bisa tumbuh tunas daun yang baru. Padahal umumnya kelebihan tembaga menghambat ekspansi daun, pemanjangan sel, dan pembelahan sel (Maksymiec, 1998b; Panou-Filotheou & Bosabalidis, 2004). Lebih lanjut, paparan yang lama

terhadap cekaman tembaga menyebabkan helaian daun terlipat, peningkatan jumlah rambut pada permukaan bawah helaian daun, peningkatan jumlah stomata dan penurunan ukuran stomata, dan pengurangan volume ruang antar sel mesofil (Sağlam et al., 2016).

4.5 Integrasi Keislaman

Milyaran tahun lalu, Allah SWT telah menciptakan alam semesta dengan sangat sempurna. Termasuk didalamnya ialah bumi, yang telah Allah sediakan dengan begitu indah dan sempurna sebagai tempat tinggal bagi manusia (Widowati et al., 2018). Namun akhir-akhir ini telah terjadi kerusakan di muka bumi yang tak lain disebabkan oleh ulah manusia yang ceroboh dalam merawat dan menjaga bumi. Hal itu pada dasarnya telah tertulis dalam Alquran Surat Ar Rum [30] ayat 41-42, yakni:

ظَهَرَ آلٌ فَسَادٌ فِي آلٍ بَرٍّ وَأَلٌ بَحْرٍ بِمَا كَسَبَتْ أَيُّدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ (٤١) قُلْ سِيرُوا فِي آلِ أَرْضِضٍ فَانظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِنْ

قَبْلُ لَئِنْ كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُّشْرِكِينَ (٤٢)

Yang artinya: “Telah Nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (41) Katakanlah: Adakanlah perjalanan dimuka bumi dan perhatikanlah bagaimana kesudahan orang-orang yang dulu. Kebanyakan dari mereka itu adalah orang-orang yang mempersekutukan (Allah).” (QS. Ar Rum [30]:41-42).

Namun, banyak manusia yang tidak menyadari akan kesalahannya yang mengakibatkan kerusakan alam, termasuk adanya pencemaran logam berat di perairan. Seperti pada Alquran Surat Al-Baqarah [2] ayat 12, yakni:

أَلَا إِنَّهُمْ ۖ هُمْ أَلۢمُفۢسِدُونَ وَلٰكِن لَّا يَشۢرُونَ (١٢)

Yang artinya: “Ingatlah, sesungguhnya mereka itulah orang-orang yang membuat kerusakan, tetapi mereka tidak sadar”. (QS. Al-Baqarah [2]:12).

Disamping adanya permasalahan pencemaran di bumi, Allah SWT juga telah memberikan suatu solusi. Solusi tersebut dikemas dalam suatu proses yang begitu kompleks agar manusia mempelajarinya. Sehingga alam dapat kembali menjalankan fungsinya dengan baik dan seimbang. Dalam hal ini ialah proses fitoremediasi, yakni peran dan mekanisme tumbuhan dalam menghilangkan beban polutan yang ada di lingkungan. Menurut (Widowati et al., 2018) adanya penciptaan tumbuhan dasarnya telah tersirat dalam Alquran Surat Thaahaa [20] ayat 53, yakni:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمۡ أَلۢأَرۢضَ مَهۢدًا ۖ وَسَلَكَ لَكُمۡ فِيهَا سُبُلًا ۖ وَأَنزَلَ مِنَ السَّمَآءِ مَآءً ۖ

فَأَخۢرَجۡنَا بِهٖٓ أَزۢوَٰجًا مِّنۢ حَبِّهَا ۖ وَنَبَاتًا ۖ شَجَٰتٍ (٥٣)

Yang artinya: “Maka kami tumbuhkan dengan air hujan itu berjenis-jenis dari tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam”. (QS. Thaahaa [20]:53)

Berdasarkan ayat tersebut, Allah SWT telah menciptakan berbagai macam jenis tumbuhan yang tentunya memiliki manfaat bagi kehidupan makhluk di bumi. Hal ini karena segala sesuatu yang diciptakan Allah SWT tidaklah dengan sia-sia. Artinya, segala makhluk ciptaannya-Nya pasti memiliki fungsi dan manfaat, baik itu secara langsung maupun tidak langsung. Seperti halnya peran dan potensi tumbuhan yang dapat menjadi solusi terhadap adanya pencemaran lingkungan (Widowati et al., 2018). Seperti dalam Alquran Surat Ali ‘Imran [3] ayat 190-191, yakni:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِّأُولِي
 الْأَلْبَابِ (١٩٠) الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَفُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ
 السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطُلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ (١٩١)

Yang artinya: “Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka”. (QS. ‘Ali ‘Imran [3]: 190-191).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

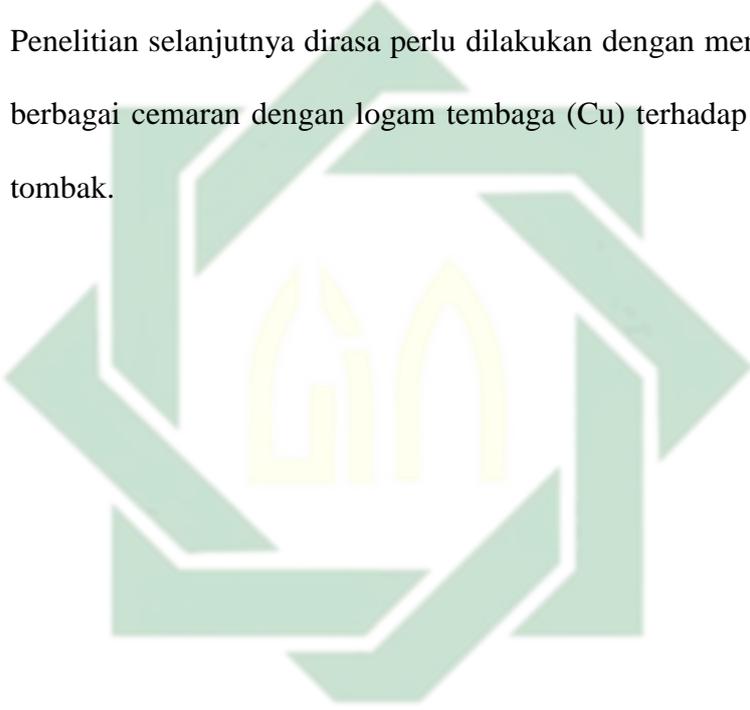
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) terbukti mampu dalam mengabsorpsi logam berat tembaga (Cu). Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian menunjukkan kadar logam Cu yang terserap oleh masing-masing tanaman ialah 0,44 mg/L; 0,72 mg/L; 1,19 mg/L pada waktu 2 minggu, dan 0,6 mg/L; 1,4; 2,01 mg/L pada waktu 4 minggu. Sedangkan nilai efektifitasnya ialah 44%, 36%, dan 40% pada perlakuan 2 minggu, dan 60%, 70%, 67% pada perlakuan 4 minggu. Lebih lanjut, berdasarkan perhitungan faktor translokasi menunjukkan hasil 0,57; 0,60; dan 0,57 pada perlakuan 2 minggu, dan 1,5; 2,33; dan 1,54 pada perlakuan 4 minggu.
2. Adanya paparan logam berat tembaga (Cu) pada masing-masing variasi konsentrasi dan variasi waktu detensi tidak memiliki pengaruh yang berarti terhadap pertumbuhan dan kondisi morfologi tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*), sehingga tanaman ini layak dijadikan sebagai salah satu opsi dalam upaya pemulihan lingkungan perairan yang tercemar logam berat tembaga (Cu).

5.2 Saran

1. Diperlukan adanya penelitian lanjut dengan memanipulasi beberapa variabel sehingga dapat meningkatkan efektifitas tanaman daun tombak dalam mengabsorpsi logam berat, khususnya tembaga (Cu).
2. Perlu adanya percobaan dengan menggunakan metode atau reaktor yang berbeda dalam fitoremediasi logam berat oleh *Sagittaria lancifolia*.
3. Penelitian selanjutnya dirasa perlu dilakukan dengan mengomparasikan berbagai cemaran dengan logam tembaga (Cu) terhadap tanaman daun tombak.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Z., Arooj, F., Ali, S., Zaheer, I. E., Rizwan, M., & Riaz, M. A. (2019). Phytoremediation of landfill leachate waste contaminants through floating bed technique using water hyacinth and water lettuce. *International Journal of Phytoremediation*, 21(13), 1356–1367. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1633259>
- Adistiara, V., & Kustiyaningsih, E. (2019). Phytoremediation of domestic wastewater (detergent) with arrowhead and burhead plants in Purwodadi Botanic Garden. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 259(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/259/1/012002>
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals- Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Alpian, A. (2020). *Fitoakumulasi Ion Logam Tembaga (Cu²⁺) dan Kobal (Co²⁺) oleh Tanaman Bayam Merah (Amaranthus Tricolor L.) pada Tanah Tercemar*. Universitas Hasanuddin.
- Anisa, F. (2020). ANALISIS LAJU DAN DAYA SERAP TANAMAN BAMBU AIR (*Equisetum hyemale* L.) TERHADAP LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DENGAN INSTRUMEN AAS (ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY). *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Aqli, H. . (2019). *Fitoremediasi oleh tumbuhan hydrilla (Hydrilla verticillata (LF) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan dengan variasi konsentrasi logam tembaga (Cu)*. UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Ardiansyah. (2016). *Aplikasi Kombinasi Limbah Cair Industri Tempe Dan Urea Pada Pertumbuhan Dan Hasil Selada (Lactuca Sativa)*. FP UMY.
- Ayres, D., Davis, A., Centre, P. G.-E. R., & 1994, U. (1994). Removing heavy metals from wastewater. *Engineering Research Centre Report*.
- Baderan, nurdin. (2011). Antipasi Perubahan Iklim untuk Keberlanjutan

Ketahanan Pangan. *Jurnal Dialog Kebijakan Publik*, 4(1).

- Baroroh, F. (2017). *Fitoremediasi air tercemar tembaga (Cu) menggunakan salvinia molesta dan pistia stratiotes serta pengaruhnya terhadap budidaya tanaman brassica rapa*. Univeritas Brawijaya.
- 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), 2549–9793. <http://jtsl.uib.ac.id>
- Bayçu, G. (2016). *View project Phytoremediation of Heavy Metal Nanoparticles by Plantain (Plantago) Plants (Istanbul University Scientific Research Projects (Issue 44682))*.
- Caroline, J., & Arron, G. (2015). Fitoremediasi logam timbal (Pb) menggunakan tanaman melati air (Echinodorus palaefolius) pada limbah industri peleburan tembaga dan kuningan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 733–744.
- Collon, G. E., & Velasquez, J. (1989). Dispersion, germination and growth of seedlings of *Sagittaria lancifolia* L. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*, 24(1), 37–49. <https://doi.org/10.1007/BF02854790>
- Dewi, E., Andriana, L., & R Irawanto. (2018). Phenology Study of Aquatic Plants (*Sagittaria lancifolia* and *Echinodorus radicans*) in Purwodadi Botanic Garden. *Prosiding*, 114.
- Djo, W. H. Y., Suastuti, D. A., Suprihatin, I. E., & Sulihingtyas, W. D. (2017). Fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk menurunkan COD dan kandungan Cu dan Cr limbah cair laboratorium. *Ojs.Unud.Ac.Id*, 5(2).
- Dowty, R. A., Sha€ er, G. P., Hester, M. W., Childers, G. W., Campo, F. M., & Greene, M. C. (2001). Phytoremediation of small-scale oil spills in fresh marsh environments: a mesocosm simulation. In *Elsevier*.
- Ed Bloodnick. (2021, November 3). *Role of Copper in Plant Culture | PRO-MIX*

Greenhouse Growing. <https://www.pthorticulture.com/en/training-center/role-of-copper-in-plant-culture/>

Estuningsih, S. ., Juswardi, J., Yudono, B., & Yulianti, R. (2013). Potensi tanaman rumput sebagai agen fitoremediasi tanah terkontaminasi limbah minyak bumi. *Jurnal.Fmipa.Unila.Ac.Id*.

Fatoni, A. (2020). *Fitoremediasi Logam Berat (Zn) Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes)*. UIN Sunan Ampel.

Fernandes, J. C., & Henriques, F. S. (1991). Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *The Botanical Review*, 57(3), 246–273. <https://doi.org/10.1007/BF02858564>

Filipus, R. A. A. I. . P. F. A. (2018). Bioakumulasi Logam Berat Tembaga Cu Pada Kerang Darah Di Perairan Muara Sungai Lumpur Kabupaten Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan. *Maspari Jurnal*, 10(2), 131–140.

Firmansyah, M. ., & Alfarisi, M. . (2016). Uji Patogenesis Patogen Hawar Daun Pada Tanaman Kayu Afrika (*Maesopsis Eminii* Engl.) Di Persemaian Permanen BPDAS Bogor. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 7(2), 115–124.

Fitria, S. . (2014). *Potensi Tanaman Genjer (Limnocharis Flava) Untuk Mengurangi Kadar Logam Berat (Pb Dan Cu) Serta Radionuklida Dengan Metode Fitoremediasi*. Universitas Brawijaya.

Fitrihidajati, H., Kustiyaningsih, E., & Rachmadiarti, F. (2020). The Ability of *Sagittaria lancifolia* as Phytoremediator on Detergent Solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042072>

Fitriyah, A. ., Utomo, Y., & Kusumaningrum, I. (2013). Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya. *Jurnal Online Kimia Universitas Negeri Malang*, 2(1), 1–8.

Gandjar, I. G. (2007). *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Pelajar.

Guzel, S., & Terzi, R. (2013). Exogenous hydrogen peroxide increases dry matter

- production, mineral content and level of osmotic solutes in young maize leaves and alleviates deleterious effects of copper stress. *Botanical Studies*, 54(1). <https://doi.org/10.1186/1999-3110-54-26>
- Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53(366), 1–11. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.1>
- Hamzah, A., & Priyadarshini, R. (2019). Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat. In *UNITRI Press*.
- Haruna, E. T., Ishak, ;, Nita, I. ;, & Suleman. (2012). Fitoremediasi Pada Media Tanah Yang Mengandung Cu Dengan Tanaman Kangkung Darat. *Jurnal Saintek*, 6(6).
- 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. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 1(3), 131–138.
- Hendrasarie, N., & Dieta, Y. A. (2019). Kemampuan Adsorpsi Pb Dari Limbah Industri Oleh Tumbuhan Kayu Ambang (*Lemna Minor*), Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*), Dan Eceng. *Jurnal Envirotek*, 1(1).
- Herlambang, A. (2018). Pencemaran Air Dan Strategi Penggulungannya. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v2i1.2280>
- Hidayah, N., Ilham, M., & Irawanto, R. (2020). *Re-Inventarisasi Keanekaragaman Tanaman Air Dan Persebarannya Di Kebun Raya Purwodadi-LIPI*. 209–218.
- Hidayati, N. (2005). Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator. *Hayati Journal of Biosciences*, 12(1), 35–40.
- Hidayati, N. (2016). MEKANISME FISILOGIS TUMBUHAN HIPERAKUMULATOR LOGAM BERAT = Heavy Metal Hyperaccumulator Plant Physiology Mechanism. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 14(2), 75. <https://doi.org/10.29122/jtl.v14i2.1424>

- Hidayati, N. (2020). *Tanaman Akumulator Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) untuk Fitoremediasi* (Issue Cd).
- Ikawati, S., Zulfikar, A., & Umrah, D. A. (2017). Efektivitas Dan Efisiensi Fitoremediasi Pada Deterjen Dengan Menggunakan Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Fitoremediation Effectivity and Efficiency of. *Jurnal Umrah*, 1–7.
- Indrasti, N., Suprihatin, B., & Industri, A. N. (2006). Penyerapan logam Pb dan Cd oleh eceng gondok: pengaruh konsentrasi logam dan lama waktu kontak. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(1), 44–50.
- Irawanto, R. (2017). Fitoremediasi Lingkungan Dalam Taman Bali. *Local Wisdom : Jurnal Ilmiah Kajian Kearifan Lokal*, 2(4), 29–35.
- Karoba, F., & Nurjismi, R. (2015). PENGARUH PERBEDAAN pH TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN KAILAN (*Brassica oleraceae*) SISTEM HIDROPONIK NFT (Nutrient Film Tecnique). *Jurnal Ilmiah Respati*, 6(2).
<https://doi.org/10.52643/JIR.V6I2.222>
- Krisnawati, Yulian Widya, T., Nurasih, A., & Muji Santoso, A. (2015). Perancangan Moolief Bioreactor Untuk Remediasi Air Sungai Brantas Kediri Tercemar Limbah Domestik Dan Industri. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi 2015 UMM*, 496.
- Kustiyaningsih, E., & Irawanto, R. (2020). Pengukuran Total Dissolved Solid (Tds) Dalam Fitoremediasi Deterjen Dengan Tumbuhan. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 143–148.
<https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.1.18>
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*.
- Lee, C. W., Jackson, M. B., Duysen, M. E., Freeman, T. P., & Self, J. R. (1996). Induced Micronutrient Toxicity in ‘Touchdown’ Kentucky Bluegrass. *Crop Science*, 36(3), 705–712.

<https://doi.org/10.2135/CROPSCI1996.0011183X003600030031X>

- Lestari, N., & Pratama, N. (2020). Potensi Tanaman Rami (*Boehmeria Nivea*) Untuk Fitoremediasi Tanah Tercemar Tembaga. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(2), 291–297.
- Maksymiec, W. (1998a). Effect of copper on cellular processes in higher plants. *Photosynthetica*, 34(3), 321–342. <https://doi.org/10.1023/A:1006818815528>
- Maksymiec, W. (1998b). Effect of copper on cellular processes in higher plants. *Photosynthetica* 1997 34:3, 34(3), 321–342. <https://doi.org/10.1023/A:1006818815528>
- Maria, S. (2009). *Penentuan Kadar Logam Besi (Fe) Dalam Tepung Gandum Dengan Cara Destruksi Basah Dan Kering Dengan Spektrofotometri Serapan Atom*. Universitas Sumatera Utara.
- Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M. J., Samson, D., & Tack, F. M. G. (2005). Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Chemosphere*, 58(8), 1011–1022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.047>
- Mleczek, M., Goliński, P., Krzesłowska, M., Gąsecka, M., Magdziak, Z., Rutkowski, P., Budzyńska, S., Waliszewska, B., Kozubik, T., Karolewski, Z., & Niedzielski, P. (2017). Phytoextraction of potentially toxic elements by six tree species growing on hazardous mining sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(28), 22183–22195. <https://doi.org/10.1007/S11356-017-9842-3/FIGURES/8>
- Mokodongan, B., Sela, R. L. E., & Karongkong, H. H. (2014). Identifikasi Pemanfaatan Kawasan Bantaran Sungai Dayanan Di Kotamobagu. *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur*, 6(3), 273–283.
- Muliadi, Liestianty, D., Yanny, & Sumarna, S. (2013). Fitoremediasi : Akumulasi dan Distribusi Logam Berat Nikel, Cadmium dan Chromium dalam Tanaman *Ipomea reptana*. *Prosoding Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia, December 2013*, 1–5. <https://doi.org/10.13140/2.1.4222.2726>

- Mulyaningsih, N. (2013). Alternatif pengendalian pencemaran limbah nikel - krom pada industri kecil pelapisan logam. *Science and Technology Index*, 39(2), 1–12.
- Nair, P. M. G., & Chung, I. M. (2015). Study on the correlation between copper oxide nanoparticles induced growth suppression and enhanced lignification in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 302–313. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2014.12.013>
- Napitupulu M. (2008). *Analisis Logam Berat Seng, Kadmium dan Tembaga pada Berbagai Tingkat Kemiringan Tanah Hutan Tanaman Industri PT. Toba Pulp Lestari dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom*. Universitas Sumatera Utara.
- Novita, A. (2005). *Penyerapan Logam Pb dan Cd oleh Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) : Pengaruh Konsentrasi dan Lama Waktu Kontak*. IPB (Bogor Agricultural University).
- Novita, Y., & Purnomo, T. (2012). Penyerapan logam timbal (Pb) dan kadar klorofil *Elodea canadensis* pada limbah cair pabrik pulp dan kertas. *Lentera Bio*, 1(1), 1–8.
- Okunowo, W., & Ogunkanmi, L. (2010). Phytoremediation potential of some heavy metals by water hyacinth. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(2). <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i2.58121>
- Oliveira, H. (2012). Chromium as an Environmental Pollutant: Insights on Induced Plant Toxicity. *Journal of Botany*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/375843>
- Ouzounidou, G., Čiamporová, M., Moustakas, M., & Karataglis, S. (1995). Responses of maize (*Zea mays* L.) plants to copper stress—I. Growth, mineral content and ultrastructure of roots. *Environmental and Experimental Botany*, 35(2), 167–176. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(94\)00049-B](https://doi.org/10.1016/0098-8472(94)00049-B)
- Palar, H. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta.
- Panou-Filotheou, H., & Bosabalidis, A. M. (2004). Root structural aspects

associated with copper toxicity in oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*).
Plant Science, 166(6), 1497–1504.
<https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2004.01.026>

Putranto, T. T. (2011). Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Airtanah.
Jurnal Teknik, 32(1), 62–71.

Qutb, S. (2004). *Tafsir fi zhilalil Qur'an di Bawah Naungan Al-Qur'an Jilid VII*.
Gema Insani.

Raras, D. P., Yusuf, B., & Alimuddin, D. (2015). Analisis Kandungan Ion Logam Berat (Fe, Cd, Cu dan Pb) pada Tanaman Apu-Apu (*Pistia Stratiotes* L) dengan menggunakan Variasi Waktu. *Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA Unniversitas Mulawarman*.

Rochyatun, E., Taufik Kaisupy, & Abdul Rozak. (2006). Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *MAKARA SAINS*, 10(1), 35–40.

Rohman, A. (2007). *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Belajar.

Rondonuwu, S. B. (2014). Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman Dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(1), 52–59.

Rosada, M. (2020). *Komparasi variasi jumlah tanaman melati air (Echinodorus Palaefolius) dalam menurunkan total dissolve solid limbah cair industri menggunakan sistem resirkulasi*. UIN Sunan Ampel.

Rosihan, H. H. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat Press.

Ross, C., & Garden, F. S. (1974). *Plant Physiology, 1947-1972*. In *JSTOR*.

Rukmi, A. (2019). *Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Tiram Bakau (Crassostrea Cucullata) Dan Air Di Pesisir Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur*. Universitas Brawijaya.

Russell, R. S. (1977). Plant root systems : their function and interaction with the soil. *Plant Root Systems : Their Function and Interaction with the Soil*.

Sağlam, A., Yetişsin, F., Demiralay, M., & Terzi, R. (2016). Copper Stress and

Responses in Plants. *Plant Metal Interaction: Emerging Remediation Techniques*, 21–40. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00002-3>

Sastrohamidjojo, H. (1991). *Kromatografi edisi II*. Liberty.

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*. UNS
Sebelas Maret.

Serang, L., E Handayanto, & R Rindyastuti. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Logam Kromium Dengan Menggunakan *Sagittaria lancifolia* dan *Pistia stratiotes* Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Kangkung Darat. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 739–746.

Setiawan, H., Penelitian, B., & Makassar, K. (2015). Akumulasi dan Distribusi Logam Berat pada Vegetasi Mangrove di Pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.22146/jik.6134>

Shihab, M. . (2002). *Tafsir al-Misbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian al-Quran Vol. 5*. Lentera Hati.

Sidauruk, L., & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Pertanian Tropic*, 2(2), 178–186.

Siotto, M., & Squitti, R. (2018). Copper imbalance in alzheimer's disease: Overview of the exchangeable copper component in plasma and the intriguing role albumin plays. *Coordination Chemistry Reviews*, 37(1), 86–95.

Sukoasih, A., & Widiyanto, T. (2017). suhu, pH dan berbagai variasi jarak dengan kadar timbal (Pb) pada badan air sungai rompang dan air sumur gali industri batik sokaraja tengah tahun 2016. *Buletin Keslingmas*, 360(368), 36–4.

Sulistiyono, E., & Rokhmah, F. (2013). Pengaruh Kandungan Cu dalam Air Irigasi terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 40(3), 180–183. <https://doi.org/10.24831/jai.v40i3.6823>

- Suryadi, Isna, A., & Kadaria, U. (2017). Uji Tanaman Coontail (*Ceratophyllum Demersum*) Sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1).
- Suryan, M., Nursal, N., & Febrita, E. (2015). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada *Anadara Granosa* di Pantai Nongsa Kota Batam untuk Penyusunan Lembar Tugas Siswa pada. *Jurnal Online Mahasiswa*.
- Susanti, R., Mustikaningtyas, D., & Arum, S. (2014). Analisis Kadar Logam Berat Pada Sungai Di Jawa Tengah. *Saintekno*, 12(1). <https://doi.org/10.15294/saintekno.v12i1.5424>
- Syranidou, E., Christofilopoulos, S., & Kalogerakis, N. (2017). *Juncus* spp.—The helophyte for all (phyto)remediation purposes? *New Biotechnology*, 38, 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.12.005>
- Taguge, A., Oliy, A. H., & Panigoro, C. (2014). Studi Status Kandungan Logam Berat Timbal di Perairan Sekitar Pelabuhan Kota Gorontalo. In *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan: Vol. II* (Issue 1). <https://doi.org/10.37905/.V2I1.1244>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. Sinauer Associates. Sunderland.
- Tang, K. H. D., Awa, S. H., & Hadibarata, T. (2020). Phytoremediation of Copper-Contaminated Water with *Pistia stratiotes* in Surface and Distilled Water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(12). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04937-9>
- Taufikurrahman, T. (2016). *Penentuan kadar timbal (Pb) dan tembaga (Cu) dalam tanaman rimpang menggunakan metode destruksi basah secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*. UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Taufiqr, A., Asri, A. R., & Joko Purnomo. (2008). Penanggulangan Klorosis pada Kacang Tanah di Alfisol Alkalis. *Buletin Brawijaya*, 3(1), 1–16.
- Verma, A., & Bhatia, S. (2014). Analysis of some physicochemical parameters and trace metal concentration present in the soil around the area of Pariccha

thermal power station in Jhansi, India. *International Journal Innovation Science Engineering*, 3, 10482–10488.

Wahidin, A. (2010). *Modul Pelatihan Instrumentasi SSA*. Laboratorium Terpadu UII.

Wahwakhi, S. (2017). *Potensi Acanthus ilicifolius Sebagai Agen Fitoremediasi dan Fitotiming Pada logam Berat Cu di Kelurahan Wonorejo Surabaya*. Institut Pertanian Bogor.

Wibisono, P. ., & Rahaswanti, L. (2002). Pengaruh Pasta Gigi yang Mengandung Enzim Terhadap Plak. *Jurnal PDGI*, 401–403.

Widowati, H., Susanto, A., & Sulistiani, W. S. (2018). *Fitoteknologi dan Efek Fitoremediasi* (1st ed.). LPPM UMMetro Press.

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. <https://doi.org/10.30556/JTMB.VOL10.NO1.2014.750>

Wulandari, S. Y., Yusuf, M., & Muslim, M. (2014). Kajian Konsentrasi Dan Sebaran Parameter Kualitas Air Di Perairan Pantai Genuk, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.14710/buloma.v3i1.11213>

Yunasfi, D., & Singh, K. P. (2019). The heavy metal of cuprum (Cu) and lead(Pb) content in *Avicennia marina* and *Rhizophora mucranata* The heavy metal of cuprum (Cu) and lead(Pb) content in *Avicennia marina* and *Rhizophora mucranata*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 374(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012064>

Zubayr, S. A. (2009). *Analisis Status Pencemaran Logam Berat di Wilayah Pesisir (Studi Kasus Pembuangan Limbah Cair dan Tailing Padat/Slag Pertambangan Nikel Pomalaa)*. IPB (Bogor Agricultural University).