

**FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (Cu) OLEH TANAMAN GENJER
(*Limnocharis flava*) DARI SAWAH DI DAERAH MALANG
BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI DAN WAKTU PEMAPARAN**

SKRIPSI

**Oleh:
UMI HASANAH
NIM. 16630079**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (Cu) OLEH TANAMAN GENJER
(*Limnocharis flava*) DARI SAWAH DI DAERAH MALANG
BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI DAN WAKTU PEMAPARAN**

SKRIPSI

**Oleh:
UMI HASANAH
NIM. 16630079**

**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)**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (Cu) OLEH TANAMAN GENJER
(*Limnocharis flava*) DARI SAWAH DI DAERAH MALANG
BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI DAN WAKTU PEMAPARAN**

SKRIPSI

Oleh:
UMI HASANAH
NIM. 16630079

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 24 Desember 2020

Pembimbing I



Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821101 200901 2 007

Pembimbing II



Dr. H. Ahmad Barizi, M.A
NIP. 19731212 199803 1 008

Mengesahkan,
Ketua Jurusan



Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

**FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (Cu) OLEH TANAMAN GENJER
(*Limnocharis flava*) DARI SAWAH DI DAERAH MALANG
BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI DAN WAKTU PEMAPARAN**

SKRIPSI

**Oleh:
UMI HASANAH
NIM. 16630079**


**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 24 Desember 2020**

**Penguji Utama : Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P
NIP. 19750410 200501 2 009**

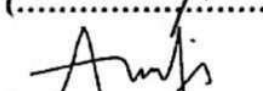
**Ketua Penguji : Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc
NIDT. 19900906 20180201 2 239**


**Sekretaris Penguji : Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821101 200901 2 007**

**Anggota Penguji : Dr. H. Ahmad Barizi, M.A
NIP. 19731212 199803 1 008**


(.....)


(.....)


(.....)


(.....)

**Mengesahkan,
Ketua Jurusan**


**Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Umi Hasanah
NIM : 16630079
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : “Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) oleh Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dari Daerah Malang berdasarkan Variasi Konsentrasi dan Waktu Pemaparan”

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, 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, 24 Desember 2020

Yang membuat pernyataan



Umi Hasanah

NIM. 16630079

MOTTO

لَا تَحْزَنَ إِنَّا اللَّهُ مَعَنَا

"Janganlah kamu berduka cita, Sesungguhnya Allah beserta kita."

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

"Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan."

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil 'aalamiin....

Puja dan puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segudang rahmat, nikmat, hidayah, inayah serta ridlonya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa sholawat serta salam juga saya curahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Sebelumnya, terima kasih untuk diri saya sendiri. Terima kasih karena telah bertahan dan menyelesaikan skripsi ini meskipun dengan tertatih. Skripsi ini saya persembahkan kepada orang-orang yang saya sayangi, sebagai tanda kasih sayang, bakti, hormat, serta terima kasih saya yakni:

1. Kedua orang tua saya, Alm. Bapak Aqiyo dan Ibu Suriyat. Terima kasih atas semua nasihat, dukungan moral dan material, serta doa yang selalu dipanjatkan untuk setiap perjalanan dan urusan saya.
2. Seluruh saudara saya kakak, mbak, adik, dan keluarga besar saya terutama kakak saya Lil 'alamin. Terima kasih untuk setiap tetesan keringat dan doa yang kau berikan sehingga saya dapat menempuh dan menyelesaikan studi S1 saya tanpa kekurangan materi.
3. Abah KH. Abdul Wahid dan Ibu H. Rofiud darojah. Terima kasih atas setiap nasehat, support dan doa yang selalu dipanjatkan untuk saya.
4. Dinas Pendidikan Kab. Lamongan, terima kasih atas beasiswa yang diberikan kepada saya sehingga saya dapat menempuh dan menyelesaikan studi S1 saya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis terhadap kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) oleh Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dari Sawah di Daerah Malang berdasarkan Variasi Konsentrasi dan Waktu Pemaparan”**. Skripsi ini telah disusun dengan maksimal dan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak sehingga penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, saudara-saudara, teman-teman, serta sahabat penulis yang selalu memberi motivasi kepada penulis.
2. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag selaku rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Sri Harini, M.Si selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku ketua jurusan kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Suci Amalia, M. Sc dan Dr. H. Ahmad Barizi, M.A selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memotivasi, mengarahkan, dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P dan Lulu’atul Hamidatu Ulya selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan, dan pertanyaan sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini dengan lebih baik lagi.

7. 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.
8. Seluruh teman-teman Kimia 2016 khususnya Yuni, Chusnul, Silvia, Neas, Alma, Acha, Indra, Vera, Vita, Chintya, Laili, Firda, Atul, Ziyah, Fiki, Fatimah, dan Vilanda.
9. Keluarga Sholihah Squad, Mbak Nur Afifatul, Mbak Wida Nuri, Mbak Safira, Ulfa A.F, dan Sholih Rizqon yang telah mendukung secara moril dan menghibur tanpa pamrih.
10. Kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah ikut memberikan bantuan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.

Terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih terdapat kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu, dengan tangan terbuka 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 proposal skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pembaca.

Malang, Desember 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT.....	xv
مستخلص البحث.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan.....	7
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Prespektif Al-Qur'an Tentang Fitoremediasi	9
2.2 Genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	12
2.3 Logam Berat Tembaga (Cu).....	14
2.3.1 Tembaga (Cu) dalam Pupuk.....	16
2.3.2 Tembaga (Cu) dalam Pestisida.....	18
2.3.3 Metabolisme Tembaga (Cu) dalam Tubuh.....	19
2.3.4 Toksisitas Logam Tembaga (Cu)	19
2.4 Fitoremediasi	21
2.4.1 Genjer (<i>Limnocharis flava</i>) sebagai Fitoremediator.....	24
2.4.2 Mekanisme Penyerapan Logam Berat oleh Genjer (<i>Limnocharis flava</i>).....	28
2.5 Fitokelatin.....	29
2.6 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	33
2.7 Parameter Fitoremediasi	34
2.6.1 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)	35
2.6.2 <i>Bioaccumulation Factor</i> (BAF)	35
2.6.3 <i>Translocation Factor</i> (TF)	36
2.6.4 <i>Fitoremediation</i> (FTD).....	36
2.8 Aklimatisasi Tanaman Genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	37
2.9 Destruksi Sampel.....	38
2.10 Analisis Kadar Logam Tembaga (Cu) secara Spektroskopi Serapan Atom	40

2.11 <i>Two Way ANOVA</i>	43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	44
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	44
3.2 Alat dan Bahan	44
3.2.1 Alat	44
3.2.2 Bahan	44
3.3 Rancangan Penelitian	45
3.4 Tahapan Penelitian	46
3.5 Metode Penelitian	46
3.5.1 Pengambilan Sampel Tanaman dan Air	46
3.5.2 Aklimatisasi Sampel	47
3.5.3 Preparasi Konsentrasi Larutan Logam Berat Cu	48
3.5.4 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Cu	48
3.5.5 Analisis Kadar COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>) (SNI 6989.2:2009)	48
3.5.6 Destruksi Sampel	49
3.5.7 Analisis Tembaga (Cu) pada Tanaman Genjer (<i>Limnocharis flava</i>) pada Instrumen SSA	49
3.6 Analisis Data	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Pengambilan Sampel	53
4.2 Uji Konsentrasi Awal Pada Sampel Genjer dan Air	53
4.3 Aklimatisasi Tanaman Genjer	55
4.4 Penentuan Konsentrasi Cu pada Sampel Tanaman Genjer setelah Pemaparan	57
4.5 Penentuan Persen Penurunan (Teremediasi) Logam Cu oleh Tanaman Genjer	63
4.6 Parameter Fitoremediasi	65
4.6.1 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)	65
4.6.2 <i>Translocation Factor</i> (TF)	67
4.6.3 <i>Fitoremediation</i> (FTD)	68
4.7 Analisis <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	69
4.8 Analisis Pengaruh Variasi menggunakan <i>Two Way ANOVA</i>	72
4.9 Pemanfaatan Penelitian dalam Prespektif Islam	74
BAB V PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman Genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	12
Gambar 2. 2 Kemungkinan penyerapan pada proses fitoremediasi (titik merah = polutan).....	24
Gambar 2. 3 Struktur fitokelatin	30
Gambar 2. 4 Siklus askorbat-gluathione, GSH, dan sintesis fitokelatin pada tumbuhan	32
Gambar 2. 5 Rangkain instrumen SSA	41
Gambar 4. 1 Tanaman Genjer saat pemaparan	57
Gambar 4. 2 Hasil destruksi	58
Gambar 4. 3 Perkiraan struktur senyawa kompleks Cu-fitokelatin berdasarkan. A. fitokelatin membentuk kompleks dengan logam Cu^{2+} . B. contoh rumus molekul pada PyCDB untuk dasar fitokelatin2-glisin dengan dan tanpa terikat logam. C. contoh nama dasar fitokelatin.....	62
Gambar 4. 4 Nilai BCF variasi konsentrasi dan waktu pemaparan pada akar (a), batang (b), dan daun (c)	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Unsur Hara pada Pupuk PhonskaOca	17
Tabel 2. 2 Kandungan Unsur Hara Pupuk MerokeFitoflex	18
Tabel 2. 3 Tingkat keracunan (LD ₅₀) beberapa senyawa Cu terhadap beberapa organisme	20
Tabel 2. 4 Penelitian terdahulu.....	26
Tabel 3. 1 Hasil pengukuran absorbansi	45
Tabel 3. 2 Konsentrasi Cu dalam bagian tubuh Genjer	46
Tabel 4. 1 Konsentrasi Cu pada tanaman Genjer.....	55
Tabel 4. 2 Konsentrasi Cu pada Tanaman Genjer Setelah Aklimatisasi.....	56
Tabel 4. 3 Konsentrasi Cu pada tanaman Genjer setelah pemaparan	59
Tabel 4. 4 Persen logam Cu teremediasi oleh tanaman Genjer.....	65
Tabel 4. 5 Nilai TF pada tanaman Genjer	68
Tabel 4. 6 Nilai COD pada air limbah pemaparan.....	70
Tabel 4. 7 pH air variasi waktu pemaparan 5 hari	72
Tabel 4. 8 pH air variasi waktu pemaparan 10 hari	72
Tabel 4. 9 pH air variasi waktu pemaparan 15 hari	72
Tabel 4. 10 Data Hasil Uji Statistika.....	73
Tabel 4. 11 Hasil Uji BNT Variasi Konsentrasi terhadap Cu terserap	74
Tabel 4. 12 Hasil Uji BNT Variasi waktu pemaparan terhadap Cu terserap	74
Tabel L.3. 1 Hasil perhitungan konsentrasi Cu.....	100
Tabel L.3. 2 Hasil perhitungan konsentrasi Cu sampel awal.....	101
Tabel L.3. 3 Hasil perhitungan konsentrasi Cu setelah aklimatisasi.....	101
Tabel L.3. 4 Konsentrasi Cu pada tanaman sampel 5 hari.....	102
Tabel L.3. 5 Konsentrasi Cu pada tanaman sampel 10 hari.....	103
Tabel L.3. 6 Konsentrasi Cu pada tanaman sampel 15 hari.....	103
Tabel L.3. 7 Persen teremediasi	104
Tabel L.3. 8 Nilai BCF tanaman Genjer	105
Tabel L.3. 9 Nilai TF.....	106
Tabel L.3. 10 Nilai FTD Akar.....	106
Tabel L.3. 11 Nilai FTD Batang	107
Tabel L.3. 12 Nilai FTD Daun	107

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan Penelitian	89
Lampiran 2 Diagram Alir	90
Lampiran 3 Perhitungan Pembuatan Reagen	95
Lampiran 4 Hasil Analisis <i>Two Way Anova</i> (SPSS) dan Uji BNT Anova	108
Lampiran 5 Dokumentasi	112

ABSTRAK

Hasanah, U. 2020. **Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) oleh Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dari Sawah di Daerah Malang berdasarkan Variasi Konsentrasi dan Waktu Pemaparan**. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Suci Amalia, M.Sc; Pembimbing II: Dr. H. Ahmad Barizi, M.A.

Kata Kunci: Fitoremediasi, Genjer, logam Cu, aklimatisasi, *microwave digestion*, *fitostabilizer*.

Aktivitas manusia pada era globalisasi saat ini relatif tinggi dan tanpa disadari sering menghasilkan limbah yang mengandung logam berat. Salah satu cara untuk meminimalisir limbah tersebut adalah dengan proses fitoremediasi. Genjer (*Limnocharis flava*) adalah salah satu alternatif tanaman yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan Genjer (*Limnocharis flava*) dalam meremediasi logam Cu berdasarkan pada pengaruh variasi konsentrasi logam dan waktu pemaparan. Selain itu, juga untuk mengetahui daya serap tanaman tersebut berdasarkan pada parameter nilai fitoremediasi.

Langkah penelitian ini yaitu sebelum Genjer (*Limnocharis flava*) dipapar dengan logam, terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi selama 10 hari. Kemudian dilakukan proses pemaparan selama 5, 10 dan 15 hari dengan konsentrasi logam Cu 3, 5 dan 7 mg/L. Setelah itu, sampel didestruksi secara tertutup menggunakan *microwave digestion* dan dianalisis kandungan logam Cu pada tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

Hasil analisis terhadap kemampuan Genjer (*Limnocharis flava*) meremediasi logam Cu menunjukkan bahwa tanaman Genjer termasuk dalam kategori tanaman akumulator logam dengan penyerapan paling tinggi mencapai 95,83%. Bagian akar dari Genjer (*Limnocharis flava*) mengakumulasi logam Cu lebih baik dibanding batang dan daun. Hal tersebut dilihat dari nilai BCF akar > batang > daun. Nilai BCF pada setiap bagian tanaman > 1, kemudian TF < 1 dan FTD > 0 sehingga Genjer (*Limnocharis flava*) dikategorikan sebagai tanaman *phytostabilizer*.

ABSTRACT

Hasanah, U. 2020. **Phytoremediation of Copper Metal (Cu) by Genjer (*Limnocharis Flava*) Plants from Rice Fields in Malang based on Variations in Concentration and Exposure Time**. Thesis. Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Suci Amalia, M.Sc; Supervisor II: Dr. H. Ahmad Barizi, M.A.

Keywords: Phytoremediation, Genjer, Cu Metal, Acclimatization, Microwave Digestion, Phytostabilizer.

Human activity in the current era of globalization is relatively high, and without realizing it, they often produce waste containing heavy metals. One way to minimize this waste is the phytoremediation process. Genjer (*Limnocharis Flava*) is an alternative plant that can be used as a phytoremediation agent. This study aims to examine Genjer (*Limnocharis Flava*) ability to remediate Cu based on the influence of variations in metal concentration and exposure time. Besides, it is also to determine the absorption capacity of these plants based on the phytoremediation value parameters.

The step of this research was that before Genjer (*Limnocharis Flava*) was exposed to metal, first acclimatization was carried out for ten days. Then the exposure process was carried out for 5, 10, and 15 days with metal concentrations of Cu 3, 5, and 7 mg / L. After that, the sample was digested closed using microwave digestion and analyzed Cu's content in the Genjer (*Limnocharis Flava*) plant using the Atomic Absorption Spectroscopy (SSA) instrument.

The analysis results on the ability of Genjer (*Limnocharis Flava*) to remediate Cu metal showed that the Genjer plant was included in the metal accumulator plant category with the highest absorption reaching 95.83%. The roots of Genjer (*Limnocharis Flava*) accumulate Cu metal better than stems and leaves. This can be seen from the BCF value of roots > stems > leaves. The value of BCF in each part of the plant is > 1, then TF < 1, and FTD > 0 so that Genjer (*Limnocharis Flava*) is categorized as a phytostabilizer plant.

مستخلص البحث

حسنة ، و. 2020. المعالجة النباتية لمعدن النحاس (Cu) بواسطة نبات جنجر (*Limnocharis flava*) من حقول الأرز في منطقة مالانج بناءً على الاختلافات في التركيز و وقت التعرض. البحث العلمي. قسم الكيمياء ، كلية العلوم و التكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: سوسي أماليا الماجستير ؛ المشرف الثاني: أحمد باريزي الماجستير.

الكلمات المفتاحية: المعالجة بالنبات ، جنجر (*Limnocharis flava*) ، معدن النحاس ، التأقلم ، الهضم بالميكروبيف ، المثبت النباتي.

النشاط البشري في العصر الحالي للعولمة مرتفع نسبيًا و بدون إدراك ذلك ، غالبًا ما ينتجون نفايات تحتوي على معادن ثقيلة. طريقة واحدة لتقليل هذه النفايات هي عملية المعالجة النباتية. جنجر (*Limnocharis flava*) هو نبات بديل يمكن استخدامه كعامل معالجة نباتية. تهدف هذه الدراسة إلى فحص قدرة جنجر (*Limnocharis flava*) على معالجة النحاس بناءً على تأثير الاختلافات في تركيز المعادن و وقت التعرض. بالإضافة إلى ذلك ، من الضروري أيضًا تحديد سعة امتصاص هذه النباتات بناءً على معايير قيمة المعالجة النباتية. كانت خطوة هذا البحث أنه قبل تعرض جنجر (*Limnocharis flava*) للمعادن ، تم إجراء التأقلم الأول لمدة 10 أيام. ثم تمت عملية التعرض لمدة 5 و 10 و 15 يومًا بتركيزات معدنية من النحاس 3 و 5 و 7 ملجم / لتر. بعد ذلك ، تم هضم العينة وإغلاقها باستخدام عملية الهضم بالميكروبيف و تحليل محتوى النحاس في نبات جنجر (*Limnocharis flava*) باستخدام أداة التحليل الطيفي للامتصاص الذري (SSA). أظهرت نتائج التحليل على قدرة جنجر (*Limnocharis flava*) على معالجة النحاس أن نبات جنجر تم تضمينه في فئة محطات تجميع المعادن بأعلى امتصاص يصل إلى 95.83%. تجمع جذور جنجر (*Limnocharis flava*) معدن النحاس بشكل أفضل من السيقان و الأوراق. يمكن ملاحظة ذلك من قيمة عامل التركيز البيولوجي للجذور < السيقان < الأوراق. قيمة معامل التركيز الأحيائي في كل جزء من النبات هي < 1 ، ثم < 1 TF و > 0 FTD بحيث يتم تصنيف جنجر (*Limnocharis flava*) على أنه مصنع مثبت نباتي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia pada era globalisasi saat ini, memiliki tingkat aktivitas yang relatif tinggi dalam bidang industri dan domestik. Dampak nyata dari berlebihnya aktivitas industri tersebut adalah timbulnya pencemaran air. Pencemaran air merupakan turunnya kualitas air pada tingkat tertentu sehingga air tersebut tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya yang disebabkan oleh masuknya zat, energi, makhluk hidup ataupun komponen lain termasuk logam berat. Pencemaran air akan berdampak serius bagi lingkungan dan ekosistem makhluk hidup apabila tidak ada pencegahan.

Logam berat memiliki peran dalam proses terjadinya pencemaran. Logam berat memiliki densitas $>5 \text{ g/cm}^3$ (Darmono, 1995). Tingginya konsentrasi dari logam berat dapat menyebabkan gangguan bagi keberlangsungan kehidupan di muka bumi. Salah satu logam berat yang mampu memberikan kontribusi sebagai pencemar lingkungan perairan adalah tembaga (Cu). Cu merupakan unsur mikro yang sangat penting. Cu termasuk dalam kategori logam berat esensial yaitu logam berat yang keberadaannya dalam jumlah sedikit dibutuhkan oleh tubuh dan jika terlalu banyak akan menjadi bahaya. Cu banyak dimanfaatkan dalam bidang industri terutama dalam industri tekstil dan elektroplating.

Logam Cu seringkali ditemukan dalam perairan yang tercemar. Mulai dari sawah, sungai, danau, dan lautan. Setiap logam berat tidak terkecuali Cu memiliki nilai ambang batas saat berada pada perairan. Berdasarkan PP No. 82 (2001) ambang batas dari logam Cu dalam perairan adalah 0,02 mg/L, sedangkan

cemaran logam Cu di beberapa wilayah di Indonesia telah melebihi ambang batas seperti halnya di Surabaya, cemaran logam Cu mencapai 0,37-0,81 mg/L (Fitriyah, dkk., 2015). Selain itu menurut Siregar, dkk. (2008) cemaran logam Cu di perairan Indonesia mencapai 0,03-2 mg/L. Berdasarkan uraian tersebut, tidak menutup kemungkinan bahwa logam Cu dapat masuk dalam tubuh makhluk hidup termasuk manusia. Ion Cu (II) dapat terakumulasi secara terus-menerus dalam jaringan kulit, pankreas, otak, dan hati sehingga akan menimbulkan keracunan baik akut maupun kronis serta terganggunya proses metabolisme dalam tubuh (Palar, 1994).

Berangkat dari hal tersebut, maka dapat dipahami bahwa proses penanganan pencemaran air sangatlah penting dan harus diminimalisir sesedikit mungkin. Manusia harus lebih pandai dan teliti dalam mencari solusi karena sejatinya manusia adalah khalifah di muka bumi. Dalam surat Ash-Shu'araa [26] : 7, Allah Swt telah berfirman:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً وَمَا كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُؤْمِنِينَ ﴿٨﴾

Artinya : “*dan Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu pelbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik? (7) Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat suatu tanda kekuasaan Allah. dan kebanyakan mereka tidak beriman (8)*” (Q.S. Ash-Shu'araa [26]:7)

Ayat di atas menjelaskan bahwa manusia diperintahkan oleh Allah SWT untuk merenung atas sekelilingnya. Betapa banyaknya manfaat segala sesuatu ciptaan Allah termasuk tanaman (Hamka, 1978). Kemudian menurut Ibnu Katsir (2004) beliau menjelaskan bahwa Allah Swt dalam ayat ini bermaksud

mengingatkan akan kebesaran-Nya, kekuasaan-Nya, seta keagungan-Nya. Dialah yang telah menciptakan bumi serta menumbuhkan tumbuh-tumbuhan baik berupa buah-buahan maupun tanaman dengan mulia. Dari potongan ayat tersebut, dapat dipahami bahwa Allah SWT menumbuhkan segala macam tanaman pasti memiliki manfaat yang dapat membantu berbagai macam permasalahan kehidupan makhluk di bumi terutama manusia.

Salah satu tanaman yang memiliki manfaat untuk mengatasi pencemaran air adalah Genjer. Genjer (*Limnocharis flava*) adalah salah satu jenis tanaman yang biasanya dapat tumbuh dengan baik di rawa-rawa ataupun di sawah yang berair. Genjer tergolong dalam jenis tanaman liar seperti halnya kangkung dan eceng gondok. Menurut Heyne (1987) Genjer memiliki tingkat reproduksi yang tinggi, sehingga keberadaannya sangat berlimpah yang kemudian terdapat studi lanjutan yang memposisikan bahwa Genjer adalah gulma berbahaya (Abhilash, dkk., 2008; Brooks, dkk., 2008; Gilal, dkk., 2016).

Anning, dkk. (2013) dalam studinya mengenai bioremediasi tanah melaporkan bahwa Genjer adalah gulma yang dalam hasil studinya diperoleh hasil bahwa Genjer memiliki potensi sebagai tumbuhan akumulator pada proses fitoremediasi. Fitoremediasi adalah salah satu jenis usaha dekontaminasi limbah dan berbagai macam masalah lingkungan dengan menggunakan pohon, rumput ataupun tanaman lain sebagai perantara (Chaney, dkk., 1995). Teknik fitoremediasi mengalami perkembangan yang sangat pesat. Selain karena tekniknya yang lebih efektif, ia juga memerlukan biaya yang lebih murah.

Penelitian mengenai fitoremediasi Genjer cukup menarik bagi beberapa peneliti. Hal tersebut dikarenakan Genjer mudah didapatkan serta jumlahnya yang

sangat melimpah. Beberapa peneliti yang menggunakan Genjer sebagai fitoremediasi antara lain Avlenda (2009) dan Thuraidah (2016). Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa Genjer secara efektif dapat meningkatkan kadar DO (*Dissolved Oxygen*) dan menurunkan kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total suspended solid*), sulfat, dan fosfat di perairan yang tercemar oleh limbah. Selain itu, secara rinci Nadhifah, dkk., (2019) menyatakan bahwa pada penelitiannya menghasilkan potensi Genjer dalam mengurangi BOD sebesar 78,83 dan meningkatkan kadar DO sebesar 50%.

Selanjutnya, Kamarudzaman, dkk. (2011) melaporkan bahwa Genjer sebagai makrofit memiliki potensi untuk menyerap polutan di mana akumulasi tertinggi terdapat pada jaringan akar dan berperan dalam proses fitoekstraksi, fitoakumulasi dan rizofiltrasi. Selanjutnya pada tahun 2009, Abhilash, dkk. juga melakukan penelitian mengenai fitoremediasi Genjer dengan menggunakan sistem hidroponik dan hasilnya menunjukkan bahwa Genjer cocok digunakan sebagai agen tanaman fitofiltrasi kontaminasi Cd tingkat rendah dalam air dengan nilai BCF sebesar 934,86 setelah terjadinya paparan selama 30 hari dan nilai dari TF > 1.

Selanjutnya, Rachmadiarti, dkk. (2012) hasil penelitiannya menunjukkan bahwa Genjer memiliki potensi sebagai hiperakumulator logam Pb, di mana nilai biokonsentrasi (BCF) akar, batang dan daun masing-masing 4,90, 9,54 dan 18,74 pada konsentrasi 10 ppm dengan waktu pemaparan 30 hari dan faktor translokasi (TF) maksimum 0,9 dan efisiensi translokasi mencapai 74% pada konsentrasi 10 ppm. Kemudian Negrete, dkk. (2017) yang melakukan penelitian di Colombia, menghasilkan pernyataan bahwa Genjer dapat menyerap logam Hg (merkuri)

berdasarkan pada paparan waktu. Genjer tersebut dapat mengurangi konsentrasi Hg pada lahan basah hingga 90% atau 9 kali lebih tinggi dibanding kontrol.

Anning, dkk. (2013) menyatakan bahwa Genjer dapat menyerap logam Fe, Zn, Hg, Pb dan Cu setelah 12 minggu pertumbuhan di lahan basah buatan yang terletak di daerah dengan iklim yang lembab dengan curah hujan rata-rata 1300 mm dan suhu 26°C. Konsentrasi awal dari logam sebelum dilakukan pengujian secara keseluruhan kecuali untuk logam Cu masih berada dalam batas aman. Setelah dilakukan pengujian, secara spesifik mereka menyatakan bahwa logam Cu yang diremediasi oleh Genjer setelah 12 minggu tersebut hasilnya sebesar 4,21%.

Kemudian pada tahun 2014, Isa, dkk. Menyatakan bahwa tanaman Genjer dengan substrat tanah yang dijaga kelembabannya setiap dua hari sekali dengan cara menyiramkan aquades mampu menyerap logam Pb sebesar 0,055 – 0,061 ppm atau sekitar 0,37% – 0,41% dan logam Cu sebesar 2,725 – 4,836 ppm atau sekitar 18,17 – 32,24% dari konsentrasi 15 ppm untuk masing-masing logam dengan variasi waktu 10, 15, 20, 25 dan 30 hari di mana penyerapan optimum terjadi di hari ke-10 sebesar 0,061 ppm atau 0,41% untuk logam Pb dan 4,836 ppm atau 32,24% untuk logam Cu. Setelah itu pada tahun 2015, Fitria, dkk. melaporkan bahwa pada penelitian mereka dengan tema fitoremediasi dan dengan objek kajian berupa tanaman Genjer yang didasarkan pada variasi waktu yakni 4, 7, 10, 13, dan 16 hari yang dilakukan secara hidroponik, membuktikan bahwa tanaman Genjer dapat tumbuh di air tercemar yang mengandung logam berat Pb dan Cu dengan konsentrasi awal 5 ppm dan dapat mengalami penyerapan optimum pada hari ke-16 dengan penyerapan mencapai 4 ppm.

Selanjutnya, Haryati, dkk. (2012) juga menyatakan bahwa tanaman Genjer dapat mengakumulasi logam berat melalui akar yang kemudian akan disebar luaskan ke seluruh organ tubuhnya. Struktur dari akar Genjer adalah serabut, sehingga untuk menyerap logam berat lebih efektif dan lebih banyak. Tingginya kadar logam berat dalam lingkungan membuat protein regulator dalam tumbuhan akan membentuk fitokhelatin yang jika bertemu dengan logam berat seperti Cu dan Pb akan membentuk ikatan disulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks (Isa, dkk., 2014).

Berangkat dari beberapa paparan penelitian sebelumnya, kemampuan Genjer dalam menurunkan kadar BOD dan COD dan menyerap berbagai logam tanpa parameter fitoremediasi dalam limbah asli telah banyak dilakukan, sehingga pada penelitian ini akan dilakukan fitoremediasi oleh Genjer dengan variasi konsentrasi logam Cu sebesar 3, 5, dan 7 mg/L dengan waktu pemaparan selama 5, 10 dan 15 hari dengan pengukuran nilai COD, BCF (*Bioconcentration factor*), TF (*Translocation factor*) dan FTD (*Phytoremediation*) nya sebagai parameter. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui konsentrasi dan waktu pemaparan logam Cu optimum yang dapat ditoleransi oleh Genjer.

Pengukuran kadar Cu dalam air dan biomassa Genjer dilakukan menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Penelitian ini bertujuan untuk menambah wawasan dari masyarakat awam bahwa Genjer memiliki potensi sebagai penyerap limbah terkhusus limbah logam berat.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi dan paparan waktu terhadap aktivitas remediasi bagian akar, batang dan daun tanaman Genjer terhadap perairan yang tercemar logam tembaga (Cu) ?
2. Bagaimanakah daya serap tanaman Genjer terhadap logam Cu berdasarkan nilai BCF, TF, dan FTD?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi dan paparan waktu terhadap aktivitas remediasi bagian akar, batang dan daun Genjer terhadap perairan yang tercemar logam berat Cu.
3. Untuk mengetahui daya serap tanaman Genjer terhadap logam Cu berdasarkan nilai BCF, TF, dan FTD.

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel Genjer berasal dari sawah Wajak Malang.
2. Analisis dilakukan pada kemampuan sampel meremediasi logam Cu dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.
3. Variasi konsentrasi logam Cu yang digunakan adalah 3, 5, dan 7 mg/L.
4. Variasi waktu pengukuran yang digunakan adalah 5, 10 dan 15 hari.
5. Analisis biomassa pada bagian akar, batang dan daun Genjer.
6. Kontrol hanya dilakukan pada air dan Genjer saja.
7. Karakterisasi sampel dan air menggunakan instrumen AAS.

1.5 Manfaat

1. Mengetahui potensi Genjer sebagai fitoremediator di perairan.
2. Mengetahui mekanisme akumulasi logam berat Cu oleh Genjer.
3. Sebagai bahan studi lanjut untuk objek penelitian fitoremediasi menggunakan Genjer.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prespektif Al-Qur'an Tentang Fitoremediasi

Pencemaran lingkungan adalah salah satu kejadian yang sangat membahayakan kehidupan di bumi. Penyebab dari pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan adalah adanya limbah. Limbah adalah suatu buangan yang dihasilkan oleh proses produksi baik industri ataupun domestik. Limbah pada dasarnya mengandung berbagai macam logam berat di mana logam berat tersebut sangat berbahaya bagi makhluk hidup apabila terakumulasi secara terus menerus tanpa adanya pencegahan (Palar, 1994). Dalam Al- Qur'an Allah telah berfirman bahwa logam diciptakan dengan berbagai manfaat. Firman Allah tersebut tepatnya terdapat dalam surat Al-Hadid [57] ayat 25 yang berbunyi :

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا
الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنْفَعٌ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ
عَزِيزٌ

Artinya : 25. *Sesungguhnya Kami telah mengutus Rasul-rasul Kami dengan membawa bukti-bukti yang nyata dan telah Kami turunkan bersama mereka Al kitab dan neraca (keadilan) supaya manusia dapat melaksanakan keadilan. dan Kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu) dan supaya Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)Nya dan rasul-rasul-Nya Padahal Allah tidak dilihatnya. Sesungguhnya Allah Maha kuat lagi Maha Perkasa (Q.S. Al Hadid [57]: 25).*

Ayat di atas, menjelaskan bahwa setiap logam yang diciptakan oleh Allah Swt memiliki manfaat yang besar untuk makhluk hidup terutama manusia. Logam merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan manusia untuk memenuhi

kebutuhannya seperti memproduksi alat-alat kebutuhan rumah tangga dengan logam, manusia dapat menciptakan alat-alat industri dengan logam sehingga kebutuhan mereka dapat terpenuhi (Al-Maragi, 1993). Akan tetapi tak sedikit dari mereka yang mengingat, bahwa dalam proses memenuhi kebutuhan mereka tentunya menghasilkan produk sisa dan sebagian besar dari mereka membuangnya begitu saja tanpa memikirkan dampak apa yang akan terjadi, sehingga tanpa mereka sadari mereka telah melakukan kerusakan terhadap lingkungan.

Lingkungan adalah media atau tempat yang di dalamnya terdapat berbagai macam aktivitas dari makhluk hidup terutama manusia. Manusia dalam tatanan lingkungan berperan sangat besar. Satu perbuatan yang dilakukan oleh manusia dapat berpengaruh besar terhadap tatanan lingkungan. Maraknya perkembangan industri pada era saat ini, dapat membuat kerusakan lingkungan. Allah Swt berfirman dalam Q.S. Al-A'raaf [7] ayat 56 yang berbunyi :

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya : 56. dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah Amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik (Q.S. Al-A'raaf [7]: 56).

Menurut Shihab (2000), ayat di atas menjelaskan bahwa secara tegas Allah Swt melarang berbuat kerusakan, sehingga dapat diketahui bahwa merusak saja dilarang apalagi memperparah kerusakan. Kemudian menurut Depag R.I. (2009) larangan dalam berbuat kerusakan ini mencakup ke dalam semua kategori terutama kategori lingkungan hidup karena sejatinya Allah Swt menciptakan bumi

dengan segala isinya termasuk tumbuhan adalah agar manusia mampu memanfaatkannya dengan baik.

Allah Swt telah menciptakan berbagai macam tumbuhan di muka bumi ini, mulai dari tumbuhan berkayu sampai tumbuhan berbentuk rerumputan. Berbagai macam tumbuhan tersebut diciptakan atas kuasa Allah Swt dan dengan dasar, tujuan dan fungsinya masing-masing. Manusia yang sejatinya adalah khalifah di muka bumi harus mampu memanfaatkan tumbuhan dan menjaganya dengan baik. Allah Swt dalam Al-Qur'an surah Thaha [20] ayat 53 yang berbunyi :

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَسَلَكَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ
أَنْبُوتًا مِنْ نَبَاتٍ شَتَّى ﴿٥٣﴾

Artinya : 53. 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 (Q.S. Thaha [20]: 53).

Ayat di atas, menjelaskan bahwa Allah Swt menurunkan air hujan dari langit adalah dengan tujuan untuk mengeluarkan jenis tumbuh-tumbuhan dengan beribu macam manfaat bagi makhluk hidup (Al Maraghi, 1993). Selanjutnya Thantawi menafsirkan bahwa ayat ini sebagai tanda kebesaran Allah Swt dan keajaiban bagi tumbuh-tumbuhan. Dari uraian di atas dapat diketahui bahwa tumbuhan sangat besar peranannya dalam kehidupan ini. Tak hanya dapat dijadikan sebagai sumber makanan, tumbuhan juga dapat digunakan sebagai agen pengurangan limbah dalam lingkungan terutama lingkungan perairan yang sering disebut dengan fitoremediasi.

2.2 Genjer (*Limnocharis flava*)

Genjer (*Limnocharis flava*) merupakan salah satu tanaman liar yang dapat tumbuh dan hidup di rawa ataupun kolam berlumpur yang banyak airnya secara bebas (Isa, dkk., 2014). Genjer berasal dari Amerika, terutama pada bagian negara yang beriklim tropis. Genjer di Indonesia banyak ditemukan di Pulau Sumatera dan Jawa. Genjer di Jawa, terdapat di dataran rendah bagian barat dengan ketinggian mencapai ± 1300 m di atas permukaan laut (Nuarisma, 2012).

Genjer merupakan salah satu tanaman akuatik yang tumbuh pada tempat yang lembab atau berair yang kemudian akan nampak pada permukaan. Istilah ataupun sebutan internasional dari Genjer cukup banyak yakni *Limnocharis*, *Sawah-lettuce*, *Yellow bur-head*, *Sawah flower rush*, *Cebolla de chucho* dan *Velvetleaf* (Steenis, 2006). Kemudian, Heyne (1987) menyatakan bahwa Genjer dapat hidup dengan kisaran umur mencapai ± 1 tahun dengan tinggi 30-80 cm. Kemudian Genjer memiliki daun yang berbentuk bulat seperti telur dan berwarna hijau muda dengan panjang antara 7,5-27 cm. Daun tersebut memiliki tiga sisi yang mana salah satu dari sisi daun tersebut yakni sisi belakang ujung daun berpori air dengan tepi berwarna keunguan. Daun Genjer juga memiliki tangkai yang panjang, tebal dan berisi. Penampakan dari Genjer dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) (Plantamor, 2008)

Genjer merupakan tanaman yang dapat bereproduksi secara vegetatif maupun dengan biji. Hal inilah yang menyebabkan Genjer (jumlahnya semakin meningkat dan menjadikannya sebagai gulma. Genjer ini akan berbunga setiap tahun pada kondisi dengan tingkat kelembapan yang cukup. Selain itu, ia dapat juga menjadi tanaman tahunan saat kelembapan bersifat musiman (Departemen of Primary Industries and Fisheries, 2007). Berikut adalah klasifikasi dari Genjer (Plantamor, 2008) :

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Superdivisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Subkelas	: Alismatidae
Ordo	: Alismatales
Famili	: Limnocharitaceae
Genus	: Limnocharis
Spesies	: Limnocharis flava

Genjer dapat dijadikan sebagai makanan ternak Babi di daerah Danau Toba (Heyne, 1987). Selain itu, oleh masyarakat Jawa khususnya Jawa Barat Genjer sering dijadikan sebagai olahan makanan yang enak dan lezat seperti tumisan dan lalapan. Kemudian, Biasanya Genjer ditemukan bersama dengan eceng gondok (Nuarisma, 2012). Genjer juga teridentifikasi sebagai tanaman yang memiliki aktivitas antioksidan dan kandungan gizi yang tinggi. Selanjutnya dari beberapa penelitian sebelumnya, antara lain Avlenda (2009) dan Thuraidah (2016)

mereka menyatakan bahwa Genjer secara efektif dapat menurunkan kadar BOD, COD, DO, TSS, sulfat, dan fosfat di perairan yang tercemar oleh limbah di mana dalam penelitian mereka menggunakan dua variasi yaitu berdasarkan pada variasi jenis dan komposisi tanaman yakni tanpa tanaman, kangkung saja, Genjer saja dan kombinasi keduanya (kangkung dan Genjer) serta berdasarkan variasi kadar limbah yang digunakan yakni 20, 40, 60 dan 80%.

2.3 Logam Berat Tembaga (Cu)

Logam berat menurut Darmono (1995) didefinisikan sebagai logam yang memiliki densitas $\geq 5 \text{ g/cm}^3$. Logam berat memiliki massa molekul yang tinggi dan pada sistem periodik unsur mereka memiliki nomor atom di atas dua puluh. Selain itu, logam berat adalah suatu elemen atau komponen yang beracun, sulit didegradasi ataupun dihancurkan dan pada umumnya bersifat karsinogenik. Menurut (Palar, 1994) terdapat tiga karakteristik penting logam berat yaitu:

1. Memiliki spesifikasi gravitasi lebih dari 4.
2. Nomor atom mulai dari 22-34, 41-50 dan unsur dari golongan aktinida dan lantanida.
3. Respon biokimia pada organisme secara spesifik.

Seperti unsur kimia yang lain, logam berat juga ada yang dibutuhkan oleh organisme. Logam berat ada dua macam yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial seperti tembaga (Cu), selenium (Se), Besi (Fe) dan Zink (Zn) jika dalam kadar rendah sangat dibutuhkan oleh organisme terutama manusia karena dapat berfungsi sebagai penjaga metabolisme tubuh. Berbeda dengan logam berat esensial, logam berat non esensial seperti timbal

(Pb), merkuri (Hg), arsenik (As) dan cadmium (Cd) dalam kadar yang rendahpun ia akan berbahaya dan menjadi racun (toksik) (Yudo, 2006).

Mekanisme toksisitas logam berat dalam tubuh dikelompokkan menjadi (Sutamihardja, 2006) :

1. Logam berat mampu memblokir kerja dari gugus biomolekul pada saat proses metabolisme.
2. Logam berat mampu menggantikan ion-ion logam esensial yang terdapat dalam molekul yang bersangkutan.
3. Logam berat mampu memodifikasi gugus aktif yang dimiliki oleh molekul.

Logam berat tembaga adalah salah satu jenis logam berat yang pada sistem periodik unsur berada pada unsur transisi dengan lambang Cu nomor atom 29, massa molekul relatif sebesar 63,546 g/mol dan densitas 8,96 g/cm³. Tembaga (Cu) dapat melebur pada suhu 1083,4°C dan mendidih pada 2567°C. Bilangan oksidasi dari tembaga ada dua macam yaitu +1 dan +2 (Mulyono, 2005). Tembaga (Cu) di alam mayoritas ditemukan dalam bentuk persenyawaan tapi terkadang juga ditemukan dalam keadaan bebas.

Tembaga (Cu) dapat masuk ke dalam sistem tatanan lingkungan melalui dua cara yaitu alamiah dan non alamiah. Secara alamiah, Cu masuk dalam tatanan lingkungan sebagai akibat dari berbagai peristiwa alam yang telah terjadi, partikulat tembaga yang ada di lapisan udara nantinya dibawa turun oleh hujan. Kemudian, secara non alamiah Cu masuk dalam tatanan lingkungan sebagai akibat dari berbagai aktivitas manusia seperti contoh buangan dari industri yang memakai tembaga dalam proses industrinya (Palar, 1994).

2.3.1 Tembaga (Cu) dalam Pupuk

Pupuk merupakan salah satu sumber nutrisi yang penting yang dibutuhkan oleh tanaman untuk meningkatkan produktivitas tanaman serta melangsungkan hidupnya. Proses pemupukan bertujuan untuk menambah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman guna meningkatkan produksi dan mutu tanaman. Pupuk memiliki berbagai kandungan unsur hara yang penting bagi tanaman salah satunya adalah Tembaga (Cu). Meskipun Cu dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit akan tetapi Cu dapat mendorong terbentuknya hijau daun dan bahan utama dalam berbagai enzim sehingga Cu dapat mempengaruhi bentuk, rasa, dan kandungan gula pada tanaman. Jika tanaman mengalami kekurangan Cu maka akan menyebabkan ujung daun tidak merata, tanaman menjadi layu bahkan klorosis (Lingga dan Marsono, 2013; Dewanto, dkk., 2013).

Pupuk baik organik maupun anorganik dapat menyumbang Cu dalam jumlah yang bervariasi tergantung dari komposisi dan seberapa banyak pupuk yang diberikan ke tanaman. Salah satu pupuk organik yang menyumbang Cu adalah pupuk kandang (Rismunandar, 2003). Pupuk kandang merupakan pupuk yang berasal dari kotoran hewan ternak seperti sapi, kerbau, itik, ayam, dan kuda. Pupuk kandang mengandung unsur Cu dengan berbagai jenis variasi bergantung pada jenis ternak, makanan ternak, usia ternak dan kesehatan ternak (Budiyanto, dkk., 2018). Salah satu hewan yang kotorannya sering sekali dijadikan sebagai pupuk adalah sapi. Kotoran sapi mengandung unsur hara yang terbilang cukup besar salah satunya adalah tembaga (Cu). Cu pada kotoran sapi padat menyumbang sebesar 22,333 ppm ke dalam tanah (Zaitun, dkk., 2009).

Selain itu, menurut Abdurrachman, dkk., (2005) pupuk kandang dari jenis sapi, kambing dan ayam dengan takaran 5 ton/ha menyumbang Cu masing-masing sebesar 38, 378 dan 56%. Selain pupuk kandang terdapat juga pupuk organik cair hasil industri PT Petrokimia Gresik menyediakan pupuk organik cair dengan merk dagang PHONSKAOCA. Pupuk tersebut menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman salah satunya adalah Cu. Tabel 2.1 menyajikan kandungan unsur hara pada pupuk cair PHONSKAOCA. (PT Petrokimia Gresik, 2019).

Tabel 2. 1 Kandungan Unsur Hara pada Pupuk PhonskaOca

Kandungan	Kadar (ppm)	Kadar (%)
C-Organik	-	≥ 6
Fe total	90 – 900	-
Mn total	250 – 5000	-
Cu total	250 -5000	-
Zn total	250 – 5000	-
B total	125 – 2500	-
Co total	5-20	-
Mo total	2-10	-
N	-	3 – 6
P ₂ O ₅	-	3 – 6
K ₂ O	-	3 – 6
Si total	≥ 200	-
Mg total	≥ 200	-

Sumber: PT. Petrokimia Gresik (2019)

Pemberian pupuk harus dilakukan secara seimbang karena pupuk organik meskipun mampu memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, akan tetapi pupuk organik juga memiliki kekurangan. Sehingga untuk menyeimbangkannya diperlukan pupuk anorganik. Pupuk anorganik mampu merangsang proses pertumbuhan tanaman pada setiap bagian dengan cepat (Dewanto, dkk., 2013; Rachmadani, dkk., 2014).

Terdapat beberapa jenis pupuk anorganik saat ini seperti urea, NPK, phonska dan lainnya. Salah satu pupuk anorganik yang berperan sebagai

penyumbang Cu adalah pupuk dengan merk dagang MerokeMIKRO. Pupuk ini berbentuk CU-EDTA dengan kandungan Cu sebesar 15%. Pupuk ini berwarna biru yang berfungsi sebagai katalis dalam fotosintesis. Selain pupuk Meroke Mikro, ada juga pupuk yang mengandung Cu yaitu pupuk MerokeFITOFLEX. Pupuk ini mengandung unsur hara yang lengkap seperti yang terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kandungan Unsur Hara Pupuk MerokeFitoflex

Unsur Hara	Presentase
Mn (EDTA)	7,0 %
Zn (EDTA)	5,0 %
Fe (EDTA)	2,5 %
Cu (EDTA)	2,0 %
Boron (B)	2,0 %
Molybdenum	0,1 %

Sumber: PT. Meroke Tetap Jaya (2019)

2.3.2 Tembaga (Cu) dalam Pestisida

Pestisida merupakan seluruh jenis bahan kimia, tumbuhan, hewan maupun bahan lain yang digunakan sebagai pemberantas hama dan penyakit pada tanaman. Penggunaan pestisida dalam dunia pertanian saat ini masih terbilang cukup tinggi. Pestisida terbagi menjadi beberapa jenis yaitu insektisida, fungisida, bakterisida, nematisida, akarisisida, rodentisida, moluskisida dan herbisida (Djojsumarto, 2008). Pestisida adalah salah satu penyumbang zat pencemar bagi lingkungan karena kandungan logam berat di dalamnya. Salah satu logam berat yang berperan sebagai penyumbang zat pencemar dalam pestisida adalah Cu baik berupa Cu(OH) ataupun CuSO₄. Salah satu pestisida dengan jenis fungisida yang sering digunakan dan memiliki kandungan Cu yang cukup besar adalah fungisida dengan merk dagang KOCIDE 54 WG. Fungisida ini berbentuk butiran yang

dapat didispersikan dalam air dengan kandungan tembaga hidroksida sebesar 54% atau setara dengan tembaga 35%. Fungisida ini biasanya diperuntukkan untuk tanaman berupa bawang merah, cabai, jeruk, teh dan tomat (PT Bersama Kita Serasi, 2020).

2.3.3 Metabolisme Tembaga (Cu) dalam Tubuh

Palar (1994) dalam bukunya menyatakan bahwa proses metabolisme Cu ke dalam tubuh berlangsung secara oral. Alur metabolisme Cu yaitu Cu akan diserap oleh tubuh dalam kondisi asam yang ada pada lambung. Ketika terjadi proses penyerapan makanan dan diolah di dalam lambung oleh darah, Cu ikut terserap oleh darah tersebut. Cu dalam darah berada dalam dua bentuk yaitu Cu^+ dan Cu^{2+} . Apabila dua bentuk Cu tersebut di dalam tubuh normal atau seimbang, maka sekitar 93% dari serum-Cu berada dalam seruloplasma dan 7% sisanya ada pada fraksi albumin dan asam amino. Selanjutnya serum Cu-albumin ditransportasikan ke dalam tubuh dan berikatan dengan sel darah merah sebagai eritrocuprein. Selanjutnya Cu dibawa ke hati oleh darah, kemudian dikirim ke dalam kandung empedu dan dari empedu Cu dikeluarkan kembali ke usus dan dibuang dalam bentuk feses.

2.3.4 Toksisitas Logam Tembaga (Cu)

Toksisitas adalah tingkat rusaknya suatu zat jika dipaparkan terhadap organisme. Keracunan logam pada makhluk hidup menyebabkan kerusakan jaringan pada makhluk hidup tersebut. Tembaga akan dapat menyebabkan racun jika berada dalam bentuk debu-debu Cu. Tembaga akan dapat beracun jika

melebihi ambang batas. Dirjen Pengawasan Obat dan Makanan (POM) RI menyatakan bahwa batas maksimum cemaran logam tembaga pada sayuran segar adalah 2 ppm. Kemudian Palar (1994) dalam bukunya menyebutkan bahwa ambang batas Cu di dalam tubuh manusia terutama bagi orang dewasa sekitar 2,5 mg/kg, sedangkan bagi bayi ambang batasnya 0,05 mg/kg. Pada manusia efek keracunan yang ditimbulkan oleh logam Cu adalah terjadinya gangguan pernapasan sebelah atas.

Sesuai dengan sifatnya, ada dua macam keracunan logam berat Cu (Palar, 1994) :

1. Keracunan Akut

Penelitian mengenai keracunan logam berat Cu pertama kali dilakukan pada tahun 1913 yang kemudian hasilnya dipublikasikan. Tingkat keracunan akut sebagai akibat dari beberapa senyawa Cu dapat dilihat pada Tabel 2.3. Pada tabel tersebut, menguraikan bahwa manusia menjadi salah satu organisme makhluk hidup yang berpeluang keracunan senyawa Cu. Gejala yang dapat dilihat dari adanya keracunan akut adalah: merasakan adanya logam dalam saluran pernapasan dan merasa terbakar pada *epigastrium* serta muntah berulang-ulang.

Tabel 2. 3 Tingkat keracunan (LD₅₀) beberapa senyawa Cu terhadap beberapa organisme

Senyawa	Jenis Organisme	LD ₅₀ (mg/kg)
CuCl ₂	Tikus	140
CuCO ₃ .Cu(OH) ₂	Kelinci	159
Cu ₂ O	Tikus	470
Cu(NO ₃) ₂ .3H ₂ O	Tikus	940
CuSO ₄ .5H ₂ O	Tikus	960
CuCl ₂	Manusia	200 (LD _{LO})
Cu(OH) ₂	Manusia	200 (LD _{LO})

Sumber: Palar (1994)

2. Keracunan Kronis

Keracunan kronis dapat disebabkan oleh tertimbunnya tembaga dalam hati dalam jumlah yang banyak dan berlebih sehingga menyebabkan hemolisis. Hemolisis terjadi akibat adanya H_2O_2 yang tertimbun dalam sel darah merah sehingga terjadi proses oksidasi pada lapisan sel dan sel menjadi pecah (Arifin, 2007). Keracunan kronis pada manusia dapat dilihat berdasarkan timbulnya penyakit Wilson dan Kinsky. Penyakit Wilson ditandai dengan terjadinya kerusakan pada otak dan penurunan kerja ginjal serta pengendapan Cu dalam kornea mata. Kemudian, penyakit Kinsky ditandai dengan terbentuknya rambut yang kaku dan berwarna kemerahan bagi penderita penyakit tersebut.

2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Inggris yaitu phytoremediation yang terdiri dari dua kata yaitu phyto yang berasal dari bahasa Yunani phyton (tumbuhan) dan remediation yang berasal dari bahasa Latin remedium (menyembuhkan, menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan). Berangkat dari kedua pengertian di atas, fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai proses penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, ataupun menghancurkan berbagai bahan pencemar baik itu berupa senyawa organik maupun anorganik (Purakayastha dan Chhonkar, 2010). Menurut Chaney, dkk. (1995) fitoremediasi adalah salah satu jenis usaha dekontaminasi limbah dan berbagai macam masalah lingkungan dengan menggunakan pohon, rumput ataupun tanaman lain sebagai perantara. Sehingga secara umum, fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai suatu teknologi secara in

situ maupun ex situ sebagai upaya mengurangi berbagai macam polutan baik organik maupun anorganik melalui proses biokimia yang dilakukan oleh tanaman ataupun mikroorganisme. Tanaman atau mikroorganisme tersebut bertindak sebagai filter dan memetabolismekan zat secara alami (Garcia, dkk., 2017).

Fitoremediasi berbeda dengan bioremediasi. Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan sebagai akumulator bahan beracun berbahaya baik dari tanah maupun air sedangkan bioremediasi adalah penggunaan mikroorganisme untuk mendegradasi limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya). Menurut Eweis, dkk. (1998) Bioremediasi berprinsip pada biodegradasi yang perlakuannya secara aerob dan oksigen dalam konsentrasi yang rendah. Kemudian menurut Salt, dkk., (1998) fitoremediasi berprinsip bahwa tanaman yang digunakan berfungsi sebagai fitoakumulator dan fitokelator.

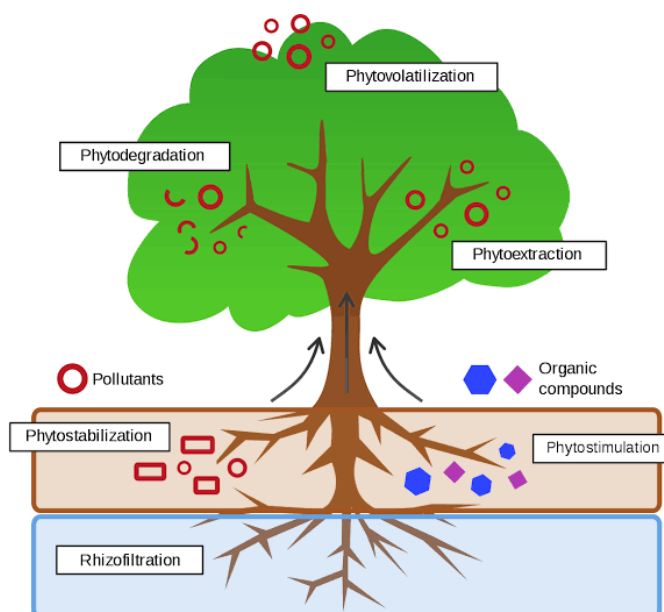
Tanaman yang digunakan sebagai fitoremediator berpengaruh besar terhadap kesuksesan proses fitoremediasi. Tanaman dan logam harus memiliki kecocokan. Tanaman dengan jenis tertentu akan dapat menyerap logam tertentu dengan tingkat pencemaran tertentu juga. Semua jenis tumbuhan pada umumnya dapat menyerap logam, tetapi dalam jumlah yang bervariasi serta bagaimana tingkat ketahanan dari tumbuhan tersebut (Hidayati, 2005). Teknik fitoremediasi saat ini berkembang sangat pesat. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa keunggulan dari fitoremediasi yang antara lain adalah secara finansial relatif lebih murah sehingga dapat menghemat biaya hingga 75-85%, pertumbuhan dari tanaman dapat dikontrol dengan mudah, metode remediasi yang paling aman karena memanfaatkan tanaman sebagai remediator serta keadaan lingkungan dapat dipelihara secara alami.

Mekanisme penyerapan polutan oleh tanaman berdasarkan fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar 2.2. Mekanisme dari fitoremediasi terdiri dari beberapa konsep dasar, yakni:

1. Fitoekstraksi, yaitu proses penyerapan polutan oleh tanaman air atau tanah yang kemudian disimpan di dalam bagian tubuh tanaman seperti akar, batang dan daun. Proses fitoekstraksi sangat cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik (Purakayastha dan Chhonkar, 2010).
2. Fitovolatilisasi, yaitu proses penyerapan polutan di mana polutan yang diserap tersebut akan diubah menjadi senyawa yang volatil yang kemudian akan ditranspirasikan oleh tanaman ke atmosfer. Fitovolatilisasi cocok digunakan untuk meremediasi zat-zat organik maupun anorganik (EPA, 2000; Mwegoha, 2008; Balakrishnan dan Velu, 2015).
3. Fitodegradasi, yaitu proses penyerapan polutan oleh tanaman yang kemudian polutan akan didegradasi dengan bantuan enzim seperti *nitroductase*, *nitrilase*, *dehalogenase* dan *laccase*. Fitodegradasi ini cocok digunakan untuk dekontaminasi limbah organik (Succuro, dkk., 2009; Balakrishnan dan Velu, 2015).
4. Fitostabilisasi, yaitu proses pelumpuhan polutan pada tanah ataupun air dengan menggunakan tumbuhan tertentu dengan cara menyerap ataupun mengakumulasi ke dalam jaringan tanaman, adsorpsi ke akar, atau pengendapan di daerah akar sehingga mencegah terjadinya perluasan kontaminasi polutan dalam lingkungan. Fitostabilisasi cocok digunakan untuk meremediasi polutan senyawa anorganik dan logam berat seperti Pb, Cd, Zn,

As, Cu, Cr, Se, dan U (Schnoor, 1997; Tangahu, dkk., 2011; Balakrishnan dan Velu, 2015).

5. Rizhofiltrasi, yaitu proses penyerapan polutan oleh tanaman dengan konsentrasi polutan yang rendah dan secara umum terjadi pada daerah perairan. Rizofiltrasi cocok digunakan untuk membersihkan limbah organik maupun anorganik serta limbah logam seperti: Pb, Cd, Zn, Ni, dan Cu serta radionuklida (Schnoor, 1997; Mwegoha, 2008).
6. Rizhodegradasi, yaitu proses penguraian zat-zat kontaminan (polutan) dengan adanya aktivitas mikroba yang ada dan hidup di sekitar tumbuhan. Rizodegradasi sangat cocok digunakan untuk dekontaminasi limbah organik (Schnoor, 1997).



Gambar 2. 2 Kemungkinan penyerapan pada proses fitoremediasi (titik merah = polutan) (Petani, 2018)

2.4.1 Genjer (*Limnocharis flava*) sebagai Fitoremediator

Kesuksesan proses fitoremediasi dapat dilihat dari jenis tumbuhan yang digunakan, apakah tumbuhan tersebut mampu menyerap dan mengakumulasi

logam berat atau tidak. Secara keseluruhan, tumbuhan mampu menyerap logam akan tetapi dalam jumlah variasi yang berbeda-beda. Beberapa tumbuhan mampu mengakumulasi logam berat dalam jumlah konsentrasi yang tinggi. Fitoremediator adalah istilah yang merujuk pada tumbuhan yang dapat berfungsi untuk menghilangkan polutan baik dari tanah maupun perairan yang telah terkontaminasi.

Tanaman Genjer dapat dikategorikan sebagai fitoremediator. Hal tersebut didasarkan pada kemampuannya mengakumulasi logam berat seperti Pb melalui akar dan mentransfernya ke seluruh bagian dari tumbuhan (Salisbury dan Ross, 1995). Berdasarkan Tabel 2.4, dapat diketahui bahwa Menurut Jamil, dkk., (2015), Lestari, dkk., (2015), Oktoviana (2015) serta Fitria, dkk. (2015) Genjer mampu menyerap berbagai macam limbah logam berat antara lain Pb (Timbal), Cu (Tembaga), Cd (Kadmium), dan Cr (Kromium) serta radionuklida.

Kemudian, akumulasi logam berat Pb yang dilakukan oleh tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) pada akar mencapai 1,1546 mg/L (Haryati, dkk., 2012). Selain itu, tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) juga mampu menyerap dan mengakumulasi logam Cu sebesar 2,725-4,835 mg/L (Isa, dkk., 2014). Selanjutnya pada tahun 2013, Priyanti dan Yunita dalam penelitiannya menyatakan bahwa tanaman Genjer dapat menyerap logam Fe (besi) dan Mn (Mangan) dalam jumlah yang cukup besar sekitar 20,32-63,99%. Tingginya konsentrasi dari logam yang dapat diserap oleh Genjer menandakan bahwa Genjer memiliki nilai toleransi yang tinggi terhadap polutan sehingga Genjer dapat dijadikan sebagai fitoremediator.

Tabel 2. 4 Penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun	Tema	Variasi	Hasil terbaik
1	Nurhasni	2007	Kajian mengenai kemampuan Genjer menyerap ion logam Cd dan Cu	Variasi pH, ukuran partikel dan suhu	pH 5, ukuran partikel 180 μm dan suhu 90°C 17,45 mg ion logam/ g sorben
2	Maharani Haryati, Tarzan Purnomo, Sunu Kuntjoro	2012	Kajian Mengenai fitoremediasi dengan Genjer terhadap logam Pb pada limbah industry	Variasi biomassa dan pemaparan waktu	Biomassa 150 gram pada hari ke-21 sebesar 0,4688 mg/L (80,09%).
3	Priyanti dan Etyun Yunita	2013	Kajian Mengenai fitoremediasi dengan Genjer terhadap Logam Berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn)	Variasi konsentrasi (0, 1 dan 3 ppm), organ (akar, batang dan daun) dan pemaparan waktu (0, 2, 4 dan 6 hari)	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi 3 ppm (Fe) = 3,5 ppm (63,99%) • Konsentrasi 0 ppm (Mn) = 0,42 ppm (63,21%) • Akar (Fe) = 9,54 ppm • Akar (Mn) = 3,11 ppm • Waktu 0 hari (Fe) = 9,72 ppm • Waktu 0 hari (Mn) = 1,06 ppm
4	Ishak isa, Mohammad Jahja dan Masayuki Sakakibara	2014	Kajian Mengenai fitoremediasi dengan Genjer terhadap logam Pb dan Cu	Variasi pemaparan waktu (10, 15, 20, 25, dan 30)	<ul style="list-style-type: none"> • Logam Pb hari ke-10 = 0,061 ppm • Logam Cu hari ke-10 = 4,836 ppm
5	Prasetyo Herlambang dan Okik Hendriyanto	2015	Kajian Mengenai fitoremediasi dengan Genjer untuk menurunkan fosfat dan COD limbah <i>laundry</i>	Variasi kepadatan tanaman (4, 5, 6, 7, dan 8) dan waktu tinggal (3-15 hari)	Kepadatan tanaman 8 dengan waktu 15 hari 26,80%

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian terdahulu

6	Siti Nurmaida Fitria, Unggul P. Juswono dan Gancang Saroja	2015	Kajian Kajian Mengenai fitoremediasi dengan Genjer terhadap logam Cu secara hidroponik	Variasi pemaparan waktu (4, 7, 10, 13, dan 16)	Hari ke-16 sebesar 3,5 ppm.
7	Ayu Lestari, Sofia Anita dan T. Abu Hanifah	2015	Kajian Mengenai fitoremediasi dengan Genjer terhadap logam Cd, Cr dan Pb	Variasi pemaparan waktu (0, 3, 6, dan 12 hari)	Variasi hari ke-6 dengan penyerapan: Cd: 83,70%; Cr: 43,98%; Pb: 90,31%
8	Ahmad Qamarudin Jamil, Rahayu Sri Pujianti dan Ellyke	2015	Kajian Mengenai fitoremediasi tanaman pada limbah cair	Variasi tanaman Genjer, kangkung air dan semanggi	Genjer : 0,58 mg/L (11,6%)
9	Anny Thuraidah, Eris Indra Puspita dan Nani Oktiyani	2016	Kajian Mengenai fitoremediasi dengan Genjer untuk menurunkan kadar BOD limbah karet	Variasi rumpun (1, 2, 3, 4, dan 5)	Variasi 5 rumpun dengan penurunan kadar BOD sebesar 29,05%.
10	Iin Inayatun Nadhifah, Putri Fajarwati dan Eka Sulistiyowati	2019	Kajian Mengenai fitoremediasi dengan Genjer untuk Mengolah Air Limbah Domestik	Variasi pengenceran limbah (10x dan 100x)	<ul style="list-style-type: none"> • DO: pengenceran 100x = 50% • BOD: pengenceran 10x = 1,5 ppm • TDS: pengenceran 100x = 41,4% • pH: Pengenceran 10x dan 100x = 7

2.4.2 Mekanisme Penyerapan Logam Berat oleh Genjer (*Limnocharis flava*)

Tumbuhan dalam melangsungkan hidupnya tidak lepas dari kebutuhannya akan nutrien, di mana nutrien tersebut yang nantinya akan berfungsi dalam proses pertumbuhan dan perkembangbiakannya. Nutrien atau unsur hara yang diserap oleh tumbuhan biasanya berada dalam bentuk ion (bermuatan). Penyerapan unsur hara terjadi melalui proses difusi. Proses penyerapan pada tumbuhan ada dua macam yaitu penyerapan aktif dan penyerapan pasif. Genjer termasuk dalam kategori tumbuhan yang memiliki kedua proses penyerapan tersebut.

Penyerapan aktif adalah proses penyerapan yang memerlukan energi untuk memasuki sel melalui membran sel. Penyerapan aktif akan terjadi melalui absorpsi logam ke dalam sitoplasma dari sel kortikal atau epidermis yang kemudian masuk melalui sitoplasma atau dinding sel (Russel, dkk., 1978). Penyerapan aktif akan mengalami proses yang dinamakan detoksifikasi yakni proses pengkhelatan logam berat sehingga logam berat tidak lagi bersifat sebagai racun pada tumbuhan (Baycu, 2002). Selanjutnya, penyerapan pasif dapat didefinisikan sebagai proses penyerapan suatu unsur ke dalam sel tanpa diperlukannya energi. Mekanisme penyerapan pasif oleh tumbuhan dapat terjadi melalui akar yang kemudian akan masuk ke dalam sel-sel tumbuhan. Menurut Hall (2002) pada penyerapan pasif, selain terjadi penyerapan akan juga terjadi akumulasi logam berat dengan cara pengikatan kation logam berat pada dinding sel.

Menurut Priyanto dan Prayitno (2006) penyerapan dan akumulasi logam berat dibagi menjadi tiga hal yang saling berkaitan yaitu:

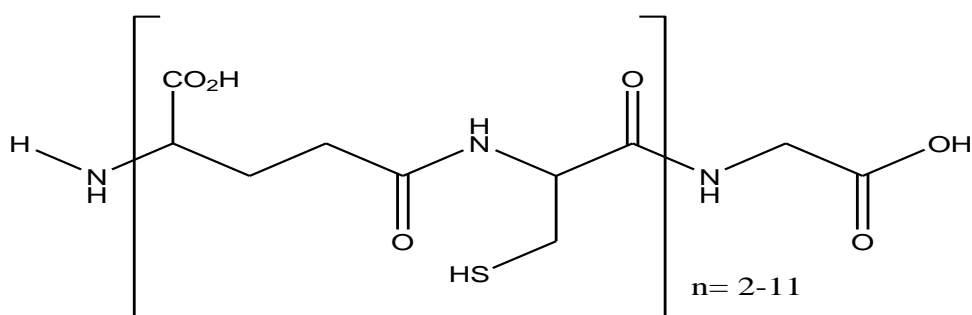
1. Penyerapan oleh akar. Penyerapan logam oleh akar dapat dilakukan dengan cara membawa logam ke dalam larutan di rizosfer. Proses untuk membawa logam tersebut bergantung pada jenis tanaman.
2. Translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan yang lain. Translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain dilakukan setelah logam menembus endodermis akar dengan bantuan dari jaringan pengangkut yaitu *xilem* dan *floem*.
3. Lokalisasi logam pada sel tertentu. Lokalisasi logam pada sel tertentu bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat proses metabolisme tumbuhan tersebut.

Tembaga (Cu) dilepaskan sebagai hasil dari pelapukan dalam bentuk Cu^{2+} , yang kemudian akan diabsorpsi oleh tanaman. Tanaman Genjer akan menyerap logam yang larut dalam air melalui akarnya dalam bentuk ion. Logam Cu akan diserap oleh akar tanaman dalam bentuk Cu^{2+} . Kemudian di dalam akar tanaman, pH dari logam akan berubah dan membentuk khelat ataupun fitokhelatin. Fitokhelatin jika bertemu dengan logam berat seperti Cu akan berikatan membentuk ikatan disulfida dan membentuk senyawa kompleks sehingga logam berat akan mampu dibawa menuju ke bagian tumbuhan yang lainnya (Haryati, dkk., 2012).

2.5 Fitokelatin

Fitokelatin (PCs) merupakan sebuah kelator logam berat yang ditemukan pada tumbuhan, jamur dan semua kelompok alga. Fitokelatin mampu dideteksi pada jaringan tanaman apabila tanaman tersebut terpapar jejak logam. Fitokelatin

berfungsi sebagai detoksifikasi dan homeostasis pada tumbuhan. Kompleks logam-fitokelatin mampu melindungi tanaman dari toksisitas logam melalui pengkelatan antara logam dengan metaloid seperti cadmium (Cd) dan arsen (As). Selain itu, mereka juga mengikat unsur logam esensial seperti Seng (Zn) dan tembaga (Cu). Fitokelatin mengikat logam dengan gugus tiolnya, yang kemudian menonaktifkan logam yang selanjutnya dikelompokkan dan disimpan dalam vakuola di dalam sel terutama di bagian akar (Gupta, dkk., 2013; Dennis, dkk., 2019; Gratao, dkk., 2019; Garcia, dkk., 2020). Struktur dari fitokelatin dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Struktur fitokelatin (Clemens, 2005)

Menurut Dennis, dkk. (2019) Fitokelatin dapat berikatan dengan logam berat jika logam berat yang terikat memenuhi tiga syarat yaitu:

1. Bilangan oksidasi dari logam tersebut termasuk umum yaitu +1 atau +2.
2. Isotop tinggi.
3. Kimia asam basa Lewis.

Kimia asam basa Lewis mempengaruhi pembentukan kompleks logam yang stabil. Hal tersebut berkaitan erat dengan asam basa lunak dan keras. Asam lunak memiliki kecenderungan yang lebih tinggi dalam membentuk kompleks dengan

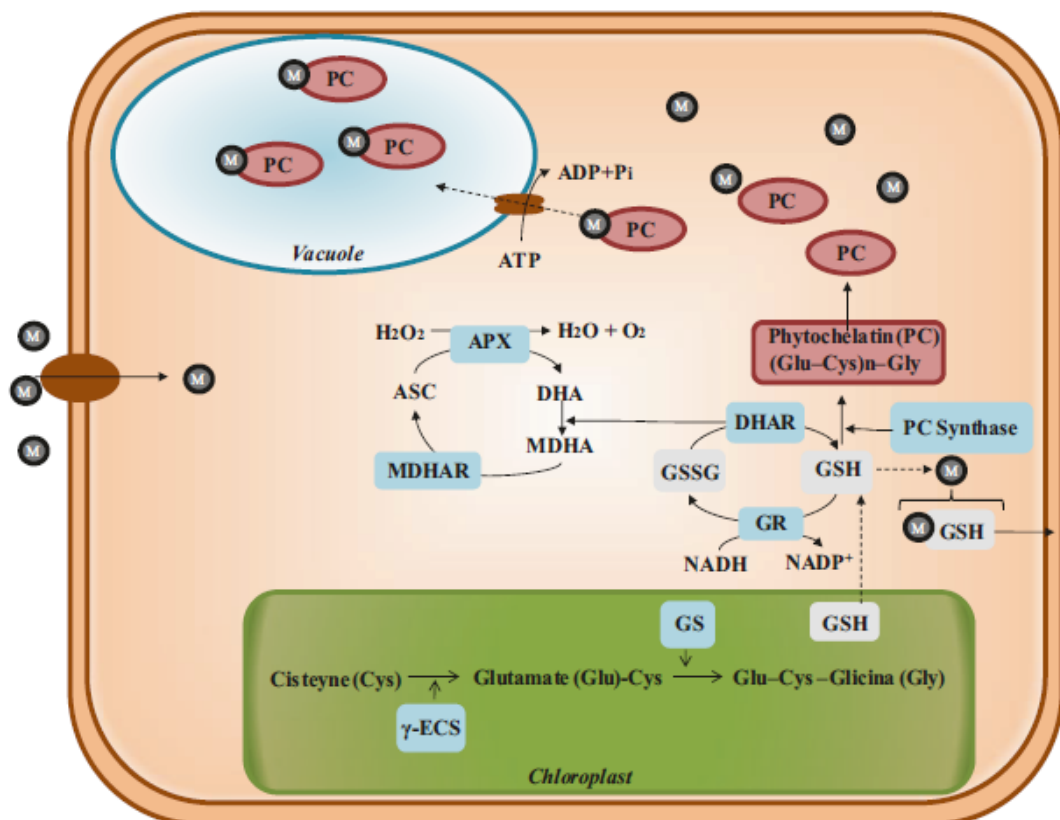
tiolat yang stabil ($-S^-$). logam yang lunak biasanya pada tanaman berperan sebagai penambah nutrisi dan juga toksikologi. Logam lunak tersebut meliputi kadmium (Cd), merkuri (Hg), timbal (Pb), seng (Zn), nikel (Ni), mangan (Mn), besi (Fe), kobalt (Co), perak (Ag) dan tembaga (Cu) (Dennis, dkk., 2019; Gracia, dkk., 2020).

Fitokelatin terbentuk melalui reduksi *glutathione* (GSH). *Glutathione* (γ -*glutamylcysteinyl glycine*) adalah tripeptida yang terbentuk atas asam glutamat, sistein dan glisin. GSH adalah komponen utama dari kelompok tiol non-protein (NPTs) yang memainkan peran penting sebagai antioksidan yang mampu melawan *reactive oxygen species* (ROS) dan bertindak bersama dengan enzim *ascorbat peroksidase* (APX) dalam siklus *ascorbat-glutathione*. Senyawa metabolit ini dapat ditemukan pada tumbuhan dalam bentuk teroksidasi (GSSG) atau tereduksi (GSH) (Grutao, dkk., 2019).

Enzim *glutathione reductase* (GR) mengubah GSSG menjadi GSH menggunakan bantuan NADPH sebagai donor elektron. GSH yang terbentuk sesuai dengan substrat yang digunakan oleh enzim *dehydroascorbate reductase* (DHAR) untuk membentuk askorbat (ASC) yang digunakan oleh enzim APX untuk pertahanan antioksidan (Gambar 2.4). Enzim GR dapat terjadi secara universal, mulai dari eukariotik hingga prokariotik dan dari yang heterotrofik ke tumbuhan tingkat tinggi. Enzim ini bertanggung jawab untuk mengkatalisis reaksi transfer elektron dari NADPH ke GSSG untuk membentuk GSH (Grutao, dkk., 2019).

GSH berperan penting dalam pertahanan antioksidan melawan ROS dan pembentukan fitokelatin. Oleh karena itu GSH akan meningkat beberapa kali lipat

ketika berada di bawah tekanan logam berat. Sintesis GSH diawali dengan terikatnya asam glutamat dan sistein oleh enzim γ -glutamylcysteine sintetase (γ -ECS). Kemudian asam glutamat dan sistein tersebut diikat oleh glisin dengan bantuan katalis *glutathione sintetase* (GS). Setelah itu, gen GSH2 menerjemahkan GS, dimana transkrip mRNA dapat membentuk dua peptida berbeda dengan dua target yang berbeda juga di dalam sel. Fitokelatin disintesis dari GSH oleh enzim *glutathione- γ -glutamylcysteinyll transferase* atau *PC synthase*. Fitokelatin memiliki struktur kimia yang umum $(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{-Glu}$ dimana $n = 2\text{-}11$ (Dennis, dkk., 2019; Grutao, dkk., 2019).

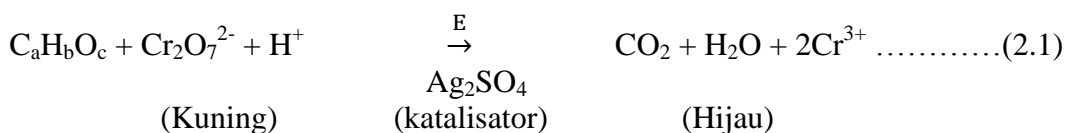


Gambar 2. 4 Siklus askorbat-gluathione, GSH, dan sintesis fitokelatin pada tumbuhan (Grutao, dkk., 2019)

2.6 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

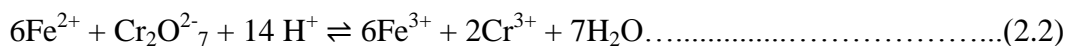
Beberapa bahan organik tertentu yang terdapat pada air limbah tidak dapat didegradasi secara biologis dan beberapa di antara mereka ada yang beracun meskipun pada konsentrasi yang rendah. Bahan-bahan tersebut yang tidak dapat didegradasi secara biologis akan didegradasi secara kimiawi melalui proses oksidasi atau yang disebut dengan *Chemical Oxygen Demand (COD)*. COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai bahan organik yang ada di dalam air secara keseluruhan (Boyd, 1990). Analisis COD secara khusus menggunakan alat tertentu berupa reaktor COD.

Menurut Atima (2015) prinsip pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium dikromat sebagai oksidator pada sampel (dengan volume tertentu) yang ditambahkan perak sulfat sebagai katalisator kemudian dipanaskan beberapa waktu tertentu. Bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990; Metcalf dan Eddy, 1991), sehingga bahan organik yang sebelumnya sulit diurai akan dan terurai (teroksidasi). Persamaan 2.1 menunjukkan reaksi yang terjadi ketika proses penguraian bahan organik dengan katalis Ag_2SO_4 pada kondisi panas (Alaerts dan Santika, 1984).



Kemudian ketika kelebihan kalium dikromat yang mana ia tidak tereduksi, maka dilakukan titrasi dengan larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS)

menggunakan indikator ferroin. Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen (mg/L O₂) (Alerts dan Shantika, 1984). Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Persamaan 2.2.



Titration tersebut menggunakan metode titration redoks dimana K₂Cr₂O₇ bertindak sebagai oksidator yang nantinya akan mengoksidasi Fe²⁺ menjadi Fe³⁺ sedangkan Fe²⁺ bertindak sebagai reduktor yang nantinya mampu mereduksi Cr⁶⁺ menjadi Cr³⁺. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat direduksi dengan metode pengolahan yang konvensional.

2.7 Parameter Fitoremediasi

Tanaman yang dapat dijadikan sebagai bioakumulator adalah tanaman yang memiliki nilai faktor biokonsentrasi dan translokasi lebih dari 1. Nilai biokonsentrasi yang dapat dikategorikan tinggi adalah jika nilainya lebih dari 2. Kemudian, tanaman dapat dikategorikan sebagai tanaman fitostabilizer jika nilai dari faktor biokonsentrasi lebih dari 1 dan faktor translokasi kurang dari 1. Jika nilai dari biokonsentrasi kurang dari 1 dan nilai faktor translokasi lebih dari 1 maka tanaman tersebut dapat dikategorikan sebagai tanaman fitoekstraktor (Mellem, dkk., 2012; Sopyan, dkk., 2014; Usman, dkk., 2013).

2.6.1 *Bioconcentration Factor (BCF)*

Biokonsentrasi adalah suatu kondisi di mana konsentrasi polutan di lingkungan mengalami peningkatan sehingga kadar polutan tersebut berada di atas kadar normal yang diperbolehkan (Puspitasari, 2007). Biokonsentrasi faktor adalah nilai hitung yang menunjukkan kemampuan dari tanaman bahwa tanaman tersebut mampu menghilangkan logam dari substrat. Biokonsentrasi faktor hanya dapat diukur jika senyawa atau bahan kimia sengaja dimasukkan agar diserap oleh tanaman dalam kondisi laboratorium di bawah pengawasan atau kontrol (Arnot dan Gobas, 2006; Takarina dan Pin, 2017). 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).

$$BCF = \frac{C_{organisme}}{C_{air\ awal}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana, $C_{organisme}$ adalah konsentrasi logam berat dalam organisme (mg/kg) dan C_{air} adalah konsentrasi logam berat dalam air (mg/L) (Zayed, dkk., 1998).

2.6.2 *Bioaccumulation Factor (BAF)*

Bioakumulasi merupakan proses di mana bahan-bahan kimia dalam tubuh organisme mengalami peningkatan konsentrasi. Peningkatan konsentrasi tersebut disebabkan oleh proses penyerapan bahan kimia oleh tubuh lebih besar. Peningkatan konsentrasi bahan kimia tersebut terjadi secara alami dalam artian diikuti perpindahan dalam rantai makanan yaitu dari lingkungan menuju ke

organisme pertama (Mader, 1996; Arnot dan Gobas, 2006). Proses bioakumulasi lebih luas dibanding dengan biokonsentrasi. Bioakumulasi berasal dari berbagai sumber seperti udara, makanan, air dan lainnya. BAF dapat dihitung dengan Persamaan 2.4.

$$BAF = \frac{C_{organisme}}{C_w} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana, BAF = Faktor bioakumulasi

$C_{organisme}$ = Konsentrasi kimia dalam organisme

C_w = konsentrasi kimia dalam air

2.6.3 *Translocation Factor (TF)*

Faktor translokasi adalah suatu nilai hitung yang digunakan untuk menilai apakah tanaman yang berkaitan dapat digunakan sebagai tanaman akumulator (Takarina dan Pin, 2017). 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 2.5 (Barman, dkk., 2000).

$$TF = \frac{BCF \text{ tunas}}{BCF \text{ akar}} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.6.4 *Fitoremediation (FTD)*

Fitoremediasi yang baik adalah jika nilai BCF lebih besar dibandingkan dengan nilai TF. Nilai FTD suatu tumbuhan didapatkan dari selisih nilai BCF dan TF (Yoon, dkk., 2006) seperti yang terlihat pada persamaan 2.6.

$$\text{FTD (Fitoremidiasi)} = \text{BCF} - \text{TF} \dots \dots \dots (2.6)$$

2.8 Aklimatisasi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*)

Aklimatisasi merupakan masa penyesuaian suatu tanaman kepada lingkungan hidupnya yang baru. Masa aklimatisasi sering disebut dengan masa kritis. Hal tersebut karena sebelumnya tanaman berada pada lingkungan yang semestinya dan dalam kondisi yang baik-baik saja. Ketika 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 ex-situ akan bergantung pada proses aklimatisasi.

Aklimatisasi pada tanaman Genjer dapat dilakukan melalui beberapa cara:

(i) Proses aklimatisasi dapat dilakukan dengan menggunakan media tanah dalam polybag dan dijaga kelembapannya dengan air (Isa, dkk., 2014). (ii) Proses aklimatisasi tanaman Genjer juga dapat dilakukan dengan menggunakan media air isi ulang dengan penggantian air setiap dua hari sekali dan dipapar pada sinar matahari (Haryati, dkk., 2012). (iii) Proses aklimatisasi tanaman Genjer dapat dilakukan dengan cara menanam Genjer pada reaktor dari ember yang berisi air dan *wetland* (Nadhifah, dkk., 2019). (iv) Proses aklimatisasi tanaman Genjer dapat dilakukan dengan cara memasukkan kerikil dan pasir yang dijadikan sebagai substrat ke dalam bak plastik setinggi 8 cm serta menambahkan ke

dalamnya aquades sebanyak 2,5 L dan setiap dua hari sekali aquades 2,5 L ditambahkan (Priyanti dan Yunita, 2013). Aklimatisasi tanaman Genjer pada saat penelitian dengan tema fitoremediasi dapat dilakukan selama 7 hari. Tujuan dari proses aklimatisasi Genjer dalam skala penelitian adalah untuk menetralkan tanaman Genjer terhadap kondisi umum laboratorium sehingga tumbuhan tetap baik-baik saja dan atau meregenerasi bagian tubuh yang rusak.

2.9 Destruksi Sampel

Destruksi adalah suatu perlakuan memecah senyawa menjadi unsur-unsurnya 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.

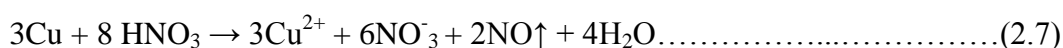
Destruksi basah terbagi menjadi dua sistem yaitu destruksi basah terbuka dan destruksi basah tertutup. Destruksi basah terbuka adalah proses destruksi dengan cara mencampurkan sampel dengan reagen asam yang dipanaskan secara terbuka menggunakan hot plate. Sedangkan, destruksi basah tertutup adalah proses 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 Genjer (*Limnocharis flava*) adalah dengan sistem destruksi basah tertutup metode *microwave digestion*. Destruksi *microwave digestion* menggunakan peralatan *microwave* dalam proses destruksi. Metode destruksi dengan menggunakan *microwave* memiliki beberapa keunggulan antara lain: kualitas dari hasil destruksi lebih tinggi, tidak ada unsur-unsur volatil yang hilang serta waktu yang dibutuhkan untuk proses destruksi relatif lebih singkat yaitu sekitar 20 - 40 menit (Matusiewicz, 2005).

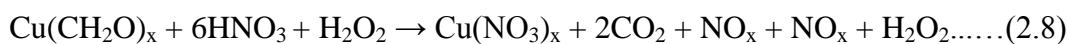
Proses destruksi menggunakan pereaksi asam kuat. Jenis asam kuat yang dapat digunakan sebagai agen pengoksidasi antara lain: asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3), asam peroksida (H_2O_2), asam perklorat (HClO_4), atau campurannya. Destruksi dapat dikatakan sempurna apabila larutan yang diperoleh 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 dapat dilihat pada Persamaan 2.7 (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 dapat dilihat pada Persamaan 2.8.



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.

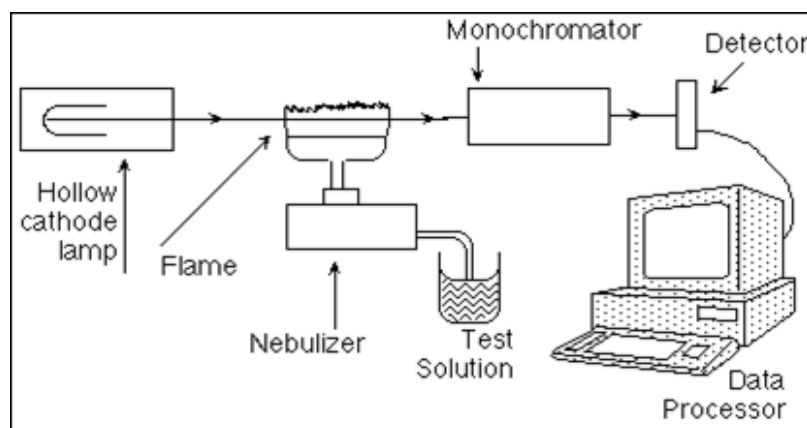
2.10 Analisis Kadar Logam Tembaga (Cu) secara Spektroskopi Serapan Atom

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 pengubahan 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 membakar 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).



Gambar 2. 5 Rangkain instrumen SSA (Gusnila, 2010)

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.

Dari kedua hukum di atas, maka diperoleh Persamaan 2.9 dan 2.10.

$$I_t = I_o \cdot e^{-(\epsilon bc)}, \text{ atau} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$A = -\text{Log} \frac{I_t}{I_o} = \epsilon bc \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana, I_o = intensitas sumber sinar, I_t = intensitas sinar yang diteruskan, ϵ = absortivitas molar, c = konsentrasi, A = absorbansi dan b = panjang medium.

Dari kedua persamaan di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom.

2.11 Two 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*) (Artaya, 2018).

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 two way anova adalah untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dari berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Uji two 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.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus – Oktober 2020 di Laboratorium Kimia Organik dan di Laboratorium Layanan dan Instrumen Jurusan 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, seperangkat *microwave digestion*, oven, mortar, alu, pH universal, aluminium foil, spatula, bola hisap, bak karet, wadah kaca, bak karet, neraca analitik, kertas saring Whatman No.42, seperangkat instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merk varian spektra AA 240 yang dilengkapi lampu katoda tembaga (Cu), reaktor COD, tabung COD.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman hidup Genjer (*Limnocharis flava*) dan air yang diambil dari sawah di daerah Wajak Malang Jawa Timur, padatan Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), HNO_3 (E-merk), H_2O_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2SO_4 , HgSO_4 , Ag_2SO_4 , aquademin.

3.3 Rancangan Penelitian

Sampel Genjer (*Limnocharis flava*) dan air yang telah diambil kemudian diberi perlakuan berupa uji awal yakni uji kadar logam Cu dan pH air. Selanjutnya sampel Genjer (*Limnocharis flava*) ditumbuhkan di dalam bak karet yang berisi dengan air ± 4 liter. Genjer (*Limnocharis flava*) diaklimatisasi selama 10 hari dalam bak karet dengan ditambahkan aquades (Haryati, dkk., 2012). Setelah itu, dilakukan pemaparan sampel Genjer (*Limnocharis flava*) dengan cara menambahkan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi sebesar 3, 5, dan 7 mg/L dengan waktu pemaparan 5, 10 dan 15 hari dalam 1,5 liter aquademin. Selanjutnya, diuji kadar Cu pada biomassa Genjer (*Limnocharis flava*) dan air dengan menggunakan metode destruksi basah tertutup yaitu *microwave digestion*. Analisis kadar Cu dilakukan dengan menggunakan instrumentasi SSA metode kurva standar. Kemudian, hasil yang diperoleh diplotkan pada Tabel 3.1 di mana setiap pengukuran variasi dilakukan pengulangan dua kali. Setelah data didapat dan dihitung, kemudian data dianalisis dengan ANOVA dua arah atau yang biasa disebut *two way ANOVA* dengan metode rancangan acak kelompok (RAK) menggunakan aplikasi IBM SPSS statistik.

Tabel 3. 1 Hasil pengukuran absorbansi

[Cu] (mg/L)	Ulangan	Waktu Pemaparan		
		5	10	15
0	1			
	2			
3	1			
	2			
5	1			
	2			
7	1			
	2			

Tabel 3. 2 Konsentrasi Cu dalam bagian tubuh Genjer

[Cu] (mg/L)	Bagian Tumbuhan	Hari ke-		
		5	10	15
0				
3				
5				
7				

3.4 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap dalam penelitian yang dilakukan ini terdiri dari:

1. Pengambilan sampel tanaman dan air.
2. Analisis awal kadar logam Cu pada sampel tanaman dan air dengan menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).
3. Aklimatisasi sampel tanaman dan kontrol.
4. Pemaparan sampel tanaman dengan larutan logam Cu.
5. Analisis kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*).
6. Destruksi sampel.
7. Analisis kadar logam tembaga (Cu) pada bagian akar dan daun dari Genjer (*Limnocharis flava*).
8. Analisis data.

3.5 Metode Penelitian

3.5.1 Pengambilan Sampel Tanaman dan Air

Sampel Genjer (*Limnocharis flava*) dan air diambil dari sawah di daerah Wajak Malang Jawa Timur. Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) yang diambil yakni secara keseluruhan meliputi akar, batang dan daun dengan kisaran tinggi 10 – 15 cm sebanyak ± 2 kg (Lestari, dkk., 2015). Alat yang digunakan untuk mengumpulkan tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) 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. Selanjutnya, untuk sampel air diambil sebanyak ± 500 mL yang ditempatkan dalam botol dan diasamkan hingga pH 2 dengan HNO₃ 65% (SNI 6989.59:2008).

3.5.2 Aklimatisasi Sampel

Aklimatisasi dilakukan dengan cara memasukkan tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) ke dalam bak karet yang berisi air sebanyak ± 4 liter dan dibiarkan selama 10 hari (Haryati, dkk., 2012). 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 Genjer (*Limnocharis flava*) yang telah diaklimatisasi tersebut kemudian dipilih dengan kriteria sebagai berikut : tanaman memiliki daun yang segar yang berwarna hijau, tinggi, serta masing-masing individu tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) memiliki panjang akar yang relatif seragam (Lestari, dkk., 2015; Oktoviana, 2015).

3.5.3 Preparasi Konsentrasi Larutan Logam Berat Cu

Pembuatan larutan sebagai simulasi limbah yang akan digunakan sebagai larutan pemapar diawali dengan menimbang padatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebesar 3,9 g. Selanjutnya dilarutkan dengan 1000 mL aquademin. Kemudian dari larutan tersebut dibuat larutan tembaga sebesar 1500 mL dengan konsentrasi 3, 5, dan 7 mg/L.

3.5.4 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Cu

Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) yang telah diaklimatisasi kemudian dipindahkan ke dalam wadah kaca. Wadah kaca yang dibutuhkan sebanyak 4 buah. Satu wadah sebagai kontrol yang berisi aquademin dengan Genjer (*Limnocharis flava*). Kemudian 3 wadah lainnya berisi sampel percobaan yakni Genjer (*Limnocharis flava*) dan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi sebesar 3, 5, dan 7 mg/L. Pengamatan dan pengukuran sampel Genjer (*Limnocharis flava*) dan larutan ion tembaga dilakukan pada hari ke-5, 10 dan 15 sejak dilakukan proses pemaparan (Lestari, dkk., 2015 ; Oktoviana, 2015). Proses pemaparan untuk setiap konsentrasi dan waktu pemaparan dilakukan sebanyak dua kali.

3.5.5 Analisis Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) (SNI 6989.2:2009)

Diambil contoh uji sebanyak 2,5 mL dan dimasukkan ke dalam tabung. kemudian ditambahkan 1,5 mL digestion solution dan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat. Ditungkap tabung dihomogenkan secara perlahan. Selanjutnya dimasukkan tabung pada reactor COD dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu 150°C. Setelah itu, didinginkan sampel sampai suhu ruang. Selanjutnya, diukur

menggunakan spektrofotometer UV pada panjang gelombang 400 nm. Dilakukan langkah di atas untuk blanko juga.

3.5.6 Destruksi Sampel

Sampel setelah dipapar dengan 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. Sampel yang sudah dipreparasi selanjutnya dapat didestruksi menggunakan metode destruksi basah tertutup.

Destruksi basah tertutup yang digunakan adalah dengan metode destruksi *microwave digestion*. Setelah sampel ditimbang sebesar 0,25 gram kemudian dimasukkan ke dalam vessel. Setelah itu ditambahkan reagen berupa 7 mL HNO₃ + 1 mL H₂O₂ 30%. Selanjutnya vessel ditutup dan diatur suhu dan tekanan sesuai dengan metode serta diklik tombol mulai. Tunggu hingga proses destruksi selesai. Setelah selesai biarkan hingga suhu turun terlebih dahulu baru kemudian dibuka tutup vessel. Hasil dari proses destruksi kemudian disaring menggunakan kertas saring.

3.5.7 Analisis Tembaga (Cu) pada Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) pada Instrumen SSA

Semua sampel hasil destruksi diambil dan didinginkan. Hal pertama yang harus dilakukan adalah larutan baku standar CuSO₄.5H₂O 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

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 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Larutan yang telah diambil tersebut kemudian dimasukkan dalam labu takar 50 mL dan ditandabatkan menggunakan HNO_3 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).

Instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang digunakan dilengkapi dengan lampu katoda tembaga (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 batang dan daun dari Genjer (*Limnocharis flava*) dengan variasi konsentrasi 3, 5, dan 7 mg/L dengan variasi waktu 5, 10 dan 15 hari diukur dan hasilnya diplotkan. Kemudian, dihitung konsentrasi untuk setiap bagian dari tanaman. Setiap pengukuran variasi dilakukan pengulangan dua 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 Genjer

(*Limnocharis flava*), dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3 (Anning, dkk., 2013; Caroline dan Moa, 2015; Mahardika, dkk., 2018).

$$\text{Persen Cu terserap} = \frac{[\text{Cu awal}] - [\text{Cu tersisa dalam air}]}{[\text{Cu awal}]} \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

Kadar logam Cu pada Genjer (*Limnocharis flava*) dalam bentuk biomassa berbeda dengan kadar logam Cu dalam bentuk larutan. Untuk menghitung kadar logam Cu dalam bentuk biomassa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.4.

$$\text{Kadar logam Cu } \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = \frac{b \times v \text{ (L)}}{m \text{ (Kg)}} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana, 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 Genjer dalam mengakumulasi logam dapat dihitung nilai *Bioconcentration factor* (BCF) nya seperti yang tertulis pada Persamaan 3.5 (Zayed, dkk., 1998).

$$\text{BCF} = \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{air}}} \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana, $C_{\text{organisme}}$ = konsentrasi logam berat dalam organisme sesudah pemaparan (mg/Kg).

C_{air} = konsentrasi logam berat dalam air sesudah pemaparan (mg/L).

Menurut Baker (1981), terdapat beberapa kategori pada perhitungan BCF yaitu:

1. $\text{BCF} > 1$: Tumbuhan akumulator (Tumbuhan menyerap logam).
2. $\text{BCF} = 1$: Tumbuhan indikator (Tumbuhan mentoleransi keberadaan logam).
3. $\text{BCF} < 1$: Tumbuhan excluder (Tumbuhan tidak menyerap logam).

Nilai hitung untuk menentukan perpindahan konsentrasi logam berat dari akar menuju ke bagian lainnya (daun maupun batang) dari suatu tumbuhan dapat dihitung nilai *Translocation factor* (TF) nya menggunakan Persamaan 3.6.

$$TF = \frac{BCF \text{ tunas}}{BCF \text{ akar}} \dots\dots\dots(3.6)$$

Menurut Majid, dkk., (2014), kategori TF dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. $TF > 1$: Tumbuhan dengan mekanisme fitoekstraksi.
2. $TF < 1$: Tumbuhan dengan mekanisme fitostabilisasi.

Nilai fitoremediasi (FTD) dari suatu tumbuhan didapatkan melalui selisih antara nilai BCF dan TF yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.7 (Yoon, dkk., 2006).

$$FTD \text{ (Fitoremediasi)} = BCF - TF \dots\dots\dots(3.7)$$

Menurut Yoon, dkk. (2006), kategori kriteria untuk nilai FTD dibagi menjadi 2 yaitu:

1. $FTD > 0$: Tumbuhan berpotensi sebagai agen fitoremediasi.
2. $FTD < 0$: Tumbuhan tidak berpotensi sebagai agen fitoremediasi.

Sehingga dari kriteria di atas dapat dikatakan bahwa fitoremediasi akan maksimal jika nilai BCF lebih tinggi daripada TF.

Langkah yang selanjutnya adalah data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan *two way* ANOVA metode rancangan acak kelompok (RAK) menggunakan aplikasi IBM SPSS statistik dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan logam.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) yang diambil dari Wajak Malang tepatnya di desa Blayu. Teknik pengambilan sampel menggunakan *non probability sampling* yaitu *accidental sampling*. *Accidental sampling* adalah metode pengambilan sampel berdasarkan pada sampel yang ada. Pengambilan sampel dilakukan pada satu titik agar karakteristik fisik dari sampel tidak jauh berbeda antara satu dengan yang lainnya.

Proses pengambilan sampel air dilakukan pada air sawah dengan cara menggunakan gelas plastik yang kemudian disaring dan dimasukkan ke dalam wadah kaca yang bening. Setelah itu, sampel air ditambah dengan HNO₃ pekat hingga pH dari air ≤ 2 . Hal ini bertujuan untuk mengawetkan sampel yakni menjaga kelarutan logam agar tidak mengendap serta mengurangi adsorpsi sampel ke dinding wadah terhadap komponen yang akan dianalisis (Kumar, 2015).

4.2 Uji Konsentrasi Awal Pada Sampel Genjer dan Air

Uji konsentrasi awal pada sampel Genjer dan air dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah di dalam sampel sudah terdapat logam Cu atau belum. Uji konsentrasi awal pada Genjer dan air dilakukan dengan menggunakan instrumen SSA, dimana sampel genjer dikeringkan terlebih dahulu dengan oven. Kemudian dipisahkan antara akar, batang dan daun. Setelah itu, ditimbang dan didestruksi menggunakan *microwave digestion*. Destruksi menggunakan

microwave digestion bertujuan untuk memutus senyawa organik yang awalnya berikatan dengan logam sehingga logam tersebut terlepas dan membentuk senyawa anorganiknya. Alasan utama pemilihan proses destruksi menggunakan *microwave digestion* adalah karena metode ini lebih cepat dan aman. Selain itu, karena prinsip kerja dari *microwave digestion* ini sendiri, yaitu *microwave digestion* tersebut dalam pengaplikasiannya memanfaatkan energi radiasi elektromagnetik dengan tipe frekuensi mencapai 2450 MHz untuk menghasilkan panas sehingga ketika diradiasi oleh energi gelombang mikro, molekul polar dan ion energi akan didapat melalui mekanisme rotasi dipol. Kemudian energi radiasi tersebut akan diserap oleh media dan molekul sampel yang dapat meningkatkan reaksi kimia sehingga sampel akan terdekomposisi lebih cepat. Selanjutnya, karena terjadi pemanasan internal secara lokal yang dapat menyebabkan ledakan maka harus dilakukan penambahan asam, dimana asam tersebut akan dapat menyerap radiasi gelombang mikro pada tingkat yang lebih rendah. Asam yang ditambahkan tersebut akan larut dengan sampel logam dan memutus senyawa organik yang sebelumnya berikatan dengan logam tersebut (Hu dan Qi, 2014).

Proses destruksi sampel harus sesuai dengan buku petunjuk penggunaan alat. Destruksi sampel dengan jenis tanaman disarankan menggunakan pengoksidasi berupa asam nitrat pekat dan asam peroksida. Proses destruksi menggunakan *microwave digestion* berlangsung secara bertahap dengan total keseluruhan selama 25 menit. Tahapan pertama yaitu selama 10 menit, dimana suhu akan naik sampai 110°C dengan tekanan mencapai 0,3 MPa. Kemudian tahapan yang kedua yaitu selama 5 menit, dimana suhu akan naik lagi hingga mencapai 150°C dengan tekanan mencapai 0,7 MPa. Setelah itu tahapan yang

ketiga atau terakhir yaitu suhu dan tekanan akan naik lagi hingga mencapai 180°C dengan tekanan 1,3 MPa. Setelah proses destruksi selesai, alat akan berhenti secara otomatis dan terjadi proses *cooling down* yaitu proses penurunan suhu. Setelah suhu mencapai $\leq 60^\circ\text{C}$ sampel diambil, disaring agar larutan terpisah dengan sisa destruksi atau suspensi.

Langkah selanjutnya setelah proses destruksi selesai yaitu sampel diuji dengan menggunakan instrumen SSA. Berdasarkan Tabel 4.1 konsentrasi Cu pada sampel Genjer baik pada bagian akar, batang maupun daun sebelum perlakuan sudah mengandung logam Cu dengan urutan konsentrasi terbesar akar > batang > daun. Kemudian konsentrasi Cu pada air sawah adalah sebesar 0 ppm. Hal tersebut menunjukkan bahwa air pada sawah di daerah wajak belum tercemar oleh logam Cu atau sudah tercemar akan tetapi dalam konsentrasi yang rendah yang kemudian diserap oleh tanaman Genjer.

Tabel 4. 1 Konsentrasi Cu pada tanaman Genjer

Sampel	Konsentrasi Cu (mg/Kg)
Akar	56,1456
Batang	17,7392
Daun	7,0832

4.3 Aklimatisasi Tanaman Genjer

Aklimatisasi secara sederhana dapat diartikan sebagai masa adaptasi atau masa penyesuaian. Tanaman Genjer yang berasal dari Wajak Malang yang berperan sebagai objek penelitian diaklimatisasi terlebih dahulu dengan tujuan agar dapat beradaptasi dengan lingkungan baru yaitu laboratorium. Sampel Genjer ditempatkan pada wadah bak plastik yang sudah berisi air. Proses aklimatisasi dilakukan di dekat jendela laboratorium dengan tujuan agar terkena cukup sinar

matahari. Aerator ditambahkan saat aklimatisasi dengan tujuan sebagai penambah oksigen serta pengurang bau busuk pada air. Aklimatisasi dilakukan selama 10 hari dengan rincian setiap 2 hari sekali dilakukan penggantian air. Setelah 10 hari, terdapat tunas baru yang tumbuh dengan sisa air sedikit keruh. Aklimatisasi dikatakan berhasil jika terdapat tunas baru yang tumbuh dan tanaman terlihat segar berwarna hijau.

Tabel 4. 2 Konsentrasi Cu pada Tanaman Genjer Setelah Aklimatisasi

Sampel	Konsentrasi Cu (mg/Kg)
Akar	65,0928
Batang	30,4848
Daun	13,0736

Sampel Genjer dan air yang telah diaklimatisasi juga diuji kandungan logam Cu dengan menggunakan instrumen SSA dengan tujuan untuk mengetahui apakah sampel setelah aklimatisasi masih mampu meremediasi logam tembaga. Konsentrasi Cu pada air setelah aklimatisasi adalah sebesar 0 ppm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemungkinan besar Cu yang terkandung pada air saat aklimatisasi telah terserap oleh tanaman Genjer sehingga konsentrasi Cu pada tanaman Genjer naik baik pada bagian akar, batang maupun daun. Hal ini sesuai dengan penelitian (Farobi, 2019) yang menyatakan bahwa konsentrasi timbal pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* setelah aklimatisasi mengalami peningkatan yang menandakan bahwa selama proses aklimatisasi, tumbuhan tersebut masih mampu meremediasi logam timbal. Konsentrasi logam Cu pada tanaman Genjer setelah aklimatisasi disajikan pada Tabel 4.2.

4.4 Penentuan Konsentrasi Cu pada Sampel Tanaman Genjer setelah Pemaparan

Penentuan konsentrasi Cu pada sampel tanaman Genjer dapat dilakukan dengan cara pemaparan sampel menggunakan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ terlebih dahulu. Perlakuan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tanaman Genjer dalam meremediasi logam Cu pada media air serta penyimpanannya pada setiap bagian tanaman. Pemaparan sampel dengan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dilakukan dengan dua variasi yaitu variasi konsentrasi yang meliputi 3, 5, dan 7 ppm serta variasi waktu pemaparan yaitu, 5, 10, dan 15 hari. Tanaman Genjer yang digunakan sebagai sampel diambil dari titik yang sama dengan berat yang sama. Proses pemaparan sampel tanaman Genjer dengan larutan logam dilakukan dengan bantuan aerator.



Gambar 4. 1 Tanaman Genjer saat pemaparan

Pemaparan yang dilakukan dengan berbagai variasi tersebut menyebabkan perubahan fisik pada tanaman Genjer. Perubahan yang terjadi meliputi daun dan batang yang terlihat menguning seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Meskipun demikian, tanaman Genjer yang dipapar tersebut tetap tumbuh tunas baru. Hal

tersebut menunjukkan bahwa tanaman Genjer mampu bertahan hidup pada air yang sudah tercemar logam dengan konsentrasi yang rendah.

Konsentrasi tembaga (Cu) yang terkandung dalam tanaman Genjer dianalisis menggunakan instrumentasi SSA. Tanaman Genjer terlebih dahulu dikeringkan dalam oven dengan tujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung di dalamnya. Selanjutnya dipisahkan antara akar, batang dan daun. Kemudian dihaluskan dan dilakukan destruksi pada masing-masing bagian menggunakan *microwave digestion*. Proses destruksi dilakukan dengan terlebih dahulu menambahkan asam nitrat pekat dan asam peroksida ke dalam sampel. Adanya tekanan dan 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

Hasil destruksi selanjutnya dianalisis menggunakan SSA dengan metode kurva standar, dimana terlebih dahulu dibuat larutan standar Cu dengan beberapa variasi konsentrasi yang kemudian dianalisis dengan SSA. Hasil konsentrasi yang diperoleh pada setiap bagian tanaman Genjer dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Konsentrasi Cu pada tanaman Genjer setelah pemaparan

Variasi Konsentrasi Cu (ppm)	Variasi Waktu Pemaparan (hari)	Konsentrasi Cu (mg/Kg BK)		
		Akar	Batang	Daun
0	5	73,0624	35,2800	17,1168
3	5	389,0352	85,6480	30,0224
5	5	401,9408	261,2320	16,5808
7	5	405,4928	110,5774	30,3696
0	10	50,5344	30,5152	15,0336
3	10	396,2448	111,8448	72,4512
5	10	393,6352	438,7744	412,6832
7	10	462,8432	437,6304	441,2672
0	15	50,3776	29,5552	15,6224
3	15	438,8288	103,4448	39,4752
5	15	447,6928	330,5408	134,7632
7	15	460,5328	437,1952	452,3376

Keterangan: BK = Berat Kering

warna kuning; konsentrasi tertinggi pada setiap bagian tanaman

Berdasarkan pada Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa akar mengakumulasi logam Cu lebih besar dibanding batang dan daun. Hal tersebut sesuai dengan (Rachmadiarti, dkk., 2012) yang menyatakan bahwa Genjer mampu menyerap logam timbal pada bagian akar, batang maupun daun dengan penyerapan paling tinggi terdapat di bagian akar. Selain itu, menurut Priyanti dan Yunita (2012) menyatakan bahwa Genjer mampu menyerap logam Fe pada bagian akar sebesar 9,54 ppm, batang sebesar 2,92 ppm dan daun 0,87 ppm sedangkan untuk logam Mn pada akar adalah 3,11 ppm, batang sebesar 0,92 ppm dan daun 0,6 ppm. Hal tersebut menandakan bahwa logam paling tinggi diserap oleh akar. Tingginya konsentrasi Cu pada akar dikarenakan akar merupakan jalan utama proses masuknya Cu ke jaringan lain. Pernyataan tersebut sesuai dengan (Ratnawati dan Fatmasari, 2018) yang menyatakan bahwa jaringan akar merupakan jaringan yang memiliki interaksi langsung dengan media yang tercemar Pb sehingga konsentrasi Pb cenderung lebih tinggi dibanding batang maupun daun.

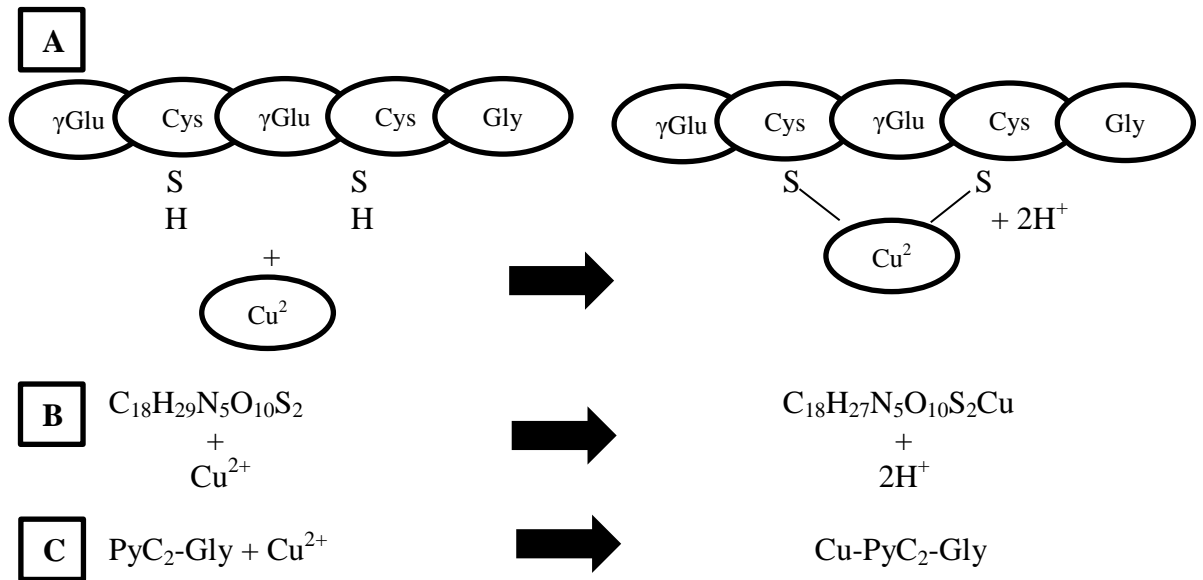
Akumulasi logam Cu oleh tanaman Genjer pada penelitian ini lebih tinggi dibanding konsentrasi logam Cu yang dibuat pada air limbah. Hal tersebut disebabkan oleh tanaman Genjer yang digunakan sebagai pemaparan sebelumnya telah mengandung logam Cu yang diduga berasal dari limbah domestik seperti pupuk dan pestisida sintetik yang digunakan. Hal tersebut sesuai dengan (Yanova, 2016) yang menyatakan bahwa keamanan bahan pangan dapat terancam karena penggunaan pupuk dan pestisida sintetik pada aktivitas pertanian. Penggunaan pupuk baik pupuk kandang, pupuk sintetik maupun pestisida (insektisida dan fungisida) adalah sumber utama kontribusi logam Cu pada tanah maupun tanaman. Zaitun, dkk. (2009) menyatakan bahwa pupuk kandang yang berasal dari kotoran sapi segar mengandung logam Cu sebesar 22,333 ppm. Kemudian salah satu jenis pupuk yang mengandung Cu adalah pupuk MerokeMIKRO dengan kandungan Cu sebesar 15%. Selanjutnya, salah satu contoh pestisida yang sering digunakan dan mengandung Cu adalah pestisida jenis fungisida KOCIDE 54 WG dengan kandungan Cu sebesar 54%.

Tanaman Genjer dengan perlakuan konsentrasi 0 ppm memperlihatkan adanya penyerapan logam Cu meskipun dengan nilai yang naik turun pada variasi waktu pemaparan. Adanya logam Cu pada tanaman dengan konsentrasi 0 ppm dikarenakan sebelumnya tanaman Genjer tersebut telah menyerap logam Cu dengan penyerapan berbeda pada setiap batang tanaman. Hal tersebut sesuai dengan (Ratnawati dan Fatmasari, 2018) dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa adanya logam Pb pada tanaman jengger ayam dan lidah mertua pada konsentrasi 0 ppm (kontrol) terjadi karena adanya proses penyerapan Pb pada media sebelumnya.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yakni akumulasi tertinggi yang terdapat pada setiap perlakuan untuk bagian akar terjadi pada variasi konsentrasi 7 ppm selama 10 hari dengan nilai sebesar 462,8432 mg/Kg BK atau setara dengan 14,4639 ppm. Kemudian untuk bagian batang yang tertinggi terjadi pada variasi konsentrasi 5 ppm selama 10 hari yakni sebesar 438,7744 mg/Kg atau setara dengan BK 13,7117 ppm. Selanjutnya, pada bagian daun akumulasi tertinggi terjadi pada variasi konsentrasi 7 ppm selama 15 hari dengan nilai konsentrasi mencapai 452,3376 mg/Kg BK atau setara dengan 14,1356 ppm. Tingginya konsentrasi Cu pada batang dengan konsentrasi 5 ppm dibanding 7 ppm disebabkan karena pada perlakuan 7 ppm terdapat beberapa bagian batang yang mengalami gejala nekrosis dan klorosis yang menyebabkan batang tersebut menguning dan mati. Hal tersebut sesuai dengan (Baroroh, dkk., 2018) yang menyatakan bahwa konsentrasi Cu pada akar tanaman *Pistia stratiotes* dengan perlakuan 2 ppm lebih tinggi dibanding 5 ppm. Sedangkan seharusnya konsentrasi 5 ppm dari akar tersebut lebih tinggi dibanding 2 ppm. Terjadinya fenomena tersebut disebabkan karena pada perlakuan 5 ppm terlihat banyak akar-akar yang putus sehingga mempengaruhi proses penyerapan logam berat Cu.

Semakin tinggi konsentrasi Cu pada air maka akumulasi logam Cu dalam tanaman juga akan semakin besar. Tanaman Genjer 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 Genjer 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 Genjer membentuk senyawa pengikat yang disebut fitokelatin.



Gambar 4. 3 Perkiraan struktur senyawa kompleks Cu-fitokelatin berdasarkan (Dennis, dkk., 2019). A. fitokelatin membentuk kompleks dengan logam Cu^{2+} . B. contoh rumus molekul pada PyCDB untuk dasar fitokelatin2-glisin dengan dan tanpa terikat logam. C. contoh nama dasar fitokelatin.

Fitokelatin merupakan sebuah kelator logam berat yang ditemukan pada tumbuhan, jamur dan semua kelompok alga. Fitokelatin mampu dideteksi pada jaringan tanaman apabila tanaman tersebut terpapar jejak logam. Fitokelatin berfungsi sebagai detoksifikasi. Fitokelatin akan membentuk senyawa kompleks berupa logam-fitokelatin dari berbagai macam logam salah satunya adalah Cu (Gupta, dkk.,2013). Struktur senyawa Cu-fitokelatin diduga seperti pada Gambar 4.3.

Berdasarkan pada Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa Fitokelatin merupakan ligan peptida yang mengandung asam amino sistein di pusat molekul serta asam glutamat dan sebuah glisin pada ujung yang berlawanan. Ketiga

gambar tersebut saling berkaitan. Seperti yang terlihat pada Gambar (A) dan (B) bahwa fitokelatin ketika bertemu dengan logam seperti Cu akan bereaksi membentuk senyawa kompleks Cu-fitokelatin. Cu pada penelitian ini memiliki bilangan oksidasi +2 yang kemudian berikatan dengan gugus tiol yang berasal dari sistein. Fitokelatin tersebut akan melepas $-H$ milik gugus tiol pada sistein. Selanjutnya pada Gambar (C) terlihat bahwa fitokelatin yang berikatan dengan logam berat seperti Cu awalnya memiliki rantai pendek sesuai dengan konsentrasi dari logam tersebut. Kemudian semakin tinggi konsentrasi dari logam berat yang bertemu dengan fitokelatin maka rantai peptida yang membentuk senyawa fitokelatin akan bertambah panjang hingga $n=11$.

Fitokelatin dibentuk di dalam nukleus yang kemudian melewati retikulum endoplasma (RE), aparatus golgi, vasikula sekretori untuk sampai ke permukaan sel. Apabila fitokelatin tersebut bertemu dengan logam Cu atau logam berat lainnya maka fitokelatin tersebut akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks sehingga Cu atau logam lainnya akan terbawa menuju jaringan tumbuhan (Salisbury dan Ross, 2015).

4.5 Penentuan Persen Penurunan (Teremediasi) Logam Cu oleh Tanaman Genjer

Genjer adalah tumbuhan makrofit yang mampu meremediasi limbah organik maupun anorganik secara optimal. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar Genjer mampu meremediasi atau menurunkan kadar logam Cu pada beberapa variasi konsentrasi dan waktu pemaparan yang digunakan. Kemampuan tanaman Genjer dalam meremediasi logam Cu dapat

diketahui dengan menghitung nilai persen teremdiasinya. Persen teremediasi logam Cu oleh tanaman Genjer dari berbagai variasi konsentrasi dan waktu pemaparan disajikan pada Tabel 4.4. Tabel 4.4 tersebut menunjukkan bahwa penyerapan secara maksimal terjadi pada variasi konsentrasi 3 ppm dengan waktu pemaparan selama 5 hari dengan nilai Cu yang teremediasi sebesar 95,83% yang artinya pada konsentrasi 3 ppm selama 5 hari Cu yang teremediasi rata-rata sebanyak 2,8756 ppm. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman Genjer 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 dua kali pengulangan. Kemudian dari keseluruhan nilai persen teremediasi, semakin tinggi konsentrasi dan lama waktu pemaparan maka semakin rendah nilai dari persen penurunan. Turunnya nilai persen teremediasi tersebut disebabkan oleh tanaman yang sudah jenuh terhadap ion logam (Oktoviana, dkk., 2015). Penurunan persen teremediasi Cu oleh tanaman Genjer juga dapat disebabkan oleh terganggunya reaksi kimia yang terjadi pada tanaman yang menimbulkan kerusakan pada tanaman. Nekrosis dan klorosis adalah tanda dari rusaknya sel tanaman (Haryati, dkk., 2012). Gejala nekrosis dan klorosis pada penelitian ini dapat teramati pada waktu pemaparan memasuki hari ke-3 yang ditandai dengan menguningnya daun Genjer. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa setiap pencemaran dapat mengakibatkan terganggunya proses pertumbuhan dan produksi tanaman yang kemudian akan diikuti oleh gejala yang tampak (*visible symptoms*) (Oktoviana, dkk., 2015).

Tabel 4. 4 Persen logam Cu teremediasi oleh tanaman Genjer

Variasi Konsentrasi Cu (ppm)	Variasi Waktu Pemaparan (hari)	Cu sisa (ppm)	Cu teremediasi (%)
3	5	0,1253	95,83
5	5	0,5555	88,89
7	5	0,4439	93,66
3	10	0,9288	69,04
5	10	1,4912	70,18
7	10	0,7465	89,34
3	15	1,7839	40,54
5	15	1,1644	76,72
7	15	2,2596	67,72

Keterangan: warna kuning persen teremediasi tertinggi
warna hijau persen teremediasi terendah

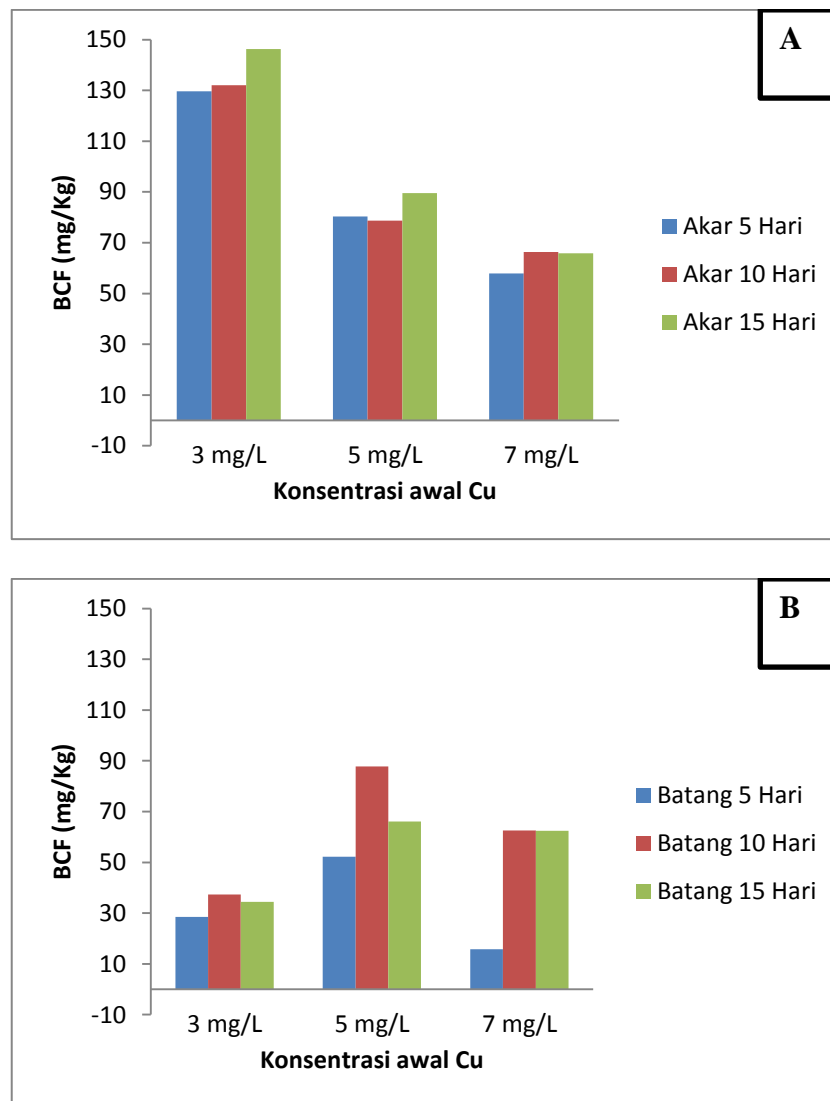
4.6 Parameter Fitoremediasi

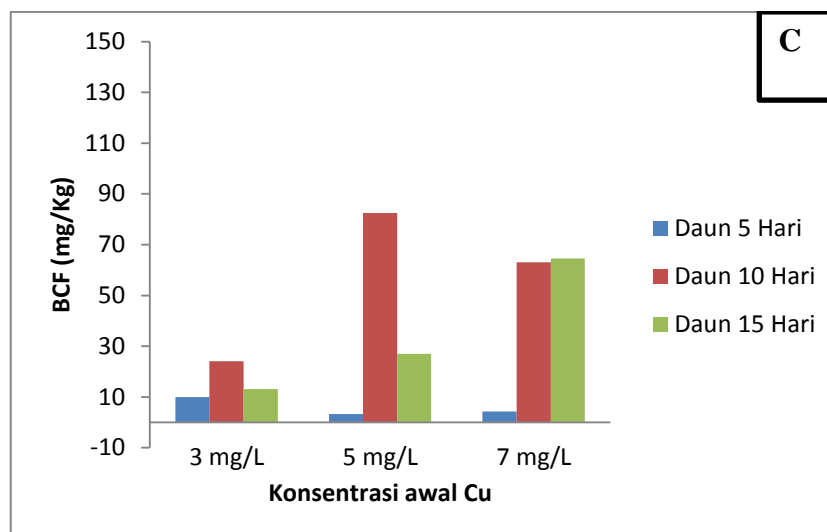
Fitoremediasi secara sederhana dapat diartikan sebagai kegiatan penghilangan atau pengurangan polutan pada air maupun tanah menggunakan bantuan tanaman. Tanaman dapat dikatakan sebagai agen fitoremediasi jika memenuhi beberapa kriteria yang telah ditentukan. Penelitian ini menggunakan tiga parameter fitoremediasi sebagai kriteria meliputi *Bioconcentration Factor* (BCF), *Translocation Factor* (TF), dan *Phytoremediation* (FTD).

4.6.1 *Bioconcentration Factor* (BCF)

Setiap tanaman mampu mengakumulasi logam berat. Akan tetapi tidak semua jenis tanaman dikategorikan sebagai agen fitoremediasi. Kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam berat dapat diukur dengan parameter BCF. Secara sederhana, BCF merupakan perbandingan antara konsentrasi logam yang terdapat pada tanaman dengan konsentrasi logam yang terdapat pada media tumbuh yaitu air. Menurut Zayed, dkk., (1998) menyatakan bahwa BCF

digunakan untuk menentukan indeks akumulasi logam pada setiap bagian tanaman yang kemudian dihitung berdasarkan pada berat kering masing-masing tunas. Karena perhitungan nilai BCF didasarkan pada berat kering, maka sampel terlebih dahulu dikeringkan baru kemudian didestruksi menggunakan *microwave digestion*. Pada percobaan ini, analisis dilakukan di setiap bagian tanaman Genjer dengan berbagai variasi konsentrasi. Gambar 4.4 adalah hasil penentuan BCF akar pada variasi konsentrasi dan waktu pemaparan.





Gambar 4. 4 Nilai BCF variasi konsentrasi dan waktu pemaparan pada akar (a), batang (b), dan daun (c)

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai BCF akar tertinggi yang diperoleh pada setiap variasi terdapat pada akar dengan variasi konsentrasi 3 ppm dan waktu pemaparan selama 15 hari. Nilai BCF akar dari setiap variasi cenderung mengalami penurunan. Selanjutnya, nilai BCF pada batang tertinggi pada setiap variasi terdapat pada batang dengan variasi konsentrasi 5 ppm dan waktu pemaparan selama 10 hari. Kemudian pada bagian daun, nilai BCF tertinggi pada konsentrasi 5 ppm dan waktu pemaparan selama 10 hari.

4.6.2 *Translocation Factor* (TF)

Secara sederhana, translokasi dapat diartikan sebagai perpindahan komponen dari tempat satu ke tempat yang lain. *Translocation factor* atau faktor translokasi adalah suatu nilai yang digunakan untuk menentukan perpindahan logam dari bagian tanaman satu ke bagian tanaman yang lain. Selain itu, *Translocation factor* digunakan untuk menentukan kategori tanaman akumulator.

Nilai TF yang diperoleh pada penelitian ini bervariasi yakni >1 dan <1 seperti yang terlihat pada Tabel 4.5. Akan tetapi, nilai TF <1 lebih dominan. Nilai TF tertinggi diperoleh pada TF batang/akar dengan variasi konsentrasi 5 ppm dan waktu pemaparan selama 10 hari. Nilai TF diperoleh dengan cara membandingkan konsentrasi pada tunas yaitu daun atau batang dengan batang atau akar (Sulaiman dan Hamzah, 2018). Nilai TF yang diperoleh pada penelitian ini adalah <1 sehingga tanaman Genjer dikategorikan sebagai tanaman agen fitoremediasi dengan mekanisme fitostabilisasi. Hal tersebut sesuai dengan (Rachmadiarti, dkk., 2012) yang melaporkan bahwa pada penelitiannya yang menggunakan tanaman Genjer sebagai agen fitoremediasi timbal, nilai TF yang diperoleh <1 yakni 0,32 pada konsentrasi timbal 5 ppm sehingga tanaman tersebut masuk dalam kategori tanaman fitostabilizer.

Tabel 4. 5 Nilai TF pada tanaman Genjer

Variasi Konsentrasi (mg/L)	Variasi waktu Pemaparan (hari)	TF		
		Daun/akar	Daun/batang	Batang/akar
3	5	0,0772	0,3505	0,2202
5	5	0,0413	0,0635	0,6499
7	5	0,0749	0,2747	0,2727
3	10	0,1828	0,6478	0,2823
5	10	1,0484	0,9405	1,1147
7	10	0,9534	1,0083	0,9455
3	15	0,0900	0,3816	0,2357
5	15	0,3010	0,4077	0,7383
7	15	0,0772	0,3505	0,2202

Keterangan: warna kuning: nilai TF tertinggi

4.6.3 Fitoremediation (FTD)

Fitoremediasi yang baik adalah jika nilai $BCF > TF$. Ketika nilai BCF lebih tinggi dibanding dengan TF maka proses fitoremediasi akan berjalan secara

maksimal. Nilai FTD didapat dengan hasil pengurangan atau selisih nilai BCF dengan TF. Pada penelitian ini diperoleh nilai $FTD > 0$ seperti yang tersaji pada tabel L.3.10. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman Genjer berpotensi sebagai agen fitoremediasi (Yoon, dkk., 2006).

Tujuan dari tumbuhan untuk dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi dapat dicapai dengan tiga parameter yaitu BCF, TF dan FTD. Berdasarkan pada nilai BCF, TF dan FTD yang diperoleh yakni nilai $BCF > 1$, $TF < 1$ dan $FTD > 0$. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman Genjer masuk dalam kategori tanaman akumulator yang dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi dengan mekanisme penyerapan fitostabilisasi (*fitostabilizer*) atau secara sederhananya tanaman genjer ketika menyerap logam akan disimpan lebih banyak di akar dengan sedikit kemungkinan mentranslokasikannya ke bagian yang lain (Majid, dkk., 2014; Mellem, dkk., 2012; Yoon, dkk., 2006).

4.7 Analisis Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical oxygen demand atau yang biasa disebut COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai bahan organik yang ada di dalam air secara kimiawi. Nilai COD dinyatakan dalam satuan ppm atau mg/L. Pengujian COD digunakan untuk menentukan kualitas air dengan cara mengukur oksigen dari bahan organik yang dapat dioksidasi secara kimiawi dengan menggunakan dikromat pada larutan asam.

Besarnya angka COD di dalam air menandakan bahwa keberadaan zat organik di dalam air dalam jumlah yang besar. Zat-zat organik tersebut akan mengubah oksigen menjadi karbondioksida dan air sehingga perairan akan

kekurangan oksigen. Semakin tinggi nilai COD dari air, maka kualitas air tersebut akan semakin rendah dan jumlah oksigen terlarut semakin rendah.

Tabel 4. 6 Nilai COD pada air limbah pemaparan

Parameter	Nilai COD (mg/L)
Aklimatisasi	46,82
0 ppm	28,95
3 ppm	34,88
5 ppm	39,71
7 ppm	40,22

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat diketahui bahwa nilai COD yang diperoleh pada aklimatisasi lebih besar dibanding air limbah. Kemudian pada air limbah setelah 5 hari perlakuan, nilai COD semakin besar seiring meningkatnya konsentrasi Cu pada air limbah. Hal tersebut telah sesuai dengan penelitian (Usman, dkk., 2015) yang menyatakan bahwa konsentrasi logam berat Pb dan Cd berfluktuasi berdasarkan nilai COD air. Konsentrasi logam berat tertinggi ditemukan pada COD 24,8 mg/L sedangkan konsentrasi logam berat terendah ditemukan pada nilai COD sebesar 22,60 mg/L. Pengukuran nilai COD dilakukan pada hari ke-5 pemaparan didasarkan pada (Fajrin, 2014) yang menyatakan bahwa tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) mampu menurunkan kadar COD limbah rumah potong hewan pada waktu tinggal ke-3 dan ke-5 masing-masing sebesar 82,69 dan 87,75%.

Nilai COD pada setiap konsentrasi sampel dapat dikatakan tergolong masih rendah, karena menurut PP No. 82 (2001) Ambang batas nilai COD pada perairan kelas IV yaitu air yang diperuntukkan bagi pengairan tanaman adalah sebesar 100 mg/L. Meskipun demikian, Nilai COD yang normal atau lebih rendah dari baku mutu belum tentu dapat dijadikan patokan bahwa air tersebut tidak

tercemar. Atima (2015) dalam penelitiannya menyatakan bahwa kualitas perairan dapat dikatakan tercemar apabila parameter air yang digunakan dan diketahui tidak hanya COD dan BOD melainkan parameter lainnya juga seperti TSS dan pH.

Potential hydrogen atau yang biasa disebut pH adalah salah satu parameter air yang penting yang menunjukkan nilai indeks konsentrasi ion hidrogen ($[H^+]$) dalam air. Nilai $[H^+]$ memiliki pengaruh yang besar terhadap proses biologi dan kimia. pH digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat atau larutan. Tinggi rendahnya pH dalam air limbah dipengaruhi oleh komponen yang ada di dalamnya. Berdasarkan standar baku mutu air PP No. 82 (2001) pH yang baik untuk kelas IV yaitu sebesar 5-9. pH yang sangat rendah dapat menyebabkan kelarutan logam dalam air semakin tinggi sehingga dapat bersifat toksik bagi organisme. Kemudian apabila pH terlalu tinggi, konsentrasi amoniak dalam air dapat meningkat dan bersifat toksik (Tatangindatu, dkk., 2013).

Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran pH pada air limbah di setiap variasi setiap harinya. pH yang diperoleh pada setiap variasi pada awal pemaparan hampir sama yaitu 4. Kemudian seiring berlanjutnya hari, nilai pH mengalami kenaikan seperti yang terlihat pada Tabel 4.7, 4.8 dan 4.9. Kenaikan nilai pH ini disebabkan adanya penambahan aerator pada proses pemaparan. Aerator berfungsi sebagai pensuplai oksigen sehingga tingkat oksigen terlarut dalam air mengalami kenaikan. Hal ini sesuai dengan (Prayudi, 2013; Batara, dkk., 2017) yang menyatakan bahwa pada penelitiannya tentang pengolahan air dengan bantuan aerasi, nilai pH mengalami kenaikan sebesar 5,47%; 5,09% dan 4,05%.

Tabel 4. 7 pH air variasi waktu pemaparan 5 hari

Variasi konsentrasi (ppm)	Hari ke-				
	1	2	3	4	5
3	4	5	5	6	6
5	4	5	5	6	6
7	4	5	5	6	6

Tabel 4. 8 pH air variasi waktu pemaparan 10 hari

Variasi konsentrasi (ppm)	Hari ke-									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6
5	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6
7	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6

Tabel 4. 9 pH air variasi waktu pemaparan 15 hari

Variasi konsentrasi (ppm)	Hari ke-														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
7	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6

4.8 Analisis Pengaruh Variasi menggunakan *Two Way* ANOVA

Analisis data atau pengaruh variasi dilakukan menggunakan uji statistik *Two Way Anova*. *Two way Anova* atau sering disebut dengan analisis dua arah. Pada penelitian ini, analisis *two way anova* dilakukan dalam taraf kepercayaan sebesar 95%. Analisis yang dilakukan yaitu terhadap dua variabel bebas dan satu variabel terikat. Variabel bebas atau *independen* pada penelitian ini ada 2 yaitu variasi konsentrasi yang terdiri dari 3 variasi dan waktu pemaparan 3 variasi. Sehingga total kombinasi variabel atau faktor tersebut yaitu $2 \times 3 \times 3 = 18$. Sedangkan variabel terikat atau *dependent* yaitu Cu terserap.

Penelitian ini menggunakan analisis dua arah metode rancangan acak kelompok (RAK). Hal tersebut didasarkan pada variabel yang digunakan lebih dari satu dan saat pengacakan perlakuan pada seluruh variabel yang bersifat

heterogen atau berbeda tetapi mengarah pada satu arah (homogen). Berdasarkan pada uji F variasi konsentrasi terhadap Cu terserap seperti yang terlihat pada Tabel 4.10, didapatkan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($346,090 > 3,68$) dengan nilai probabilitas yakni sig sebesar (0,000) lebih kecil dibanding nilai alpha (0,005). Nilai tersebut menunjukkan bahwa variasi konsentrasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Cu terserap. Kemudian pada variasi pemaparan didapatkan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($44,490 > 3,68$) dengan nilai probabilitas yakni sig sebesar (0,000) lebih kecil dibanding nilai alpha (0,005). Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi waktu pemaparan juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Cu terserap.

Tabel 4. 10 Data hasil uji statistika

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	50.669 ^a	8	6.334	101.411	.000
Intercept	280.074	1	280.074	4484.413	.000
Konsentrasi	43.230	2	21.615	346.090	.000
Hari	5.557	2	2.779	44.490	.000
Konsentrasi * Hari	1.882	4	.470	7.532	.006
Error	.562	9	.062		
Total	331.305	18			
Corrected Total	51.231	17			

Pengaruh variasi yang signifikan terhadap Cu terserap dapat dijabarkan melalui uji lanjut atau yang sering disebut dengan istilah *posthoc test*. Uji lanjut ini meliputi uji beda nyata terkecil (BNT). Hasil uji lanjut BNT variasi konsentrasi dapat dilihat pada Tabel 4.11. Berdasarkan Tabel 4.11, didapat notasi huruf yang berbeda untuk setiap konsentrasi sehingga dapat disimpulkan bahwa pada variasi konsentrasi terdapat perlakuan yang berpengaruh secara signifikan terhadap Cu

terserap. Selain itu, dapat dilihat juga bahwa nilai rata-rata tertinggi terdapat pada variasi konsentrasi 7 mg/L sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan 7 mg/L memiliki pengaruh yang signifikan dibanding konsentrasi yang lain.

Tabel 4. 11 Hasil Uji BNT Variasi Konsentrasi terhadap Cu terserap

Konsentrasi Cu (mg/L)	Rata-rata	Notasi
3	2,054050	A
5	3,020650	B
7	5,850017	C

Selanjutnya untuk variasi waktu pemaparan lebih rincinya dapat dilihat pada Tabel 4.12. Pada Tabel 4.12 tersebut, tersaji notasi yang berbeda juga pada setiap waktu pemaparan. Hal tersebut menandakan bahwa variasi pada waktu pemaparan terdapat perlakuan yang memiliki pengaruh yang signifikan juga terhadap Cu terserap. Selain itu, dapat diketahui juga bahwa nilai rata-rata tertinggi diperoleh pada perlakuan 15 hari. sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu pemaparan yang paling baik diperoleh pada waktu pemaparan selama 5 hari. Selanjutnya dari kedua Tabel tersebut, baik perlakuan variasi konsentrasi maupun waktu pemaparan dapat ditarik kesimpulan bahwa setiap perlakuan pada kedua variasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan logam Cu.

Tabel 4. 12 Hasil Uji BNT Variasi waktu pemaparan terhadap Cu terserap

Waktu pemaparan (hari)	Rata-rata	Notasi
5	4,625117	A
10	3,944517	B
15	3,264083	C

4.9 Pemanfaatan Penelitian dalam Prespektif Islam

Sejatinya manusia di muka bumi bertugas sebagai khalifah yakni menjaga bumi dengan baik. Mencegah terjadinya kerusakan yang disebabkan oleh ulah

tanggannya sendiri. Pada era saat ini, pencemaran air marak terjadi di mana-mana, di setiap sumber air mengalir sehingga mengakibatkan ekosistem lingkungan tidak seimbang. Hal tersebut sangat bertentangan dengan perintah Allah Swt untuk menjaga kebersihan. Kebersihan adalah sebagian dari iman dan pengaruhnya sangat signifikan terhadap aktivitas manusia. Nabi Muhammad SAW telah bersabda:

حَدَّثَنَا حَسَنٌ حَدَّثَنَا ابْنُ هُبَيْرَةَ حَدَّثَنَا أَبُو الزُّبَيْرِ عَنْ جَابِرٍ قَالَ زَجَرَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ أَنْ يُبَالَ فِي الْمَاءِ الرَّكَدِ. رواه أحمد

Artinya: “Telah menceritakan kepada kami Hasan telah menceritakan kepada kami Ibnu Lahi’ah telah menceritakan kepada kami Abu Az Zubair dari Jabir berkata; Rasulullah shallallahu ‘alaihi wasallam melarang kencing di air yang menggenang.” (HR. Ahmad).

Hadits di atas, menjelaskan bahwa Nabi Muhammad SAW telah mengingatkan kepada kita sebagai umat islam untuk tidak mencemari lingkungan perairan dengan cara yang mudah yaitu tidak membuang kotoran pada daerah tertentu. Islam sangatlah memudahkan. Kita dilarang mandi atau berkemih di air yang tenang karena hal tersebut bisa berdampak bagi orang lain. Apabila kita mandi atau berkemih di air yang tenang artinya tidak mengalir maka air tersebut akan tercemar dan menjadi najis. Selain itu juga pasti air tersebut mengandung zat-zat yang berbahaya (Amiruddin, 2015).

Penelitian dengan tema fitoremediasi ini mengkaji kemampuan tanaman Genjer dalam meremediasi logam Cu. Karena tanpa disadari, Genjer yang sering dianggap sebagai gulma merupakan sebuah tanaman yang mampu menyerap atau meremediasi polutan baik limbah organik maupun anorganik. Fitoremediasi adalah proses pembersihan polutan menggunakan tanaman. Pada penelitian ini,

didapatkan hasil bahwa tanaman Genjer mampu meremediasi logam Cu dengan maksimal penyerapan mencapai 95,83%. Dari pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu yang ada di muka bumi tidak ada yang sia-sia. Allah SWT berfirman dalam Surah Al-Anbiyaa' [21] ayat 16 yang berbunyi :

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لَعِبِينَ ﴿١٦﴾

Artinya : 16. dan tidaklah Kami ciptakan langit dan bumi dan segala yang ada di antara keduanya dengan bermain-main (Q.S. Al-Anbiyaa' [21]: 16).

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya itu adalah dengan maksud dan tujuan yang mengandung hikmat. Menurut (Ichwan, 2001) ayat ini merupakan sebuah teguran atau peringatan bagi manusia mau mempelajari, berfikir dan memanfaatkan setiap ciptaan Allah sebaik mungkin. Karena tanpa manusia sadari ketika mereka melakukan kajian atau kegiatan mengenai ciptaan Allah, mereka akan mendapatkan banyak manfaat baik di kehidupan dunia maupun di akhirat (Dahlan, 1997).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh variasi konsentrasi dan waktu pemaparan yang terbaik terhadap penyerapan logam Cu pada bagian tanaman Genjer adalah pada variasi konsentrasi sebesar 3 mg/L dengan waktu pemaparan selama 5 hari dengan penyerapan mencapai 95,83% dari konsentrasi awal dalam perairan. Semakin tinggi konsentrasi dan lama waktu pemaparan, penyerapan logam mengalami penurunan. Kemudian bagian akar adalah bagian yang memiliki penyerapan paling baik karena secara keseluruhan nilai BCF akar lebih besar dibanding batang dan daun.
2. Hasil analisis terhadap kemampuan tanaman Genjer dalam meremediasi logam Cu dalam air menunjukkan bahwa tanaman Genjer mampu digunakan sebagai tanaman agen remediasi dengan mekanisme fitostabilisasi. Hal tersebut didasarkan pada nilai parameter fitoremediasi yang diperoleh yaitu $BCF > 1$, $TF < 1$, dan $FTD > 0$.

5.2 Saran

Analisis kemampuan tanaman Genjer dalam meremediasi logam Cu dapat dikaji lagi dengan memperhatikan teknik pengambilan sampel yakni dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pengambilan sampel metode *probability sampling*. Kemudian dapat juga dengan penambahan larutan nutrisi Hoagland sebagai media tumbuh. Selanjutnya, perlu dilakukan analisis juga terhadap logam yang tingkat bahaya serta konsentrasinya lebih besar seperti timbal, kadmium,

kromium dan logam-logam lainnya. Lebih lanjut, pada analisis COD perlu dilakukan di setiap variasi waktu atau pada waktu setelah 15 hari, karena diduga jika nilai COD di analisis pada waktu setelah 15 hari akan lebih kecil lagi. Selain itu, masyarakat juga perlu diedukasi mengenai potensi tanaman Genjer sebagai agen fitoremediasi sehingga tidak membuangnya secara percuma dan menganggapnya sebagai gulma. Kemudian apabila Genjer dikhususkan untuk agen pengolah limbah maka disarankan untuk sebaiknya tidak dikonsumsi sebagai sayuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2004. *Tafsir Ibnu Katsir*. Bogor: Pustaka Imam asy-Syafi'i.
- Abdurrachman, A. I., Juarsah, dan Kurnia, U. 2005. Pengaruh Penggunaan Berbagai Jenis dan Takaran Pupuk Kandang terhadap Produktivitas Tanah Utisol Terdegradasi di Desa Batin Jambi. *Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Tanah, Iklim, dan Pupuk*. Bogor: 5-8 Desember 1999. Buku II Puslittanak.
- Abhilash P. C., Singh N., Sylas V. P., Kumar B. A., Mathew J. C., Satheesh R., dan Thomas A. P. 2008. Eco-distribution Mapping of Invasive Weed *Limnocharis flava* (L.) Buchenau using Geographical Information System: Implications for Containment and Integrated Weed Management for Ecosystem Conservation. *Taiwania*. 53(1): 30-41.
- Abhilash, P. C., Pandey, V. C., Srivastava, P., Rakesh, P. S., Chandran, S., Singh, N., dan Thomas, A. P. 2009. Phytofiltration of Cadmium from Water by *Limnocharis flava* (L) Buchenau Grown in Free-floating Culture System. *Journal of Hazardous Materials*. 170 (2-3): 791-797.
- Alaerts, G. dan Santika, S. S. 1984. *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Al-Maraghi, Ahmad Musthofa. 2013. *Tafsir Al-Maraghi*. Semarang: Karya Toha Putra.
- Amiruddin, A. M. A. 2015. Air dalam Prespektif Hadits. *TAHDIS*. 6(1): 1-22.
- Andriyaningrum, S., Yusuf, B. dan Gunawan, Rahmat. 2018. Perbandingan Metode Destruksi Basah Sistem Terbuka dan Tertutup terhadap Analisis Logam Timbal (Pb) dalam Sampel Tanah pada Daerah Bekas Pertambangan di 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.
- Anonim. 2001. Peraturan Pemerintah Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Arifin, Z. 2007. Pentingnya Mineral Tembaga (Cu) dalam Tubuh Hewan dalam Hubungannya dengan Penyakit. *WARTAZOA*. 17(2): 93-99.

- Arnot, J. A dan Gobas, F. A. P. C. 2006. A Review of Bioconcentration Factor (BCF) and Bioaccumulation Factor (BAF) Assessments for Organic Chemicals in Aquatic. *Environmental Review*. 14: 257-297.
- Artaya, I. P. 2018. Uji Two Way ANOVA. Surabaya: Universitas Narotama.
- Atima, W. 2015. BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biologi Science dan Education*. 4(1): 83-93.
- Avlenda, E. 2009. Penggunaan Kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.) dan Genjer (*Limnocharis flava* (L.) Buch.) dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Skripsi*. Sekolah Tinggi Ilmu Hayati. Bandung: ITB.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *SNI 6989.59.2008 Air dan Limbah*. Badan Standarisasi.
- Baker, A. J. M. 1981. Accumulators and Excluder Strategies in the Response of Plant to Heavy Metals. *Journal Plant Nutrition*. 3(1-4): 643-654.
- Balakrishnan, H. dan Velu, R. 2015. *Eco-Friendly Technologies for Heavy Metal Remediation: Pragmatic Approaches in Book: Environmental Sustainability*. New Delhi: Springer.
- 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., dan Irawanto, R. 2018. Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Tanaman *Brassica rapa*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 5(1): 689-700.
- Batara, K., Zaman, B., dan Oktiawan, W. 2017. Pengaruh Debit Udara dan Waktu Aerasi terhadap Efisiensi Penurunan Besi dan Mangan Menggunakan Diffuser Aerator pada Air Tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6(1): 1-10.
- Baycu, G. 2002. Phytochelatin Biosynthesis and Cadmium Detoxification. *Journal of Cell and Molecular Biology*. 1: 45-55.
- Boyd, C. E. 1979. *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Alabama: Craft Master Printers Inc.
- Boyd, C. E. 1990. *Water Quality Management in Alabama in Aquaculture Experiment Stations Ponds for Aquaculture*. Alabama: Brimingham Publishing.

- Brooks S. J., Panetta F. D., dan Galway K. E. 2008. Progress Towards the Eradication of Mikania Vine (*Mikania micrantha*) and Limnocharis (*Limnocharis flava*) in Northern Australia. *Invas Plant Sci and Manage.* 1(3): 296-303.
- BSN. 2009. *SNI 6989.2:2009 tentang Air dan Air Limbah - Bagian 73. 2009: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup secara Spektrofotometri.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Budiyanto, A., Yuarsah, I., dan Handayani, E. P. Peningkatan Kualitas Lahan menggunakan Pupuk Organik untuk Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Wacana Pertanian.* 14(2): 62-68.
- 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.
- Chaney R. L., Brown, S. L., Li, Y. M., Angle, J. S., Homer, F., dan Green, C. 1995. Potential Use of Metal Hyperaccumulators. *Mining Environ Management.* 3(3): 9-11.
- Clemens, S. 2006. Evolution and Function of Phytochelatin Synthases. *Journal of Plant Physiology.* 163(2006): 319-332.
- Dahlan, A. R. 1997. *Kaidah-Kaidah Penafsiran Al-Qur'an.* Bandung: Mizan.
- Darmomo. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi.* Jakarta: UI Press.
- Day & Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif.* Jakarta: Erlangga.
- Dennis, K. K., Uppal, K., Liu, K. H., Ma, C., Liang, B., Go, Y., Jones, D. P. 2019. Phytochelatin Database: A Resource for Phytochelatin Complexes of Nutritional and Environmental Metals. *The Journal of Biological Database and Curation.* 1-9.
- Departemen Agama RI. 2009. *Al-Qur'an dan Terjemahannya.* Jakarta: Rilis Grafika.
- Department of Primary Industries and Fisheries. 2007. *The Peanut Plant.* The State of Queensland.
- Dewanto, F. G., Londok, J. J. M. R., Tuturoong, R. A. V. 2013. Pengaruh Pemupukan Anorganik dan Organik terhadap Produksi Tanaman Jagung sebagai Sumber Pakan. *Jurnal zootek.* 32(5): 1-8.
- Djojosumarto, P. 2008. *Pestisida & Aplikasinya.* Jakarta: Agromedia Pustaka.

- Dwinanto, A. 2009. *Analisis Kadar Parameter Air Limbah Industri*. Jawa Tengah: Prosedur Analisis Laboratorium PERUM PERHUTANI UNIT 1.
- EPA, 2000. *Introduction to Phytoremediation. National Risk Mangement Research Laboratory-Office of Research and Development*. United States Environmental Protection Agency. www.clu-in.org. diakses tanggal 18 Mei 2019.
- Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P. Y., dan Schroeder, E. D. 1998. *Bioremediation Principles*. Boston: McGraw-Hill.
- Fajrin, Faruq. 2014. Penggunaan Reaktor Sistem Aliran Bawah Tanah Basah (SSF) Guna Mengolah Limbah RPH. *Skripsi*. Malang: ITN Malang.
- Farobi, W. A. A. 2019. Fitoremediasi oleh *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Konsentrasi Logam Timbal (Pb). *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Fitria, S. N., Juswono, U. P. dan Saroja, G. 2015. Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) untuk Mengurangi Kadar Logam Berat (Pb dan Cu) Serta Radionuklida dengan Metode Fitoremediasi. *Seminar Nasional Sains*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Fitriyah, A. W., Utomo, Y. dan Kusumaningrum, I. K. 2015. Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya. FMIPA: Universitas Negeri Malang.
- Gandjar, I. G. dan Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Garcia, F. F., Chavez, A. A., Morales, G. R. dan Diaz, C. E. B. 2017. Removal of Pb, Cu, Cd and Zn Present in Aqueous Solution Using Coupled Electrocoagulation-Phytoremediation Treatment. *International Journal of Electrochemistry*. 2017: 7681451.
- Garcia, J. D. G., Thomas, R. S., Saavedra, E., Velasco, D. A. F., Romero, S. R., Figueroa, K. I. C., Cozatl, D. G. M., dan Sanchez, R. M. 2020. Mapping the Metal-catalytic Site of Zinc-activated Phytochelatin Synthase. *Algal Research*. 47:1-10.
- Gilal A. A., Muhamad R., Omar D., Aziz A., Azwady N, dan Gnanasegaram M. 2016. Foes Can be Friends: Laboratory Trials on Invasive Apple Snails, *Pomacea* spp. Preference to Invasive Weed, *Limnocharis flava* (L.) Buchenau Compared to Rice, *Oryza sativa* L. *Pak J Zool*. 48(3): 673-679.

- Gratao, P. L., Alves, L. R., dan Lima, L. W. 2019. Heavy Metal Toxicity and Plant Productivity: Role of Metal Scavengers. *Plant Metal Interaction*. Springer, Cham.
- Gupta, D. K., Vandenhove, H., dan Inouhe, M. 2013. Role of Phytochelatins in Heavy Metal Stress and Detoxification Mechanisms in Plants.
- Gusnila. 2010. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Diakses melalui <https://www.google.com/amp/s/gusnil45min.wordpress.com/2010/12/07/atomic-absorption-spektroskopi-aas/amp>, 27 Desember 2020
- Hall, J. L. 2002. Cellular Mechanism for Heavy Metal Detoxification and Tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 53 (366): 1-11.
- Hamka. 1978. *Tafsir Al-Azhar Juzu' XIX*. Surabaya: Yayasan Latimojong.
- Harjanto, H. dan Rahmania, N. 2007. *Memperbanyak Tanaman Hias Favorit*. Jakarta: Niaga Swadaya.
- Haryati, M., Purnomo, T. dan Kuntjoro, S. 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.)Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda. *Lentera Bio*. 1(3): 131-138.
- Herlambang, P. dan Hendriyanto, O. 2015. Fitoremediasi Limbah Deterjen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Dan Genjer (*Limnocharis Flava* L.). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 7(2): 100-114.
- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Terjemahan: Badan Litbang Kehutanan Jakarta. Jakarta: Yayasan Sarana Wana Jaya.
- Hidayah, A. M., Purwanto dan Soeprbowati, T.R. 2014. Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *BIOMA*. 16(1): 1-9.
- 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.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Hayati*. 12(1): 35-40.
- Hu, Z. dan Qi, L. 2014. 15. 5-Sample Digestion Methods in book *Treatise on Geochemistry 2nd Edition*. Oxford: Elsevier.
- Ichwan, N. M. 2001. *Memasuki Dunia Al-Qur'an*. Semarang: Lubuk Raya.

- Isa, I., Jahja, M., dan Sakakibara, M. 2014. Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) sebagai Akumulator Logam Pb dan Cu. *Laporan Penelitian*. FMIPA: Universitas Negeri Gorontalo.
- Jamil, A. Q., Pujiati, R. S. dan Ellyke. 2015. Perbedaan Penyerapan Logam Pb pada Limbah Cair Antara Tanaman Kangkung Air (*Ipomea Aquatica Forsk*), Genjer (*Limnocharis flava*) dan Semanggi (*Marselia Drummondii L.*) *Artikel Ilmiah Hasil Mahasiswa*.
- Kamarudzaman, A. N., Zakaria, M. A. H., Aziz, R. A dan Jalil, M. F. A. 2011. Study the Accumulation of Nutrients and Heavy Metals in the Plant Tissues of *Limnocharis flava* Planted in Both Vertical and Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland. *IPCBE*. 12 (2011): 50-54.
- Khopkar, S. M. 2010. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Kumar, A. R. 2015. Re: Why HNO₃ Should be Added in Waste Water Sample Before Heavy Metal Determination by AAS?. <https://www.researchgate.net/post/Why-HNO3-should-be-added-in-waste-water-sample-before-heavy-metal-determination-by-AAS>. [Diakses 12 Desember 2020]
- LaGrega, M. D., Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans and Environmental Resources Management. 2001. *Hazardous Waste Management*. Second Edition. New York: McGraw Hill.
- 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.
- Mader, S. S. 1996. *Biology*. WMC Brown Publisher: 140-145.
- Mahardika, G., Rinanti, A., dan Fachrul, M. F. 2018. Phytoremediation of Heavy Metal Copper (Cu²⁺) by Sunflower (*Helianthus annuus l.*). *International Seminar on Sustainable Urban Development*.
- Majid S. N., Khwakaram A. I., Rasul G. A. M., dan Ahmed Z. H. 2014. Bioaccumulation, Enrichment and Translocation Factors of Some Heavy Metals in *Typha Angustifolia* and *Phragmites Australis* Species Growing along Qalyasan Stream in Sulaimani City. *Journal of Zankoy Sulaimani-Part A*. 16 (4): 93-109.
- Matusiewicz, H. 2003. *Wet Digestion Methods. Comprehensive Analytical Chemistry, Soils, and Oils*. U.S.A: Environmental Protection Agency.
- Mellem, J. J., Baijnath, H., dan Odhav, B. 2012. Bioaccumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni with the Ability for Hyperaccumulation by *Amaranthus dubius*. *African Journal of Agricultural Research*. 7(4): 591-596.

- Metcalf dan Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Mulyono, H. 2005. *Kamus Kimia*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Mwegoha, W. J. S., 2008. The Use Of Phytoremediation Technology For Abatement Soil And Groundwater Pollution In Tanzania: Opportunities And Challenges. *Journal Of Sustainable Development In Africa*. 10(1): 140-156.
- 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.
- Negrete, J. M., Montes, G. E., Hernandez, J. D., Hernandez, J. P. dan Diez, S. 2017. Removal of Mercury from Gold Mine Effluents Using *Limnocharis flava* in Constructed Wetlands. *Chemosphere*. 167(2017): 188-192.
- Nuarisma, F. 2012. Analisis Komponen Bioaktif Pada Genjer. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Nurhasnani. 2007. Penyerapan Ion Logam Kadmium Dan Tembaga Oleh Genjer (*Limnocharis flava*). *Jurnal Kimia Valensi*. 24-29.
- Oktoviana, I. 2015. Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II). *JOM FMIPA*. 2 (2): 8-15.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Petani. 2018. Fitoremediasi, Cara mengatasi Limbah dengan Tanaman. Diakses melalui <https://images.app.goo.gl/Hqi4jDZhSQudf1ai7>, 18 Mei 2019.
- Plantamor. 2008. Genjer. <http://www.plantamor.com/index.php?plant=777>. [Diakses 18 Mei 2019].
- Prayudi, T. R. 2013. Pengolahan Air Leachate Sampah dengan Teknologi Aerasi dan Filtrasi. *Jurnal Permukiman*. 8(1): 39-44.
- Priyanti dan Yunita, E. 2013. Uji Kemampuan Daya Serap Tumbuhan Genjer (*Limnocharis flava*) terhadap Logam Berat Besi (Fe) dan Manganese (Mn), *Prosiding Semirata*. Lampung: FMIPA Universitas Lampung.

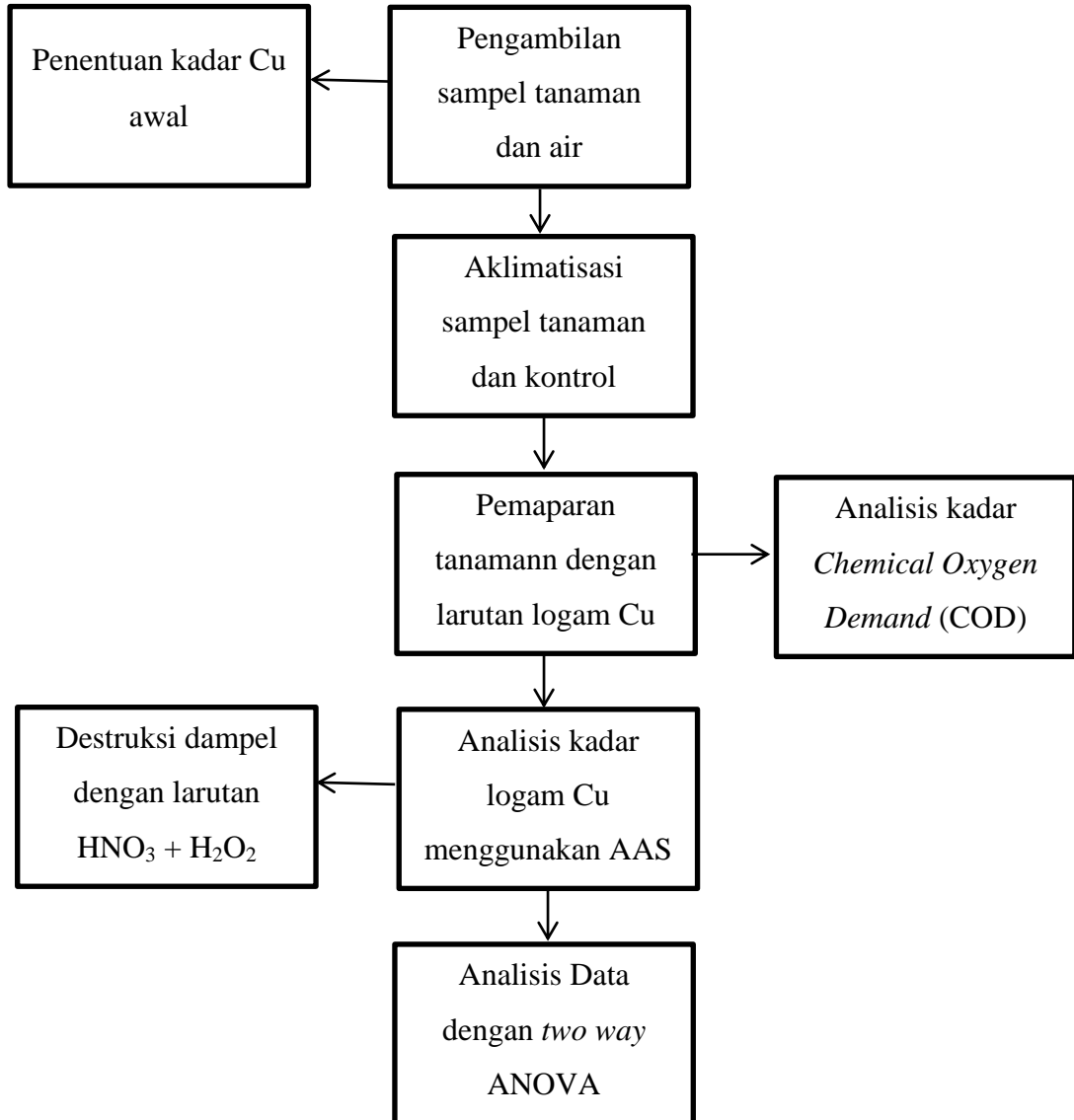
- Priyanto, B. dan Prayitno, J. 2006. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat. Diakses melalui <http://lfl.bppt.tripod.com/sublab/lfloral1.htm>, 18 Mei 2019.
- PT. Bersama Kita serasi. 2020. Kocide WG 54. Diakses melalui <https://bersamakitaserasi.com/content/kocide-54-wg>. 06 Desember 2020.
- PT. Meroke Tetap Jaya. 2019. Pupuk Majemuk. Diakses melalui <https://www.meroketetapjaya.com/product/merokefitoflex>. 06 Desember 2020
- PT. Petrokimia Gresik. 2019. Pupuk Phonska Oca. Diakses melalui <https://petrokimia-gresik.com/product/phonska-oca>. 08 Desember 2020.
- Purakayastha, T. J. dan Chhonkar, P. K. 2010. *Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Puspitasari, R. 2007. Laju Polutan dalam Ekosistem Laut. *Oseana*. 32(2): 21-28.
- Rachmadani, N. W., Koesriharti, dan Santoso, M. 2014. Pengaruh Pupuk Organik dan Pupuk Anorganik terhadap Pertumbuhan Hasil Tanaman Buncis Segar (*Phaseolus vulgaris* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*. 2(6): 443-452.
- Rachmadiarti, F., Soehono, L. A., Utomo, W. H., Yanuwiyadi, B., dan Fallow, F. H. 2012. Resistance Of Yellow Velvetleaf (*Limnocharis flava* (L.) Buch.) Exposed To Lead. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. Fmipa. Surabaya.
- Raimon. 1993. *Perbandingan Metoda Destruksi Basah dan Kering Secara Spektrofotometri Serapan Atom*. Yogyakarta: Santika.
- Ratnawati, R. dan Fatmasari, R. D. 2018. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) menggunakan Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata*) dan Jengger Ayam (*Celosia plumose*). *AL-ARD: Jurnal Teknik Lingkungan*. 3(2): 62-69.
- Rohman, Abdul. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Russel, R. S. 1978. *Plant Root System: Their Function and Interaction with the Soil*. London: McGraw-Hill.
- Salisbury, F. B. dan Ross, C. W. 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid II*. Diterjemahkan oleh Dian R. Lukman dan Sumaryono. Bandung: ITB.
- Salt, D. E., Smith, D. R. dan Raskin. I. 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 643-668.

- Schnoor, J. L. 1997. *Phytoremediation: Technology Evaluation Report*. GWRTAC Series TE-98-01.
- Shevla,. 1990, *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*, Edisi ke-1, Jilid II. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.
- Shihab, M.Q. 2000. *Tafsir Al-Misbah*. Jakarta: Lentera Hati.
- Siregar, H. T. dan Murtini, J. T. 2008. Kandungan Logam Berat pada Beberapa Lokasi Perairan Indonesia pada Tahun 2001 sampai dengan 2005. *Squalen*. 3(1): 7-15.
- Sopyan, R. S, dan Sumarni, N. K. 2014. Fitoakumulasi Merkuri oleh Akar Tanaman Bayam Duri (*Amarantus spinosus* Linn.) pada Tanah Tercemar. *Online Journal of Natural Science*. 3(1): 31-39.
- Stenis, Van C. G. G. J. 2006. *Flora Pegunungan Jawa*. Bogor: Pusat Penelitian Biologi LIPI.
- Succuro, J. S., McDonald, S. S., dan Lu, C. R. 2009. Phytoremediation: the Wave of the Future, in A Kirakosyan A, Kaufman PB, *Recent Advances in Plant Biotechnology*. Springer. 119-135.
- Sulaiman, F. R. dan Hamzah, H. A. 2018. Heavy Metals Accumulation in Suburban Roadside Plants of a Tropical Area (Jengka, Malaysia). *Ecological Processes*. 7(28): 1-11.
- Sutamihardja. 2006. *Toksikologi Lingkungan*. Jakarta: UI-Press.
- Takarina, N. D dan Pin, T. G. 2017. Bioconcentration Factor (BCF) and Translocation Factor (TF) of Heavy Metals in Mangrove Trees of Blanakan Fish Farm. *Makara Journal of Science*. 21(2): 77-81.
- Tangahu, B. V., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., dan Mukhlisin, M. 2011. *Review Article: A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants Through Phytoremediation*. *International Journal of Chemical Engineering*. doi: 10.1155/2011/939161.
- Tatangindatu, F., Kalesaran, O., dan Rompas, R. 2013. Studi Parameter Fisika Kimia Air pada Areal Budidaya Ikan di Danau Tondano, Desa Paleloan, Kabupaten Minahasa. *Budidaya Perairan*. 1(2): 8-19.
- Thanthawi, Jauhari. 1350 H. *Al-Jawahir fi Tafsir Al-Qur'an Al-Karim Jilid V Juz X*. Beirut: Dar al-Fikr.
- Thuraidah, A., Puspita, E. I., dan Oktiyani, N. 2016. Pengaruh Genjer (*Limnocharis flava*) Terhadap Penurunan *Biological Oxygen Demand* (BOD) Limbah Industri Karet. *Medical Laboratory Technology Journal*. 2 (1): 6-10.

- Twyman, R. M. 2005. Sample Dissolution for Elemental Analysis: Wet Digestion. *Elsevier*. 4503-4510.
- Usman, A. R. A., Alkredaa, R. S., dan Al-Wabel, M. I. 2013. Heavy Metal Contamination in Sediments and Mangroves from the Coast of Red Sea: *Avicennia sp. marina* as Potential Metal Bioaccumulator. *Ecotoxicol Environ Saf.* 9: 263-270.
- Usman, A. F., Budimawan., dan Budi, P. 2015. Kandungan Logam Berat Pb-Cd dan Kualitas Air di Perairan Biringkassi, Bungoro, Pangkep. *Argokomplek.* 4(9): 103-107.
- Yanova, S., Zulkarnaini., dan Anita, S. 2016. Analisis Tingkat Cemar Logam Tembaga dan Tingkat Pendapatan Usaha Tani Sayuran di Kebun Kartama dan Kebun Kompos-EM Kota Pekanbaru. *Jurnal Photon.* 6(2): 115-121.
- Yoon, J., Xinde, C., Qixing, Z., dan Ma, L. Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Science Total Environmental.* 368: 456-464.
- Yudo, S. 2006. *Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta*. Pusat Teknologi Lingkungan-BPPT.
- Zaitun., Saeni. M. S., Kooswardhono, M., dan Djoefri, H. M. H. B. 2009. Kandungan Hara Mikro dalam Mikro Pupuk Organik Cair Hasil Proses Pencernaan Anaerobik Limbah Industri *Nata de coco* dan Kotoran Sapi serta Pengaruhnya pada Tanaman Selada. *Agrista.* 13(3): 131-136.
- Zayed, A., Gowthaman, S., dan Terry, N. 1998. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality.* 27 (3): 715-721.

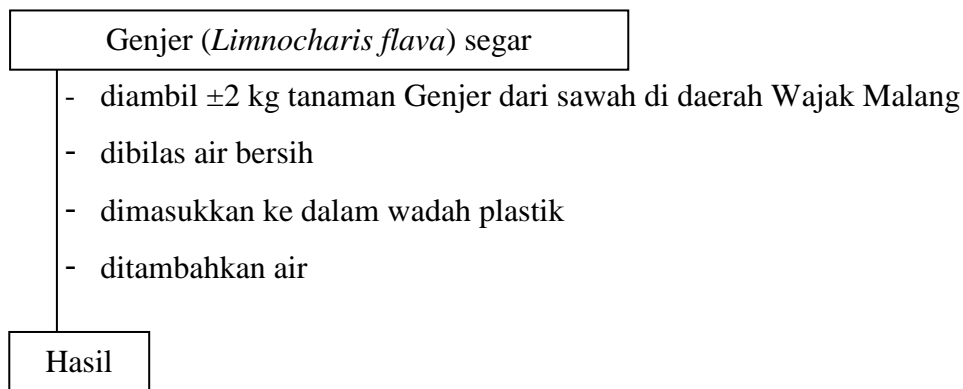
LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan Penelitian

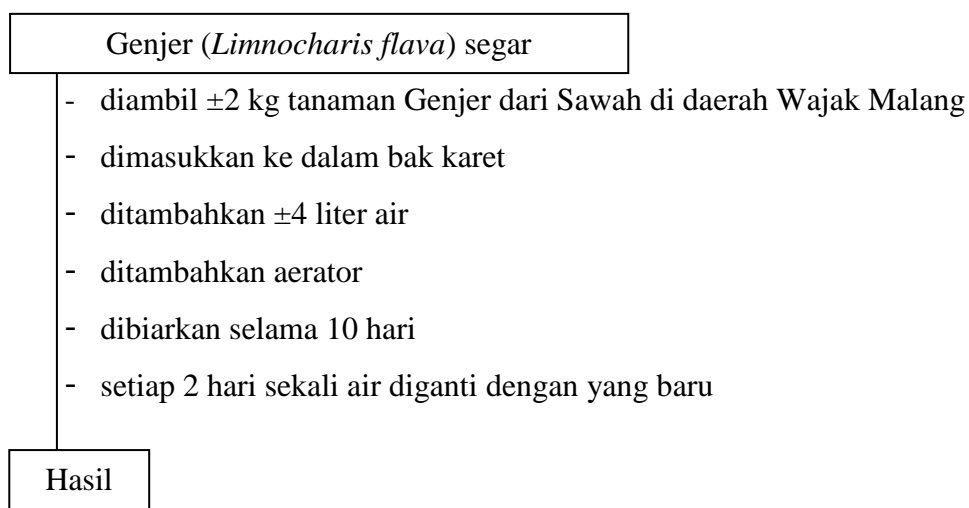


Lampiran 2 Diagram Alir

1. Pengambilan Sampel



2. Aklimatisasi Sampel



3. Preparasi Larutan Cu untuk Proses Pemaparan

CuSO₄.5H₂O

- ditimbang CuSO₄.5H₂O sebanyak 3,9 g
- dimasukkan labu ukur 1 liter
- ditambahkan aquademin hingga tanda batas
- dihomogenkan

Cu 1000 mg/L

- diambil 4,5; 7,5 dan 10,5 mL
- dimasukkan masing-masing ke dalam labu ukur 1000 mL dan 500 mL
- ditandabatkan dengan aquademin
- dihomogenkan
- diperoleh larutan Cu 3, 5, dan 7 mg/L

Hasil

4. Pemaparan Sampel

Genjer (*Limnocharis flava*) segar

- diambil sampel sebesar 50 gram

Sampel Uji

- disiapkan 3 wadah kaca
- dimasukkan masing-masing 50 gram sampel
- dipapar masing-masing sampel dengan variasi konsentrasi dan waktu pemaparan sebagai berikut:

Hari	Konsentrasi (mg/L)			
	0	3	5	7
5				
10				
15				

- diulang sebanyak dua kali

Hasil

5. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Sampel 2,5 mL

- dimasukkan ke dalam tabung COD
- ditambahkan 1,5 mL *digestion solution*
- ditambahkan 3,5 mL pereaksi asam sulfat
- dihomogenkan
- direfluks selama 2 jam pada suhu 150°C di dalam reaktor COD
- didinginkan sampel sampai suhu ruang
- diukur menggunakan spektrofotometer UV pada panjang gelombang 400 nm
- dilakukan langkah di atas untuk perlakuan blanko
- dihitung kadar COD

Hasil

6. Destruksi Sampel

Sampel Genjer

- dipisahkan antara akar, batang dan daun
- dikeringkan dalam oven selama 4 jam dengan suhu 110°C
- diambil 0,25 g
- dimasukkan dalam vessel
- ditambahkan 7 mL HNO₃ 65% dan 1 mL H₂O₂ 30%
- dipasang sensor suhu dan tekanan pada *microwave digestion*
- ditekan tombol mulai
- ditunggu dingin
- disaring

Hasil

7. Analisis Sampel dengan AAS

a. Pengaturan Instrumen

Instrumen AAS

- Diatur panjang gelombang 324,8 nm
- Diatur laju alir asetilen 2 L/menit
- Diatur laju alir udara pada 10,0 L/menit
- Diatur lebar celah 0,5 nm
- Diatur kuat arus 5 mA

Hasil

b. Pembuatan Larutan Kalibrasi Standar

Cu 1000 mg/L

- dipipet 5 mL
- dimasukkan labu ukur 50 mL
- ditanda bataskan dengan HNO_3
- dihomogenkan

Cu 100 mg/L

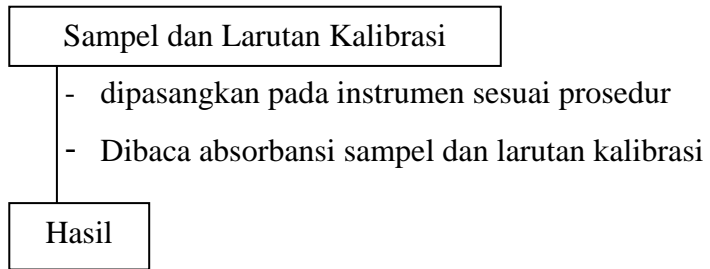
- dipipet 25 mL
- dimasukkan labu ukur 50 mL
- ditanda bataskan dengan HNO_3
- dihomogenkan

Cu 50 mg/L

- Diambil 1; 2; 3; 4; dan 5 mL
- Dimasukkan masing-masing ke dalam labu ukur 50 mL
- Ditanda bataskan dengan HNO_3
- Diperoleh larutan Cu 1, 2, 3, 4, dan 5 mg/L

Hasil

c. Pengukuran Absorbansi



Lampiran 3 Perhitungan Pembuatan Reagen

1. Pembuatan Larutan Logam Tembaga (Cu) untuk Pemaparan

a. Pembuatan Larutan Stok Logam Tembaga (Cu)

Larutan stok Cu 1000 mg/L dapat dibuat dengan melarutkan 2,5 g CuSO_4 ke dalam 1000 mL aquademin.

$$\begin{aligned} \text{Massa CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O yang dibutuhkan} &= \frac{\text{BM CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Cu}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= \frac{249,70 \text{ g/mol}}{63,5 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= 3932 \text{ mg} \\ &= 3,9 \text{ g} \end{aligned}$$

b. Pembuatan Larutan Logam Tembaga (Cu) 3 mg/L dari 1000 mg/L

Larutan logam Cu 3 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 4,5 mL larutan stok Cu 1000 mg/L yang kemudian dilarutkan dengan 1500 mL aquademin.

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

$$1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1500 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 4,5 \text{ mL}$$

c. Pembuatan Larutan Logam Tembaga (Cu) 5 mg/L dari 1000 mg/L

Larutan logam Cu 5 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 7,5 mL larutan stok Cu 1000 mg/L yang kemudian dilarutkan dengan 1500 mL aquademin.

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

$$1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1500 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 7,5 \text{ mL}$$

- d. Pembuatan Larutan Logam Tembaga (Cu) 7 mg/L dari 1000 mg/L

Larutan logam Cu 3 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 10,5 mL larutan stok Cu 1000 mg/L yang kemudian dilarutkan dengan 1500 mL aquademin.

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

$$1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 7 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{7 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1500 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 10,5 \text{ mL}$$

2. Pembuatan Larutan HNO₃ 0,5 M

$$\text{Berat Jenis HNO}_3 \text{ 65\%} = 1,39 \text{ g/cm}^3$$

$$= 1390 \text{ g/L}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$14,3505 \text{ M} \times V1 = 0,5 \text{ M} \times 500 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{0,5 \text{ M} \times 500 \text{ mL}}{14,3505 \text{ M}}$$

$$V1 = 17,42 \text{ mL}$$

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.

3. Pembuatan Larutan Kurva Standar Logam Tembaga (Cu)

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

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

$$1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V1 = 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V1 = 5 \text{ mL}$$

Larutan logam Cu 100 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 5 mL larutan stok Cu 1000 mg/L yang kemudian ditandabatkan dengan HNO_3 0,5 M hingga 50 mL.

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

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

$$100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V1 = 50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V1 = 25 \text{ mL}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

4. Konsentrasi Cu pada Air Sawah dan Air Aklimatisasi

Perhitungan konsentrasi logam Cu pada air sawah adalah sebagai berikut:

$$\text{Persamaan : Abs} = 0,1649 \times C + 0,0177$$

$$0,0075 = 0,1649 \times C + 0,0177$$

$$0,1649 C = 0,0075 - 0,0177$$

$$0,1649 C = -0,0102$$

$$C = -\frac{0,0102}{0,1649}$$

$$C = -0,0619 \text{ mg/L}$$

Menggunakan rumus yang sama diperoleh konsentrasi air sawah dan air aklimatisasi setiap ulangan pada tabel L.3.1

Tabel L.3. 1 Hasil perhitungan konsentrasi Cu

Sampel	Ulangan	Konsentrasi (ppm)	Rata-Rata
Air Sawah	1	-0,0619	-0,1329 (0)
Air Sawah	2	-0,0710	
Air Aklimatisasi	1	-0,0815	-0,1623 (0)
Air Aklimatisasi	2	-0,0808	

5. Konsentrasi Cu pada Tanaman Awal dan setelah Aklimatisasi

Contoh perhitungan konsentrasi Cu pada tanaman (mg/L) adalah sebagai berikut:

$$\text{Persamaan : Abs} = 0,1509 \times C + 0,0184$$

$$0,2825 = 0,1509 \times C + 0,0184$$

$$0,1509 C = 0,2825 - 0,0184$$

$$0,1509 C = 0,2641$$

$$C = \frac{0,2641}{0,1509}$$

$$C = 1,7502 \text{ mg/L}$$

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

$$\begin{aligned}
 [\text{Cu}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) &= \frac{[\text{Cu}] \text{instrumen} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times V \text{destruksi L}}{\text{massa sampel kering (Kg)}} \\
 &= \frac{1,7502 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,008 \text{ L}}{0,00025 \text{ Kg}} \\
 &= 56,0064 \text{ mg/Kg}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, diperoleh konsentrasi Cu pada tanaman awal dan setelah aklimatisasi pada sajian tabel L.3.2 dan L.3.3.

Tabel L.3. 2 Hasil perhitungan konsentrasi Cu sampel awal

Sampe l	Ulangan	Konsentrasi (mg/L)	Rata-rata	Konsentrasi (mg/Kg)	Rata-rata
Akar	1	1,7502	1,7546	56,0064	56,1456
Akar	2	1,7589		56,2848	
Batang	1	0,5852	0,5544	18,7264	17,7392
Batang	2	0,5235		16,7520	
Daun	1	0,2512	0,2214	8,0384	7,0832
Daun	2	0,1915		6,1280	

Tabel L.3. 3 Hasil perhitungan konsentrasi Cu setelah aklimatisasi

Sampe l	Ulangan	Konsentrasi (mg/L)	Rata-rata	Konsentrasi (mg/Kg)	Rata-rata
Akar	1	2,1127	2,0342	67,6064	65,0928
Akar	2	1,9556		62,5792	
Batang	1	1,0093	0,9527	32,2976	30,4848
Batang	2	0,8960		28,6720	
Daun	1	0,4122	0,4086	13,1904	13,0736
Daun	2	0,4049		12,9568	

6. Konsentrasi Cu pada Tanaman setelah Perlakuan

Contoh perhitungan konsentrasi Cu pada tanaman (mg/L) adalah sebagai berikut:

$$\text{Persamaan : Abs} = 0,1649 \times C + 0,0177$$

$$0,3942 = 0,1649 \times C + 0,0177$$

$$0,1649 C = 0,3942 - 0,0177$$

$$0,1649 C = 0,3765$$

$$C = \frac{0,3765}{0,1649}$$

$$C = 2,2832 \text{ mg/L}$$

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

$$\begin{aligned}
 [\text{Cu}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) &= \frac{[\text{Cu}]_{\text{instrumen}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times V_{\text{destruksi}} \text{ L}}{\text{massa sampel kering (Kg)}} \\
 &= \frac{2,2832 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,008 \text{ L}}{0,00025 \text{ Kg}} \\
 &= 73,0624 \text{ mg/Kg}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, diperoleh konsentrasi Cu pada tanaman setelah pemaparan pada sajian tabel L.3.4, L.3.5 dan L.3.6.

Tabel L.3. 4 Konsentrasi Cu pada tanaman sampel 5 hari

[Cu]awal (ppm)	Sampel	mg/L		Rata-rata	mg/Kg		Rata-rata
		I	II		I	II	
0	Akar	0,3942	0,3942	0,3942	73,0624	73,0624	73,0624
	Batang	0,1995	0,1995	0,1995	35,2800	35,2800	35,2800
	Daun	0,1509	0,1509	0,1509	17,1168	17,1168	17,1168
3	Akar	12,1886	12,1261	12,1574	390,0352	388,0352	389,0352
	Batang	3,1080	2,2450	2,6765	99,4560	71,8400	85,6480
	Daun	0,9540	0,9224	0,9382	30,5280	29,5168	30,0224
5	Akar	12,5215	12,5998	12,5607	400,6880	403,1936	401,9408
	Batang	6,6720	9,6550	8,1635	213,5040	308,9600	261,2320
	Daun	0,5985	0,4378	0,5182	19,1520	14,0096	16,5808
7	Akar	12,6574	12,6859	12,6717	405,0368	405,9488	405,4928
	Batang	3,5834	3,3275	3,4555	114,6688	106,4800	110,5744
	Daun	0,9127	0,9854	0,9491	29,2064	31,5328	30,3696

Tabel L.3. 5 Konsentrasi Cu pada tanaman sampel 10 hari

[Cu]awal (ppm)	Sampel	mg/L		Rata-rata	mg/Kg		Rata-rata
		I	II		I	II	
0	Akar	1,5792	1,5792	1,5792	50.5344	50.5344	50.5344
	Batang	0,9536	0,9536	0,9536	30.5152	30.5152	30.5152
	Daun	0,4698	0,4698	0,4698	15.0336	15.0336	15.0336
3	Akar	12,3723	12,3930	12,3827	395,9136	396,5760	396,2448
	Batang	5,2068	1,7835	3,4952	166,6176	57,0720	111,8448
	Daun	4,1346	0,3936	2,2641	132,3702	12,5952	72,4512
5	Akar	11,8678	12,7344	12,3011	379,7696	407,5008	393,6352
	Batang	13,6746	13,7488	13,7117	437,5872	439,9616	438,7744
	Daun	12,7490	13,0437	12,8964	407,9680	417,3984	412,6832
7	Akar	14,5023	14,4254	14,4639	464,0736	461,6128	462,8432
	Batang	13,7760	13,5759	13,6760	440,8320	434,4288	437,6304
	Daun	13.8105	13,7687	13,7896	441,9360	440,5984	441,2672

Tabel L.3. 6 Konsentrasi Cu pada tanaman sampel 15 hari

[Cu]awal (ppm)	Sampel	mg/L		Rata-rata	mg/Kg		Rata-rata
		I	II		I	II	
0	Akar	1,5743	1,5743	1,5743	50.3776	50.3776	50.3776
	Batang	0,9236	0,9236	0,9236	29.5552	29.5552	29.5552
	Daun	0,4882	0,4882	0,4882	15.6224	15.6224	15.6224
3	Akar	13,7440	13,6528	13,7134	440,7680	436,8896	438,8288
	Batang	4,0657	2,3996	3,2327	130,1024	76,7872	103,4448
	Daun	1,4599	1,0073	1,2336	46,7168	32,2336	39,4752
5	Akar	14,3280	13,6528	13,9904	458,4960	436,8896	447,6928
	Batang	10,2406	10,4182	10,3294	327,6992	333,3824	330,5408
	Daun	4,5977	3,8250	4,2114	147,1264	122,4000	134,7632
7	Akar	14,3632	14,4201	14,3917	459,6224	461,4432	460,5328
	Batang	13,6647	13,6600	13,6624	437,2704	437,1200	437,1952
	Daun	14,0504	14,2207	14,1356	449,6128	455,0624	452,3376

7. Persen Logam Teremediasi

Contoh perhitungan Cu yang teremediasi oleh tanaman Genjer adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Persen Cu terserap} &= \frac{[\text{Cu awal}] - [\text{Cu tersisa dalam air}]}{[\text{Cu awal}]} \times 100\% \\
 &= \frac{3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,1759 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 94,14\%$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, diperoleh hasil perhitungan persen Cu teremediasi seperti yang tersaji pada tabel L.3.7

Tabel L.3. 7 Persen teremediasi

[Cu]awal (mg/L)	Waktu Pemaparan	[Cu]terserap (mg/L)		[Cu]sisa (mg/L)		Persen teremediasi (%)		Rata- rata (%)
		I	II	I	II	I	II	
3	5	2,8241	2,9254	0,1759	0,0746	94,14	97,51	95,83
5	5	4,4809	4,4081	0,5191	0,5919	89,62	88,16	88,89
7	5	6,5555	6,5567	0,4445	0,4433	93,65	93,67	93,66
3	10	2,0133	2,1292	0,9867	0,8708	67,11	70,97	69,04
5	10	3,5070	3,5106	1,4930	1,4894	70,14	70,21	70,18
7	10	6,2662	6,2408	0,7338	0,7592	89,52	89,15	89,34
3	15	1,3062	1,1261	1,6938	1,8739	43,54	37,54	40,54
5	15	4,3475	3,3238	0,6525	1,6762	86,95	66,48	76,72
7	15	4,6810	4,7999	2,3190	2,2001	66,87	68,57	67,72

8. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF)

Contoh perhitungan nilai BCF pada tanaman Genjer adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{BCF} &= \frac{[\text{Cu}]_{\text{tanaman}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{[\text{Cu}]_{\text{awal pada air}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \\
 &= \frac{389,0352 \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{3 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \\
 &= 129,6784
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai BCF pada tanaman Genjer disajikan pada tabel L.3.8

Tabel L.3. 8 Nilai BCF tanaman Genjer

Variasi Konsentrasi (mg/L)	Variasi Waktu Pemaparan (hari)	BCF		
		Akar	Batang	Daun
3	5	129,6784	28,5493	10,0075
5	5	80,3882	52,2464	3,3162
7	5	57,9275	15,7963	4,3385
3	10	132,0816	37,2816	24,1504
5	10	78,7270	87,7549	82,5366
7	10	66,2962	62,5186	63,0382
3	15	146,2763	34,4816	13,1584
5	15	89,5386	66,1082	26,9526
7	15	65,7904	62,4565	64,6197

9. Nilai *Translocation Factor* (TF)

Contoh perhitungan nilai TF adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 TF &= \frac{[\text{Cu}]_{\text{daun atau batang}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{[\text{Cu}]_{\text{batang atau akar}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)} \\
 &= \frac{30,0224 \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{389,0352 \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)} \\
 &= 0,0772
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, diperoleh nilai TF pada tanaman Genjer seperti yang tersaji pada tabel L.3.9.

Tabel L.3. 9 Nilai TF

Variasi Konsentrasi (mg/L)	Variasi Waktu Pemaparan (hari)	TF		
		Daun/akar	Daun/batang	Batang/akar
3	5	0,0772	0,3505	0,2202
5	5	0,0413	0,0635	0,6499
7	5	0,0749	0,2747	0,2727
3	10	0,1828	0,6478	0,2823
5	10	1,0484	0,9405	1,1147
7	10	0,9534	1,0083	0,9455
3	15	0,0900	0,3816	0,2357
5	15	0,3010	0,4077	0,7383
7	15	0,9822	1,0346	0,9493

10. Nilai *Fitoremediation* (FTD)

Contoh perhitungan nilai FTD dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{FTD} &= \text{BCF} - \text{TF} \\
 &= 129,6784 - 0,0772 \\
 &= 129,6012
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai FTD dapat dilihat pada tabel L.3.10, L.3.11 dan L.3.12

Tabel L.3. 10 Nilai FTD Akar

Variasi Konsentrasi (mg/L)	Variasi Waktu Pemaparan (hari)	FTD		
		BCF akar - TF daun/akar	BCF akar - TF daun/batang	BCF akar - TF batang/akar
3	5	129,6012	129,3729	129,4582
5	5	80,3469	80,3247	79,7382
7	5	57,8526	57,6529	57,6549
3	10	131,8988	131,4338	131,7933
5	10	77,6787	77,7865	77,6124
7	10	65,3428	65,2879	65,3507
3	15	146,1863	145,8947	146,0405
5	15	89,2375	89,1309	88,8002
7	15	64,8082	64,7558	64,8411

Tabel L.3. 11 Nilai FTD Batang

Variasi Konsentrasi (mg/L)	Variasi Waktu Pemaparan (hari)	FTD		
		BCF batang - TF daun/akar	BCF batang - TF daun/batang	BCF batang - TF batang/akar
3	5	28,4772	28,1988	28,3292
5	5	52,2051	52,1829	51,5965
7	5	15,7214	15,5217	15,5237
3	10	37,0988	36,6338	36,9993
5	10	86,7065	86,8143	86,6402
7	10	61,5652	61,5103	61,5731
3	15	34,3916	34,1000	34,2459
5	15	65,8071	65,7005	65,3698
7	15	61,4743	61,4218	61,5071

Tabel L.3. 12 Nilai FTD Daun

Variasi Konsentrasi (mg/L)	Variasi Waktu Pemaparan (hari)	FTD		
		BCF daun - TF daun/akar	BCF daun - TF daun/batang	BCF daun - TF batang/akar
3	5	9,9303	9,6569	9,7873
5	5	3,2749	3,2527	2,6662
7	5	4,2636	4,0639	4,0658
3	10	23,9676	23,5026	23,8681
5	10	81,4883	81,5961	81,4220
7	10	62,0753	62,0204	62,0831
3	15	13,0684	12,7768	12,9227
5	15	26,6516	26,9526	26,2143
7	15	63,6375	63,5850	63,6703

**Lampiran 4 Hasil Analisis *Two Way Anova* (SPSS) dan Uji BNT Anova
Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
Konsentrasi	1	3 mg/L	6
	2	5 mg/L	6
	3	7 mg/L	6
Hari	1	5 Hari	6
	2	10 Hari	6
	3	15 Hari	6

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Cu_terserap

Konsentrasi Hari		Mean	Std. Deviation	N
3 mg/L	5 Hari	2.874750	.0716299	2
	10 Hari	2.071250	.0819537	2
	15 Hari	1.216150	.1273499	2
	Total	2.054050	.7456416	6
5 mg/L	5 Hari	4.444500	.0514774	2
	10 Hari	3.508800	.0025456	2
	15 Hari	3.835650	.7238652	2
	Total	3.929650	.5345427	6
7 mg/L	5 Hari	6.556100	.0008485	2
	10 Hari	6.253500	.0179605	2
	15 Hari	4.740450	.0840750	2
	Total	5.850017	.8709045	6
Total	5 Hari	4.625117	1.6527545	6
	10 Hari	3.944517	1.9009370	6
	15 Hari	3.264083	1.6702110	6
	Total	3.944572	1.7359699	18

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Cu_terserap

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	50.669 ^a	8	6.334	101.411	.000
Intercept	280.074	1	280.074	4484.413	.000
Konsentrasi	43.230	2	21.615	346.090	.000
Hari	5.557	2	2.779	44.490	.000
Konsentrasi * Hari	1.882	4	.470	7.532	.006
Error	.562	9	.062		
Total	331.305	18			
Corrected Total	51.231	17			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .979)

Post Hoc Tests

Konsentrasi

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Cu_terserap

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	3 mg/L	5 mg/L	-1.875600*	.1442855	.000	-2.278446	-1.472754
		7 mg/L	-3.795967*	.1442855	.000	-4.198813	-3.393121
	5 mg/L	3 mg/L	1.875600*	.1442855	.000	1.472754	2.278446
		7 mg/L	-1.920367*	.1442855	.000	-2.323213	-1.517521
	7 mg/L	3 mg/L	3.795967*	.1442855	.000	3.393121	4.198813
		5 mg/L	1.920367*	.1442855	.000	1.517521	2.323213
LSD	3 mg/L	5 mg/L	-1.875600*	.1442855	.000	-2.201997	-1.549203
		7 mg/L	-3.795967*	.1442855	.000	-4.122363	-3.469570
	5 mg/L	3 mg/L	1.875600*	.1442855	.000	1.549203	2.201997
		7 mg/L	-1.920367*	.1442855	.000	-2.246763	-1.593970
	7 mg/L	3 mg/L	3.795967*	.1442855	.000	3.469570	4.122363
		5 mg/L	1.920367*	.1442855	.000	1.593970	2.246763

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .062.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets**Cu_terserap**

	Konsentrasi	N	Subset		
			1	2	3
Tukey HSD ^{a,b}	3 mg/L	6	2.054050		
	5 mg/L	6		3.929650	
	7 mg/L	6			5.850017
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .062.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

Hari**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Cu_terserap

	(I) Hari	(J) Hari	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	5 Hari	10 Hari	.680600*	.1442855	.003	.277754	1.083446
		15 Hari	1.361033*	.1442855	.000	.958187	1.763879
	10 Hari	5 Hari	-.680600*	.1442855	.003	-1.083446	-.277754
		15 Hari	.680433*	.1442855	.003	.277587	1.083279
	15 Hari	5 Hari	-1.361033*	.1442855	.000	-1.763879	-.958187
		10 Hari	-.680433*	.1442855	.003	-1.083279	-.277587
LSD	5 Hari	10 Hari	.680600*	.1442855	.001	.354203	1.006997
		15 Hari	1.361033*	.1442855	.000	1.034637	1.687430
	10 Hari	5 Hari	-.680600*	.1442855	.001	-1.006997	-.354203
		15 Hari	.680433*	.1442855	.001	.354037	1.006830
	15 Hari	5 Hari	-1.361033*	.1442855	.000	-1.687430	-1.034637
		10 Hari	-.680433*	.1442855	.001	-1.006830	-.354037

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .062.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets**Cu_terserap**

	Hari	N	Subset		
			1	2	3
Tukey	15 Hari	6	3.264083		
HSD ^{a,b}	10 Hari	6		3.944517	
	5 Hari	6			4.625117
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .062.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

Lampiran 5 Dokumentasi



Gambar L5.1 Pengambilan Sampel



Gambar L5.2 Aklimatisasi Sampel



Gambar L5.3 Pemaparan Sampel



Gambar L5.4 Sampel akar



Gambar L5.5 Sampel batang



Gambar L5.6 Sampel daun



Gambar L5.7 Destruksi sampel air



Gambar L5.8 Preparasi sampel tanaman



Gambar L5.9 Sampel dalam vessel



Gambar L5.10 Microwave digestion



Gambar L5.9 Hasil Destruksi



Gambar L5.10 Proses SSA



LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkok Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 333370
E-mail : laboratoriumjasatirta1@yahoo.co.id



SERTIFIKAT CERTIFICATE

Nomor : 142 S/LL MLG/X/2020

IDENTITAS PEMILIK

Owner Identity

Nama : **Umi Hasanah**
Name
Alamat : **Universitas Islam Negeri Malang**
Address

IDENTITAS CONTOH UJI

Sample Identity

Kode Contoh Uji : **EXT 360-364/PC/X/2020/352-356**
Sample Code
Jenis Contoh Uji : **Air Limbah**
Type Sample
Lokasi Pengambilan Contoh Uji : **Terlampir**
Sampling Location
Petugas Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Done By
Tgl/Jam Pengambilan Contoh Uji : -
Date Time of Sampling
Tgl/Jam Penerimaan Contoh Uji : **15 Oktober 2020 Jam : 14.40 WIB**
Date Time of Sample Received in Laboratory
Kondisi Contoh uji : **Sudah dilakukan pengawetan**
Sample Condition (s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

Terlampir
Enclosed

Diterbitkan Di/Tanggal : **Malang, 03 November 2020**
Place / Date of Issue

Laboratorium Lingkungan
Perum Jasa Tirta I

Pengambilan contoh uji dilakukan oleh
Umi Hasanah
Tanggal 15 Oktober 2020



Dwi Hastuti Nurzaenab, ST
Deputi Manajer Teknis Laboratorium Lingkungan



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation



LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 333370
E-mail : laboratoriumjasatirta1@yahoo.co.id



Nomor : 142 S/LL MLG/XI/2020

Kode Contoh Uji
Sample Code EXT 360-364/PC/X/2020/352-356

Metode Pengambilan Contoh Uji
Sampling Method :-

Tempat Analisa
Place of Analysis : Laboratorium Lingkungan PJT I Malang

Tanggal Analisa
Testing Date(s) : 14 Oktober - 03 November 2020

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Standar Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
7 ppm						
1	COD	mg/L	40,22	-	SNI 6989.2.2009	-
5 ppm						
1	COD	mg/L	39,71	-	SNI 6989.2.2009	-
3 ppm						
1	COD	mg/L	34,88	-	SNI 6989.2.2009	-
0 ppm						
1	COD	mg/L	28,95	-	SNI 6989.2.2009	-
Aklimatisasi						
1	COD	mg/L	46,82	-	SNI 6989.2.2009	-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation