

FITOREMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) OLEH TUMBUHAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) BERDASARKAN VARIASI WAKTU KONTAK

SKRIPSI

Oleh :
SAIDATUL MUKAROMAH
NIM. 18630075



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

FITOREMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) OLEH TUMBUHAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) BERDASARKAN VARIASI WAKTU KONTAK

SKRIPSI

Oleh:
SAIDATUL MUKAROMAH
NIM.18630075

Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
dalam Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024

FITOREMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) OLEH TUMBUHAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) BERDASARKAN VARIASI WAKTU KONTAK

SKRIPSI

Oleh:
SAIDATUL MUKAROMAH
NIM.18630075

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 18 juni 2024

Pembimbing I



A. Ghanaim Fasya, M.Si
NIP. 19820616 200604 1 002

Pembimbing II



Dr. M. Imamudin, Lc., MA
NIP. 19740602 200901 1 010

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia



Rachmawan M. L. Sih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

FITOREMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) OLEH TUMBUHAN KAYU APU (*Pistia stratiotes*) BERDASARKAN VARIASI WAKTU KONTAK

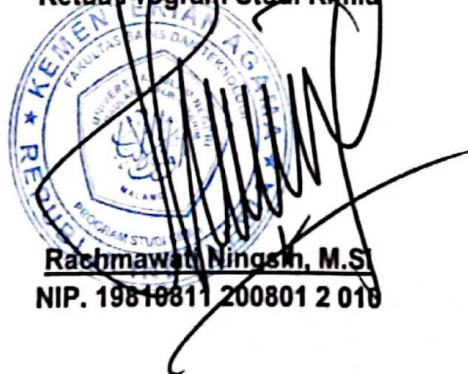
SKRIPSI

Oleh:
SAIDATUL MUKAROMAH
NIM.18630075

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 21 Juni 2024**

Ketua Penguji	: Diana Chandra Dewi, M.Si NIP. 19770720 200312 2 001	()
Anggota Penguji I	: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc NIP. 19900906 202321 2 033	()
Anggota Penguji II	: A. Ghanaim Fasya, M.Si NIP. 19820616 200604 1 002	()
Anggota Penguji III	: Dr. M. Imamudin, Lc., MA NIP. 19740602 200901 1 010	()

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia**


Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil 'alamin,

Puji Syukur Kehadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karuniaNya. Skripsi ini saya persembahkan sebagai tanda bakti dan hormat saya

Kepada orang tua tercinta penulis ibu Supiah, bapak Imam Sibawih dan Ibu Ruhaidah. Terima kasih atas dukungan moril dan materiil, nasehat serta doa yang tak kunjung habis dipanjatkan kepada penulis

Kepada adik tersayang Lailatul zahra dan kakak tersayang Latifah. Terima kasih atas doa dan semangat yang diberikan. Terima kasih sudah terus mengingatkan agar penulis tidak menyerah dalam mengerjakan skripsi

Dan terakhir kepada diri saya sendiri karena sudah mau bertahan dan berjuang hingga detik ini walaupun jalan yang dilewati berombang-ambing tetapi tetap mengusahakan untuk mendapatkan gelar S.Si hingga selesai

MOTTO

“Selalu sisihkan keyakinan dibalik banyaknya keraguan”

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Saidatul Mukaromah
NIM : 18630075
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Fitoremediasi Logam Berat Tembaga (Cu) oleh Tumbuhan Kayu Apu
(*Pistia stratiotes*) Berdasarkan Variasi Waktu Kontak

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-banar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 18 juni 2024
Yang membuat pernyataan,



METERAI
TEMPEL
D 11E0ALX198179003
Saidatul Mukaromah
NIM. 18630075

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat, taufik, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Fitoremediasi Logam Berat Tembaga (Cu) oleh Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Berdasarkan Variasi Waktu Kontak”**. Selawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw. Selanjutnya, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin MA selaku rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak A. Ghanaim Fasya, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memotivasi, mengarahkan, dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. M. Imamudin Lc., MA selaku dosen pembimbing agama yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ahmad Hanapi, M.Sc selaku dosen wali yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
7. Orang tua tercinta penulis, serta kakak dan adik tersayang penulis yang selalu mendoakan, memotivasi dan mendukung penulis baik secara materi maupun non-materi.
8. Seluruh Dosen, Laboran, dan Staff Administrasi Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, pengalaman, wacana, serta wawasannya sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.
9. Kepada teman-teman kimia angkatan 2018 khususnya Sariti yang selalu mengajak , mendukung dan memberi masukan kepada penulis untuk tidak menyerah dan meyakinkan bahwa semua pasti bisa terlewati.
10. Sahabat penulis ETA Squad yang menemani dan menghibur penulis untuk terus berjuang menyelesaikan gelar ini hingga selesai.
11. Seseorang jauh yang tidak bisa disebut namanya yang penulis temui pada akhir masa skripsi. Terima kasih sudah terus menemani, meyakinkan, mendukung, menerima keluh kesah dan mendoakan penulis.
12. Semua pihak yang turut ikut membantu dalam pengerjaan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga amal perbuatan semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini dibalas dan diridhoi oleh Allah Swt. Terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih terdapat kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu, penulis menerima segala saran dan kritik dari pembaca agar penulis dapat lebih baik lagi dalam penulisan skripsi maupun karya tulis lainnya. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pembaca.

Malang, 18 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
MOTTO.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
المخلص.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>).....	5
2.2 Logam Berat Tembaga (Cu)	6
2.3 Fitoremediasi.....	8
2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi.....	10
2.3.2 Mekanisme Logam Berat oleh Tumbuhan Kayu Apu	10
2.4 Parameter Fitoremediasi	13
2.4.1 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF).....	13
2.4.2 <i>Translocation Factor</i> (TF).....	13
2.5 Aklimatisasi Kayu Apu	14
2.6 Destruksi Sampel	14
2.7 Analisis Kadar Logam Tembaga (Cu) Secara Spektroskopi Serapan Atom ..	15
2.8 Uji <i>One Way</i> ANOVA.....	17
2.9 Perspektif Islam Tentang Pencemaran Lingkungan.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Pelaksanaan.....	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.2.1 Alat	19
3.2.2 Bahan	19
3.3 Rancangan Penelitian.....	19
3.4 Tahapan Penelitian.....	20
3.5 Pelaksanaan Penelitian	20
3.5.1 Pengambilan Sampel Tanaman Kayu Apu.....	20
3.5.2 Analisis Awal Kadar Logam Cu pada Sampel Air dengan Menggunakan Instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA)	20
3.5.3 Aklimatisasi.....	21
3.5.4 Proses Fitoremediasi	21
3.5.4.1 Preparasi Sampel Limbah Logam Cair Laboratorium.....	21

	x
3.5.4.2 Pemaparan Sampel dengan Limbah Logam Laboratorium	21
3.5.5 Destruksi Sampel	21
3.5.5.1 Destruksi Sampel Biomassa	21
3.5.5.2 Destruksi Sampel Air	22
3.5.6 Analisis Tembaga (Cu) pada Tanaman Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)....	22
3.5.6.1 Pembuatan Kurva Standar Tembaga (Cu)	22
3.5.6.2 Analisis Logam Cu pada Kayu Apu Menggunakan SSA	22
3.6 Analisis Data	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Pengambilan Sampel Tanaman Kayu Apu	24
4.2 Aklimatisasi	24
4.3 Proses Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu.....	25
4.3.1 Pembuatan Kurva Standar Logam Cu	27
4.3.2 Penentuan Konsentrasi Cu Pada Sampel Tanaman Kayu Apu Setelah Pemaparan.....	28
4.3.3 Penentuan Persen Penurunan (Teremediasi) Logam Cu oleh Tanaman Kayu Apu.....	30
4.4 Penentuan BCF (<i>Bioconcentration Factor</i>)	32
4.5 Penentuan TF (<i>Translocation Factor</i>)	33
4.6 Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) oleh Tanaman Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) Dalam Prespektif Islam.....	33
BAB V PENUTUP	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai ambang batas air nasional	6
Tabel 4.1	Kadar Logam Cu pada biomassa Kayu Apu sebelum pemaparan	25
Tabel 4.2	Rata-rata konsentrasi Cu dalam biomassa Kayu.....	28
Tabel 4.3	Rata-rata persentase konsentrasi logam Cu pada air	30
Tabel 4.3	Nilai TF daun terhadap akar	32
Tabel L.3.3	Hasil perhitungan konsentrasi Cu awal pada air.....	49
Tabel L.3.4.1	Konsentrasi Cu awal pada tanaman kayu apu	50
Tabel L.3.4.2	Konsentrasi Cu awal sebenarnya pada tanaman kayu apu	50
Tabel L.3.5.1	Konsentrasi logam Cu pada biomassa Kayu Apu setelah pemaparan.....	50
Tabel L.3.5.2	Konsentrasi Cu sebenarnya pada tanaman kayu apu setelah pemaparan	51
Tabel L.3.6	Persen Cu teremediasi	52
Tabel L.3.7	Nilai BCF pada tanaman Kayu Apu	52
Tabel L.3.8	Nilai TF	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kayu apu (<i>Pistia stratiotes L.</i>)	6
Gambar 2.2	Skema perjalanan logam berat dari sumber pencemar sampai ke dalam tubuh manusia	7
Gambar 2.3	Skema proses fitoremediasi	10
Gambar 2.4	Komponen-komponen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	17
Gambar 4.1	Tanaman Kayu Apu saat pemaparan	25
Gambar 4.2	Hasil destruksi tanaman Kayu Apu	26
Gambar 4.3	Kurva standart logam Cu	28
Gambar 4.4	Hasil BCF pada logam Cu	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Rancangan penelitian	42
Lampiran 2.	Diagram alir	43
Lampiran 3.	Perhitungan	47
Lampiran 4.	Data Mentah	54
Lampiran 5.	Dokumentasi	56
Lampiran 6.	Determinasi Kayu Apu	58

ABSTRAK

Mukaromah, S. 2024. Fitoremediasi Logam Berat Tembaga (Cu) oleh Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Berdasarkan Variasi Waktu Kontak. Skripsi. Program Studi Kimia, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: A. Ghanaim Fasya, M.Si: Pembimbing II: Dr. M. Imamudin, Lc., MA.

Kata kunci: Fitoremediasi, logam Cu, *Pistia stratiotes*, BCF, TF

Laboratorium kimia menghasilkan limbah anorganik termasuk logam berat Cu. Kayu Apu sebagai tanaman bioakumulator diketahui mampu menyerap logam berat terutama logam tembaga (Cu). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan bagian tanaman Kayu Apu untuk meremediasi logam berat tembaga (Cu) pada limbah cair laboratorium. Proses pada penelitian ini terdiri atas pengambilan sampel, aklimatisasi, pemaparan sampel dengan limbah logam cair laboratorium, destruksi sampel dan analisis. Tumbuhan Kayu apu yang digunakan sebanyak 50 gr dan dipaparkan limbah logam cair laboratorium sebanyak 2 L dengan variasi waktu kontak yaitu 3 hari, 5 hari, 7 hari dan 9 hari dan 11 hari. Sampel biomassa dan air didestruksi dengan metode destruksi basah terbuka menggunakan *hot plate* dan dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil analisis terhadap kemampuan Kayu Apu dalam menyerap logam berat Cu pada air limbah didapatkan bahwa akumulasi penyerapan pada bagian akar Kayu Apu lebih besar dibandingkan bagian daun dengan kadar logam tertinggi oleh bagian akar 1494,48 mg/Kg berat kering dan pada bagian daun 102,44 mg/Kg berat kering. Hasil persentase tertinggi sebesar 85,58% dengan waktu kontak pemaparan 9 hari. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) tertinggi diperoleh dari waktu kontak 9 hari sebesar 1259,67 nilai keseluruhan yang diperoleh pada masing masing daun dan akar > 1 dan nilai *Translocation Factor* (TF) diperoleh < 1.

ABSTRACT

Mukaromah, S. 2024. Phytoremediation of Heavy Metals Copper (Cu) by Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) Based On Variations In Contact Time. Thesis. Chemistry Study Program, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor I: A. Ghanaim Fasya, M.Si; Advisor II: Dr. M. Imamudin Lc., M.A.

Keywords: phytoremediation, Cu metal, *Pistia stratiotes*, BCF, TF

Chemical laboratories produce inorganic waste including heavy metal Cu. Water lettuce as a bioaccumulator plant is known to be able to absorb heavy metals, especially copper metal (Cu). Therefore, this study was conducted to determine how much the ability of Water lettuce plant parts to remediate heavy metal copper (Cu) in laboratory wastewater. The process in this study consists of sampling, acclimatization, exposure of samples to laboratory liquid metal waste, sample deconstruction and analysis. Water lettuce plants used as much as 50 grams and exposed to 2 L of laboratory liquid metal waste with a variety of contact times, namely 3 days, 5 days, 7 days and 9 days and 11 days. Biomass and water samples were deconstructed by open wet deconstruction method using a hot plate and analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results of the analysis of the ability of Water lettuce in absorbing heavy metal Cu in wastewater found that the accumulation of absorption in the roots of Water lettuce is greater than the leaves with the highest metal content by the roots 1494.48 mg/Kg dry weight and in the leaves 102.44 mg/Kg dry weight. The highest percentage result was 85.58% with an exposure contact time of 9 days. The highest Bioconcentration Factor (BCF) value obtained from the 9-day contact time amounted to 1259.67 the overall value obtained in each leaf and root > 1 and the Translocation Factor (TF) value obtained < 1 .

الملخص

،ساعيدة . 2024. المعالجة النباتية للمعادن النحاسية الثقيلة (Cu) بواسطة مصنع خشب أبو (الزحلقة الثابتة) بناء على اختلافات وقت الاتصال. بحث جامعي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: أحمد غنائم فاسيا، الماجستير؛ المشرف الثاني: الدكتور محمد إمام الدين، الماجستير

الكلمة الرئيسية: المعالجة النباتية، معادن النحاس، ستراتوتات الزحلقة، BCF، TF

غالبًا ما تنتج المختبرات نفايات تحتوي على ملوثات ، أحدها معدن النحاس. من المعروف أن خشب ابو وود كمصنع للتراكم الحيوي قادر على امتصاص المعادن الثقيلة ، وخاصة معدن النحاس (Cu). لذلك ، أجريت هذه الدراسة لمعرفة مدى قدرة الجزء النباتي من ابو وود على معالجة النحاس المعدني الثقيل (Cu) في النفايات السائلة المختبرية. تتكون العملية في هذه الدراسة من أخذ العينات والتأقلم وتعرض العينات للنفايات المعدنية المنصهرة في المختبر وتدمير العينات وتحليلها. كانت مصانع خشب ابو وود المستخدمة 50 جراما و 2 لتر من نفايات المعادن المنصهرة في المختبر مع اختلافات في وقت الاتصال، وهي 3 أيام و 5 أيام و 7 أيام و 9 أيام و 11 يوما. تم تفكيك عينات الكتلة الحيوية والمياه بطريقة التدمير الرطب المفتوح باستخدام الألواح الساخنة وتحليلها باستخدام مقياس الطيف الضوئي للامتصاص الذري (SSA). وجدت نتائج تحليل قدرة خشب ابو وود على امتصاص المعادن الثقيلة Cu في مياه الصرف الصحي أن الامتصاص المتراكم في الجزء الجذري من ابو وود كان أكبر من جزء الورقة الذي يحتوي على أعلى محتوى معدني بالجزء الجذري من 1494.48 مجم / كجم بالوزن الجاف وفي جزء الورقة بوزن جاف 102.44 مجم / كجم. كانت أعلى نتيجة بالنسبة للمئوية 85.58% مع وقت اتصال 9 أيام. تم الحصول على أعلى قيمة لعامل التركيز الأحيائي (BCF) من وقت الاتصال لمدة 9 أيام البالغ 1259.67 قيمة إجمالية تم الحصول عليها على كل ورقة وجذر < 1 وقيمة عامل النقل (TF) التي تم الحصول عليها > 1.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri dan aktivitas masyarakat di Indonesia semakin pesat seiring bertambahnya zaman. Mulai dari industri pertambangan dan perminyakan, kertas, elektroplating, pertanian maupun aktivitas domestik masyarakat. Indonesia memiliki hamparan daratan yang cukup luas sehingga memungkinkan untuk mengembangkan beberapa industri demi memajukan bangsa Indonesia. Namun tak jarang juga setiap orangnya tidak bertanggung jawab penuh atas apa yang dilakukan sehingga akan berdampak pada lingkungan sekitar. Allah Swt. telah berfirman dalam Al-Qur'an surat Ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: *“Telah nampak kerusakan di darat dan laut yang disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah Swt. Menghendaki agar mereka merasakan sebagaimana dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”* (QS Ar-rum : 41)

Maksud dari ayat tersebut bahwa kegiatan manusia bisa berpengaruh dalam kerusakan lingkungan. Maka manusia yang harus menjaga apa yang telah diberikan dan jika manusia itu sendiri gugur dari tanggung jawab, ia berhak mendapatkan balasan atas apa yang telah diperbuat. Salah satu perbuatan yang bisa merusak lingkungan adalah membuang limbah baik itu limbah industri maupun limbah domestik. Buangan tersebut akan membahayakan manusia dan organisme lain jika tidak dilakukan regulasi yang jelas. Seperti contoh laut yang tercemar sehingga ikan banyak yang mati dan hasil laut berkurang (Shihab, 2005).

Limbah menghasilkan beberapa logam berat yang mampu berdampak buruk bagi makhluk hidup maupun organisme lain. Logam berat ialah salah satu komponen kimia yang sulit untuk didegradasi atau dihancurkan. Jika limbah logam terus dibiarkan maka dampaknya akan melebar. Beberapa logam berat yang memiliki sifat akumulatif dan karsinogenik yang terpapar ke dalam lingkungan produktif seperti lahan pertanian dan lahan persawahan sangat membahayakan kehidupan. Misalnya logam berat yang terakumulasi di lahan pertanian akan masuk ke dalam sel tanaman yang merupakan pakan hewan dan pangan bagi kehidupan manusia sehingga akan sangat membahayakan (Nurfitri & Rachmatiah, 2010). Logam Cu merupakan salah satu logam yang berbahaya bila terpapar secara berlebihan. Penumpukan logam berat seperti Hg, Cu, dan Pb pada biota dapat berdampak negatif bagi kesehatan manusia yang mengonsumsinya dalam jumlah tertentu, menyebabkan penyakit sistem saraf, kerusakan ginjal, bahkan kematian (Siringoringo *et al.*,

2022). Menurut Kementerian ESDM (2020) di dalam data USGS (*United States Geological Survey*) 2020 menyebutkan bahwa Indonesia memiliki cadangan logam tembaga (Cu) sebesar 28 juta ton. Indonesia melakukan produksi bijih tembaga sebesar 100 juta ton per tahun. Tembaga memiliki peran yang penting dalam pembuatan komponen baterai hingga mobil listrik. Razi *et al.* (2023) melaporkan bahwa sebanyak 12% komposisi logam berat Cu yang tersebar ke pelabuhan yang ada di Indonesia.

Ada beberapa cara untuk mengurangi populasi limbah logam Cu ada berbagai cara fisika-kimia dan biologi. Umumnya metode fisika kimia mengalami keterbatasan biaya yang tinggi, mengalami perubahan pada zat padat dan gangguan pada natural mikroflora. Cara yang dapat dilakukan untuk menurunkan logam yaitu teknik brick (Kurniawati *et al.*, 2021), adsorpsi, pertukaran ion, filtrasi (Ince *et al.*, 2020) dan juga fitoremediasi (Herlambang & Hendriyanto, 2015). Cara biologi dapat dilakukan dengan fitoremediasi yang merupakan kegiatan pemulihan atau pembersihan permukaan tanah dan air yang tercemar. Di mana tujuannya dilakukan remediasi ini agar lahan yang tercemar dapat digunakan kembali untuk berbagai kegiatan secara aman. Proses fitoremediasi dapat menggunakan media tumbuhan (Oktaviani, 2020) untuk memindahkan, menstabilkan, menghilangkan atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik (Prayitno, B. & Priyanto, J. 2002). Oleh karena itu, cara ini diperlukan untuk mengembangkan penelitian dengan biaya yang efektif, efisien dan metode remediasi ramah lingkungan untuk dekontaminasi air yang tercemar logam berat.

Fitoremediasi telah banyak didefinisikan sebagai penggunaan tanaman hijau tertentu sebagai akumulator yang bekerja sama dengan mikroorganisme tertentu untuk membersihkan zat kontaminan atau membuatnya jadi berkurang atau menjadi tidak berbahaya (Raskin *et al.*, 2007 dalam busran, 2010). Dengan kata lain, fitoremediasi dapat diterapkan untuk pengolahan limbah organik dan anorganik serta elemen logam berat lainnya : Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, dan Ni dalam bentuk padat, cair, maupun dalam bentuk gas (M. Faizal *et al.*, 2018 dalam Salt *et al.*, 1998). Tanaman yang dapat digunakan untuk fitoremediasi adalah yang memiliki toleransi kontaminan yang tinggi salah satunya ialah tumbuhan akuatik. Tumbuhan akuatik mampu menyerap kontaminan beberapa logam berat (Sahu *et al.*, 2020).

Kayu apu merupakan salah satu tumbuhan gulma air yang sering dihiraukan keberadaannya karena dianggap sebagai tanaman pengganggu. Keberadaan Kayu apu sangat melimpah namun pemanfaatan tumbuhan ini masih sangat jarang. Tanaman ini merupakan tumbuhan air yang biasanya hidup di daerah tropis, sub tropis dan daerah yang bertemperatur hangat di seluruh dunia (Nurfitri, 2010). Namun Kayu apu ternyata memiliki keunggulan mampu menyerap logam berat seperti Zn, Cu, Hg, Mn, Ag, Pb dari akarnya (Busran, 2010; Ugya 2011 dalam munawwaroh & Pangestuti, 2018).

Seperti halnya manfaat tumbuhan Kayu apu yang keberadaannya sangat melimpah diperaikan. Penelitian yang dilakukan oleh Cong, *et al.* (2022) menyebutkan bahwa lebih dari

50% CH₄ diperoleh dalam waktu 17-42 hari setelah inkubasi dan maksimum produksi harian CH₄ adalah 0,052 L/gVS. Puncak produksi harian biogas terlihat dengan hasil 0,12 L/gVS sehingga hal ini menunjukkan bahwa biomassa kayu apu mampu berpotensi untuk produksi biogas dengan kualitas tinggi dalam inkubasi anaerobik.

Penelitian yang dilakukan oleh Tang *et al.* (2020) memberikan perlakuan variasi konsentrasi Cu terhadap tumbuhan kayu apu yaitu 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L, dan 25 mg/L selama 10 hari pemaparan dan didapatkan hasil terbaik yaitu pada 5 mg/L sebesar 93,58% dalam pemaparan air destilasi. Baroroh, dkk.(2018) dalam penelitiannya mengatakan bahwa Kayu apu memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi serta memiliki kemampuan untuk menyerap hara langsung dari perairan sekitarnya. Ia juga melakukan perlakuan tentang kayu apu dan mendapatkan hasil bahwa Kayu apu mampu menurunkan logam berat Cu pada konsentrasi 2 ppm sebesar 94% dan 5 ppm sebesar 90 %.

Selanjutnya, Zustriani (2020) melaporkan dalam penelitiannya bahwa tanaman Kayu apu mudah perawatannya, cepat tumbuh dan berkembangbiak, sehingga efektif dan efisien untuk digunakan sebagai tanaman bioakumulator. Ia melakukan Penelitian dengan waktu kontak selama 25 hari dan didapatkan hasil waktu tertinggi pada hari ke-5 dengan penurunan logam berat tembaga (Cu) sebesar 85,58% dan penurunan logam timbal (Pb) sebesar 79,55%. Penelitian lain yang dilakukan oleh Nasution (2021) tanaman Kayu apu mampu menyerap logam berat Cu dengan penambahan zeolit karena zeolit diprediksi mampu menyerap logam berat. Ia melakukan penelitian dengan hasil terbaik yaitu kombinasi kayu apu seberat 100 gram dengan zeolit sebanyak 50 gram dalam waktu kontak 14 hari dan konsesntrasi sebesar 10 ppm mampu menurunkan kadar logam berat Cu sebesar 89,46 %. Selain pada logam Cu kayu apu telah mampu menurunkan logam berat cadmium (Cd) dengan efisiensi sebanyak 73,80%.

Tanaman Kayu apu menyerap kontaminan melalui akar, kemudian didistribusikan ke seluruh bagian tanaman. Proses penyerapan ion logam tembaga (Cu) oleh tanaman Kayu apu dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu tekanan akar, kapilaritas, dan transpirasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Raras (2015) kayu apu mampu menyerap ion logam Fe, Cu, Cd, Pb dengan variasi kotak selama 4 minggu dengan konsentrasi sebesar 10 mg/L sehingga dapat menurunkan ion logam berat dengan hasil terbaik pada rata-rata pada minggu ke-2 dan 3 masing masing sebanyak Fe 26,72 mg/L ; Cd 3,7689 mg/L; Cu 4,4808 mg/L; dan Pb 4,8899 mg/L. Variasi berbeda yang dilakukan oleh Nurfitri (2010) melakukan penelitiannya dengan variasi kerapatan tanaman 30 – 50 mg/cm³ dengan konsentrasi 0,02 mg/L dan variasi waktu kontak. Hasil terbaik yang diperoleh pada hari ke-sepuluh dengan kerapatan tanaman Kayu apu 30 mg/cm³ dengan nilai BCF 48014,948 l/Kg.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian mengenai fitoremediasi oleh Kayu apu terhadap logam berat Cu dengan variasi waktu kontak serta pengukuran BCF (*Bioconcentration factor*) dan TF (*Translocation factor*) sebagai parameter.

Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui waktu optimum yang dapat ditoleransi oleh Kayu apu dalam meremediasi logam Cu. Pengukuran kadar Cu dalam air dan biomassa Kayu apu dilakukan menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektivitas bagian akar dan daun tanaman Kayu apu dalam meremediasi kadar logam berat tembaga (Cu) pada perairan berdasarkan variasi waktu kontak?
2. Bagaimana potensi fitoremediasi tanaman Kayu apu terhadap logam Cu berdasarkan nilai BCF dan TF?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui kemampuan bagian akar dan daun tanaman Kayu apu dalam meremediasi kadar logam berat tembaga (Cu) pada perairan berdasarkan variasi waktu kontak.
2. Untuk mengetahui potensi fitoremediasi tanaman Kayu apu terhadap logam Cu berdasarkan nilai BCF dan TF.

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel tanaman kayu apu diambil dari sawah di Kabupaten Malang.
2. Analisis dilakukan pada kemampuan sampel meremediasi logam Cu dari limbah logam cair dari laboratorium kimia fakultas sains dan teknologi
3. Sampel yang diambil dengan ukuran 2-6 cm lebar daun.
4. Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari.
5. Variasi konsentrasi waktu kontak 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari
6. Analisis biomassa pada bagian akar dan daun Kayu apu.
7. Analisis konsentrasi pada kayu apu menggunakan instrumen AAS.

1.5 Manfaat

1. Mengetahui potensi Kayu apu fitoremediator di air limbah.
2. Mengetahui mekanisme akumulasi logam berat Cu oleh Kayu apu.
3. Sebagai bahan studi lanjut objek penelitian fitoremediasi menggunakan Kayu apu.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)



Gambar 2.1 Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) (Soheti, 2020)

Klasifikasi menurut (Plantamor,2012) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Super Divisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliopyta
Kelas	: Liliopsida
Sub Kelas	: Arecidae
Ordo	: Arales
Famili	: Araceae
Genus	: Pistea
Spesies	: <i>Pistia stratiotes</i> L.

Tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan familia Araceae dari genus Pistia. Tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tumbuhan liar yang sangat mudah ditemui di sawah, danau, telaga dan rawa-rawa dengan air yang mengalir tenang dan tanaman ini juga akan mentolerir suhu antara 15 °C dan 35 °C. Namun suhu optimum untuk rentang pertumbuhan antara 22 °C dan 30 °C (Utami, 2015). Selain itu tanaman ini juga dimanfaatkan sebagai tanaman hias. Tanaman Kayu Apu mampu hidup diperairan sawah selama 6-12 bulan. Karena kemiripannya dengan lettuce (selada), tanaman ini dijuluki *water lettuce* (selada air) atau di Indonesia disebut dengan Kayu Apu. Famili Araceae ini berasal dari sebelah barat Afrika, dan banyak tumbuh di Sungai Nil. Tanaman ini hidup mengapung pada permukaan air dengan akar-akarnya yang menggantung terendam di bawah bagian daunnya yang mengambang. Daunnya berwarna hijau terang muncul bergelombang dari akarnya, mirip dengan kelopak bunga mawar. Permukaan daunnya seperti terasa dilapisi beludru. Tumbuhan *Pistia stratiotes* diketahui berasal dari Afrika selatan dan Amerika selatan. Namun ada juga yang berpendapat bahwa tumbuhan ini merupakan tumbuhan asli Asia. Saat ini Kayu Apu telah ditemukan hampir diseluruh negara beriklim tropis diseluruh dunia (Department of Primary Industries, 2006).

Menurut Pusat Litbang PU Sumberdaya Air (2008), tanaman Kayu Apu mampu menurunkan unsur N dan P secara berturut-turut yaitu 25 % dan 12 % per minggu dengan penyerapan kadar awal 0,847 mg/l dan 0,493 mg/l setiap minggunya. Tumbuhan yang mengapung di air sering disebutkan gulma. Namun, tumbuhan kayu apu memiliki kelebihan yang bisa dimanfaatkan untuk budidaya peternakan ikan. Menurut Yudhitstira (2015) tepung tanaman kayu apu fermentasi mampu meningkatkan hasil terbaik pada laju pertumbuhan harian benih ikan nilam sebanyak 1,22% dan konversi pakan sebesar 4,51%. Tumbuhan kayu apu umumnya hidup di rawa-rawa, sawah, kolam dan daerah lain yang mengandung tanah basah.

2.2 Logam Berat Tembaga (Cu)

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi. Dalam kadar yang sedikit logam berat masih dibutuhkan oleh tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Pada umumnya logam memiliki berat jenis lebih dari 5 gr/cm³ (Fardiaz, 1992). Apdy (2016) menjelaskan bahwa beberapa unsur logam berat yang memiliki potensi menimbulkan pencemaran pada lingkungan seperti; Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, Ni, Cr, Zn, Cd dan As, karena tingkat toksisitasnya yang tinggi dan lebih ekstensif penggunaannya atau lebih banyak penggunaannya. Logam berat yang berlebih dapat menyebabkan pencemaran lingkungan khususnya dalam air.

Tabel 2.1 Nilai Ambang Batas Air Nasional

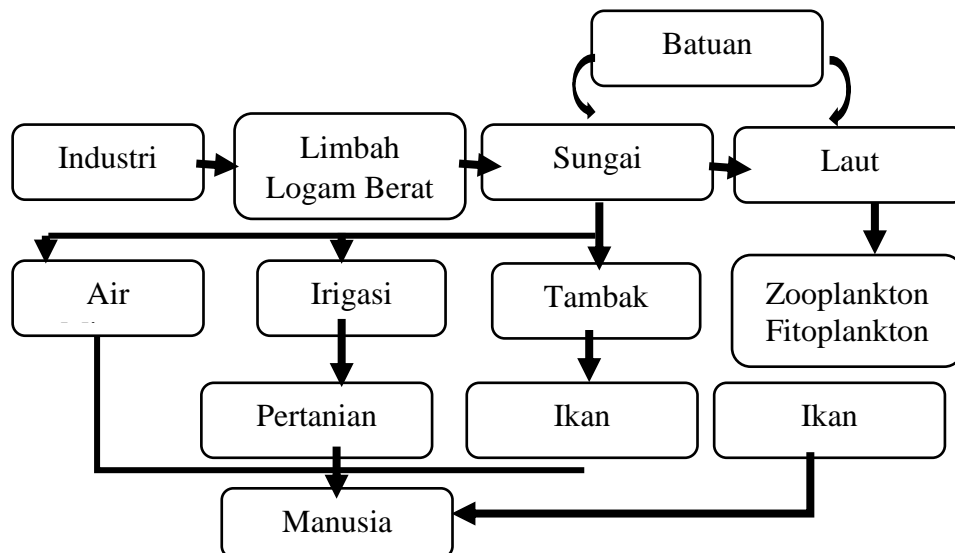
No.	Logam	Nilai Ambang Batas (mg/L)			
		Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV
1	Hg	0,001	0,002	0,002	0,005
2	Cd	0,01	0,01	0,01	0,01
3	Cu	0,02	0,02	0,02	0,2
4	Pb	0,03	0,03	0,03	0,5
5	Zn	0,05	0,05	0,05	2

Keterangan : Kelas I = air minum; II = sarana rekreasi, peternakan dan mengairi tanaman; III = pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan mengairi tanaman; IV = mengairi pertanian.

Sumber : PP Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021

Sementara menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia (2014) mengatakan bahwa batas kritis logam tembaga (Cu) dalam air limbah adalah 1 mg/L. Logam tembaga adalah logam yang ditemukan sebagai unsur atau berasosiasi dengan tembaga dan perak. Tembaga ini terdapat dalam jumlah yang relatif besar dan ditemukan selama pemisahan dari bijihnya (coal) pada elektrolisis dan pemurnian tembaga (Hartati, 1996). Logam berat Cu mengkontaminasi lingkungan air dapat memberikan pengaruh buruk pada biota dengan terhambatnya metabolisme karena terjadi kerusakan dan penurunan kerja enzim. Selain itu logam berat Cu juga memberikan efek negatif pada tanaman jika terakumulasi terlalu tinggi (elawati, 2015). Penyebaran logam berat termasuk tembaga (Cu) mendapat perhatian para peneliti lingkungan karena sifat logam ini berbahaya bagi manusia,

tanaman, hewan dan makhluk hidup. Kesulitan dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat disebabkan oleh bentuk dan kandungan logam berat dalam limbah yang sangat bervariasi. Berlebihnya logam berat yang tercemar dapat merusak ekosistem kehidupan yang ada disekitarnya (Widodo, 2008 dalam nurriadi, 2013). Beberapa mikronutrien seperti ion logam Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} menjadi salah satu bagian penting untuk proses metabolisme (Dagdag *et al*, 2023). Namun jumlah logam yang berlebihan dapat menjadi racun bagi tanaman. Sebenarnya makhluk hidup selain tanaman juga membutuhkan logam berat seperti manusia dan hewan namun kebutuhan tersebut jumlahnya sedikit atau kecil. Karena kebutuhan yang diperlukan sedikit maka dari itulah logam tersebut dinamakan logam esensial tubuh. Namun, jika logam esensial itu berlebihan akibatnya fungsi tersebut berubah menjadi racun. Faktor yang mempengaruhi daya toksisitas logam dalam air terhadap makhluk hidup antara lain bentuk ikatan kimia dari logam yang terlarut, pengaruh lingkungan, kondisi hewan, dan kemampuan organisme untuk beraklimatisasi terhadap bahan toksik logam (Arfiati dkk., 2018).



Gambar 2.2 Skema perjalanan logam berat dari sumber pencemar sampai ke dalam tubuh manusia (Badan POM RI, 2010).

Menurut Widaningrum (2007) bentuk tembaga berupa debu sehingga masuknya logam berat Cu melalui jalur pernapasan akan menimbulkan efek terhadap tubuh manusia. Mekanisme efek tersebut terbagi atas tiga yaitu pertama adalah berikatan dengan gugus sulfhidril sehingga fungsi kerja enzim pada jaringan tubuh akan terganggu. Mekanisme yang kedua adalah berikatan dengan enzim pada siklus Krebs sehingga proses oksidasi fosforilasi tidak terjadi. Mekanisme yang ketiga adalah dengan efek langsung pada jaringan yang terkena yang menyebabkan kematian (nekrosis) pada lambung dan saluran pencernaan, kerusakan pembuluh darah, perubahan degenerasi pada hati dan ginjal. Dengan melihat potensi bahaya logam Cu maka dibutuhkan suatu alternatif yang dapat diaplikasikan guna untuk mengurangi keberadaan logam Cu sebagai pencemar lingkungan serta

keberlangsungan makhluk hidup yang stabil. Salah satu cara untuk membersihkan lingkungan yang terkontaminasi yaitu menggunakan tanaman dengan metode fitoremediasi (elawati, 2015). Karena fitoremediasi mampu mengumpulkan polutan seperti logam berat dalam jumlah yang relatif besar tanpa adanya efek bahaya (Ndimele *et al.*, 2011).

Salah satu pencemaran logam tembaga dihasilkan dari limbah pertanian seperti penggunaan pestisida yang berlebihan (Ferdiansah, 2023). Penggunaan logam tembaga (Cu), salah satunya senyawa CuSO_4 dalam fungisida, yaitu oleh petani dapat menyebabkan dampak yang signifikan pada kualitas perairan. Kontaminan logam berat pada tanaman sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (*toxic*) yang menyebabkan penyakit iritasi hati dan gangguan pencernaan kronis jika dikonsumsi secara berlebihan oleh manusia (Khairuddin *et al.*, 2021).

Beberapa dampak yang ditimbulkan oleh kelebihan tembaga yaitu:

1. Penggunaan peralatan memasak dari tembaga, uang logam, konduktor listrik, dan lain-lain. Keracunan akut tembaga dapat terjadi disebabkan karena menelan garam tembaga, terutama copper sulfat (Vijayakumar *et al.*, 2012). Keracunan tembaga pada manusia dapat memberikan efek buruk bagi kesehatan. Pada keracunan kronis, akan menimbulkan penyakit Wilson's, yaitu: terjadinya proses degeneratif pada otak dan sirosis pada hati. Penyakit Wilson adalah kelainan resesif autosomal yang ditandai dengan akumulasi tembaga berlebihan dan disebabkan oleh varian gen yang mengkode enzim tembaga-ATPase (Gamakaranage *et al.*, 2011)
2. Kelebihan tembaga mampu memicu kematian pada sel paru-paru dan hati manusia. Kelebihan beban Cu menginduksi kematian sel melalui aktivasi diferensial calpains (m - dan μ -) dan caspase-3 (N Arnal *et al.*, 2012). Logam tembaga (Cu) berperan dalam beberapa penyakit langka berbahaya seperti parkinson, alzheimer, dan diabetes (Siotto, dkk., 2018)

2.3 Fitoremediasi

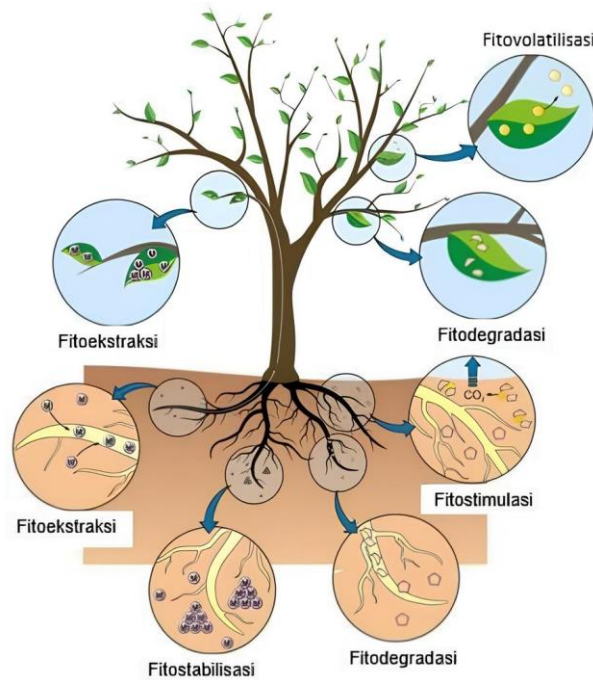
Logam berat yang terkandung dalam tanah dan air merupakan masalah yang serius karena racunnya yang berbahaya bagi lingkungan dan bagi rantai makanan. Penghilangan logam berat dari air dan tanah yang terkontaminasi logam berat nonbiodegradabel merupakan sebuah tantangan. Beberapa proses kimia seperti pengendapan, leaching, oksidasi dan reduksi serta proses membran telah diketahui dapat memisahkan logam berat dari air dan tanah. Teknik pemisahan kimia tersebut sesuai untuk area yang kecil di mana dibutuhkan penghilangan yang cepat atau penghilangan logam berat secara sempurna. Namun, mahalnya metode kimia yang digunakan, membutuhkan proses yang lebih murah dan ramah lingkungan. Hingga saat ini, bioremediasi menggunakan tanaman, mikroorganisme dan sistem biologis yang lainnya merupakan proses pendekatan yang

menjanjikan untuk menghilangkan logam berat dari lingkungan yang terkontaminasi (Jihye Bang, 2014).

Fitoremediasi merupakan proses yang mudah, murah dan teknologi yang aman di mana menggunakan tanaman tertentu untuk menghilangkan polutan anorganik dari lingkungan yang terkontaminasi. Fitoekstraksi adalah metode fitoremediasi yang menggunakan tanaman untuk mengekstrak polutan dari limbah. Polutan diserap oleh akar tanaman kemudian terakumulasi dan mengalami translokasi ke bagian udara dari tanaman. Saat ini, beberapa tanaman telah digunakan untuk mengekstrak logam dari limbah. Bagaimanapun, tingkat efisiensi remediasi tersebut sangat bergantung pada jumlah kontaminan, tingkat pertumbuhan tanaman, dan tekanan biotik dan abiotik yang dihadapi oleh tanaman. Kondisi lingkungan yang buruk (suhu), kekeringan dan salinitas sangat mempengaruhi biomassa, laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup tanaman, sehingga juga mempengaruhi efisiensi. Oleh karena itu, dibutuhkan perhatian khusus ketika memilih tanaman untuk mengekstrak logam. Idealnya, tanaman yang murah merupakan tanaman terbaik untuk proses fitoremediasi (Jihye Bang, 2014).

Menurut Caroline dan Moa (2015) penyerapan logam berat melalui proses fitoremediasi oleh tumbuhan terdiri atas beberapa proses. Mekanisme kerja fitoremediasi, yaitu sebagai berikut :

1. Fitoekstraksi adalah penyerapan zat organik dan logam berat oleh akar dan kemampuan tanaman untuk mengakumulasi zat pencemar tersebut ke beberapa bagian tubuh seperti akar, batang, dan daun.
2. Rhizofiltrasi adalah kemampuan tanaman untuk memanfaatkan akar dalam menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi zat pencemar dari aliran limbah
3. Fitodegradasi adalah kontaminan organik yang sudah terserap melalui akar dan mengalami penguraian melalui proses metabolisme dalam tumbuhan.
4. Fitostabilisasi ialah pengeluaran suatu senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi zat pencemar di daerah perakaran tanaman
5. Fitovolatilisasi ialah kemampuan tanaman yang menyerap zat kontaminan dan melepaskannya melalui udara lewat daun dan uap.



Gambar 2.3 Skema Proses Fitoremediasi (Favas, dkk, 2014)

2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi

Dalam menentukan solusi permasalahan tidak semua cara memiliki efektivitas yang baik. Seperti halnya fitoremediasi yang memiliki kelebihan serta kekurangan. Kelebihan fitoremediasi antara lain yaitu:

1. Salah satu cara remediasi yang paling aman untuk lingkungan dikarenakan menggunakan tanaman
2. Ramah lingkungan dan menambah estetika
3. Tanaman yang digunakan untuk proses fitoremediasi mudah dikontrol pertumbuhannya
4. Biaya operasional relatif lebih murah daripada pengolahan konvensional
5. Dapat di aplikasikan secara in-situ dan ex-itu
6. Logam berharga yang dapat direklamasi dan dipakai ulang melalui fitoremediasi (Sidauruk & Sipayung, 2015).

Sedangkan kekurangan fitoremediasi adalah sebagai berikut:

1. Membutuhkan waktu yang lama dalam prosesnya
2. Bergantung pada kondisi iklim
3. Sangat tergantung pada kedalaman akar dan toleransi tanaman terhadap kontaminan (Sipayung, 2015).

2.3.2 Mekanisme Logam Berat oleh Tumbuhan Kayu Apu

Mekanisme penyerapan logam berat oleh kayu apu mencakup proses fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi dan fitovolatilisasi. Fitoekstraksi adalah penyerapan

logam berat oleh akar tanaman dan mengakumulasi logam berat tersebut ke bagian-bagian tanaman seperti akar, batang dan daun. Rhizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan, mengakumulasi logam berat dalam air limbah. Fitodegradasi adalah metabolisme logam berat di dalam jaringan tanaman oleh enzim seperti dehalogenase dan oksigenase. Fitostabilisasi adalah kemampuan tanaman dalam mengekskresikan (mengeluarkan) suatu senyawa kimia tertentu untuk memobilisasi logam berat di daerah rizosfer (perakaran).

Sedang fitovolatilisasi terjadi ketika tanaman menyerap logam berat dan melepaskannya ke udara lewat daun dan ada kalanya logam berat mengalami degradasi terlebih dahulu sebelum dilepas lewat daun. Secara umum, mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman berlangsung secara aktif dan secara pasif. Penyerapan logam berat secara aktif oleh tanaman meliputi tiga proses, yaitu penyerapan logam berat oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian-bagian tanaman yang lain serta lokalisasi/akumulasi logam berat tersebut pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar logam berat tidak menghambat metabolisme tanaman tersebut. (Moenir, 2010).

Penyerapan logam berat oleh akar tanaman dapat terjadi apabila logam berat tersebut berada disekitar akar. Sel-sel akar tanaman pada umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari sekitarnya yang biasanya bermuatan negatif. Tumbuhan mempunyai alat pengangkut yang disebut xilem. Tumbuhan tidak memiliki daya memilih makanan yang diserapnya. Sehingga makanan yang tersedia dalam air limbah langsung diangkutnya tanpa seleksi. Hal ini menyebabkan tanaman tidak dapat memilih unsur yang esensial dan nonesensial. Kecepatan unsur yang diserap tergantung tinggi konsentrasi suatu unsur. Semakin tinggi suatu unsur maka semakin besar kecepatan pengangkutannya.

Menurut Niang 11 (1999) air limbah yang mengandung logam akan bermuatan positif dan cara untuk mengikat logam tersebut adalah dengan memaukkan obyek yang bermuatan negatif. Akar tumbuhan bermuatan negatif dan berperan sebagai magnet untuk menarik unsur-unsur bermuatan positif, bahkan akar yang sudah mati atau kering masih mengandung uatan negatif yang cukup besar untuk menarik ion-ion positif yang cukup besar untuk menarik ion-ion positif dari logam berat (Hartanti, 2006). Ada dua fungsi utama yang terlibat dalam membantu penyerapan logam. Pertama adalah produksi senyawa logam pengkhelat untuk membentuk senyawa kompleks yang kurang beracun bagi tanaman. Kedua adalah kelarutan logam yang mengasamkan rhizospere. Ketika tanaman yang terkena kontaminasi logam berat, tanaman ini dapat menghasilkan fitokhelat yang membantu dalam penyerapan logam berat. Fitokhelatin adalah reaktif peptida-tiol yang terdiri dari glutation, sistein dan glisin (asam amino). Glutation adalah antioksidan alami yang dipakai pada reaksi enzim selama pembentukan fitokhelatin. Fitokhelatin kemudian menyimpan

logam berat di dalam vakuola yang merupakan inti sel dan tempat penyimpanan sel-sel tumbuhan (Erni, 2011).

Setelah logam terserap oleh akar, logam mengalami proses translokasi logam, yaitu proses distribusi logam dari akar ke bagian tanaman yang lain (batang dan daun) melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem). Selanjutnya adalah proses lokalisasi/akumulasi logam berat pada sel tanaman. Pada konsentrasi tertentu logam berat dapat meracuni tanaman dan untuk mencegah terjadinya peracunan tersebut, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, yaitu dengan cara melokalisasi/mengakumulasi logam berat dalam jaringan tanaman tertentu. Adapun proses penyerapan logam berat secara pasif terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dan proses pengikatan ini dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama adalah pertukaran ion di mana ion monovalen dan divalent seperti ion Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan dengan ion logam berat. Kedua adalah formasi kompleks ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti korboksil, thiol, fosfat, hidroksi yang berada di dinding sel (Moenir, 2010). Selulosa, lignin dan polisakarida merupakan penyusun dinding sel. Dinding sel adalah lapisan terluar tumbuhan. Pada dinding sel terdapat lubang yang berfungsi sebagai saluran antara satu sel ke sel lainnya. Lubang ini disebut plasmodesmata, yang dapat dilalui oleh molekul dengan berat molekul sekitar 60 nm. Selulosa ini berpotensi untuk dijadikan sebagai adsorben karena karena gugus $-OH$. Adanya gugus $-OH$ menyebabkan terjadinya sifat polar pada adsorben. Dengan demikian selulosa lebih kuat menyerap zat yang bersifat polar daripada zat yang kurang polar. Mekanisme serapan yang terjadi antara gugus $-OH$ yang terikat pada permukaan dengan dengan ion logam juga memungkinkan melalui mekanisme pertukaran ion. Interaksi antara gugus $-OH$ dengan ion logam juga memungkinkan melalui mekanisme pembentukan kompleks koordinasi karena atom oksigen pada gugus $-OH$ mempunyai pasangan elektron bebas. Ion-ion logam akan berinteraksi kuat dengan anion yang bersifat basa kuat seperti $-OH$. Ikatan antara ion logam dengan $-OH$ pada selulosa melalui pembentukan ikatan koordinasi, di mana pasangan elektron bebas daripada $-OH$ akan berikatan dengan ion logam berat membentuk ikatan kompleks melalui ikatan kovalen. Selulosa yang berikatan dengan logam Cd membentuk khelat selulosa (Erni, 2011)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan telah diketahui bahwa logam yang sudah diserap oleh akar kemudian mengalami translokasi menuju sel dan jaringan tanaman Kayu apu. Sisa tanaman Kayu apu tidak dapat digunakan sebagai bahan pangan ternak karena tanaman Kayu apu telah mengandung logam berat (F.O. Agunbiade *et al.*, 2009). Pencemaran logam berat dalam perairan dapat diatasi dengan menggunakan tumbuhan air. Tumbuhan air diketahui memiliki kemampuan menyerap hara yang terdapat dalam air baik berupa hara esensial maupun elemen-elemen lain, bahkan berbagai jenis polutan (Munawwaroh, 2018).

2.4 Parameter Fitoremediasi

Keberadaan logam berat yang memiliki konsentrasi berlebih mampu mempengaruhi keadaan sekitar. Konsentrasi yang melebihi ambang batas umumnya dapat bereaksi pada makhluk hidup dan organisme lainnya. Baik manusia, hewan maupun tumbuhan.

2.4.1 Bioconcentration Factor (BCF)

Biokonsentrasi merupakan banyaknya konsentrasi polutan yang ada di lingkungan sekitar yang akan diserap oleh suatu organisme sehingga meningkatkan kadar polutan dalam suatu organisme. Dapat diketahui mekanisme akumulasi logam berat dalam organisme perairan dengan cara menghitung nilai *bioconcentration factor* (BCF) atau faktor biokonsentrasi. Biokonsentrasi merupakan masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan, sedangkan bioakumulasi adalah masuknya bahan pencemar oleh makhluk hidup dari suatu lingkungan melalui suatu mekanisme. Bioakumulasi bahan kimia dalam suatu perairan merupakan kriteria penting dalam evaluasi tingkat pencemaran suatu lingkungan (Ghosh dan Singh, 2005). Sedangkan untuk mengukur tingkat pencemaran disuatu perairan adalah dengan cara mengukur biokonsentrasi biota yang hidup di dalamnya (Connel dan Miller, 2006). BCF merupakan rasio antara konsentrasi bahan kimia di organisme dibanding dengan konsentrasi bahan kimia di lingkungan. BCF berkaitan erat dengan bioakumulasi, akan tetapi ia lebih spesifik yaitu pemupukan substansi hanya berasal dari air (Baker, 1981; Zayed, dkk., 1998)

$$BCF = \frac{C_{organisme}}{C_{air}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana, $C_{organisme}$ ialah konsentrasi logam berat dalam organisme (mg/Kg) dan C_{air} ialah konsentrasi logam berat awal dalam air (mg/L) (Zayed, dkk., 1998).

Menurut Testi *et al.* (2019) jika nilai faktor biokonsentrasi kurang dari 250 maka kemampuan rendah; jika faktor biokonsentrasi kurang dari sama dengan 1000 dan lebih dari sama dengan 250 maka kemampuannya sedang; dan jika nilai faktor biokonsentrasi lebih dari 1000 maka kemampuannya tinggi.

2.4.2 Translocation Factor (TF)

Faktor translokasi (TF) merupakan kemampuan akar tanaman menyerap logam berat dan mentranslokasikan ke organ bagian atas. Nilai faktor translokasi lebih besar dari 1 menunjukkan translokasi logam dari akar ke bagian organ di atas tanah (Jamil *et al.*, 2009). *Faktor translokasi* (TF) disebut juga dengan rasio mobilisasi yang dapat dihitung untuk menentukan translokasi relatif logam dari tanah ke bagian tubuh tanaman. TF dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.2 (Barman, dkk., 2000).

$$TF = \frac{BCF_{daun}}{BCF_{akar}} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.5 Aklimatisasi Kayu Apu

Aklimatisasi merupakan waktu di mana suatu tanaman menyesuaikan diri terhadap lingkungan hidup barunya. Masa aklimatisasi sering disebut dengan masa kritis. Hal ini dilakukan karena sebelumnya tanaman berada pada habitat yang tepat dan dalam kondisi yang baik. Apabila suatu tanaman diberi perlakuan aklimatisasi berarti tanaman tersebut akan berpindah lingkungan dengan kondisi alam dengan suhu, iklim serta suasana yang berbeda dari sebelumnya (Harjanto dan Rakhmania, 2007).

Proses aklimatisasi tanaman harus dilakukan secara baik dan benar. Ketika akan melakukan pemindahan tanaman disarankan memperhatikan media tumbuh yang cocok bagi tanaman tersebut terutama jika tanaman tersebut digunakan sebagai penelitian. Keberhasilan penelitian secara *exsitu* akan bergantung pada proses aklimatisasi. Aklimatisasi pada tanaman kayu apu dapat dilakukan melalui beberapa cara: (i) Proses aklimatisasi dapat dilakukan dengan menggunakan kombinasi air limbah dan aquades kemudian ditambahkan nutrisi hidroponik (Ramadhan, 2019). (ii) Proses aklimatisasi tanaman Kayu apu juga dapat dilakukan dengan menggunakan media air isi ulang dengan penggantian air setiap dua hari sekali dan dipapar pada sinar matahari (Kumar *et al.*, 2019). (iii) Proses aklimatisasi tanaman Kayu apu dapat dilakukan dengan cara media tanam air ledeng yang telah diaerasi. (Nurfitri, dkk., 2010).

2.6 Destruksi Sampel

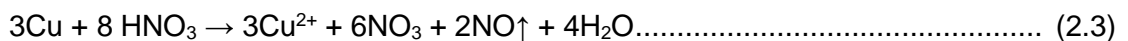
Destruksi adalah suatu perlakuan memecah senyawa menjadi unsurunsurnya sehingga dapat dianalisis atau bisa juga diartikan perombakan yakni dari yang semula bentuknya logam-logam organik dapat berubah menjadi logam-logam anorganik. Dalam ilmu kimia, destruksi dibagi menjadi dua yaitu destruksi kering (oksida kering) dan destruksi basah (oksida basah) (Andriyaningrum, dkk., 2018). Destruksi kering adalah perombakan sampel logam organik menjadi logam anorganik melalui proses pengabuan. Kemudian, destruksi basah adalah proses perombakan sampel dengan bantuan asam kuat baik tunggal maupun campuran yang kemudian akan dioksidasi menggunakan zat oksidator (Raimon, 1993).

Metode destruksi basah seringkali digunakan oleh para peneliti dengan alasan utama bahwa metode destruksi basah lebih baik. Pada saat proses pengabuan dengan suhu tinggi, bahan yang hilang tidak terlalu banyak. Selain itu, waktu yang dibutuhkan oleh destruksi basah lebih cepat dibanding dengan destruksi kering. Destruksi basah terbagi menjadi dua sistem yaitu destruksi basah terbuka dan destruksi basah tertutup. Destruksi basah terbuka adalah proses destruksi dengan cara mencampurkan sampel dengan reagen asam yang dipanaskan secara terbuka menggunakan hot plate. Sedangkan, destruksi basah tertutup adalah proses destruksi dengan cara mereaksikan sampel dan reagen asam menggunakan

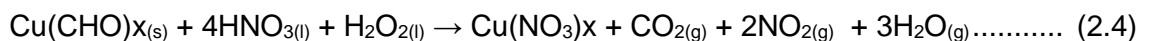
wadah yang tertutup sehingga lebih aman dari adanya penguapan dan pemuaihan bahan (Namik, K., dkk., 2006).

Destruksi basah yang digunakan pada proses fitoremediasi oleh logam tembaga (Cu) menggunakan tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes*) adalah dengan sistem metode destruksi basah terbuka menggunakan *hot plate*. Proses destruksi menggunakan pereaksi asam kuat. Jenis asam kuat yang dapat digunakan sebagai agen pengoksidasi antara lain: asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3), asam peroksida (H_2O_2), asam perklorat (HClO_4), atau campurannya. Destruksi dapat dikatakan sempurna apabila larutan yang diperoleh dari hasil destruksi jernih. Jernihnya larutan tersebut menandakan bahwa perombakan senyawa organik yang dilakukan berjalan dengan baik atau larut secara sempurna (Raimon, 1993). Asam kuat yang berperan sebagai asam pengoksidasi logam Cu secara tepat adalah asam nitrat (HNO_3). Penggunaan asam nitrat didasarkan pada kelarutan asam nitrat dalam air, di mana asam nitrat dapat larut dengan baik di dalam air. Selain itu, asam nitrat juga dapat melarutkan atau melepaskan unsur logam umum kecuali gallium, kromium, thorium, indium dan aluminium (Namik, K., dkk., 2006).

Persamaan reaksi untuk logam tembaga yang dapat larut dalam nitrat : (Svehla, 1990).



Kemudian penambahan asam peroksida didasarkan pada kemampuannya sebagai oksidator kuat. Ia mampu membantu meningkatkan daya larut dari HNO_3 sehingga HNO_3 dapat mendekomposisi matriks organik sampel (Twyman, 2005). Reaksi yang terjadi ketika logam tembaga dilarutkan dalam asam nitrat dan asam peroksida:



Reaksi di atas menunjukkan bahwa logam Cu dalam bentuk Cu^{2+} dapat membentuk garam $\text{Cu}(\text{NO}_3)_x$ yang akan dapat larut dengan mudah di dalam air. Kemudian larutan tersebut akan terionisasi yang selanjutnya dapat dilakukan proses analisis menggunakan SSA.

2.7 Analisis Kadar Logam Tembaga (Cu) Secara Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi serapan atom (SSA) adalah suatu metode yang digunakan untuk menganalisis atau menentukan unsur-unsur dalam suatu sampel yang berbentuk larutan. Menurut Khopkar (2010) prinsip dasar dari Spektroskopi serapan atom adalah adanya interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. Teknik SSA berdasarkan pada emisi dan absorpsi dari uap atom. Secara umum, metode SSA didasarkan pada absorpsi cahaya oleh atom di mana atom akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan sifat dari unsur. Prinsip kerja SSA melibatkan proses penguapan. Proses penguapan yang terjadi adalah mengubah atom menjadi uap. Proses ini lebih dikenal dengan istilah atomisasi. Atomisasi adalah proses perubahan fasa sampel menjadi gas

bebas sehingga akan terbentuk atom netral. Atomisasi adalah rangkaian wajib pada SSA karena hasil dari absorpsi pada panjang gelombang tertentu tersebut berasal dari atom bebas hasil atomisasi. Atomisasi dapat dilakukan melalui dua cara :

1. Atomisasi dengan nyala (flame), pada atomisasi ini dilakukan dengan cara membakadayr analit menggunakan gas pembakar sehingga diperoleh energi panas dan didapatkan analit bebas teratomisasi.
2. Atomisasi tanpa nyala (flameless atomization), pada atomisasi ini digunakan energi listrik seperti atomisasi tungku grafit yang mana suhu dari tungku dapat diprogram sehingga proses pemanasan terjadi secara bertahap (Hidayat, dkk., 2007).

Apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada sel yang mengandung atom bebas, maka sebagian dari cahaya akan ada yang diserap. Kemudian intensitas penyerapan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas yang ada di dalam sel. Energi yang diserap oleh atom akan berada pada panjang gelombang yang berbeda-beda. Tembaga (Cu) dapat menyerap energi pada panjang gelombang 324,8 nm. Pada panjang gelombang tersebut, cahaya memiliki energi yang cukup untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom yang menyerap cahaya (Khopkar, 2010). Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi adalah sebagai berikut (Day dan Underwood, 2002):

1. Hukum Lambert: apabila suatu sinar monokromatik dilewatkan pada medium yang transparan, maka intensitas dari sinar yang diteruskan akan berkurang seiring dengan bertambah tebalnya medium yang mengabsorpsi.
2. Hukum Beer: intensitas sinar yang diteruskan akan berkurang secara eksponensial seiring bertambahnya konsentrasi dari larutan.

Berdasarkan hukum diatas didapatkan persamaan 2.5 yaitu :

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \text{ atau } A = a \cdot b \cdot C \dots\dots\dots (2.5)$$

Di mana:

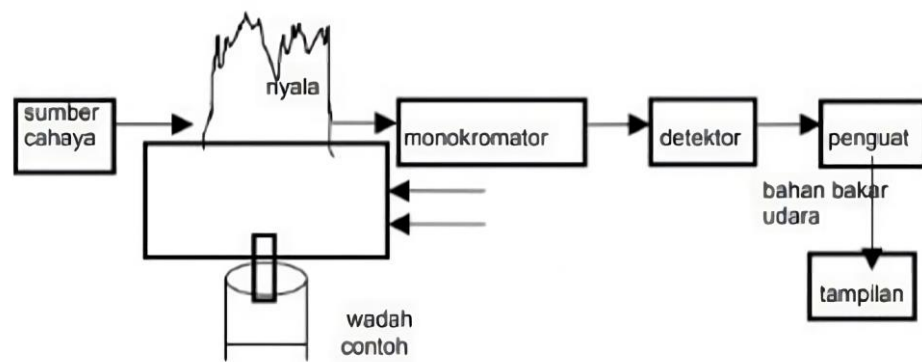
A = Absorbansi

ϵ = Absorptivitas molar (mol/L)

a = Absorptivitas (gr/L)

b = Tebal nyala (cm)

C = Konsentrasi (ppm)



Gambar 2.4 Komponen-komponen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
(Day dan Underwood, 2002)

2.8 Uji *One Way* ANOVA

Anova adalah singkatan dari analysis of varian yakni suatu uji komparatif yang digunakan untuk menguji perbedaan data yang lebih dari dua kelompok. Uji anova memiliki dua rancangan yaitu rancangan acak lengkap (RAL) untuk sampel yang homogen dan rancangan acak kelompok (RAK) untuk sampel yang heterogen tapi mengarah ke homogen. Uji dalam anova menggunakan uji F karena digunakan untuk pengujian dengan sampel lebih dari dua. Uji anova berdasarkan variabel yang diamati terbagi menjadi dua jenis yaitu analisis varian satu faktor (*one way anova*) dan analisis varian dua faktor (*two way anova*). Analisis varian dua faktor atau yang sering disebut dengan *two way anova* adalah membandingkan perbedaan rata-rata antara yang telah dibagi menjadi dua variabel yang independen (faktor). Tujuan dan pengujian *one way anova* adalah untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dari berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Uji *one way anova* menghasilkan dua kesimpulan yang penting yaitu (Artaya, 2018):

1. Apabila nilai F hitung > F tabel maka H_0 ditolak.
2. Apabila nilai F hitung < F tabel maka H_0 diterima.

2.9 Perspektif Islam Tentang Pencemaran Lingkungan

Aktivitas manusia yang beraneka ragam mampu memberikan efek positif dan negatif. Tetapi dibalik itu dampak buruk yang ditimbulkan akan mempengaruhi lingkungan sekitar. Kebanyakan kegiatan manusia yang dilakukan tidak terlepas dari bahan, benda dan sejenisnya yang selanjutnya bahan tersebut akan menimbulkan sisa-sisa buangan dan kemudian mengakibatkan pencemaran lingkungan. Allah Swt telah berfirman dalam Al-Qur'an surah al-Baqarah ayat 205 yaitu:

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَىٰ فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ ۗ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ

Artinya: “Dan apabila ia berpaling (dari kamu), dia berusaha untuk berbuat kerusakan di bumi, serta merusak tanam-tanaman dan binatang ternak, sedang Allah tidak menyukai kerusakan.” (Al-Baqarah/2: 205)

Ayat ini berkenaan dengan sifat orang-orang munafik, di mana mereka selalu berusaha menghancurkan sawah ladang kaum Muslim. Perilaku perusakan di sini memang bukan memperkaya dirinya, namun terdorong oleh kebencian terhadap umat Muslim. Meski begitu, term *halaka* disebutkan yang berarti merusak sawah ladang dan tanam-tanaman atas dasar kebencian, juga mencakup segala perbuatan yang tidak bermanfaat, termasuk merusak lingkungan. Sehingga, menurut ar-Rāzi jika perilaku merusak tersebut dilakukan oleh orang Islam, maka ia juga termasuk dikritik oleh ayat ini, atau layak menyandang sifat munafik. Kerusakan lingkungan sendiri dapat terjadi jika manusia mencemari lingkungan tersebut dengan cara mereka. (Ar-Rāzi dalam Alwizar, 2016)

Firman Allah Swt. lainnya disebutkan dalam Q.S Al-Baqarah ayat 30 yang menjelaskan bahwa Allah Swt. menciptakan manusia dan manusia tersebut sepatutnya menjaga alam yang telah diberikan oleh Allah Swt, bukan sebaliknya.

وَأَذَقْنَا لِرَبِّكَ لِلْمَلِكَةِ ابْنِي جَاعِلًا فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۖ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ إِنْ أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

Artinya: “Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi. Mereka berkata: “Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?”. Tuhan berfirman: “Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui”.(Al-Baqarah: 30).

Allah Swt memberikan peranan ganda kepada manusia agar kehidupan di bumi lestari dan harmoni. Di samping manusia sebagai ‘*abdullah*, manusia diberi peran sebagai khalifatullah *fi al-ard*. Yang dimaksud dengan menjadikan manusia khalifah, ialah menjadikan manusia berkuasa di bumi. Oleh sebab itu, manusia sebagai khalifah itu harus menyadari, bahwa sebelum manusia bertindak dan berbuat, harus sesuai dengan perintah Allah. Karena manusia itu hanyalah pengganti (Nasharuddin, 2015). Oleh karena itu manusia diberikan wewenang untuk menjaga atas apa yang Allah Swt berikan terhadap alam dan tidak hanya memetik langsung yang Allah tanam tetapi seharusnya manusia tetap melanjutkan untuk merawat serta mengambil manfaat kelertarian alam yang asli. Seperti halnya pencemaran lingkungan yang telah dilakukan atas ulah manusia maka manusia itu sendiri yang harus menyelesaikan masalah yang telah diperbuat. Seperti tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang digunakan dalam penelitian ini. Kayu apu telah terbukti memiliki manfaat dalam menurunkan limbah logam berat dengan cara fitoremediasi sehingga hal tersebut dapat digunakan sebagai alternatif cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Pelaksanaan

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Desember 2023- Mei 2024 di Laboratorium Organik Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat gelas laboratorium, *hot plate*, oven, mortar, alu, cawan porselin, pH universal, spatula, bola hisap, bak karet, wadah plastik, neraca analitik, kertas saring Whatman No.42, seperangkat instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merk varian spektra AA 240 yang dilengkapi lampu katoda Tembaga (Cu).

3.2.2 Bahan

Bahan yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah tanaman hidup Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan air yang diambil dari sawah di daerah Kab. Malang Jawa Timur, limbah cair logam berat di laboratorium kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang, padatan Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), HNO_3 (E-merk), H_2O_2 30% (P.A), aquabides, aquademin.

3.3 Rancangan Penelitian

Sampel kayu apu dan air yang telah diambil kemudian diberi perlakuan berupa uji awal yakni uji kadar logam Cu dan pH air. Selanjutnya dilakukan preparasi limbah logam cair laboratorium kimia UIN Malang. Kemudian sampel Kayu apu (*Pistia stratiotes*) ditumbuhkan di dalam wadah bak plastik yang berisi dengan air ± 10 liter. Kayu apu diaklimatisasi selama 7 hari dalam bak plastik dengan air bersih kran. Setelah itu, dilakukan pemaparan sampel kayu apu dengan cara menambahkan larutan limbah logam cair laboratorium kimia dengan waktu kontak yaitu 3, 5, 7, 9 hari dan 11 hari sebanyak 2 liter. Selanjutnya, diuji kadar Cu pada biomassa Kayu apu dan air dengan menggunakan metode destruksi basah terbuka yaitu pemanasan *hot plate*. Analisis kadar Cu dilakukan dengan menggunakan instrumentasi SSA metode kurva standar. Kemudian, hasil yang diperoleh diplotkan. Setelah data didapat dan dihitung, kemudian data dianalisis dengan ANOVA satu arah atau yang biasa disebut *one way ANOVA* dengan menggunakan aplikasi IBM SPSS statistik.

3.4 Tahapan Penelitian

1. Pengambilan sampel tanaman dan air.
2. Preparasi limbah logam berat cair laboratorium.
3. Analisis awal kadar logam Cu pada sampel air dan sampel limbah dengan menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).
4. Aklimatisasi sampel tanaman
5. Proses fitoremediasi (Preparasi dan pemaparan sampel).
6. Destruksi sampel.
7. Analisis kadar logam Cu pada bagian akar dan daun dari Kayu apu (*Pistia stratiotes*)
8. Analisis data.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Pengambilan Sampel Tanaman Kayu Apu

Sampel Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan air diambil dari sawah di daerah Kab. Malang Jawa Timur. Tanaman kayu apu yang diambil yakni secara keseluruhan meliputi akar dan daun dengan kisaran 2-6 cm sebanyak $\pm 1,5$ Kg. Alat yang digunakan untuk mengumpulkan tanaman kayu apu ini adalah wadah plastik. Setelah tanaman didapat, tanaman dibilas dengan menggunakan air untuk membersihkan suspensi atau pengotor lain yang dapat mengganggu pengamatan serta mencegah pembusukan. Sampel ditempatkan dalam wadah plastik dan ditata dengan rapi. Kemudian ditambahkan air dalam wadah tersebut agar tanaman tidak mengalami kekeringan saat dibawa dari sawah ke laboratorium di kota Malang.

3.5.2 Analisis Awal Kadar Logam Cu pada Sampel Air dengan Menggunakan Instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Sampel air sawah diambil sebanyak ± 500 mL yang ditempatkan dalam botol dan diasamkan hingga pH 2 dengan HNO₃ 65% (SNI 6989.59:2008). Selanjutnya sampel air diambil sebanyak 50 mL lalu dipindahkan ke erlenmeyer 100 mL ditutup dan dipanaskan sampel hingga volume kurang lebih 20 mL. Logam yang larut akan menghasilkan sampel jernih. Selanjutnya sampel akan dilakukan pengukuran dengan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

Sampel limbah laboratorium diambil sebanyak 50 mL dimasukkan ke dalam beaker gelas, kemudian ditambakan dengan 10 mL HNO₃ 65% dan didestruksi pada suhu 100°C hingga larutan jernih. Proses pendestruksi dilakukan menggunakan *hot plate*. Selanjutnya larutan tersebut disaring dan ditandabatkan dengan aquabides pada labu ukur 50 mL kemudian dianalisis menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

3.5.3 Aklimatisasi

Aklimatisasi sampel dilakukan dengan cara memasukkan tanaman kayu apu ke dalam wadah plastik kotak yang berisi air kran sebanyak \pm 10 liter dan dibiarkan selama 7 hari (Kumar *et al.*, 2019). Tujuan dari proses aklimatisasi adalah agar tanaman mampu beradaptasi dengan lingkungan buatan yang baru yang dibuat dalam skala laboratorium. Proses aklimatisasi dilakukan pada saat sebelum tanaman dipindahkan ke media tanam baru yang berbeda-beda. Kemudian, setiap 2 hari sekali dilakukan penggantian air. Tanaman kayu apu yang telah diaklimatisasi tersebut kemudian dipilih dengan kriteria sebagai berikut: tanaman memiliki daun yang segar yang berwarna hijau, lebar, serta masing-masing individu tanaman kayu apu memiliki panjang akar yang relatif seragam (Lestari, dkk., 2015; Oktaviana, 2015).

3.5.4 Proses Fitoremediasi

3.5.4.1 Preparasi Sampel Limbah Logam Cair Laboratorium

Preparasi limbah cair laboratorium dilakukan dengan mengambil limbah cair laboratorium sisa penelitian yang mengandung logam tembaga (Cu). Setelah itu diletakkan ke dalam bak karet dan ditunggu hingga beberapa jam untuk diambil filtratnya. Dibutuhkan total air limbah untuk pemaparan sebanyak 36 L yang akan dipaparkan pada masing masing tumbuhan kayu apu sebanyak 2 L. Kemudian, diuji untuk mengetahui konsentrasi awal air limbah.

3.5.4.2 Pemaparan Sampel dengan Limbah Logam Laboratorium

Tanaman kayu apu yang telah diaklimatisasi kemudian dipindahkan ke dalam wadah plastik kotak. Pemaparan ini dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali maka wadah plastik yang dibutuhkan sebanyak 18 buah. Tiga wadah sebagai kontrol yang berisi limbah logam berat cair. Kemudian 15 wadah lainnya berisi sampel percobaan yakni kayu apu dan larutan limbah logam laboratorium dengan variasi waktu kontak 3, 5, 7, 9 dan 11 hari. Masing-masing wadah diberi tanaman kayu apu sebanyak 50 gram (Fachrurrozi, 2010) dengan limbah logam cair laboratorium sebanyak 2 L.

3.5.5 Destruksi Sampel

3.5.5.1 Destruksi Sampel Biomassa

Sampel setelah dipapar dengan limbah logam berat Cu kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 4 jam. Selanjutnya digerus sampai halus dan ditimbang hingga berat kering konstan yakni sebesar 0,25 g (Sibero dkk., 2019). Sampel yang sudah dipreparasi selanjutnya dapat didestruksi menggunakan metode destruksi basah terbuka. Destruksi basah terbuka yang digunakan adalah dengan metode destruksi pemanasan *hot plate*. Setelah sampel ditimbang sebesar 0,25 gram kemudian dimasukkan ke dalam gelas

beaker 50 mL. Setelah itu ditambahkan reagen berupa campuran dari 6 mL HNO₃ 65%+ 2 mL H₂O₂ 30%. Selanjutnya panaskan pada suhu 115°C dengan waktu 2 jam. Setelah itu, biarkan hingga suhu turun. Hasil dari proses destruksi kemudian disaring menggunakan kertas saring dan ditandabatkan dengan aquabides pada labu ukur 10 mL.

3.5.5.2 Destruksi Sampel Air

Perlakuan destruksi air dilakukan dengan cara mengambil sampel air sebanyak 50 mL lalu dimasukkan kedalam gelas *beaker* 100 mL atau erlenmeyer 100 mL. Lalu ditambahkan 10 mL HNO₃ pekat dan dipanaskan diatas *hot plate* dengan suhu \pm 100°C sampai volume kurang lebih 15 mL – 20 mL. Proses destruksi dikatakan sempurna bila sampel jernih. Kemudian sampel disaring dan ditandabatkan dengan aquabides pada labu ukur 50 mL. Selanjutnya sampel diuji dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) (Ramadhan, 2016).

3.5.6 Analisis Tembaga (Cu) pada Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

3.5.6.1 Pembuatan Kurva Standar Tembaga (Cu)

Pada Instrumen SSA Semua sampel hasil destruksi diambil dan didinginkan. Hal pertama yang harus dilakukan adalah larutan baku standar CuSO₄.H₂O 50 mg/L dibuat dari larutan stok Cu 100 mg/L yang dipipet sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL dan ditandabatkan menggunakan HNO₃ 0,5 M. Selanjutnya 50 mL larutan standar Cu dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4 dan 5 mg/L dibuat dengan cara mengambil 1; 2; 3; 4 dan 5 mL dari larutan baku standar CuSO₄.H₂O. Larutan yang telah diambil tersebut kemudian dimasukkan dalam labu takar 50 mL dan ditandabatkan menggunakan HNO₃ 0,5 M. Setelah semua sampel baik air maupun tanaman dingin dan proses analisis siap dilakukan, kadar Tembaga (Cu) ditentukan menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.5.6.2 Analisis logam Cu pada Kayu Apu menggunakan SSA

Instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang digunakan dilengkapi dengan lampu katoda Cu merk varian spektra AA 240. Panjang gelombang yang digunakan adalah 324,8 nm sesuai dengan panjang gelombang sinar yang dapat diserap atom Cu (Rohman, 2007). Instrumen SSA diatur panjang gelombang sesuai dengan panjang gelombang yang dapat diserap oleh atom Cu yaitu sebesar 324,8 nm. Diatur laju aliran asetilen sebesar 2,5 L/menit dan laju aliran udara sebesar 13,5 L/menit. Lebar celah dan kuat arus diatur masing-masing menjadi 0,5 nm dan 5 mA. Seluruh sampel dan larutan standar diukur absorbansinya. Sampel akar dan daun dari kayu apu dengan variasi waktu kontak 3, 5, 7, 9, 11 hari hasilnya diplotkan. Kemudian, dihitung konsentrasi untuk setiap bagian dari tanaman. Setiap pengukuran variasi dilakukan pengulangan tiga kali.

3.6 Analisis Data

Konsentrasi logam tembaga (Cu) total secara empiris dihitung dengan beberapa persamaan sesuai dengan jenis data yang diinginkan. Untuk melihat berapa persen logam tembaga (Cu) yang diserap oleh tanaman Kayu apu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\%Cu \text{ terserap} = \frac{[Cu \text{ awal}] - [Cu \text{ tersisa dalam air}]}{[Cu \text{ awal}]} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Di mana, [Cu awal] adalah konsentrasi awal logam Cu dalam dalam air limbah, [Cu tersisa] adalah konsentrasi tersisa logam Cu dalam air limbah.

Kadar logam tembaga (Cu) pada kayu apu dalam bentuk biomassa mengandung kadar logam tembaga berbeda-beda.

Untuk menentukan kadar logam Cu dalam bentuk biomassa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Kadar logam Cu (mg/Kg)} = \frac{b \times V}{m \text{ (Kg)}} \dots\dots\dots (3.2)$$

Di mana, b = konsentrasi logam Cu dalam sampel dari instrumen SSA (mg/L)

v = volume larutan setelah destruksi (L)

m = massa cuplikan biomassa yang didestruksi (Kg)

Selanjutnya untuk mengetahui kemampuan kayu apu dalam mengakumulasi logam dapat dihitung nilai *Bioconcentration factor* (BCF) dengan persamaan :

$$BCF = \frac{C_{organisme}}{C_{air}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Di mana : C. Organisme = Konsentrasi logam berat dalam organisme sesudah pemaparan (mg/Kg)

C. air = Konsentrasi awal logam berat dalam air (mg/L)

Nilai hitung untuk menentukan perpindahan konsentrasi logam berat dari akan menuju ke bagian lainnya (akar dan daun) dari suatu tumbuhan dapat dihitung nilai *Translocation factor* (TF) nya menggunakan Persamaan:

$$TF = \frac{BCF \text{ daun}}{BCF \text{ akar}} \dots\dots\dots (3.4)$$

Langkah yang selanjutnya adalah data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan one way ANOVA metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) menggunakan aplikasi IBM SPSS statistik dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan logam. (Caroline dan Moa, 2015).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Sampel Tanaman Kayu Apu

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). Tanaman Kayu Apu diambil dari sawah di Kabupaten Malang. Pengambilan sampel didasarkan pada teknik pengambilan non-probabilistik, yaitu *convenience sampling*. *Convenience sampling* merupakan metode di mana sampel dipilih berdasarkan ketersediaan atau kemudahan akses. Pengambilan sampel dilakukan pada satu titik lokasi tertentu agar karakteristik fisik dari sampel-sampel tersebut tidak jauh berbeda satu sama lain. Proses pengambilan sampel dengan cara mengambil 1,5 Kg tanaman Kayu Apu yang selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah plastik dan diberi air sedikit tujuannya untuk menjaga kesegaran tanaman Kayu Apu sehingga dapat bertahan selama perjalanan dari titik lokasi ke laboratorium.

4.2 Aklimatisasi

Aklimatisasi dapat didefinisikan sebagai proses penyesuaian tanaman fitoremediasi terhadap lingkungan sekitar sebelum akhirnya tanaman mampu hidup di lingkungan sebenarnya dengan keadaan suhu, iklim, temperatur dan lainnya yang sering berubah-ubah (Ghiovani, 2017). Saat terpapar kondisi lingkungan yang menekan, seperti paparan logam berat, tanaman akan mengaktifkan mekanisme detoksifikasi untuk mengurangi dampak negatif. Konsentrasi sebelum masa aklimatisasi sebesar 16,04 mg/Kg berat kering atau 0,40 mg/L pada bagian daun dan sebesar 84 mg/Kg berat kering atau 2,10 mg/L pada bagian akar. Hal ini menunjukkan bahwa pada habitat aslinya tumbuhan Kayu Apu telah memiliki akumulasi logam berat Cu. Terbukti bahwa uji yang dilakukan pada air sawah menunjukkan hasil konsentrasi sebesar 0,2050 mg/L di mana pada kondisi awal Kayu Apu telah tercemar oleh Logam Cu. Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dengan penambahan air kran yang cukup dan diganti setiap 2 hari sekali serta didukung dengan intensitas cahaya yang cukup sehingga tanaman Kayu Apu mampu bertahan dengan habitat barunya. Selama proses aklimatisasi ini, terjadi perubahan pada tanaman salah satunya tanaman yang layu dan akar yang rontok pada akhir proses aklimatisasi. Akibatnya, konsentrasi logam dalam akar dan daun Kayu Apu cenderung menurun yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1. Mekanisme penurunan konsentrasi logam selama aklimatisasi antara lain peningkatan sekresi logam ke medium tumbuh, dan penurunan translokasi logam ke bagian atas tanaman. Interaksi antara tanaman dengan mikroorganisme dalam air mengakibatkan imobilisasi ion logam dan membatasi masuknya ke dalam sistem akar (Muthusaravanan *et al.*, 2018)

Tabel 4.1 Kadar Logam Cu pada biomassa Kayu Apu sebelum pemaparan

Sampel Kayu Apu	Konsentrasi Cu (mg/Kg) BK	
	Daun	Akar
Sebelum Aklimatisasi	16,04	84
Sesudah Aklimatisasi	12,22	32,60

Keterangan: BK : Berat Kering

4.3 Proses Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu

Air limbah yang digunakan untuk proses pemaparan tanaman Kayu Apu adalah limbah cair laboratorium sisa penelitian yang mengandung logam tembaga (Cu). Limbah logam cair didiamkan beberapa jam bertujuan agar residu mengendap ke bawah dan diambil filtrat sebesar total 36 L untuk proses pemaparan. Air limbah yang dipaparkan memiliki konsentrasi sebesar 1,1864 mg/L. Perlakuan pemaparan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tanaman Kayu Apu dalam meremediasi logam Cu pada media air limbah serta penyimpanannya pada setiap bagian tanaman. Pemaparan sampel dengan larutan limbah logam cair dilakukan dengan variasi waktu kontak yaitu 3, 5, 7, 9 dan 11 hari. Tanaman Kayu Apu yang digunakan sebagai sampel diambil dari titik yang sama dengan berat yang sama sebesar 50 gram.



Gambar 4.1 Tanaman Kayu Apu saat pemaparan

Pemaparan yang dilakukan dengan variasi waktu kontak tersebut menyebabkan perubahan fisik pada tanaman Kayu Apu. Perubahan yang terjadi meliputi daun yang terlihat menguning serta akar yang perlahan mulai sedikit akibat terlepas dari jaringannya. Meskipun demikian, tanaman Kayu Apu yang dipapar tersebut beberapa tetap bertahan hidup. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman Kayu Apu mampu bertahan hidup pada air yang sudah tercemar logam dengan konsentrasi yang rendah.

Konsentrasi tembaga (Cu) yang terkandung dalam tanaman Kayu Apu dianalisis menggunakan instrumentasi SSA. Tanaman Kayu Apu terlebih dahulu dikeringkan dalam oven dengan tujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung di dalamnya. Selanjutnya dipisahkan antara akar dan daun. Kemudian dihaluskan dan dilakukan destruksi pada masing-masing bagian menggunakan destruksi basah terbuka dengan *hot plate*. Proses destruksi dilakukan dengan terlebih dahulu menambahkan asam nitrat pekat dan asam peroksida ke dalam sampel. Adanya suhu yang naik secara bertahap membuat proses

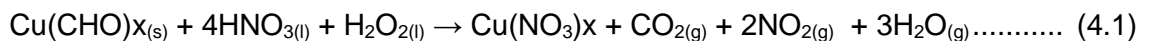
destruksi lebih cepat. Hasil destruksi kemudian disaring sehingga diperoleh cairan bening kekuningan seperti yang terlihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Hasil destruksi tanaman Kayu Apu

Proses destruksi dilakukan dengan menambahkan tanaman Kayu Apu yang telah dihaluskan. Penghalusan sampel dilakukan untuk memperbanyak luas permukaan sehingga proses pemanasan berjalan lebih cepat. Sampel serbuk kayu apu yang ditambahkan pada proses ini sebanyak 0,25 g. Pemanasan yang dilakukan pada suhu 115°C dikarenakan suhu berada dibawah titik didih larutan pengoksidasi yaitu titik didih asam nitrat sebesar 121°C sehingga penguapan tidak terjadi dalam waktu cepat. Dalam proses destruksi, warna larutan pada bagian akar lebih pekat dibandingkan dengan daun dikarenakan warna akar pada biomassa kering kayu apu lebih coklat sedangkan warna daun berwarna hijau. Selain itu, adanya senyawa-senyawa organik yang lebih banyak terkandung pada bagian akar sehingga komposisi kimia tersebut akan menimbulkan warna yang lebih keruh atau pekat. Hasil destruksi menunjukkan cairan yang berwarna kuning pudar hal ini disebabkan karena pengaruh larutan HNO₃ yang berubah akibat pemanasan. Larutan HNO₃ selama proses destruksi mengalami oksidasi, nitrogen dalam sampel tanaman akan teroksidasi oleh HNO₃ menjadi berbagai senyawa nitrogen teroksidasi. Senyawa-senyawa nitrogen teroksidasi ini dapat berupa nitrit (NO₂⁻), nitrat (NO₃⁻), dan oksida nitrogen (NO_x). Senyawa-senyawa nitrogen teroksidasi ini memiliki warna kuning kecoklatan.

Reaksi yang terjadi antara asam nitrat dan asam peroksida dengan senyawa organik:

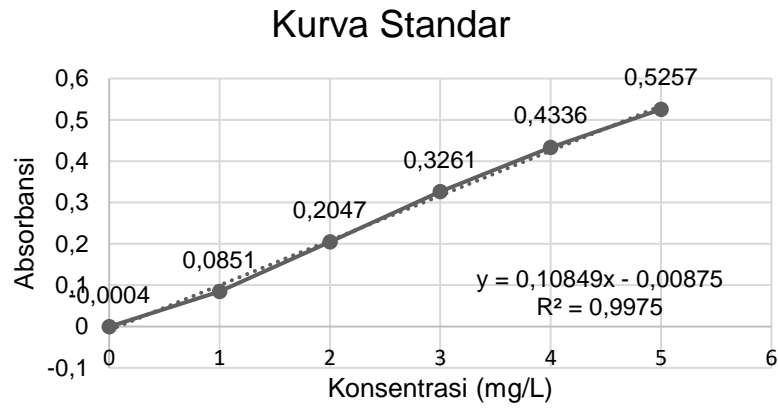


Terjadi reaksi redoks (reduksi oksidasi) di mana HNO₃ sebagai oksidator utama akan mengalami reduksi. Kemudian senyawa organik dalam Kayu Apu yang dimisalkan dengan (CH₂O)₂ akan mengalami oksidasi. Sedangkan Cu akan dirubah menjadi bentuk garam dengan muatan +2. Senyawa yang dimisalkan (CH₂O)₂ dalam kayu apu adalah senyawa

fitokelatin yaitu senyawa kompleks yang dapat mengikat logam tembaga apabila berada lingkungan banyak logam. selanjutnya senyawa tersebut dioksidasi oleh HNO_3 menghasilkan CO_2 dan NO_2 . Asam nitrat yang teroksidasi mengakibatkan logam Cu terlepas sari ikatannya dengan senyawa organik dalam sampel yang kemudian akan diubah ke dalam bentuk garamnya yaitu $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ yang mudah larut dalam air. Pada persamaan 4.2 logam tembaga pada $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ terurai menjadi Cu^{2+} dan 2NO_3^- dalam keadaan ion inilah logam Cu dalam sampel Kayu Apu dapat terdeteksi dengan instrumen SSA. Fungsi penambahan asam peroksida sebagai pengoksidasi yang membantu memaksimalkan destruksi. Gas H_2O dan O_2 akan terbentuk saat asam peroksida dipanaskan pada suhu 115°C . Molekul air yang terbentuk akan bereaksi dengan gas NO_2 membentuk HNO_3 dan HNO_2 . HNO_3 dapat mendestruksi senyawa organik yang tersisa, sedangkan HNO_2 akan terurai kembali menjadi NO dan NO_2 . Sedangkan fungsi penambahan asam nitrat yaitu sebagai pengoksidasi sampel dan katalis untuk mempercepat destruksi (Nasir, 2018). Setelah proses destruksi dengan waktu 2 jam, sampel menghasilkan residu kemudian ditunggu hingga suhu ruang lalu ditambahkan dengan aquabides. Setelah itu sampel di saring dan ditandabatkan dengan aquabides pada labu ukur 10 mL. Terdapat residu pada proses akhir menandakan bahwa proses destruksi belum sempurna. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Zahro *et al.* (2023) Hasil destruksi yang diperoleh berupa larutan jernih berwarna kuning muda menandakan bahwa proses destruksi telah selesai. Pengenceran sampai 10 mL dilakukan agar larutan sampel berada dalam matriks yang identik dengan larutan standar sehingga didapatkan kondisi yang ideal untuk analisis (Rohman, 2007)

4.3.1 Pembuatan Kurva Standar Logam Cu

Setelah proses destruksi Kayu Apu selanjutnya akan diuji dengan instrumen AAS. Namun, terlebih dahulu melakukan uji standarnya. Pembuatan kurva standar bertujuan untuk mengetahui hubungan konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya sehingga konsentrasi logam dapat diketahui. Pembuatan kurva standar dilakukan dengan membuat larutan standar logam Cu dari konsentrasi 1 hingga 5 mg/L. Larutan tersebut diukur absorbansinya menggunakan AAS pada panjang gelombang 324,8 nm. Larutan standar yang dianalisis menggunakan AAS menghasilkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Kurva standar logam Cu

Berdasarkan grafik kurva standart pada Gambar 4.3 didapatkan persamaan regresi linier pada logam Cu diketahui $y = 0,10849x - 0,00875$, nilai $R^2 = 0,9975$. Menurut Rahmawati (2015) bahwa keakuratan dikatakan sempurna jika nilai R^2 mendekati 1.

4.3.2 Penentuan Konsentrasi Cu pada Sampel Tanaman Kayu Apu setelah Pemaparan

Penentuan konsentrasi Cu pada sampel tanaman Kayu Apu dapat dilakukan dengan cara pemaparan sampel menggunakan air limbah cair logam berat Cu yang tersedia di laboratorium. Pemaparan yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan variasi waktu kontak yaitu 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari dan 11 hari. Setiap perlakuan diberi sampel Kayu Apu seberat 50 gram dan air limbah sebanyak 2 liter. Hasil konsentrasi yang diperoleh pada setiap berat kering bagian tanaman Kayu Apu dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Rata-rata konsentrasi Cu dalam biomassa Kayu Apu

Variasi waktu kontak (hari)	Daun		Akar	
	[Cu] instrumen (mg/L)	[Cu] sebenarnya (mg/Kg) BK	[Cu] instrumen (mg/L)	[Cu] sebenarnya (mg/Kg) BK
3	0,3454	69,08	3,0787	1231,48
5	0,3955	79,1	3,4157	1366
7	0,3945	78,92	2,9955	1198,2
9	0,5122	102,44	3,7362	1494,48
11	0,4122	82,44	2,9475	1179

Keterangan: BK : Berat Kering

Berdasarkan pada Tabel 4.2 Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yakni akumulasi tertinggi yang terdapat pada setiap perlakuan untuk bagian akar terjadi pada variasi waktu kontak 9 hari dengan nilai sebesar 1494,48 mg/Kg BK atau setara dengan 3,7362 mg/L. Kemudian untuk bagian daun yang tertinggi terjadi pada variasi waktu kontak 9 hari yakni sebesar 102,44 mg/Kg BK atau setara dengan 0,5122 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa logam Cu lebih banyak terakumulasi di akar, dibandingkan di bagian daun. Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat penyerapan logam berat Cu lebih dominan pada bagian akar dibandingkan pada bagian daun tanaman Kayu Apu. Menurut Caroline *et al.* (2015) salah satu mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman pada bagian akar adalah *rhizofiltration*. *Rhizofiltration* adalah proses penyerapan zat kontaminan logam berat atau zat hara yang berlebih yang mengelilingi zona akar tanaman. Sibero *et al.* (2019) mengemukakan bahwa tanaman Kayu Apu mengandung banyak fitokelatin pada akarnya yang berfungsi untuk mengakumulasi logam berat pada lingkungan yang tercemar. Hal tersebut mempengaruhi pengikatan logam berat oleh organ lain pada tanaman, karena fitokelatin merupakan senyawa yang digunakan untuk mengikat logam berat yang banyak terdapat pada akar dibandingkan pada bagian tanaman lainnya. Proses penyerapan terjadi di akar tanaman Kayu Apu, karena logam berat Cu yang banyak terkandung dalam akar berikatan langsung dengan elektron bebas terdekat. Selain itu tanaman yang terpapar logam berat Cu akan menimbulkan toksisitas yang berpengaruh pada klorofil. Zhu and Alva (2013) menyatakan klorosis daun adalah gejala awal yang umum dari keracunan Cu. Klorosis terjadi karena beberapa faktor diantaranya terganggunya proses sintesis klorofil dan berkurangnya salah satu mineral pembentuk klorofil seperti Fe, Mg dan N yang disebabkan oleh munculnya mineral lain. Kehadiran Cu menghambat proses sintesis klorofil, selain itu intervensi Cu menyebabkan berkurangnya mineral yang digunakan untuk sintesis klorofil. Toksisitas akut Cu, daun dapat menjadi layu sebelum akhirnya menjadi nekrotik (Yau *et al.*, 2018). Apabila proses klorofil terganggu maka hal ini menyebabkan gangguan pada proses fotosintesis sehingga menyebabkan hasil fotosintat yang ada menurun dan bisa menghambat aktivitas sistem daun dalam penyerapan logam. Batas kadar logam yang terdapat di dalam biomassa agar suatu tumbuhan dapat disebut hiperakumulator berbeda-beda bergantung pada jenis logamnya (Baker, 1999). Untuk kadmium, kadar setinggi 0,01% (100 mg/kg BK) dianggap sebagai batas hiperakumulator. Sedangkan batas bagi kobalt, tembaga dan timbal adalah 0,1% (1.000 mg/kg BK) dan untuk seng dan mangan adalah 1% (10.000 mg/kg BK) (Juriah dan Alam, 2016).

Penurunan konsentrasi Cu pada daun dan akar dengan waktu kontak 7 hari dibanding 5 hari disebabkan karena pada perlakuan 7 hari terdapat beberapa bagian akar yang mengalami gejala nekrosis dan klorosis yang menyebabkan akar tersebut rontok. Terjadinya fenomena tersebut disebabkan karena pada perlakuan 7 hari terlihat banyak akar-akar yang putus sehingga mempengaruhi proses penyerapan logam berat Cu. Perubahan pada daunnya dapat berupa daun yang mulanya berwarna hijau segar menjadi kuning dan layu, daun yang menempel pada badan tanaman menjadi terlepas dari badan tanaman. Sama halnya dengan akar, akar tanaman Kayu Apu yang mulanya panjang menjuntai berwarna coklat mengalami kerontokan. Akarnya menjadi pendek dan warna

akarnya menjadi coklat gelap. Perubahan yang terjadi pada tanaman Kayu Apu tersebut dipengaruhi oleh proses penyerapan logam berat yang diserap oleh akar (Dwi dkk., 2018).

Fisiologis pada tanaman kayu apu di hari ke-7 mulai terjadi perubahan. Daun yang sebelumnya berwarna hijau berubah menjadi warna kuning dan akar yang semakin rontok. Namun perubahan paling drastis dialami pada hari ke- 11 di mana daun menguning semakin banyak bahkan berubah menjadi layu dan kering hingga mengalami kematian. Bagian daun dan akar tanaman kayu yang rontok, kering dan mati akan larut sehingga jumlah akumulasi logam akan berkurang . Pada hari ke-11 bagian akar kayu apu mengalami penurunan kadar menjadi 1179 mg/Kg BK atau setara dengan 2,9475 mg/L. Karena adanya beberapa tanaman yang mati maka bagian tersebut akan melepaskan kembali logamnya. Pelepasan kembali logam berat dari permukaan dan pori-pori adsorben disebut dengan desorpsi (Velepini *et al.*, 2023)

Semakin tinggi konsentrasi Cu pada air maka akumulasi logam Cu dalam tanaman juga akan semakin besar. Tanaman Kayu Apu yang berfungsi sebagai mediator penyebaran logam Cu menyerap logam berat melalui akar yang selanjutnya akan masuk ke dalam tunas lainnya. Logam Cu diserap oleh akar Kayu Apu dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ikut masuk bersama aliran air. Air yang mengandung logam Cu akan membuat protein regulator dalam tanaman Kayu Apu membentuk senyawa pengikat yang disebut fitokelatin.

4.3.3 Penentuan Persen Penurunan (Teremediasi) Logam Cu oleh Tanaman Kayu Apu

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar Kayu Apu mampu meremediasi atau menurunkan kadar logam Cu pada beberapa variasi waktu kontak pemaparan. Kemampuan tanaman Kayu Apu dalam meremediasi logam Cu dapat diketahui dengan menghitung nilai persen teremediasinya. Persen teremediasi logam Cu oleh tanaman Kayu Apu dari berbagai variasi waktu kontak pemaparan disajikan pada Tabel 4.3. Tabel 4.3 tersebut menunjukkan bahwa penyerapan secara maksimal terjadi pada variasi waktu kontak 9 hari dengan nilai Cu yang teremediasi sebesar 85,58% di mana konsentrasi Cu yang tersisa yaitu 0,1707 mg/L dari konsentrasi awal 1,1864 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman Kayu Apu mampu bertahan hidup dalam lingkungan yang tercemar logam serta mampu menyerapnya.

Nilai persen teremediasi didapat dengan menghitung perbandingan konsentrasi Cu yang teremediasi dengan konsentrasi awal air. Nilai di atas diperoleh dari rata-rata tiga kali pengulangan. Kemudian dari keseluruhan nilai persen teremediasi, semakin lama waktu pemaparan maka semakin tinggi nilai dari persen penurunan. Persentase terendah dari penelitian ini terjadi pada hari ke-3 yaitu sebesar 82,68% dengan konsentrasi yang tersisa pada air sebesar 0,2054 mg/L semakin lama waktu kontak persentase akan semakin naik. Hal tersebut disebabkan karena semakin lama tanaman kayu apu terpapar dengan larutan

yang mengandung Cu, Menurut penelitian yang dilakukan oleh Adnand (2019) yang menyatakan bahwa bahwa semakin lama tanaman kayu apu yang terpapar semakin banyak pula ion-ion yang diserap oleh akar tanaman. Kecuali pada hari ke- 11 persentase menurun yang diakibatkan oleh tanaman terjadi proses reabsorpsi. Turunnya nilai persen teremediasi tersebut disebabkan oleh tanaman yang sudah jenuh terhadap ion logam (Oktoviana *et al.*, 2015). Penurunan persen teremediasi Cu oleh tanaman Kayu Apu juga dapat disebabkan oleh terganggunya reaksi kimia yang terjadi pada tanaman yang menimbulkan kerusakan pada tanaman.

Tabel 4.3 Rata-rata persentase konsentrasi logam Cu pada air

Waktu kontak (hari)	[Cu] tersisa (mg/L)	Persen terserap (%)	Rata- rata uji BNT
3	0,2054	82,68	82,6800 ^a
5	0,1918	83,82	83,8267 ^{ab}
7	0,1817	84,68	84,6800 ^{ab}
9	0,1709	85,58	85,5867^b
11	0,1807	84,75	84,7567 ^{ab}

Selanjutnya untuk mengetahui apakah proses fitoremediasi oleh tanaman Kayu Apu memiliki pengaruh terhadap persen teremediasi logam Cu dilakukan uji statistik. Analisis secara statistika untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kontak air limbah logam berat Cu terhadap persen teremediasi tembaga oleh Kayu Apu dilakukan dengan menggunakan metode *one way ANOVA*. Selanjutnya untuk mengetahui pada variasi waktu kontak hari ke-berapakah Kayu Apu dapat menyerap logam tembaga secara signifikan dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) atau uji *Least Significant Difference* (LSD). Hipotesis yang diajukan pada analisis ini adalah:

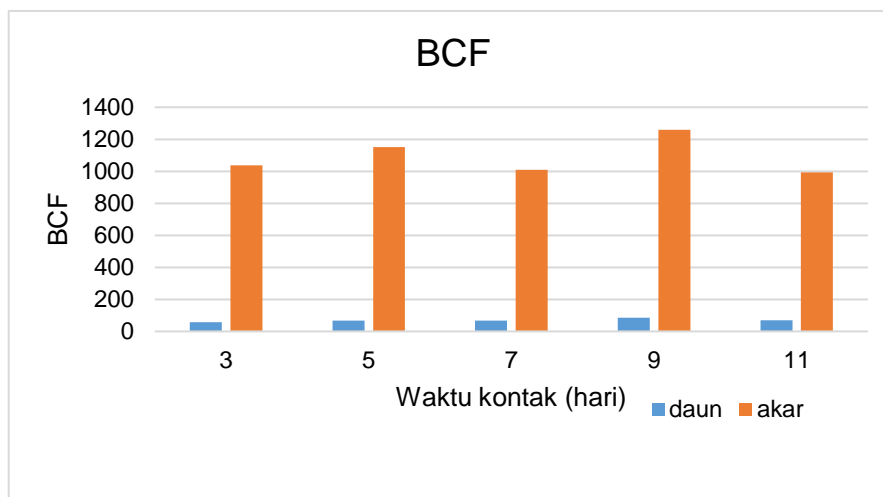
1. $H_0 = 0$, maka tidak ada perbedaan pengaruh variasi waktu kontak terhadap persen teremediasi logam Cu oleh Kayu Apu
2. $H_0 \neq 0$, maka minimal ada satu pengaruh variasi waktu kontak terhadap persen teremediasi oleh Kayu Apu

Berdasarkan pada hasil Lampiran 4 menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Ditunjukkan bahwa nilai $sig < 0,05$ yang artinya terdapat pengaruh variasi waktu kontak terhadap persen terserapnya logam Cu oleh Kayu Apu. Maka uji lanjutan dapat dilakukan untuk melihat perbedaan yang signifikan dari berbagai perlakuan. Uji lanjut yang digunakan adalah uji Beda Nyata Terkecil (BNT) atau LSD. Data hasil uji BNT dapat menunjukkan beda nyata antara satu perlakuan terhadap perlakuan yang lain, selain itu juga dapat diketahui nilai maksimum dan minimum persentase logam Cu yang terserap oleh Kayu Apu dalam berbagai perlakuan. Hasil uji BNT dapat ditampilkan dalam Tabel 4.3 pada kolom rata-rata uji BNT ditunjukkan bahwa bahwa terdapat perlakuan yang memiliki beda nyata (signifikan) terhadap perlakuan lain dan ada juga perlakuan yang tidak memiliki beda nyata terhadap

perlakuan lain. Perlakuan yang paling berpengaruh ditunjukkan antara pemaparan hari ke-3 bernotasi **a** dan hari ke-9 bernotasi **b**. Lama waktu pemaparan 9 hari merupakan hasil yang paling tinggi dengan rata-rata sebesar 85,5867 dan lama waktu pemaparan 3 hari memiliki rata-rata paling rendah sebesar 82,6800. Kesimpulan dari hasil tersebut adalah Kayu Apu mampu memberikan hasil penyerapan logam Cu yang signifikan.

4.4 Penentuan BCF (Bioconcentration Factor)

Bioconcentration Factor (BCF) merupakan kecenderungan suatu bahan kimia yang diserap oleh organisme akuatik. BCF adalah rasio antara konsentrasi bahan kimia dalam organisme akuatik dengan konsentrasi bahan kimia di dalam air (LaGrega, dkk., 2001). Konsentrasi logam di dalam tanaman Kayu Apu dinyatakan dalam bentuk ppm. Tanaman Kayu Apu yang telah dilakukan fitoremediasi dengan variasi waktu kontak 3, 5, 7, 9 dan 11 hari kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C. Hasil perhitungan BCF dengan dan tanpa menggunakan aerator antara daun dan akar dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil BCF pada logam Cu

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan nilai BCF untuk bagian daun dan akar pada tanaman Kayu Apu. Nilai BCF pada Akar lebih tinggi dibandingkan daun. Hal tersebut dikarenakan tanaman Kayu Apu lebih banyak terserap pada akar. Nilai tertinggi logam Cu yaitu pada akar hari ke-9 sebesar 1259,67. Secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa Kayu Apu memiliki nilai BCF yang sangat tinggi. Bagian akarnya nilainya lebih tinggi dikarenakan adanya kontak langsung antara akar tanaman dengan limbah logam. Nilai BCF pada bagian akar Kayu Apu cenderung semakin meningkat dari hari ke-3 menuju hari ke-9 dan mengalami penurunan di hari ke-11. Bagian akar pada tanaman kayu apu tergolong kemampuan penyerapan yang tinggi sesuai dengan Testi *et al.* (2019) bahwa nilai faktor biokonsentrasi lebih dari 1000 maka kemampuannya tinggi. Luas permukaan berpengaruh terhadap banyaknya Cu yang diakumulasi oleh bagian tanaman Kayu Apu. Nilai BCF pada

daun dan akar yang mengalami penurunan disebabkan oleh aktivitas akumulasi yang tidak merata saat proses remediasi.

4.5 Penentuan TF (Translocation Factor)

Translokasi secara sederhana diartikan sebagai perpindahan komponen dari suatu tempat ke tempat yang lain. *Translocation Factor* (TF) secara umum digunakan untuk menentukan translokasi logam secara relatif dari bagian tumbuhan yang satu menuju bagian tumbuhan yang lain (Gupta *et al.*, 2008). TF juga digunakan untuk menentukan sifat fitoremediator dari suatu tumbuhan. Nilai TF pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai TF daun terhadap akar

Waktu kontak (hari)	TF
3	0,0560951
5	0,05790629
7	0,06586546
9	0,06854558
11	0,06992366

Pada penelitian ini, TF digunakan untuk mengetahui kemampuan Kayu Apu dalam menranslokasikan logam tembaga dari bagian akar menuju bagian daun. Selain itu nilai TF juga digunakan untuk mengetahui kemampuan Kayu Apu sebagai akumulator logam tembaga. Berdasarkan Tabel 4.4, nilai TF diperoleh dengan menghitung perbandingan konsentrasi logam tembaga yang terakumulasi pada bagian daun dan akar. Nilai TF tertinggi terdapat pada waktu kontak hari ke-9, sedangkan nilai TF terendah terdapat pada waktu kontak hari ke-3. Semua nilai pada variasi waktu kontak limbah cair laboratorium kurang dari 1, sehingga dapat disimpulkan bahwa tumbuhan Kayu Apu bersifat fitostabilisasi yaitu suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizosfer atau akar.

4.6 Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) oleh Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Dalam Prespektif Islam

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang fitoremediasi logam tembaga oleh tanaman Kayu Apu, tanaman tersebut mampu bertindak sebagai agen remediasi untuk lingkungan perairan. Karena sifatnya yang hiperkumulator Kayu Apu mampu menyerap kandungan organik dan pencemar lain pada limbah cair. Kayu Apu menjadi salah satu tanaman yang keberadaannya dianggap mengganggu bagi organisme lain. Akan tetapi, hasil dari penelitian ini menurut perspektif islam dapat dijadikan inspirasi bahwa untuk memelihara lingkungan, sebagai wujud interaksi kepada Allah Swt. (*mu'amalah ma'a Allah*) serta wujud syukur dan ibadah kepada Allah Swt. dapat dilakukan dengan pemanfaatan

kayu apu melalui fitoremediasi. Seperti ayat yang telah difirmankan oleh Allah Swt bahwa Ia menciptakan berbagai macam jenis tumbuhan dengan berbagai macam manfaat.

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَوَسَّلَكَ لَكُمُ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ أَزْوَاجًا مِّنْ نَّبَاتٍ شَتَّىٰ

Artinya : “Yang telah menjadikan bagimu bumi sebagai hamparan dan Yang telah menjadikan bagimu di bumi itu jalan-jalan, dan menurunkan dari langit air hujan. Maka Kami tumbuhkan dengan air hujan itu berjenis-jenis dari tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam.” (QS. Thaha (20): 53)

Ayat di atas menjelaskan tentang bagaimana Allah menciptakan tumbuh-tumbuhan. Menurut Tafsir al-Misbah oleh Shihab (2002), dengan diturunkannya air dari langit atau hujan memiliki makna yang dapat menumbuhkan bermacam-macam jenis tumbuhan dengan masing-masing bentuk, warna, rasa, dan manfaatnya. Sesungguhnya tumbuhan dan segala sesuatu di alam semesta ini terdapat manfaat di dalamnya, akan tetapi manfaat tersebut belum diketahui oleh banyak orang. Bahkan setiap bagian tumbuhan seperti akar, batang, daun, bunga, dan buahnya bisa jadi masing-masing menyimpan manfaat.

Kebermanfaatan Kayu Apu dalam proses fitoremediasi juga dapat dirasakan oleh masyarakat khususnya daerah industri dan perairan. Keberadaannya yang melimpah mampu dijadikan alternatif cara untuk menekan biaya operasional dalam mengurangi bahan pencemar logam berat. Kemampuan Kayu Apu dalam menyerap logam berat tidak hanya berguna untuk menurunkan konsentrasi saja. Namun, Hal itu juga mempengaruhi organisme dan makhluk hidup disekitarnya. Bukti bahwa penelitian ini mampu mewujudkan interaksi kepada manusia (*mu'amalah ma'a An-nas*) terdapat pada firman Allah Swt. Q.S Al-Insyirah ayat 5

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

Artinya: “Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan,” (Q.S Al-Insyirah: 5)

Allah Swt memberikan kemudahan bagi seluruh manusia dalam berbagai hal. Kemudahan yang diberikan oleh Allah Swt. bisa bersumber dari mana saja seperti halnya pada penelitian ini. Kayu Apu yang dianggap kurang sebagai tanaman pengganggu ternyata memberikan kemudahan untuk menyerap beberapa polutan zat pencemar yang akan berdampak baik bagi makhluk hidup. Seperti halnya peternak ikan yang seringkali memasukkan tumbuhan kayu apu ke dalam habitat buatan dikarenakan kayu apu mampu menyerap dan mengakumulasi logam berat, pestisida dan zat pencemar lainnya dalam air. Sehingga, ekosistem dalam budidaya ikan dapat terjaga. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Putri *et al.* (2022) bahwa penambahan kayu apu seberat 135 gram mampu menurunkan kadar amoniak pada limbah budidaya ikan lele sebesar 0,10 mg/L dalam kurun waktu selama 15 hari. Selain itu, Kayu juga mampu memberikan perlindungan bagi kesehatan manusia karena jika tubuh manusia terpapar logam berat berlebihan maka hal tersebut akan

menimbulkan efek samping karsinogenik seperti kanker serta menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan. Dengan adanya perlakuan menggunakan cara fitoremediasi oleh Kayu Apu ini, paparan logam berat dalam tubuh menjadi berkurang karena kayu apu akan meremediasi logam berat. Seperti hasil dari penelitian ini bahwa dalam waktu pemaparan hari ke-9 Kayu Apu mampu menyerap logam berat Cu dalam air sebesar 85,58%.

Penggunaan tumbuhan Kayu Apu sebagai adsorben dalam proses fitoremediasi tentu tidak terlepas dari masalah lingkungan. Dewasa ini, semakin banyak peningkatan jumlah masyarakat dan industri justru akan menjadi tantangan untuk menjaga kelestarian lingkungan alam. Bentuk interaksi manusia kepada alam (*Mu'amalah ma'a Al-alam*) ditunjukkan dengan memanfaatkan tumbuhan Kayu Apu yang dianggap sebagai gulma juga merupakan bentuk melestarikan lingkungan karena tidak mungkin Allah SWT menciptakan makhluk hidup tanpa memiliki manfaat. Seperti yang terkandung dalam QS. An-Nur: 41

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ حَوْفًا وَقَطْمًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: *“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan.”* (Q.S Al-A'raf: 56)

Dalam tafsir *Zubdat Al Tafsir Min fathil Qadir* karya Syaikh Dr. Muhammad Sulaiman Al Asyqar memiliki makna yang luas. Bahwasannya kerusakan yang dimaksud mencakup merusak pepohonan, membuat kering sungai, menghancurkan rumah-rumah serta membunuh manusia. Larangan berbuat kerusakan ini mencakup segala bidang, termasuk merusak lingkungan alam (Mustakim, 2017). Dalam tafsir al- Mishbah dijelaskan bahwasanya Allah melarang adanya kerusakan di muka bumi dan memerintahkan hamba-Nya untuk menjaga dan memeliharanya. Allah Swt. telah menciptakan bumi dalam keadaan yang baik dan sempurna, sehingga apabila terjadi kerusakan maka sebagai bentuk pertanggungjawaban manusia sebagai khalifah maka senantiasa Allah memerintahkan manusia untuk melakukan perbaikan. Bentuk dari kerusakan alam berbagai macam perlakuannya salah satu contoh ialah membuang limbah dengan sembarangan baik domestic maupun idustri. Dengan adanya fitoremediasi lingkungan khususnya perairan yang tercemar akan berkurang dan ekosistem disekitarnya mampu bertahan hidup lebih lama tanpa paparan logam berat.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kemampuan bagian akar dan daun pada tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dalam meremediasi logam tembaga mampu memberikan akumulasi terbaik pada waktu kontak pemaparan hari ke-9 yaitu rata-rata persentase penurunan sebesar 85,58% dari konsentrasi awal dalam perairan. Bagian akar memiliki kemampuan penyerapan lebih tinggi dibuktikan dengan nilai BCF akar lebih yang besar dibandingkan dengan daun. Akumulasi logam pada bagian akar lebih tinggi disebabkan karena senyawa fitokelatin serta gangguan pada klorofil daun sehingga menghambat aktivitas penyerapan logam Cu.
2. Hasil analisis tanaman Kayu Apu dalam menurunkan kadar logam Cu dalam air menunjukkan bahwa tanaman Kayu Apu mampu digunakan sebagai tumbuhan agen fitoremediasi dengan fitostabilisasi. Hal ini berdasar pada nilai parameter yang didapatkan yaitu $BCF > 1$, $TF < 1$. Di mana nilai kadar logam tertinggi diperoleh dari bagian akar Kayu Apu hari ke-9 sebesar 1494,48 mg/Kg serta nilai BCF tertinggi diperoleh dari bagian akar Kayu Apu pada hari ke-9 dengan nilai sebesar 1259,67.

5.2 Saran

1. Proses fitoremediasi agar ditambahkan dengan larutan nutrisi Hoagland sebagai media tumbuh serta penambahan aerator sebagai pendukung ketahanan hidup pada tumbuhan.
2. Perlu dilakukan proses destruksi hingga selesai sampai larutan menjadi jernih dan tidak ada endapan.
3. Sisa dari serbuk biomassa tanaman dapat dicampurkan pada bahan pengikat seperti semen dan kapur untuk bahan bangunan.
4. Air limbah sisa pemaparan tidak bisa langsung di buang pada saluran air tanpa izin.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnand, M., Priyati, A., dan Murad. 2019. Fitoremediasi Limbah Cair Industri Pengolahan Tempe Dengan Menggunakan Tanaman Apu-Apu (*Pistia Stratiotes*) untuk Menurunkan Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*). *Jurnal KESMAS UAD*, 1-16.
- Andriyaningrum, S., Yusuf, B. dan Gunawan, R. 2018. Perbandingan Metode Destruksi Basah Sistem Terbuka dan Tertutup terhadap Analisis Logam Timbal (Pb) dalam Sampel Tanah pada Daerah Bekas Pertambangandi Samarinda dengan AAS. *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2018*. Kimia FMIPA UNMUL.
- Anning, Alexander K., Percy, E. K., dan Patrick, A. F. 2013. Phytoremediation of Wastewater with *Limnocharis flava*, *Thalia geniculata* and *Typha latifolia* in Constructed Weatlands. *International Journal of Phytoremediation*. 15 (5): 452-464.
- Apdy, A. R. 2016. Kadar Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb), Merkuri (Hg) dan Seng (Zn) pada Tanah di Sekitar Rumah Susun Pantai Losari Kota Makassar. *Skripsi*.
- Arfiati, D., Pramudyo, D.R., & Puspitasari, A.W. 2019. Analisis Total Bahan Organik Pada Air Proses Budidaya Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) di Upbat Punten, Kota Batu, Jawa Timur.
- Artaya, I. P. 2018. *Uji Two Way ANOVA*. Surabaya: Universitas Narotama.
- Barman, S. C., Kisku, G. C. dan Bhargava, S. K. 2000. Contamination of Soil and Plants with Potentially Toxic Elements Irrigated with Mixed Industrial Effluent and Its Impact on the Environment. *Water Air Soil Pollut*. 120: 121-137.
- 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), 2549-2793.
- Busran, T. P., & Rachmatiah, I. 2010. *Pengaruh Penambahan Logam Zn Pada Serapan Logam Cu Oleh Tanaman Kiapu (Pistia stratiotes L) Pada Air*. 16, 12.X
- Caroline, J. dan Moa, G. A. 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*. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Cong, Van Nguyen, , Thanh ,T. V., Kha, L. T. M., Hoang, N. X., 2022. Water Lettuce (*Pistia stratiotes L.*) as a Potential Material for Biogas Production. *Journal of Ecological Engineering*. Vol 23(6), 182-188. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/148197>
- Dagdag, O., Quadri, T. W., Haldhar, R., Kim, S. C., Daoudi, W., Berdimurodov, E., Akpan, E. D., Ebenso, E. E. 2023. An Overview of Heavy Metal Pollution and Control. *ACS Symposium Series*. Vol. 1456. DOI: 10.1021/bk-2023-1456.ch001
- Dwi, S., Kusumawati, E., & Purnama, M. S. 2018. *Fitoremediasi Menggunakan Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Dalam Kolam Bekas Tambang Batubara Terhadap Penyerapan Logam Mangan (Mn) Dan Kadmium (Cd)*. 1
- Fachrurozi, M., Utami, L.B., Suryani, D. 2010. Pengaruh Variasi Biomassa *Pistia stratiotes L.* Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Masyarakat UAD*. Vol.4, No.1
- Favas, P.J.C., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R., dan Paul, M.S. 2014. Phytoremediation of Soil Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora in Hernandez-Soriano, M.C. Environmental Risk Assessment of Soil Contamination. *InTech*.

- Ferdiansah, I. B. dan Ubaidillah, M. 2023. Efektivitas Bioakumulator Tanaman *Hydrilla verticillata* pada Cemaran Tanah pada Budi Daya Padi Genangan. *JUPI. Vol. 28 (4): 641–649*
- Elawati, Novri Y. Kandowangko, Djuna Lamondo, Sabriana Oktaviana Gintulangi. 2015. Efisiensi Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) Oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica Forks*) dengan Waktu Kontak yang Berbeda. *RADIAL – juRnal perADaban salns, rekayAsa dan teknoLogi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo. Vol. 6 NO. 2.*
- Gamakaranage, C.S., Rodrigo, C., Weerasinghe, S., Gnanathasan, A., Puvanaraj, V., Fernando, H. 2011. Complications and Management Of Acute Copper Sulphate Poisoning; A Sase Discussion. *J occup Med Toxicol. Vol. 6(1):34*
- Ghiovani, D. (2017). Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu apu (*Pistia Stratiotes*). *JURNAL TEKNIK ITS , 1-5.*
- Ghosh, M., & Singh, S. P. 2005. A Comparative Study of Cadmium Phytoextraction by Accumulator and Weed Species. *Environmental Pollution, 133(2), 365- 371.*
- Harjanto, H. dan Rahmania, N. 2007. *Memperbanyak Tanaman Hias Favorit. Jakarta: Niaga Swadaya.*
- Hasanah, U. 2019. Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) Oleh Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava*) Dari Sawah Di Daerah Malang Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dan Waktu Pemaparan. *Skripsi. Malang: Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknoogi UIN Maulana Malik Ibrahim.*
- Herlambang, P., & Hendriyanto, O. 2015. Fitoremediasi Limbah Deterjen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) Dan Genjer (*Limnocharis flava L.*). *In Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan (Vol. 7, Issue 2).*
- Hidayat, Ahmad., Muhayatun dan Dadang, S. 2007. Analisis Unsur Cu dan Zn dalam Rambut Manusia dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. XI (10) : 73-78.*
- Ince, M., Kaplan Ince, O., & Ondrasek, G. (Eds.). 2020. Biochemical Toxicology - Heavy Metals and Nanomaterials. *IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.85340*
- Jihye Bang. 2014. Phytoremediation of Heavy Metals in contaminated water and soil using *Miscanthus sp. GoedaeUksae*. *International Journal of Phytoremediation*
- Juhriah dan Alam, M. 2016. Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Tanah dengan Tanaman *Celosia plumosa* (Voss) Burv. *Jurnal Biologi Makassar (Bioma), Vol.1 :1*
- Khairuddin K, Yamin M, Kusmiyati K. 2021. Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Bandeng (*Chanos chanos forsk*) yang Berasal dari Kampung Melayu Kota Bima. *Jurnal Pijar MIPA. 16(1): 97–102. https://doi.org/10.29303/ jpm.v16i1.2257*
- Khopkar, S. M. 2010. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Kumar, V., Singh, J., Saini, A., & Kumar, P. 2019. Phytoremediation Of Copper, Iron And Mercury From Aqueous Solution by Water Lettuce (*Pistia stratiotes L.*). *Environmental Sustainability, 2(1), 55–65.*
- Kurniawati, Hadisantoso, E. P., Dan Amalia, V. 2017. Penanganan Limbah Ion Logam Cu²⁺ Dengan Teknik Brick Berbahan Dasar Pasir Dan Semen Serta Pengaruhnya Terhadap Kualitas Air. *Al-Kimiya, Vol. 4, No. 1.* LaGrega. 2001. *Hazardous Waste Management*. Mc Graw Hill Inc. New York.
- Lestari, A., Anita, S., Hanifah, T. A. 2015. Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Sebagai Fitoremediator Ion Kadmium (II), Kromium (IV) dan Timbal (II). *JOM FMIPA Universitas Riau. 2 (2): 1-7.*

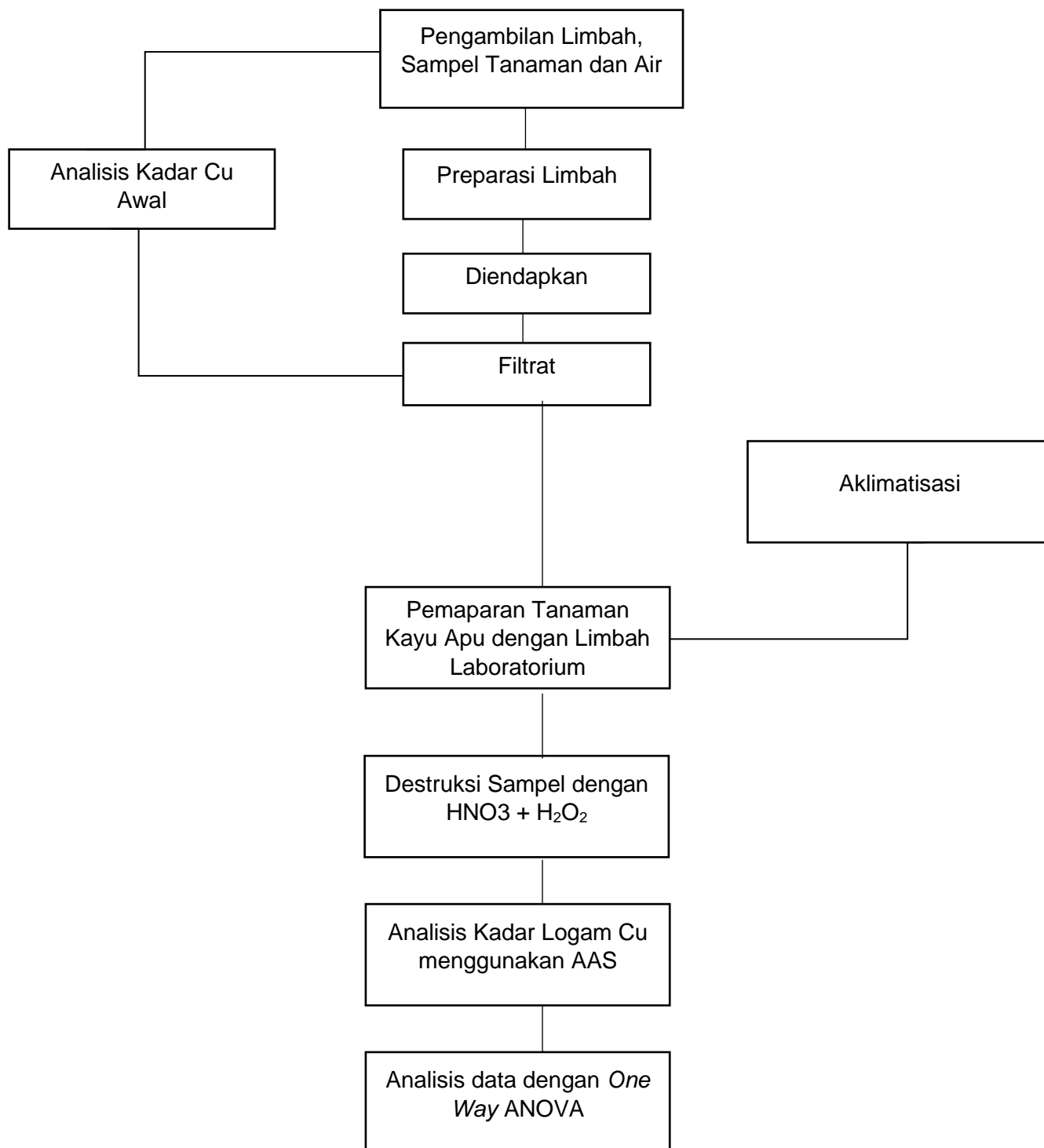
- Lucyan, Anggra. 2021. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan NaOH dan Fitoremediasi *Hydrilla Verticillata* Untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni). *Skripsi*. Malang: Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim
- M. Faizal, Mardalena, & A. Napoleon. 2018. The Absorption Of Iron (Fe) And Manganese (Mn) From Coal Mining Wastewater With Phytoremediation Technique Using Floating Fern (*Salvinia natans*), Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) And Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*). 7.
- Munawwaroh, A., & Pangestuti, A. A. 2018. Analisis Morfologi Dan Anatomi Akar Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) Akibat Pemberian Berbagai Konsentrasi Kadmium (Cd). 7(2), 12.
- Mustakim. 2017. Pendidikan Lingkungan Hidup dan Implementasinya dalam Pendidikan Islam (Analisis Surat Al-A'raf ayat 56-58 Tafsir Al Misbah Karya M. Quraish Shihab). *Journal of Islamic Education*, 2(1):2–27.
- Muthusaravanan, S., Sivarajasekar, N., Vivek, J.S. 2018. Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements. *Environ Chem Lett* **16**, 1339–1359. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0762-3>
- Nadhifah, I. I., Fajarwati, P. dan Sulistiyowati, E. 2019. Fitoremediasi dengan Wetland System Menggunakan Eceng Gondong (*Eichornia crassipes*), Genjer (*Limnocharis flava*), dan Semanggi (*Marsilea crenata*) untuk Mengolah Air Limbah Domestik. *Journal of Biology*. 12(1): 38-45.
- Namik, K., Oras, I., dan Ataman, Y. 2006. Trace Element Analysis of Food and Diet. *The Royal Society of Chemistry*: 66-67.
- N. Arnal, María, J., Alaniz, T., Marra, C. A. 2012. Cytotoxic Effects Of Copper Overload on Human-Derived Lung and Liver Cells in Culture. *Biochimica et Biophysica Acta* **1820**. 931–939
- Nasir, M., Pandiangan, D., Mambu, S. M., Nur, M., Fauziyah, S., Amir, N. insani, & Irfandi, R. 2021. Potensi Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) di perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan sebagai Agen fitoremediasi terhadap Ion Logam Cu₂₊. *Al-Kimia*. Vol. 9.
- Nasir, M. Sulastris dan Hilda, M.M. 2018. Analisis Kadar Logam Timbal dan Arsenik dalam Tanah dengan SSA. *Jurnal IPA dan Pembelajaran IPA*. Vol. 2 (2) : 89-99.
- Ndimiele, P.E. & Jimoh, A.A. 2011. Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.) in Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Water of Ologe Lagoon, Lagos, Nigeria. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5(5), 424-433.
- Nurfutri, A., & Rachmatiah, I. 2010. Lingkungan Pengaruh Kerapatan Tanaman Kiapu (*Pistia stratiotes L.*) Terhadap Serapan Logam Cu pada Air. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 16(1), 42–51.
- Nuriadi, Mery Napitupulu dan Nurdin Rahman. 2013. Analisis Logam Tembaga (Cu) pada Buangan Limbah Tromol (Tailing) Pertambangan Poboya. *J. Akad. Kim.* 2(2): 90-96
- Oktaviani, L., Nilandita, W., & Suprayogi, D. 2020. Fitoremediasi Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) terhadap Kadar Logam Zn Berdasarkan Variasi Jumlah Tanaman. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 44–52.
- Oktovia, I. 2015. Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II). *JOM FMIPA*. 2 (2): 8-15.
- Putri, E. S. C., Lisminingsih, R. D., Latuconsina H. 2022. Kemampuan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam Menurunkan Kadar Amoniak pada Limbah Budidaya Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus Var*), (*JRPK*) *Jurnal Riset Perikanan dan Kelautan*. Vo. 4 (2)

- Raimon. 1993. *Perbandingan Metoda Destruksi Basah dan Kering Secara Spektrofotometri Serapan Atom*. Yogyakarta: Santika
- Ramadhan, A. F., Sutrisno, E., Sumiyati, S. 2017. Efisiensi Penyisihan Bod Dan Phospat Pada Air Limbah Pencucian Pakaian (Laundry) Dengan Menggunakan Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*). *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 6, No.
- Ramadhan, Rafsanjani. 2016. Analisis Penyebaran Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Air Tanah Dan Aliran Sungai di Sekitar Industri Kerajinan Perak Kotagede Daerah Istimewa Yogyakarta. *Skripsi*. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta: Yogyakarta
- Raras D.P., Yusuf, Bohari dan Alimuddin. 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 UNMUL
- Razi, N.M., Fildzah, Dhani, D.N., Nasir, M., Rizki, A., & Firdaus. 2023. Pencemaran Logam Berat di Pelabuhan Indonesia. *Jurnal Laot Kelautan*. Vol. 5 (1)
- Rohman, Abdul. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Rosmiati, Arsyad, A., & Zubair, A. 2014. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) Dengan Aliran Batch. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Sahu, Kumar Yaman., Deb, M.N., Patel, K.S., Ramos, P.M., Towett E.K., & Kukuryk M.T. 2020. Bioaccumulation of Nutrients and Toxic Elements with Macrophytes. *J. Hazard. Toxic Radioact. Waste*. Vol 24(1)
- Shihab, M. Quraish. 2005. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta : Lentera Hati
- Sibero, N. H. Br T., Wijayanti, N. P. P., Perwira, I. Y. 2019. Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) oleh Tanaman Kiapu (*Pistia stratiotes*) Berdasarkan Analisis Mass Balance. *Current Trends in Aquatic Science II(2)*, 87-93
- Sidauruk, L., & Sipayung, P. 2015. Fitoremediasi Lahan Tercemar Di Kawasan Industri Dengan Tanaman Hias. *Vol.2, No. 2*, 178–186.
- Siotto, M., and Rossana, S. 2018. Copper Imbalance in Alzheimer's Disease: Overview of the Exchangeable Copper Component in Plasma and the Intriguing Role Albumin Plays. *Coordination Chemistry Reviews*. 371: 86 – 95
- Siringoringo, V. T., Pringgenies, D., & Ambariyanto, A. 2022. Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb) pada Perna viridis di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 11(3), 539-546.
- Soheti, Prima, Sumarlin, La Ode and Marisi, D any Poltak. 2020. Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) untuk Menurunkan Kadar Torium. *Jurnal Eksplorium*. Vol. 41 (2)
- 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 Soil Pollut*. 231: 573. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04937-9>
- Testi, E.G., Soenardjo, N., & Pramesti, R. 2019. Logam Pb pada *Avicennia marina* Forssk, 1844 (*Angiosperms : Acanthaceae*) di Lingkungan Air, Sedimen, di Pesisir Timur Semarang. *Journal of Marine Research*, 8(2), 211-217
- Twyman, R. M. 2005. Sample Dissolution for Elemental Analysis: Wet Digestion. *Elsevier*. 4503-4510.

- Utami, K. W. 2015. Efektivitas Kerapatan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Terhadap Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) pada Pembuangan Limbah Pabrik Asbes di Kota Probolinggo Jawa Timur. *Skripsi*. Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang.
- Velempini, T., Ahamed, M., Pillay, K., 2023. Heavy-Metal Spent Adsorbents Reuse In Catalytic, Energy and Forensic Applications- A New Approach In Reducing Secondary Pollution Associated with Adsorption. *Results in Chemistry* . Vol. 5 : 100901
- Yau, P. Y., Loh, C. F., Azmil, I. A. R. 2018. Copper toxicity of clove (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. and Perry) seedlings. *MARDI Research Journal.*, 19: 49-53.
- Yudhitstira, S., Iskandar, dan Andriani, Y., 2015. Pengaruh Penggunaan Daun Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) Fermentasi Dalam Pakan Terhadap Pertumbuhan Harian Dan Rasio Konversi Pakan Benih Ikan Nilem. *Jurnal Akuatika*. Vol. VI no. 2
- Zahro, K., Rahmasari, K. S., Nur, A. V., Wirasti, W. 2023. Analysis of Cr and Pb in Green Mussels from the Fish Auction Site, Klidang Lor, Batang Using AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry). *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol. 12 (3)
- Zhu, B., and Alva, A. K. 2013. Effect of pH on growth and uptake of copper by Swingle citrumelo seedlings. *Journal of Plant Nutrition.*, 16: 1837-1845.
- Zustriani, A. Z., 2020. Fitoremediasi dan Potensi Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes* L.) Untuk Mengurangi adar Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Laboratorium. *Integrated Lab Journal* .Vol. 08, No. 02,

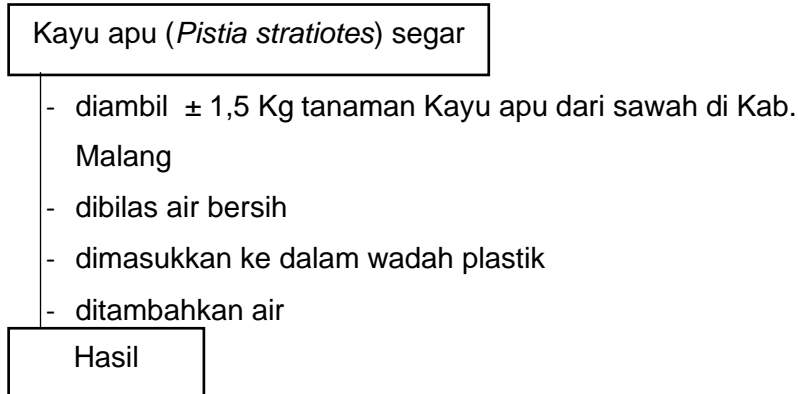
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian

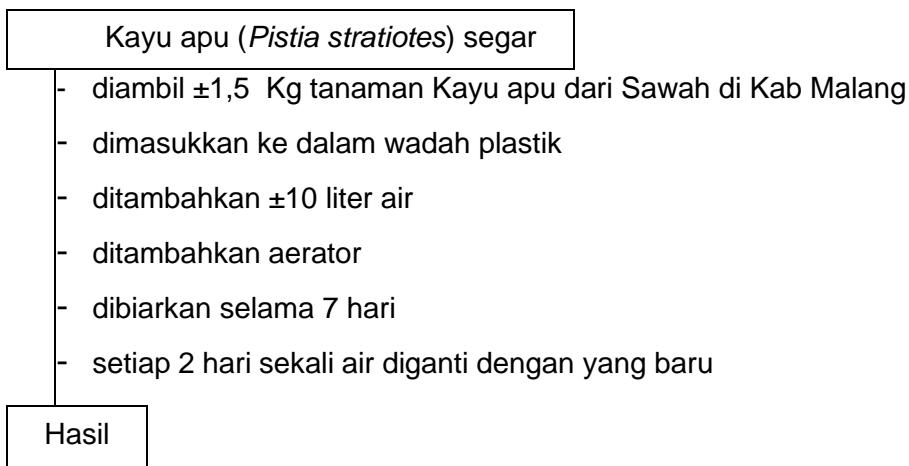


Lampiran 2. Diagram Alir

L.2.1 Pengambilan Sampel

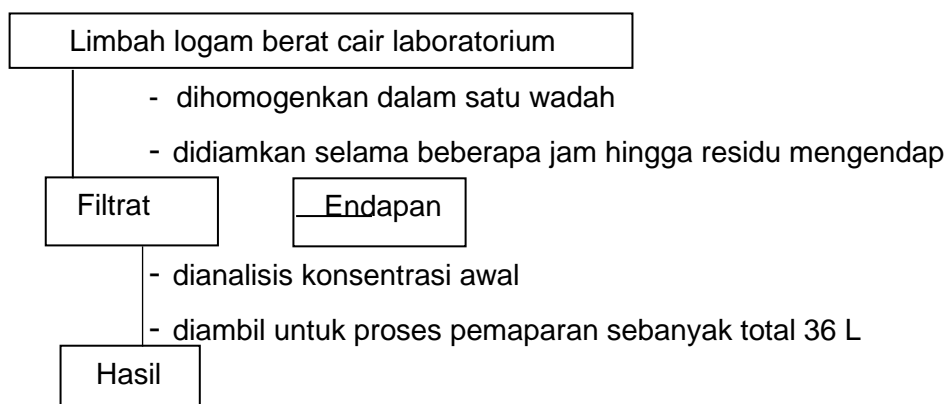


L.2.2 Aklimatisasi Sampel

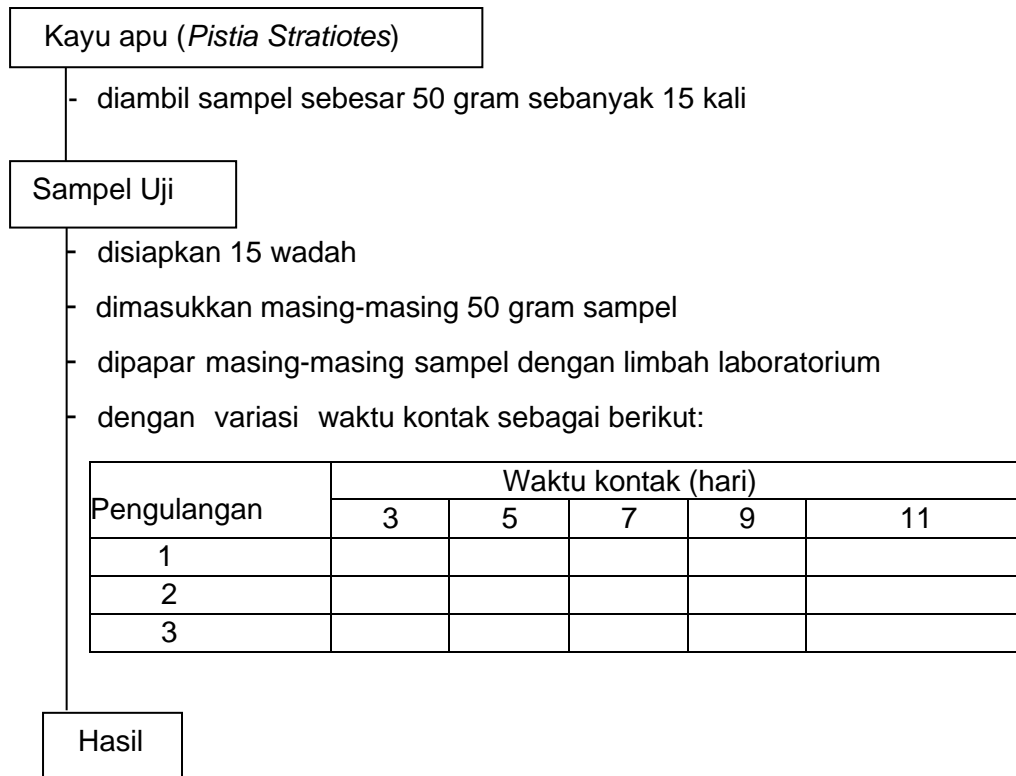


L.2.3 Proses fitoremediasi

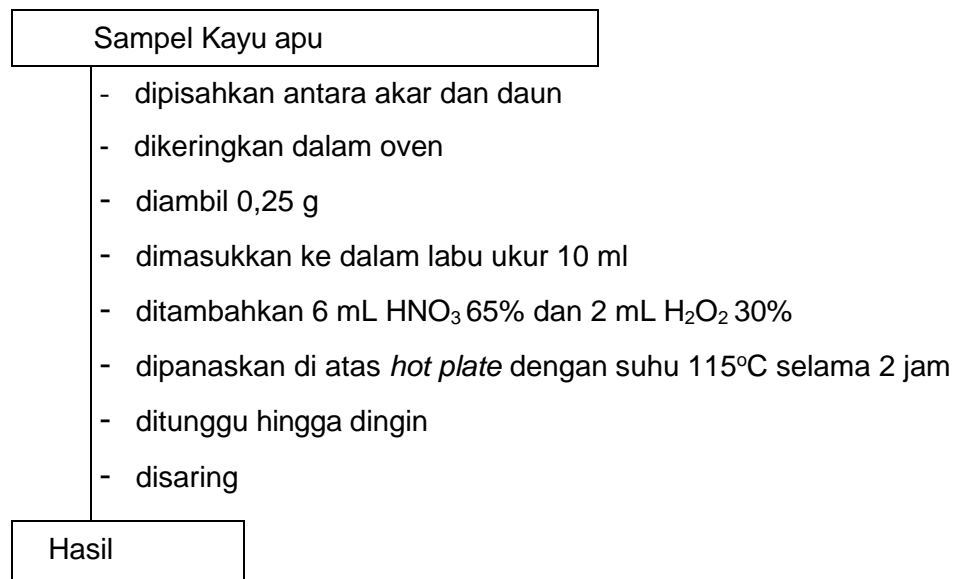
L.2.3.1 Preparasi Larutan Limbah Laboratorium Logam Berat



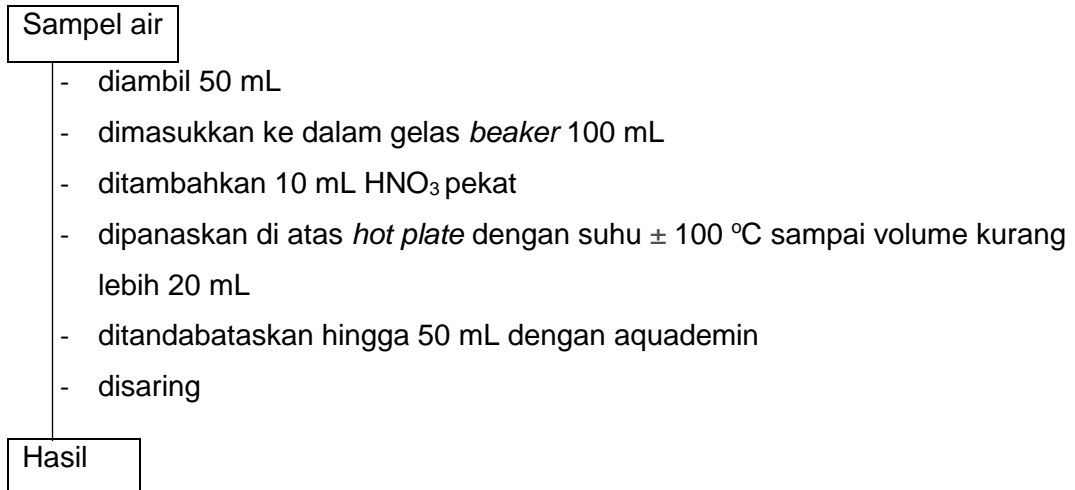
L.2.3.2 Pemaparan sampel



L.2.3.3 Destruksi Sampel Biomassa

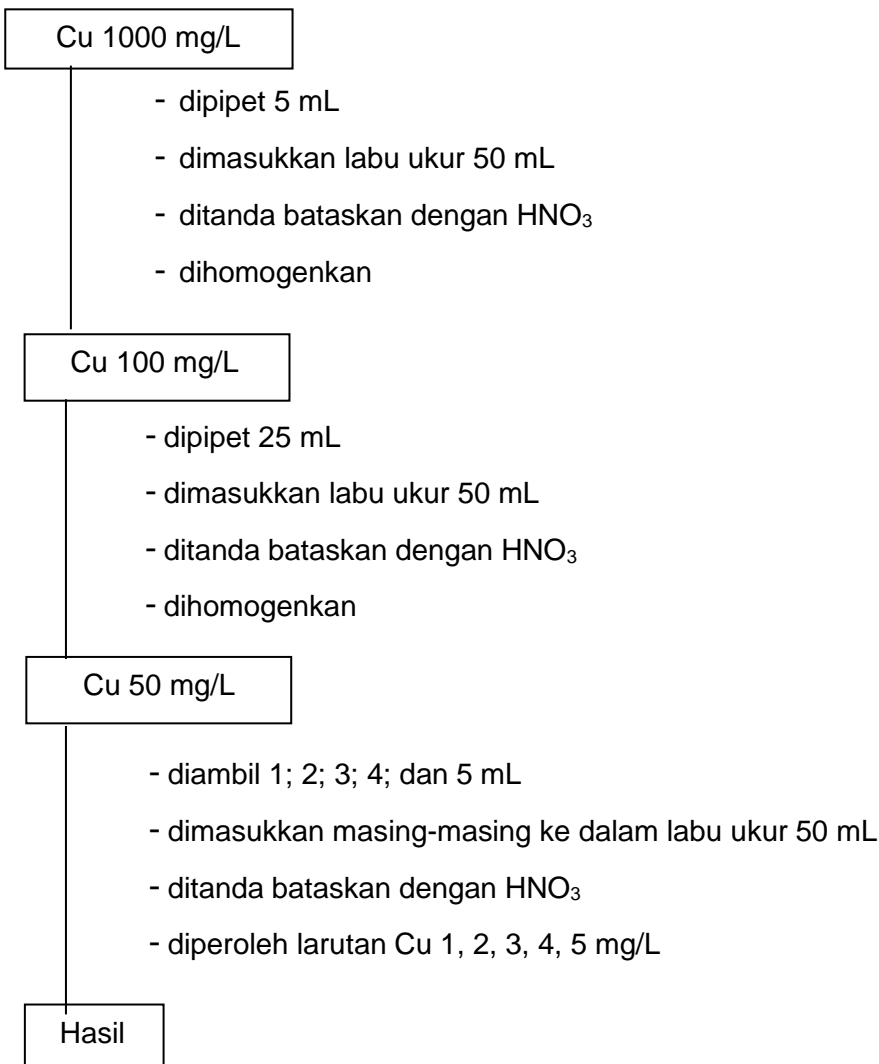


L.2.3.4 Destruksi Sampel Air

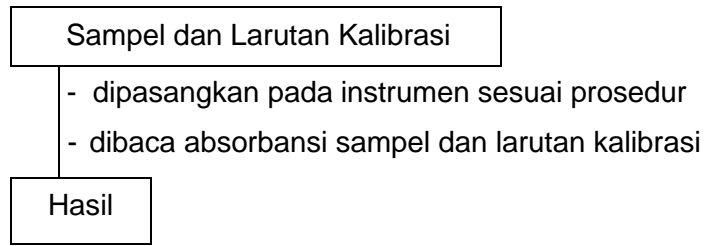


L.2.4 Analisis Sampel dengan AAS

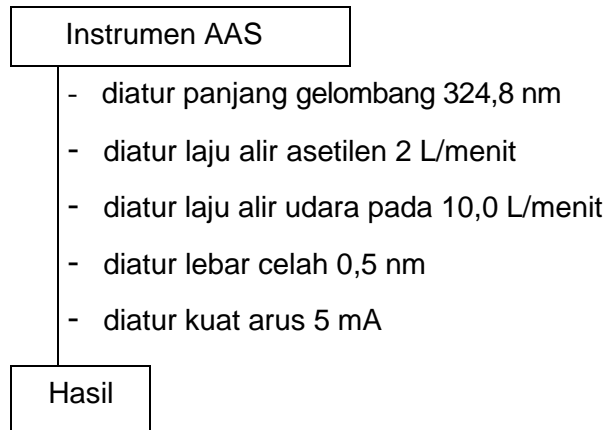
L.2.4.1 Pembuatan Larutan Kalibrasi Standar



L.2.4.2 Pengukuran Absorbansi



L.2.4.3 Pengaturan Instrumen



Lampiran 3. Perhitungan

L.3.1 Pembuatan Larutan Stok Logam Tembaga Cu untuk Pemaparan

Larutan stok Cu 1000 mg/L dapat dibuat dengan melarutkan 3,9 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 1000 mL aquademin.

$$\begin{aligned} \text{Massa CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O yang dibutuhkan} &= \frac{\text{BM CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Cu}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= \frac{249,5 \text{ g/mol}}{63,5 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= 3929 \text{ mg} \\ &= 3,9 \text{ g} \end{aligned}$$

L.3.2 Pembuatan Larutan HNO_3 0,5 M

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis HNO}_3 \text{ 65\%} &= 1,39 \text{ g/cm}^3 \\ &= 1390 \text{ g/L} \end{aligned}$$

$$\text{Mr HNO}_3 = 63 \text{ g/mol}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ 65\%} = \frac{65 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{100 \text{ g larutan}}$$

$$\frac{1390 \text{ g}}{1 \text{ L}} = \frac{100 \text{ g}}{v}$$

$$V = 0,0719 \text{ L}$$

$$n \text{ HNO}_3 = \frac{65 \text{ g}}{63 \text{ g/mol}}$$

$$n \text{ HNO}_3 = 1,0318 \text{ mol}$$

$$M \text{ HNO}_3 = \frac{1,0318 \text{ mol}}{0,0719 \text{ L}}$$

$$M \text{ HNO}_3 = 14,3505 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$14,3505 \text{ M} \times V_1 = 0,5 \text{ M} \times 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,5 \text{ M} \times 500 \text{ mL}}{14,3505 \text{ M}}$$

$$V_1 = 17,42 \text{ mL}$$

Sehingga larutan HNO_3 0,5 M dibuat dengan cara dipipet sebesar 17,42 mL HNO_3 65% yang kemudian dilarutkan dengan 500 mL aquademin

L.3.2.1 Pembuatan Kurva Standar Tembaga Cu

a. Pembuatan larutan 100 mg/L dari 1000 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 100 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

Larutan logam Cu 100 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 5 mL larutan stok Cu 1000 mg/L yang kemudian ditanda bataskan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

b. Pembuatan larutan 50 mg/L dari 100 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 50 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{100 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

Larutan logam Cu 50 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 25 mL larutan stok Cu 100 mg/L yang kemudian ditandabataskan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

c. Pembuatan larutan 1 mg/L dari 50 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$50 \text{ mg/L} \times V_1 = 1 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

Larutan logam Cu 1 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 1 mL larutan stok Cu 50 mg/L yang kemudian ditandabataskan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

d. Pembuatan larutan 2 mg/L dari 50 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$50 \text{ mg/L} \times V_1 = 2 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

Larutan logam Cu 2 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 2 mL larutan stok Cu 50 mg/L yang kemudian ditandabataskan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL

e. Pembuatan larutan 3 mg/L dari 50 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$50 \text{ mg/L} \times V_1 = 3 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

Larutan logam Cu 3 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 3 mL larutan stok Cu 50 mg/L yang kemudian ditandabataskan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL

f. Pembuatan larutan 4 mg/L dari 50 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$50 \text{ mg/L} \times V_1 = 4 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

Larutan logam Cu 4 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 4 mL larutan stok Cu 50 mg/L yang kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL

g. Pembuatan larutan 5 mg/L dari 50 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$50 \text{ mg/L} \times V_1 = 5 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

Larutan logam Cu 5 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 5 mL larutan stok Cu 50 mg/L yang kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL

L.3.3 Konsentrasi Cu awal pada Air

Perhitungan konsentrasi Cu dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$\text{Persamaan : Abs} = 0,10849 \times C - 0,00875$$

$$0,0091 = 0,10849 \times C - 0,00875$$

$$0,10849 C = 0,0091 + 0,00875$$

$$C = \frac{0,0091 + 0,00875}{0,10849}$$

$$C = 0,1645 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Menggunakan rumus yang sama diperoleh konsentrasi air sawah dan air limbah pemaparan setiap ulangan pada tabel L.3.3

Tabel L.3.3 Hasil perhitungan konsentrasi Cu awal pada air

Sampel	Pengulangan	Konsentrasi (mg/L)	Rata-rata
Air sawah	I	0,1645	0,2050
	II	0,2401	
	III	0,2106	
Air limbah pemaparan	I	1,1830	1,1864
	II	1,1913	
	III	1,1849	

L.3.4 Konsentrasi Cu awal pada tanaman Kayu Apu

Perhitungan konsentrasi Cu (mg/L) dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$\text{Persamaan: Abs} = 0,10849 \times C - 0,00875$$

$$0,0091 = 0,10849 \times C - 0,00875$$

$$0,10849 C = 0,0343 + 0,00875$$

$$C = \frac{0,0343 + 0,00875}{0,10849}$$

$$C = 0,4004 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Setelah diperoleh nilai C atau konsentrasi Cu dalam satuan mg/L, selanjutnya dihitung konsentrasi Cu sesungguhnya dalam satuan mg/Kg menggunakan Persamaan berikut:

$$[\text{Cu}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) = \frac{[\text{Cu}]_{\text{instrumen}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times V \text{ destruksi L}}{\text{massa sampel terdestruksi (Kg)}}$$

$$C = \frac{0,4010 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0,01 \text{ L}}{0,00025 \text{ (Kg)}}$$

$$C = 16,04 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$$

Tabel L.3.4.1 Konsentrasi Cu pada tanaman kayu apu sebelum dan sesudah aklimatisasi

Sampel tanaman kayu apu	Daun			Akar			Rata-rata
	Pengulangan	Konsentrasi (mg/L)	Rata-rata	Pengulangan	Konsentrasi (mg/L)	Rata-rata	
Sebelum	I	0,4106	0,4010	Sebelum	I	1,9305	2,1007
	II	0,4004			II	1,7904	
	III	0,3922			III	2,5813	
Sesudah	I	0,3000	0,3055	Sesudah	I	0,7636	0,8152
	II	0,3249			II	0,8208	
	III	0,2917			III	0,8613	

Tabel L.3.4.2 Konsentrasi Cu awal sebenarnya pada tanaman kayu apu

Sampel biomassa	Konsentrasi Cu sebenarnya (mg/Kg) BK	
	Daun	Akar
Sebelum aklimatisasi	16,04	84,028
Setelah aklimatisasi	12,22	32,608

L.3.5 Konsentrasi Cu pada tanaman Kayu Apu setelah pemaparan

Tabel L.3.5.1 Konsentrasi logam Cu pada biomassa Kayu Apu setelah pemaparan

Waktu kontak (Hari)	Daun			Akar			Rata-rata
	Pengulangan	Konsentrasi mg/L)	Rata-rata	Waktu kontak (Hari)	Pengulangan	Konsentrasi mg/L)	
3	I	0,3322	0,3454	3	I	2,9647	3,0787
	II	0,3636			II	3,0412	
	III	0,3405			III	3,2302	
5	I	0,3839	0,3955	5	I	3,1242	3,4157
	II	0,4023			II	3,8210	
	III	0,4004			III	3,3021	
7	I	0,3525	0,3946	7	I	2,6643	2,9955
	II	0,4309			II	2,9205	
	III	0,4004			III	3,4109	
9	I	0,4816	0,5122	9	I	3,6551	3,7362
	II	0,5141			II	3,6506	
	III	0,5411			III	3,9031	
11	I	0,4401	0,4112	11	I	2,9804	2,9475
	II	0,3922			II	2,6513	
	III	0,4014			III	3,2108	

Setelah diperoleh konsentrasi Cu dalam satuan mg/L, selanjutnya dihitung konsentrasi Cu sesungguhnya dalam satuan mg/Kg menggunakan Persamaan berikut:

$$\text{Daun: } [\text{Cu}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = \frac{[\text{Cu}]_{\text{instrumen}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times V_{\text{destruksi}} \times L \times F_p}{\text{massa sampel terdestruksi (Kg)}}$$

$$C = \frac{0,3955 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0,01 \text{ L} \times 5}{0,00025 \text{ (Kg)}}$$

$$C = 79,1 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}}$$

$$\text{Akar: } [\text{Cu}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = \frac{[\text{Cu}]_{\text{instrumen}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times V_{\text{destruksi}} \times L \times F_p}{\text{massa sampel terdestruksi (Kg)}}$$

$$C = \frac{3,4157 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0,01 \text{ L} \times 10}{0,00025 \text{ (Kg)}}$$

$$C = 1366 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}}$$

Tabel L.3.5.2 Konsentrasi Cu sebenarnya pada tanaman kayu apu setelah pemaparan

Variasi waktu kontak (hari)	Konsentrasi Cu sebenarnya (mg/Kg) BK	
	Daun	Akar
3	69,08	1231,48
5	79,01	1366
7	78,92	1198,2
9	102,44	1494,48
11	82,44	1179

L.3.6 Persen logam tembaga teremediasi

Contoh perhitungan logam tembaga teremediasi oleh Kayu Apu sebagai berikut:

$$\% \text{Cu terserap} = \frac{[\text{Cu awal}] - [\text{Cu tersisa dalam air}]}{[\text{Cu awal}]} \times 100\%$$

$$= \frac{1,1864 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,2023 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1,1864 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\%$$

$$= 82,94\%$$

Dengan menggunakan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan persen tembaga teremediasi yang disajikan dalam tabel L.3.5. Hasil rata-rata diperoleh dari tiga kali pengulangan perlakuan.

Tabel L.3.6 Persen Cu teremediasi

Variasi waktu kontak (Hari ke-)	Pengulangan	Cu tersisa (mg/L)	Persen Terserap (%)	Rata-rata (%)
3	I	0,2023	82,94	
3	II	0,2125	82,08	82,68
3	III	0,2014	83,02	
5	I	0,1838	84,50	
5	II	0,1912	83,88	83,82
5	III	0,2004	83,10	
7	I	0,1921	83,80	
7	II	0,1728	85,43	84,68
7	III	0,1802	84,81	
9	I	0,1516	87,22	
9	II	0,1709	85,59	85,58
9	III	0,1903	83,95	
11	I	0,1903	83,95	
11	II	0,1820	84,65	84,75
11	III	0,1700	85,67	

L.3.7 Nilai Bioconcentration Factor (BCF)

Contoh perhitungan nilai BCF adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{BCF} &= \frac{[\text{Cu}]_{\text{tanaman}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{[\text{Cu}]_{\text{awal pada air}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \\
 &= \frac{69,08 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{1,1864 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \\
 &= 58,22
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, diperoleh nilai BCF pada tanaman Kayu Apu yang tersaji pada tabel L.3

Tabel L.3.7 Nilai BCF pada tanaman Kayu Apu

Variasi waktu kontak (hari)	BCF	
	Daun	Akar
3	58,22	1037,99
5	66,67	1151,38
7	66,52	1009,94
9	86,34	1259,67
11	69,48	993,76

L 3.8 Nilai Translocation Factor (TF)

Contoh perhitungan nilai TF adalah sebagai berikut:

$$\text{TF} = \frac{[\text{Cu}]_{\text{daun}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{[\text{Cu}]_{\text{akar}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}$$

$$= \frac{69,08 \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{1230,48 \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}$$

$$= 0,0560951$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, diperoleh nilai TF pada tanaman Kayu Apu yang tersaji pada tabel L.3

Tabel L.3.8 Nilai TF

Variasi waktu kontak (hari)	TF
3	0,0560951
5	0,05790629
7	0,06586546
9	0,06854558
11	0,06992366

Lampiran 4. Data Mentah Hasil Analisis *One Way ANOVA* (SPSS) Persen Teremediasi

Descriptives

Persen Penurunan								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
3 hari	3	82.6800	.52115	.30089	81.3854	83.9746	82.08	83.02
5 hari	3	83.8267	.70152	.40502	82.0840	85.5693	83.10	84.50
7 hari	3	84.6800	.82274	.47501	82.6362	86.7238	83.80	85.43
9 hari	3	85.5867	1.63500	.94397	81.5251	89.6482	83.95	87.22
11 hari	3	84.7567	.86495	.49938	82.6080	86.9053	83.95	85.67
Total	15	84.3060	1.31731	.34013	83.5765	85.0355	82.08	87.22

ANOVA

Persen Penurunan					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.570	4	3.643	3.746	.041
Within Groups	9.724	10	.972		
Total	24.294	14			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: persen penurunan						
Tukey HSD						
(I) variasi waktu kontak	(J) variasi waktu kontak	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
3 hari	5 hari	-1.14667	.80515	.627	-3.7965	1.5031
	7 hari	-2.00000	.80515	.170	-4.6498	.6498
	9 hari	-2.90667*	.80515	.030	-5.5565	-.2569
	11 hari	-2.07667	.80515	.148	-4.7265	.5731
5 hari	3 hari	1.14667	.80515	.627	-1.5031	3.7965
	7 hari	-.85333	.80515	.822	-3.5031	1.7965

	9 hari	-1.76000	.80515	.259	-4.4098	.8898
	11 hari	-.93000	.80515	.775	-3.5798	1.7198
7 hari	3 hari	2.00000	.80515	.170	-.6498	4.6498
	5 hari	.85333	.80515	.822	-1.7965	3.5031
	9 hari	-.90667	.80515	.790	-3.5565	1.7431
	11 hari	-.07667	.80515	1.000	-2.7265	2.5731
9 hari	3 hari	2.90667*	.80515	.030	.2569	5.5565
	5 hari	1.76000	.80515	.259	-.8898	4.4098
	7 hari	.90667	.80515	.790	-1.7431	3.5565
	11 hari	.83000	.80515	.836	-1.8198	3.4798
11 hari	3 hari	2.07667	.80515	.148	-.5731	4.7265
	5 hari	.93000	.80515	.775	-1.7198	3.5798
	7 hari	.07667	.80515	1.000	-2.5731	2.7265
	9 hari	-.83000	.80515	.836	-3.4798	1.8198

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

Persen Penurunan

Tukey HSD ^a			
variasi waktu kontak	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
3 hari	3	82.6800	
5 hari	3	83.8267	83.8267
7 hari	3	84.6800	84.6800
11 hari	3	84.7567	84.7567
9 hari	3		85.5867
Sig.		.148	.259
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.			

Lampiran 5. Dokumentasi



Lokasi pengambilan sampel



Aklimatisasi



Pemaparan Sampel Kayu Apu



Air limbah pemaparan



Penimbangan sampel sebelum pemaparan



Pengeringan sampel dengan oven



Sampel daun



Sampel akar



Destruksi biomassa



Endapan hasil destruksi biomassa



Destruksi air



Hasil destruksi



Proses SSA

Lampiran 6. Hasil Determinasi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS KESEHATAN
UPT LABORATORIUM HERBAL
MATERIA MEDICA BATU

Jl. Lahor 87 Kota Batu
Jl. Raya 228 Kejayan Kabupaten Pasuruan
Jl. Kolonel Sugiono 457 - 459 Kota Malang
Email : materiamedicabatu@jatimprov.go.id



Nomor : 000.9.3/ 3009/ 102.20/ 2023
Sifat : Biasa
Perihal : **Determinasi Tanaman Kayu Apu**

Memenuhi permohonan saudara :

Nama / NIM : SAIDATUL MUKAROMAH
NIM/NIP/NIK : 18630075
FAKULTAS : KIMIA, SAINS DAN TEKNOLOGI, UIN MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG

1. Perihal determinasi tanaman kayu apu

Kingdom : Plantae (Tumbuhan)
Divisi : Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Kelas : Magnoliopsida
Sub Kelas : Rosidae
Ordo : Arales
Famili : Araceae
Genus : Pistia
Spesies : *Pistia stratiotes* L.
Nama Umum : Kiambang, kapu-kapu, kayu apu, kayambang, apu-apu.
Kunci Determinasi : 13a:Araceae-1a:Pistia-1:*P.stratiotes*.

2. Morfologi : Habitus: Terna, mengapung di perairan air tawar. Batang: Bulat, tebal, pendek, dengan tunas menjalar. Daun: Tunggal, berjejal dalam roset, bentuk baji sampai segitiga terbalik, ujung bulat lebar sedikit melekok ke dalam, pangkal daun serupa spons dan berambut. Bunga: Tongkol terletak di ketiak daun; sumbu tongkol pada pangkalnya melekat dengan seludang, ujung bebas, bunga masing-masing terdiri dari 1 benang sari saja; tangkai sari berbentuk kerucut, pendek; kepala putik lebar. Buah: Buni, merah. Akar: Serabut, menggantung dalam air, coklat muda.

3. Bagian yang digunakan : Daun dan akar.

4. Penggunaan : Penelitian Skripsi.

5. Daftar Pustaka

- Van Steenis, CGGJ. 2008. *FLORA: untuk Sekolah di Indonesia*. Pradnya Paramita, Jakarta.

Demikian surat keterangan determinasi ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Batu, 02 November 2023

KEPALA UPT LABORATORIUM HERBAL
MATERIA MEDICA BATU



