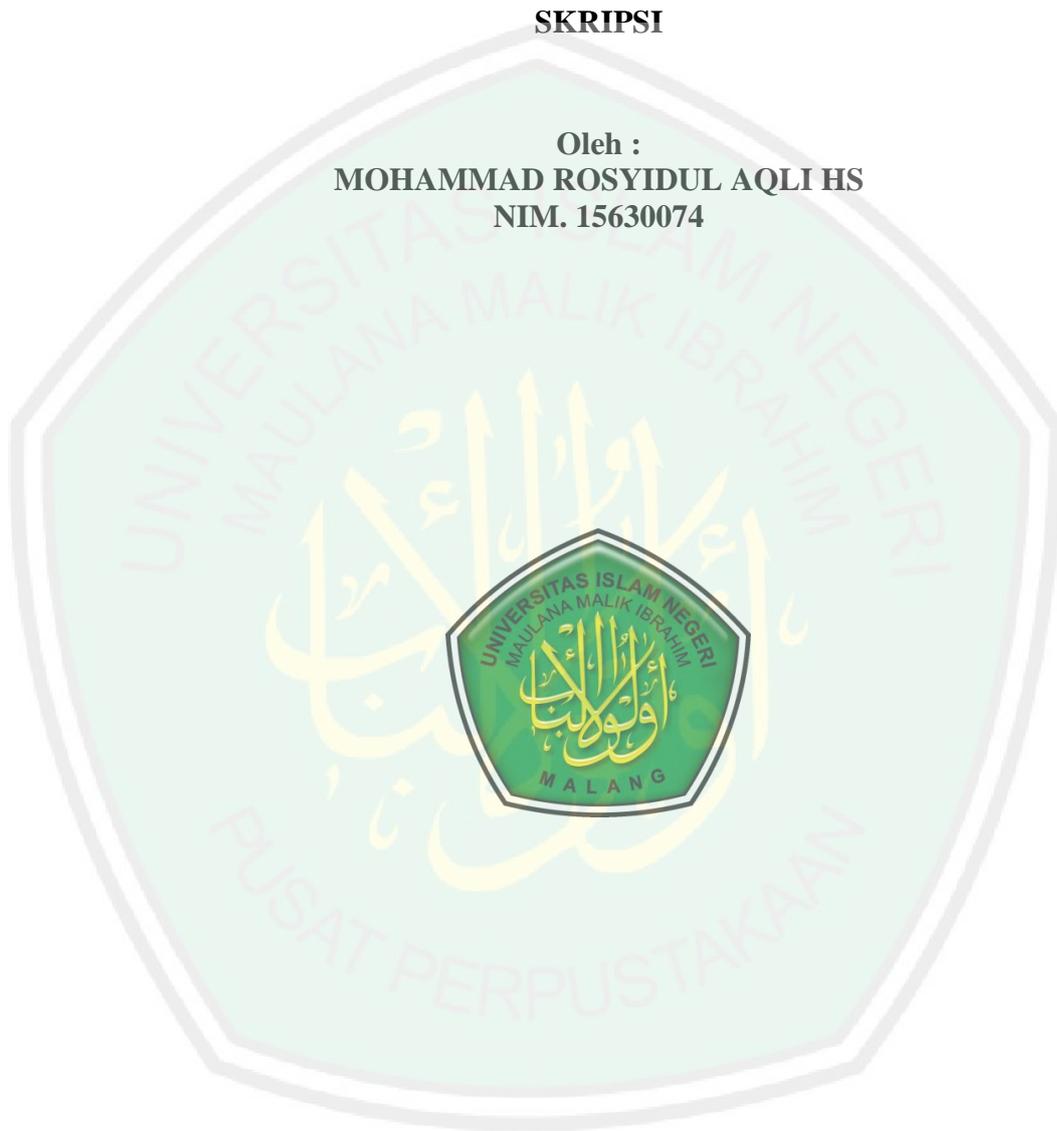


**FITOREMEDIASI OLEH TUMBUHAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*
(L.F.) Royle) DANAU RANU GRATI PASURUAN DENGAN VARIASI
KONSENTRASI LOGAM TEMBAGA (Cu)**

SKRIPSI

Oleh :
MOHAMMAD ROSYIDUL AQLI HS
NIM. 15630074



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**FITOREMEDIASI OLEH TUMBUHAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*
(L.F.) Royle) DANAU RANU GRATI PASURUAN DENGAN VARIASI
KONSENTRASI LOGAM TEMBAGA (Cu)**

SKRIPSI

Oleh :
MOHAMMAD ROSYIDUL AQLI HS
NIM. 15630074

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

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019

**FITOREMEDIASI OLEH TUMBUHAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*
(L.F.) Royle) DANAU RANU GRATI PASURUAN DENGAN VARIASI
KONSENTRASI LOGAM TEMBAGA (Cu)**

SKRIPSI

Oleh :
MOHAMMAD ROSYIDUL AQLI HS
NIM. 15630074

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 01 Agustus 2019

Pembimbing I



Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821104 200901 2 007

Pembimbing II



Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc
NIDT. 19900906 20180201 2 239

Mengetahui,
Ketua Jurusan



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

**FITOREMEDIASI OLEH TUMBUHAN HYDRILLA (*Hydrilla verticillata*
(L.F.) Royle) DANAU RANU GRATI PASURUAN DENGAN VARIASI
KONSENTRASI LOGAM TEMBAGA (Cu)**

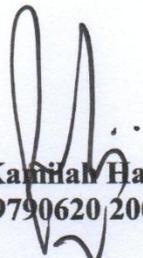
SKRIPSI

Oleh :
MOHAMMAD ROSYIDUL AQLI HS
NIM. 15630074

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 01 Agustus 2019

Penguji Utama	: Elok Kamilah Hayati, M.Si NIP. 19790620 200604 2 002	(.....)
Ketua Penguji	: A. Ghanaim Fasya, M.Si NIDT. 19890527 20160801 2 071	(.....)
Sekretaris Penguji	: Suci Amalia, M.Sc NIP. 19821104 200901 2 007	(.....)
Anggota Penguji	: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc NIDT. 19900906 20180201 2 239	(.....)

Mengesahkan,
Ketua Jurusan


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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mohammad Rosyidul Aqli Hs

NIM : 15630074

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : “Fitoremediasi oleh Tumbuhan *Hydrilla (Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle) dari Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Konsentrasi Logam Tembaga (Cu)”

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan mencamtumkan 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, 01 Agustus 2019
Yang membuat pernyataan



Mohammad Rosyidul Aqli Hs
NIM. 15630074

MOTTO

*“Whatever happens tomorrow, you must promise me one thing
that you will stay who you are.
Not a perfect soldier, but a GOOD MAN”
– Steve Rogers, ENDGAME*



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya, Bapak Mohammad Hasan, S.Pd dan Ibu Nanik Umiasih, S.Pd yang telah memberi dukungan dan do'a yang tak terhenti. Terimakasih telah bersabar dalam memenuhi hak saya untuk belajar hingga mendapat gelar sarjana ini. Terimakasih atas pelajaran hidup yang berharga tentang kerja keras, kedisiplinan, percaya diri, yakin, dan bertawakal hanya kepada Allah SWT. Semoga keberkahan dan ridlo Allah SWT selalu menyertai beliau. Selanjutnya untuk kakak saya, Laylia Maghfiroh S.I.P, terimakasih atas nasehat, do'a, serta dukungannya. Teruntuk adek saya, Mohammad Amrul Lilhaq dan seluruh keluarga besar, terimakasih telah memberi kenyamanan dan motivasi kepada saya, sehingga saya dapat belajar dengan baik.

Teruntuk pula seluruh sahabat dan teman tercinta semasa pendidikan, terimakasih atas kebersamaan, gurauan, pelajaran, dan semangatnya, semoga persahabatan ini dapat membawa keberkahan dalam hidup kita di masa depan.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Rasa syukur penulis hanturkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan naskah skripsi yang berjudul **“Fitoremediasi Oleh Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla verticillata* (L.f) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Konsentrasi Logam Tembaga Cu”** ini dengan maksimal, meskipun masih terdapat banyak kekurangan di beberapa bagian.

Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘alaihi wa sallam yang telah mengajarkan kita untk selalu berorientasi kepada agama yang benar yakni agama islam. Selanjutnya penulis menyampaikan terima kasih seiring do’a dan harapan jazakumullah ahsanal jaza’ kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Dengan segenap kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Mohammad Hasan S.Pd, Ibu Nanik Umiasih S.Pd, Laylia Maghfiroh S.I.P, dan Mohammad Amrul Lilhaq serta seluruh keluarga besar penulis yang telah mendukung dan memotivasi baik dari segi waktu, materi, dan tenaga.
2. Bapak Prof. Dr, Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Dr. Sri Hartini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

sekaligus sebagai penguji utama yang telah memberi arahan, masukan, dan kritikan kepada penulis selama menyelesaikan naskah ini.

5. Ibu Suci Amalia, M.Sc dan Bapak A. Ghanaim Fasya, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memotivasi, dan memberi masukan hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc selaku dosen pembimbing agama yang telah memberikan tugas menghafal juz amma sehingga saya dapat menghafal lebih banyak surat-surat pendek dan dapat saya amalkan dikedidupan sehari-hari.
7. Seluruh dosen jurusan kimia fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu yang berharga selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman kimia Angkatan 2015 khususnya tim penelitian Kimia Bahan Alam yang telah membantu penelitian dan memberikan canda tawa selama masa penelitian.
9. Geng Sambat (Brenda, Icus, Siwi, Adek Shovia, Sam'uth, Ridlo, Kacong, Waked dan Akhi Andy) yang telah banyak meluangkan waktu dan inspirasi selama masa perkuliahan.
10. Semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan naskah skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan naskah ini masih terdapat berbagai kekurangan. Maka dari itu, penulis berharap kritik dan masukan selalu dapat disampaikan apabila ditemukan kesalahan dikemudian hari. Penulis juga

berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca, khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 01 Agustus 2019

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	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Hydrilla (<i>Hydrilla verticillata</i> (L.F.) Royle)	8
2.2 Logam Berat Cu (Tembaga)	9
2.3 Fitoremediasi	11
2.3.1 Hydrilla (<i>Hydrilla</i>) sebagai Fitoremediator	13
2.3.2 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Cu oleh Hydrilla (<i>Hydrilla</i>)	14
2.4 Aklimatisasi Hydrilla	21
2.5 Destruksi Sampel	21
2.6 Prinsip Analisis Kadar Tembaga (Cu) secara Spektroskopi Serapan Atom	23
2.7 Fitoremediasi Hydrilla dalam Perspektif Islam	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Alat & Bahan	28
3.2.1 Alat	28
3.2.2 Bahan	28
3.3 Rancangan Penelitian	29
3.4 Tahapan Penelitian	29
3.5 Metode Penelitian	30
3.5.1 Pengambilan Sampel Tumbuhan dan Air	30
3.5.2 Aklimatisasi Sampel	30
3.5.3 Preparasi Larutan Logam Berat Cu	31
3.5.4 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Cu	31
3.5.5 Destruksi Sampel	31

	xi
3.5.6 Analisis Kadar Tembaga (Cu) dalam Hydrilla	32
3.6 Analisis Data	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Proses Pengambilan Sampel	36
4.2 Aklimatisasi Sampel	37
4.3 Penentuan Nilai Persen Terserap Logam Cu oleh Hydrilla	38
4.4 Penentuan Kadar Logam Cu dalam Bagian Tubuh Hydrilla	41
4.5 Penentuan <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)	43
4.6 Pengamatan Aktifitas Remediasi Hydrilla Selama 7 Hari	45
4.7 Pemanfaatan Hydrilla dalam Perspektif Islam	47
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tumbuhan Hydrilla (L.F.) Royle	9
Gambar 2.2 Mekanisme pengkelatan logam berat dalam tumbuhan	16
Gambar 2.3 Struktur kimia α -galakturonat	17
Gambar 2.4 Struktur stereokimia asam α -galakturonat monodirat	18
Gambar 2.5 Skema penyerapan logam Cu oleh sel tumbuhan hiperakumulator	19
Gambar 2.6 Alur umum atomisasi logam dalam SSA	24
Gambar 2.7 Komponen Spektrofotometer Serapan Atom	25
Gambar 4.1 Hydrilla setelah 7 hari aklimatisasi	38
Gambar 4.2 Persentase logam tembaga yang terserap oleh hydrilla	39
Gambar 4.3 Kapasitas adsorpsi hydrilla terhadap logam Cu	43
Gambar 4.4 Nilai BCF daun dan batang hydrilla terhadap logam Cu	44
Gambar 4.5 Total logam Cu yang tersisa selama 7 hari pemaparan dalam air...	45



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis mekanisme penyerapan logam berat oleh sistem perakaran	15
Tabel 2.2 Konsentrasi Cu pada bagian akar dan daun tumbuhan hydrilla.....	20
Tabel 3.1 Hasil pengukuran absorbansi	33
Tabel 3.2 Konsentrasi Cu dalam bagian tubuh hydrilla	33
Tabel 4.1 Hasil uji lanjutan BNT pengaruh variasi konsentrasi logam Cu terhadap persen terserapnya logam Cu oleh hydrilla	41
Tabel 4.2 Konsentrasi logam Cu dalam biomassa hydrilla	41
Tabel 4.3 Hasil uji lanjutan BNT pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penyerapan logam Cu oleh hydrilla	46
Tabel L3.1 Perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla	71
Tabel L3.2 Perhitungan kapasitas adsorpsi hydrilla	72
Tabel L3.3 Perhitungan kadar logam Cu dalam bagian tubuh hydrilla	73
Tabel L3.4 Massa biomassa daun dan batang hydrilla	73
Tabel L3.5 Hasil perhitungan nilai BCF	74
Tabel L3.6 Perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla	75
Tabel L3.7 Perhitungan hasil kadar logam Cu dalam biomassa hydrilla selama 7 hari.....	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian	57
Lampiran 2. Diagram Alir	58
Lampiran 3. Perhitungan Pembuatan reagen	64
Lampiran 4. Dokumentasi Kegiatan Penelitian	77
Lampiran 5. Data Pendukung.....	82



ABSTRAK

Aqli, M. R. 2019. **Fitoremediasi Oleh Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla* (L.F) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Konsentrasi Logam Tembaga (Cu).** *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Suci Amalia, M.Sc; Pembimbing II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Konsultan: A. Ghanaim Fasya, M.Si

Kata Kunci: Destruksi basah tertutup, fitoremediasi, hydrilla, tembaga.

Tembaga (Cu) merupakan unsur esensial bagi tubuh manusia dalam jumlah kecil, akan tetapi beracun dalam jumlah besar. Pencemaran logam Cu pada perairan di Indonesia terus meningkat berkisar antara 0,03 – 2 mg/L dan berpotensi membahayakan manusia. Padahal maksimal hanya 0,02 mg/L Cu yang diperbolehkan terkandung dalam air. Cemaran Cu di perairan dapat dikurangi oleh tumbuhan hydrilla melalui proses fitoremediasi. Hydrilla merupakan tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan hydrilla diambil dari Danau Ranu Grati Pasuruan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi logam Cu terhadap aktifitas remediasi tumbuhan hydrilla. Tahapan penelitian meliputi: pengambilan sampel, aklimatisasi, pemaparan sampel dengan logam Cu, destruksi sampel secara basah tertutup, dan analisis kadar Cu dalam sampel. Analisis kadar Cu dilakukan menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Hasilnya hydrilla mampu mengakumulasi Cu paling banyak pada konsentrasi Cu awal 3 mg/L dengan nilai persen serapan sebesar 98,07%. Rata-rata hydrilla menyerap >90% Cu dari konsentrasi Cu awal. Bagian daun dari tumbuhan hydrilla mengakumulasi Cu lebih baik daripada bagian batang. Hal itu dilihat dari nilai BCF daun yang lebih besar daripada nilai BCF batang secara keseluruhan. Penyerapan Cu oleh hydrilla paling cepat berjalan selama 7 hari pemaparan, karena penyerapan Cu oleh hydrilla dibawah 7 hari masih belum optimal.

ABSTRACT

Aqli, M. R. 2019. **Phytoremediation by Hydrilla (*Hydrilla* (L.F) Royle) Plant from Ranu Grati Pasuruan Lake with the Variation of Copper Metal Concentration.** *Essay*. Chemistry Department of Sciences and Technology Faculty of Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Suci Amalia, M.Sc; Supervisor II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Consultant: A. Ghanaim Fasya, M.Si

Key words: Copper, hydrilla, phytoremediation, wet closed digestion.

Copper (Cu) is an essential element for the human body in small quantities, but is toxic in large quantities. Cu contamination in waters in Indonesia continues to increase ranging from 0.03 - 2 mg / L and has the potential to endanger humans. Though a maximum content of Cu only 0.02 mg / L is allowed to be contained in water. Cu contamination in the waters can be reduced by hydrilla plants through phytoremediation. Hydrilla is a hyperaccumulator plant. Hydrilla plants are taken from Lake Ranu Grati Pasuruan. This study aims to determine the effect of variations in Cu metal concentration on the remediation activities of hydrilla plants. The stages of the study included: sampling, acclimatization, exposure of samples with Cu metal, wet sample destruksi covered, and analysis of Cu content in the sample. Cu content analysis was carried out using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) instruments. The result is that hydrilla is able to accumulate the most Cu at the initial Cu concentration of 3 mg / L with an absorption percent value of 98.07%. The average hydrilla absorbs > 90% Cu from the initial Cu concentration. The part of the leaves of the hydrilla plant accumulates Cu better than the stem part. It is seen from the leaf BCF value that is greater than the overall BCF value of the stem. Hydrilla Cu absorption is the fastest to run for 7 days of exposure, because the absorption of Cu by hydrilla under 7 days is still not optimal.

مستخلص البحث

عقلي، م. ر. 2019. المعالجة النباتية من قبل نباتات الهيدريل (*Hydrilla (L.F) Royle*) بحيرة رانو غراتي باسوروان مع وجود التغيير في تركيز النحاس (Cu). تقرير البحث. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: سوسي أماليا، الماجستير، المستشار: أ. غانم فاشا، الماجستير

الكلمات المفتاحية: تدمير رطب مغلق، معالجة نباتية، هيدريل، نحاس.

النحاس (Cu) هو عنصر أساسي لجسم الإنسان بكميات صغيرة. ومع ذلك، يمكن أن تكون كميات كبيرة من النحاس سامة. يستمر تلوث النحاس في المياه في إندونيسيا في الزيادة ولديه القدرة على تعريض البشر للخطر. يمكن تقليل تلوث النحاس في المياه عن طريق النباتات المائية من خلال المعالجة النباتية. هيدريل قادرة على تجميع تلوث معدن النحاس في جميع أنحاء جسمها. تؤخذ نباتات هيدريل من بحيرة رانو غراتي باسوروان. يهدف هذا البحث إلى تحديد تأثير الاختلافات في تركيز فلز النحاس على نشاط علاج الهيدريل في النباتات. تشمل مراحل هذا البحث: أخذ العينات والتأقلم والتعرض للعينات من معدن النحاس وتدمير العينات الرطبة المغلقة وتحليل محتوى النحاس في العينة. تم إجراء تحليل محتوى النحاس باستخدام أداة مطياف الامتصاص الذري (SSA). والنتيجة هي أن هيدريل قادرة على تجميع معظم معادن Cu عند تركيز Cu الأولي بمقدار 3 مجم / لتر مع قيمة امتصاص بنسبة 98.07%. تم تأكيد هذه النتائج من خلال نتائج مراقبة امتصاص الهيدريل التي يتم رصدها يوميًا لمدة 7 أيام. كانت قيمة امتصاص هيدريل في يوم 7 94.90%. هيدريل هو أيضا مصنع فرط التراكم. أوراق هيدريل تتراكم النحاس أفضل من الجزء الجذعي. يُرى من قيمة معامل التركيز الأحيائي للورق أكبر من القيمة الكلية لقيمة الكتلة الأحيائية للورق يعد امتصاص فلز النحاس بواسطة هيدريل الأسرع لمدة 7 أيام من التعرض، وفي ظل اليوم السابع لم يكن هناك اختلاف كبير في امتصاص فلز النحاس بواسطة هيدريل.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Allah berfirman dalam al Quran surat Luqman (31): 10:

ء وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ (10)

“Dan Kami turunkan hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dari padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik” (QS Luqman: 10)

Kalimat *zauj karim* pada penggalan ayat ke 10 dalam surat Luqman tersebut memiliki makna tumbuhan yang baik, yaitu tumbuhan yang subur dan memiliki manfaat (Shihab, 2002). Pesan yang dapat dipahami adalah Allah SWT menciptakan segala sesuatu selalu disertai dengan manfaat dan kelebihan masing-masing. Salah satunya adalah penciptaan tumbuh-tumbuhan yang baik untuk dimanfaatkan oleh manusia. Menurut Quthb (2004) dalam bukunya menyatakan bahwa tumbuh-tumbuhan itu mulia karena bersumber dari Allah SWT Yang Maha Mulia. Arti dari isyarat tersebut adalah tumbuhan dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang dihadapi oleh manusia, karena memiliki sifat mulia dari Allah SWT. Salah satu contoh tumbuhan yang dapat dimanfaatkan untuk membantu menyelesaikan masalah manusia adalah hydrilla.

Hydrilla (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle) merupakan jenis tumbuhan air angiospermae yang tersebar di seluruh dunia. Hydrilla tumbuh di bawah permukaan air dengan laju pertumbuhan yang cepat. Bagian tubuh dari tumbuhan ini dapat mengembangkan akar-akar baru dengan cepat. Persentase kelimpahan hydrilla di dalam air mencapai 77% (Goltenboth, dkk., 2012). Hydrilla tumbuh di beberapa

danau di Indonesia. Namun, keberadaannya tidak dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia, karena seringkali dianggap sebagai gulma. Salah satu danau yang banyak terdapat hydrilla tumbuh didalamnya adalah Danau Ranu Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Berdasarkan hasil observasi, hydrilla merupakan populasi tumbuhan yang mendominasi ekosistem di danau tersebut.

Hydrilla di Indonesia masih belum banyak dimanfaatkan karena kurangnya eksplorasi masyarakat terhadap manfaat dari tumbuhan ini. Berbeda halnya dengan negara-negara maju yang telah mampu mengembangkan berbagai jenis obat dari tumbuhan hydrilla (Pal, dkk., 2006). Selain sebagai tumbuhan obat, potensi lain dari tumbuhan hydrilla adalah sebagai objek remediasi kontaminan logam berat (Phukan, dkk., 2015). Beberapa negara yang telah banyak memanfaatkan hydrilla sebagai remediator kontaminan logam berat pada tanah dan perairan adalah Amerika, Jerman, dan China (Ansari, dkk., 2015).

Sebuah penelitian di China menyebutkan bahwa jenis tumbuhan air (*Vallisneria natans*) dapat toleran terhadap kondisi lingkungan yang terkontaminasi logam berat As hingga mencapai 2 mg/L. Tumbuhan ini mampu mereduksi logam berat As(V) yang bersifat racun menjadi As(III) yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Chen, dkk., 2015). Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan air juga memiliki potensi yang baik dalam meremediasi kontaminan logam berat dalam perairan. Begitu halnya dengan hydrilla, tumbuhan ini mampu mengurangi kontaminasi Cu dalam perairan hingga mencapai 99% (Xue, dkk., 2010).

Secara umum, tumbuhan mampu mengakumulasi logam berat di dalam tubuhnya. Namun, tidak semua tumbuhan toleran terhadap kontaminasi logam berat. Tumbuhan-tumbuhan yang toleran terhadap kontaminasi logam berat

umumnya memiliki kemampuan hiperakumulasi. Hiperakumulasi adalah kemampuan mengakumulasi logam berat dengan kadar diatas 1% dari berat keringnya. Tumbuhan-tumbuhan hiperakumulator mampu mengakumulasi logam berat dengan jumlah tinggi tanpa mengalami gangguan yang signifikan. Hydrilla merupakan jenis makrofita perairan yang memiliki kemampuan sebagai hiperakumulator logam berat (Cardwell, dkk., 2002). Hydrilla memiliki kemampuan untuk melakukan remediasi karena toleran terhadap logam berat yang ada di lingkungan sekitarnya (Phukan, dkk., 2015). Tumbuhan ini mampu mengakumulasi cemaran logam berat di dalam tubuhnya. Hal ini memungkinkan hydrilla untuk meremediasi logam berat seperti tembaga (Cu), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan lain-lain.

Terdapat berbagai macam mekanisme akumulasi logam berat dalam tubuh hydrilla. Salah satunya adalah dengan melakukan pengkelatan kompleks logam dengan protein dalam tubuh hydrilla (Hassan, dkk., 2016). Tumbuhan jenis alga seperti hydrilla mampu mensintesis senyawa protein fitokelatin (PCs) yang mampu membentuk kelat dengan logam berat sehingga terjadi proses detoksifikasi dalam tubuh hydrilla (Baycu, dkk., 2016). Pembentukan senyawa polipeptida fitokelatin ini dipicu oleh keberadaan logam berat yang berlebih dan dirangsang pembentukannya oleh enzim fitokelatin sintetase (Cobett, dkk., 2000). Selain itu, saat logam berat di akumulasi oleh tumbuhan, logam berat dalam bentuk kation dapat terperangkap oleh muatan negatif dari dinding sel oleh gugus karboksilat. Gugus fungsi karboksilat tersebut berupa asam galakturonat dalam pektin dan hidroksil dalam selulosa (Iqbal, dkk., 2009). Ikatan antara kation dengan dinding sel ini dapat terjalin dengan kuat. Kation logam berat juga dapat diserap memasuki

jaringan sel melalui sitoplasma dan vakuola (Hall, 2002). Namun, mekanisme akumulasi logam berat pada makrofitas yang terendam air seperti hydrilla memang masih belum terlalu jelas.

Menurut Xue, dkk (2010), akar dan tajuk dari hydrilla mampu mengakumulasi logam berat. Tajuk mengakumulasi logam berat lebih baik daripada akar karena luas permukaan dinding sel yang lebih lebar. Akan tetapi, akar hydrilla tidak hanya mampu mengakumulasi logam berat di luar dinding sel saja. Akar pada hydrilla mampu mengakumulasi logam berat ke dalam metabolisme tubuhnya melalui xylem dan floem, serta mengubahnya menjadi unsur yang tidak beracun. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana mekanisme penyerapan logam berat oleh bagian tubuh hydrilla, sehingga dapat diketahui seberapa jauh potensi tumbuhan ini sebagai agen remediator logam berat.

Hydrilla ditumbuhkan dalam gelas kaca yang steril. Logam yang digunakan untuk menguji aktifitas remediasi hydrilla adalah logam berat tembaga (Cu). Penggunaan tembaga (Cu) sebagai logam uji bertujuan untuk melihat potensi tumbuhan hydrilla dalam meremediasi logam tersebut. Logam Cu merupakan trace element yang dibutuhkan oleh tubuh untuk mengoptimalkan fungsi metabolisme tubuh manusia. Logam Cu dalam tubuh manusia kebanyakan berada dalam bentuk Cu^{2+} . Komponen ini dalam kadar sangat rendah berfungsi untuk mempertahankan tubuh dari serangan radikal bebas (Uauy, dkk., 1998). Namun, Cu dengan konsentrasi yang tinggi bersifat racun dan dapat mengganggu kesehatan manusia. Penelitian terbaru menyebutkan bahwa akumulasi logam Cu yang berlebihan dalam tubuh manusia dapat menyebabkan tidak normalnya metabolisme Cu dalam tubuh. Kelainan metabolisme Cu dalam tubuh berperan dalam perkembangan beragam

penyakit kompleks, seperti penyakit Parkinson dan diabetes (Siotto, and Rossana., 2018).

Logam berat Cu merupakan jenis logam yang banyak mencemari lingkungan manusia. Logam ini banyak digunakan sebagai pelapis kabel, pipa, dan barang rumah tangga lainnya. Penggunaan pestisida jenis bordeaux juga berpotensi menambah konsentrasi tembaga di perairan sekitar danau. Pestisida jenis ini memiliki komposisi tembaga sulfat didalamnya. Aktifitas inilah yang membuat cemaran Cu di perairan sekitar lingkungan hidup manusia semakin meningkat (Edward, 2013). Selain berasal dari limbah rumah tangga, cemaran logam Cu juga dapat dihasilkan dari berbagai bentuk kegiatan industri. Kegiatan industri tersebut meliputi industri tekstil, pertambangan, manufaktur, dan lain-lain. Konsentrasi Cu dalam perairan yang berasal dari kegiatan industri dapat mencapai 1000 mg/L (Figueira, dkk., 2000). Menurut PERMEN RI No 82 (2001), ambang batas kandungan Cu dalam perairan maksimal sebesar 0,02 mg/L, sedangkan cemaran logam Cu di perairan Indonesia berkisar antara 0,03 – 2 mg/L (Siregar, dkk., 2008). Kadar ini melebihi ambang batas logam berat Cu dalam perairan yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Maka perlu dilakukan pembersihan melalui teknik phytoextraction atau fitoremediasi.

Waktu pemaparan kontaminan logam berat Cu dilakukan selama 168 jam atau 7 hari. Variasi konsentrasi logam berat Cu yang digunakan adalah 1, 3, 5, 7, dan 9 mg/L. Tujuan dari variasi konsentrasi ini adalah untuk mengetahui konsentrasi Cu maksimum yang dapat ditoleransi oleh tumbuhan hydrilla. Menurut Xue, dkk (2010), menyatakan bahwa tumbuhan hydrilla mampu mengakumulasi dengan maksimal pada konsentrasi logam Cu hingga mencapai 5 mg/L.

Pengukuran kadar Cu dalam air dan biomassa hydrilla dilakukan menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Skrining awal pada bahan baku adalah dengan uji keaktifan hydrilla dalam meremediasi logam berat Cu. Aktifitas akumulasi logam berat oleh hydrilla dilihat menggunakan instrumen XRF (Gallardo-Williams, dkk., 2002). Tujuannya untuk mengetahui persentase logam Cu yang diakumulasi ke dalam metabolisme hydrilla. Penelitian ini bertujuan untuk menambah pengetahuan masyarakat pada umumnya dalam bidang fitoremediasi khususnya tentang pemanfaatan tumbuhan air Hydrilla.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi terhadap aktivitas remediasi bagian batang dan daun tumbuhan hydrilla terhadap perairan yang tercemar logam tembaga (Cu) ?
2. Apakah tumbuhan hydrilla dapat berperan sebagai hiperakumulator logam tembaga (Cu) ?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi terhadap aktivitas remediasi bagian batang dan daun tumbuhan hydrilla terhadap perairan yang tercemar logam berat Cu.
2. Untuk mengetahui tumbuhan hydrilla dapat berperan sebagai hiperakumulator limbah tembaga (Cu).

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel hydrilla berasal dari Ranu Grati di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur.
2. Sampel yang diambil adalah tumbuhan hydrilla yang tampak di permukaan air saja.
3. Analisis dilakukan pada kemampuan sampel meremediasi logam Cu dari CuSO_4 anhidrat.
4. Variasi logam Cu yang digunakan adalah 1, 3, 5, 7, dan 9 mg/L
5. Analisis biomassa hanya pada bagian batang dan daun hydrilla.
6. Kontrol hanya dilakukan pada air dan tumbuhan hydrilla saja.
7. Karakterisasi sampel dan air menggunakan instrumen AAS.

1.5 Manfaat

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hydrilla (*Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle)

Hydrilla merupakan jenis tumbuhan air yang hidup di bawah permukaan air. Hydrilla memiliki batang dan daun berwarna hijau, serta akar serabut berwarna putih atau merah kecoklatan yang tertanam di dasar air (Langeland, dkk., 1996). Morfologi batang hydrilla berbentuk tegak, ramping, bercabang dan mampu tumbuh hingga mencapai permukaan air. Daun hydrilla berbentuk kecil seperti lanset, tipis dengan tepi bergerigi, lebar 2-4 mm dan panjang 6-20 mm. Tiap tiga sampai empat helai daun tumbuh melingkar dan membentuk ruas-ruas pada batang. Tangkai daun hydrilla berwarna hijau dengan diameter 0,1 mm. Pelepah daun berwarna merah dan memiliki satu duri di bawah permukaannya (Marer dan Garvey, 2001). Penampakan tumbuhan hydrilla ditampilkan pada Gambar 2.1. Hydrilla hidup di dalam air dengan kondisi seluruh bagian tubuh terendam air atau disebut dengan *submersed aquatic plant* (Silalahi, 2010).

Tumbuhan hydrilla tumbuh dengan cepat dan acak. Banyaknya mekanisme reproduksi vegetatif yang dimiliki, memungkinkan hydrilla untuk tumbuh dengan sangat cepat. Hal ini yang membuat hydrilla dianggap sebagai gulma oleh sebagian masyarakat (Al-Mandee, 2013). Hydrilla mampu tumbuh pada kedalaman 10-15 m di bawah permukaan air. Habitatnya adalah air tawar seperti kolam, danau, sungai dan parit (Marer dan Garvey, 2001). Tahap awal pertumbuhan hydrilla adalah tumbuh satu inci per hari. Pertumbuhan ini berlanjut hingga hydrilla mencapai permukaan air yang ditandai dengan terbentuknya cabang. Kelimpahan

hydrilla di perairan dapat meningkatkan pH, mengurangi oksigen, dan meningkatkan suhu perairan (Goltenboth, dkk., 2012).

Menurut Ramesh, dkk (2014), klasifikasi dari tumbuhan *Hydrilla* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Super Divisi : Spermatophyta
 Divisi : Magnoliophyta
 Kelas : Liliopsida
 Ordo : Hydrocharitales
 Famili : Hydrocharitaceae
 Genus : Hydrilla
 Spesies : *Hydrilla* (L.F.) Royle



Gambar 2.1 Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle

2.2 Logam Berat Cu (Tembaga)

Logam berat didefinisikan sebagai logam dengan densitas diantara 3,5 – 7 g/cm³ (Duffus, 2002). Logam berat dalam sistem periodik unsur memiliki ciri dengan nomor atom diatas dua puluh. Semua logam berat relatif beracun dalam konsentrasi yang tinggi. Logam berat merupakan kelompok unsur yang heterogen. Unsur ini memiliki perbedaan yang mencolok antara sifat kimia dengan fungsinya secara biologis. Menurut Tiller (1989), logam berat dianggap sebagai polutan bagi lingkungan, contoh logam berat antara lain adalah tembaga, merkuri, timbal, zink,

dan kadmium. Namun, dalam memahami sifat fisika dari logam berat tidak cukup hanya melihat nilai densitasnya. Densitas logam berat sebenarnya tidak berpengaruh pada tingkat toksisitas dari logam berat tersebut (Appenroth, 2010).

Logam berat Cu (tembaga) adalah unsur golongan transisi dengan nomor atom 29. Tembaga memiliki massa relatif sebesar 63,55 g/mol; titik lebur 1083°C, titik didih 2310°C, jari-jari atom Cu 1,173 Å, dan jari-jari ion Cu²⁺ 0,96 Å. Tembaga memiliki dua jenis bilangan oksidasi, yaitu +1 dan +2. Ion Cu²⁺ dapat membentuk kompleks dengan bilangan koordinasi 4. Logam ini berwarna biru dalam bentuk Cu²⁺. Ion Cu⁺ jarang ditemui karena tidak stabil dalam air dan mengalami reaksi disproporsionasi seperti Persamaan 2.1 (Achmad, 2001)



Masalah kontaminasi logam berat pada tanah, air, dan sumber makanan bukanlah suatu fenomena modern, melainkan telah menjadi masalah yang bersifat turun-temurun. Hal ini terjadi sejak manusia mulai melakukan aktifitas menambang dan melebur logam pada zaman perunggu atau *Bronze Age*. Bukti eksistensi logam berat di tanah dan perairan pada zaman tersebut adalah ditemukannya kandungan beberapa jenis logam berat di dalam kerangka-kerangka manusia dan hewan kuno, padahal tidak terdapat aktifitas industri di sekitar lokasi penemuan kerangka tersebut. Hal ini membuktikan bahwa kontaminasi logam berat sudah ada sejak manusia mulai mengenal logam (Pyatt, dkk., 2005). Warisan kontaminasi ini diperparah dengan dimulainya kegiatan industri yang melibatkan logam berat dalam produksinya. Akibatnya, saat ini kontaminasi logam berat seperti tembaga

(Cu) telah menjadi masalah kesehatan yang serius. Pasalnya, logam tembaga (Cu) berperan dalam beberapa penyakit langka berbahaya seperti parkinson, alzheimer, dan diabetes (Siotto, dkk., 2018).

Pencemaran tembaga (Cu) saat ini telah dianggap sebagai pencemaran logam berat yang perlu diwaspadai (Achmad, 2001). Cemarannya logam Cu tidak selalu berasal dari limbah buangan industri. Peralatan rumah tangga seperti kabel, pipa, dan bahan-bahan yang terbuat dari kuningan dan perunggu juga dapat menyumbangkan cemaran tembaga (Edward, 2013). Hal ini membuat manusia rentan terkontaminasi logam tembaga. Logam tembaga yang terakumulasi dalam tubuh manusia banyak ditemukan pada bagian otak (Siotto, dkk., 2018). Fakta ini membuktikan bahwa tembaga saat ini perlu mendapat perhatian khusus karena mampu menyebabkan gangguan pada organ vital manusia.

Hasil penelitian Siregar pada tahun 2008 menunjukkan bahwa kadar logam Cu yang variatif di beberapa wilayah di Indonesia. Kadar logam Cu di beberapa wilayah bahkan mencapai 40 – 2000 ppb, seperti di Cilincing, Muara Sungai Barito, Waduk Saguling, dll. Nilai ini sangat jauh dari ambang batas logam Cu di perairan yang telah ditetapkan oleh pemerintah yakni sebesar 20 ppb (PERMEN RI No. 82, 2001). Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa kadar logam Cu di perairan Indonesia telah melimpah dan berpotensi terus meningkat.

2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan teknik bioremediasi yang dibantu oleh tumbuhan. Teknik ini memanfaatkan tumbuhan untuk mendegradasi, menstabilkan, dan mengurangi kontaminan di dalam tanah dan air (Gerhardt, dkk., 2009).

Kemampuan tumbuhan dalam meremiasi meliputi degradasi, adsorpsi, akumulasi, dan dalam beberapa kasus, tumbuhan mampu menguapkan senyawa atau meningkatkan aktifitas rhizosfer tanah (Newman, dkk., 2004). Penelitian terdahulu mengenai fitoremediasi menunjukkan hasil yang menjanjikan sebagai teknik yang murah dan efektif dalam strategi remedial (Gerhardt, dkk., 2009). Oleh karena itu, banyak upaya yang telah dilakukan untuk mentransisi teknik ini dari skala laboratorium ke skala komersial.

Perhatian saintifik dan komersial dalam fitoremediasi saat ini terfokus pada fitoekstraksi. Fitoekstraksi merupakan penggunaan spesies tumbuhan tertentu yang telah di seleksi lalu ditumbuhkan pada tanah yang terkontaminasi. Tumbuhan-tumbuhan ini kemudian dipanen untuk diolah bersamaan dengan polutan yang telah terakumulasi di dalam jaringan-jaringannya. Salah satu bentuk pengolahannya dapat digunakan dalam proses alternatif, seperti pembakaran untuk produksi energi (Meagher, 2000).

Teknik fitoremediasi mampu menanggulangi beragam jenis bahan atau unsur berbahaya selama daerah yang terkontaminasi mendukung untuk tumbuhnya tumbuhan fitoremediator. Skema perencanaan fitoremediasi dapat dilakukan dimanapun (Gerhardt, dkk., 2009). Menurut Ansari, dkk (2015), keuntungan utama dari teknik fitoremediasi dibandingkan dengan teknik remediasi klasik dapat dirangkum sebagai berikut: (i) Teknik ini dapat diterapkan secara in situ dan memiliki potensi yang fleksibel untuk menangani berbagai kontaminan berbahaya. (ii) Teknik ini tidak mengganggu lingkungan karena menghindari penggalian dan lalu lintas alat berat. (iii) Teknik ini mampu bersaing secara ekonomi dan memiliki tanggapan yang positif dari masyarakat. (iv) Teknik ini mampu meningkatkan

kualitas tanah dengan melestarikan struktur dan tekstur alami tanah, serta mencegah terjadinya erosi.

Sistem fitoremediasi yang berlangsung secara alami memiliki enam proses penyerapan yang dapat dilakukan tumbuhan terhadap zat kontaminan/pencemar yang berada di sekitarnya, yaitu:

- a. *Phytoaccumulation (phytoextraction)* adalah proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga terakumulasi di sekitar akar tumbuhan.
- b. *Rhizofiltration* adalah proses pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar.
- c. *Phytostabilization* adalah perlekatan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap dalam batang tumbuhan.
- d. *Rhizodegradation* yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroorganisme yang berada di sekitar akar tumbuhan.
- e. *Phytodegradation* yaitu proses penguraian zat kontaminan yang memiliki rantai molekul kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana dan berguna bagi tumbuhan itu sendiri.
- f. *Phytovolatilization* adalah proses perubahan polutan oleh tumbuhan menjadi senyawa yang mudah menguap sehingga dapat dilepaskan ke udara.

2.3.1 Hydrilla (*Hydrilla*) sebagai Fitoremediator

Strategi fitoremediasi logam berat yang efektif bergantung pada tingkat kemampuan tumbuhan dalam menoleransi dan mengakumulasi logam tersebut dari

lingkungannya. Tumbuhan dapat disebut sebagai agen fitoremediator apabila mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang tercemar logam berat. Ukuran toleransi setiap tumbuhan berbeda-beda. Setiap tumbuhan yang tumbuh pada lingkungan yang tercemar logam berat pasti mengalami gangguan pertumbuhan. Seperti halnya dengan *Hydrilla*. Tumbuhan ini mampu toleran terhadap cemaran logam Cu tanpa mengalami gangguan yang signifikan. Namun, hydrilla mulai mengalami gangguan pertumbuhan apabila konsentrasi Cu di perairan mencapai 128 µg/L dengan pengurangan laju pertumbuhan sebesar 27–36% terhadap kontrol (Xue, dkk., 2010). Nilai ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan jenis tumbuhan air terendam lainnya. Semakin tinggi konsentrasi Cu yang dapat menurunkan laju pertumbuhan tumbuhan, maka semakin baik tumbuhan tersebut dalam meremiasi logam Cu.

Indikasi kemampuan tumbuhan sebagai agen remediasi juga dilihat dari seberapa besar daya pelepasan logam berat ke perairan yang terbebas dari cemaran logam berat oleh tumbuhan tersebut. Semakin kecil daya pelepasannya, maka potensi fitoremediasinya semakin baik pula. Hydrilla masih tergolong tumbuhan yang berpotensi tinggi sebagai fitoremediator logam Cu karena rendahnya nilai daya pelepasan Cu ke perairan oleh hydrilla. Tumbuhan ini hanya melepaskan 20–49% Cu ke air yang terbebas dari cemaran Cu. Nilai ini lebih kecil daripada daya serap logam Cu oleh hydrilla yang mencapai angka 99% (Xue, dkk., 2010).

2.3.2 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Cu oleh Hydrilla (*Hydrilla*)

Hydrilla tergolong tumbuhan air yang seluruh bagian tubuhnya berada dibawah permukaan air atau terendam air (Silalahi, 2010). Kondisi ini membuat

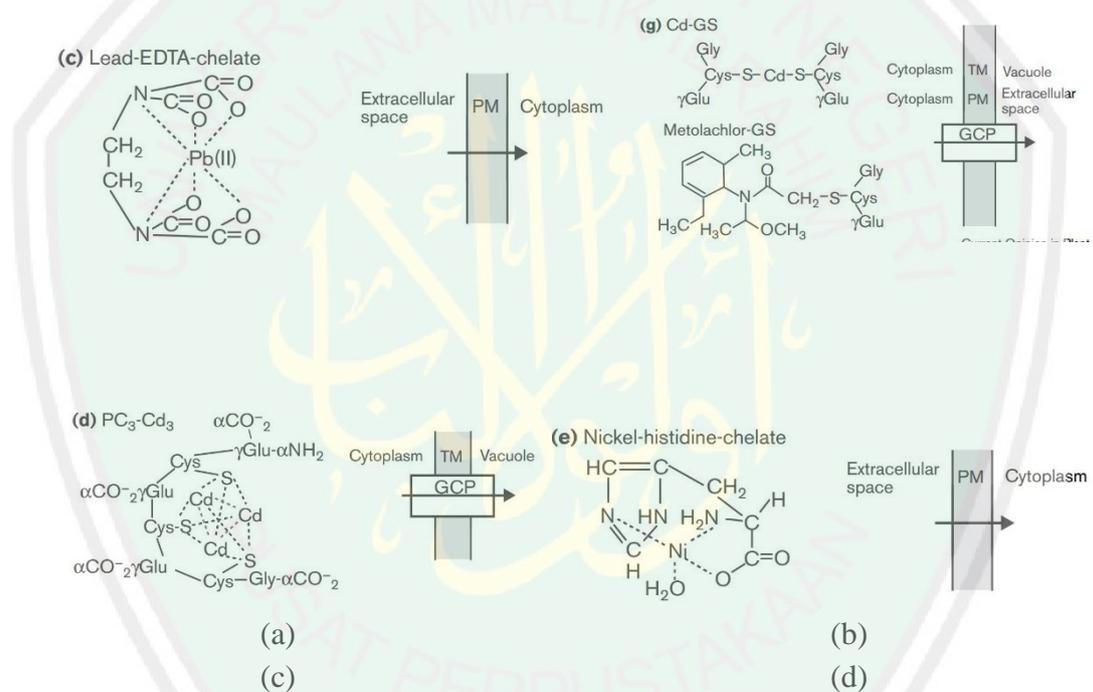
hydrilla mampu menyerap kontaminan logam berat melalui seluruh bagian tubuhnya mulai dari akar, batang, bunga, hingga daun. Terdapat tiga kemungkinan mekanisme yang terjadi saat logam berat diserap oleh hydrilla, diantaranya adalah: (i) Unsur logam berat akan diadsorp dari larutan; (ii) Unsur logam berat akan di translokasikan melalui xylem pada akar; (iii) Unsur logam berat akan di translokasikan ke bagian tajuk (Mench, dkk., 2009). Terdapat banyak mekanisme fisika, biologi, dan psikologi dalam penyerapan logam berat oleh akar tumbuhan. Jenis-jenis mekanisme penyerapan beberapa logam berat oleh sistem perakaran tumbuhan disajikan dalam Tabel 2.1 (Oliveira, 2015; dan Meers, dkk., 2005).

Tabel 2.1 Jenis mekanisme penyerapan logam berat oleh sistem perakaran

Unsur	Bentuk Absorpsi	Pesaing	Penyerapan
Cd	Cd^{2+}	Ca, Mg	Pasif, terkadang aktif
Pb	$Pb^{2+} > Pb(NO_3)_2$	Zn, Cd, Ca	Pasif
Fe	$Fe^{2+} > Fe^{3+}$	Ca, P	Aktif
Cu	Cu^{2+}	Zn, Fe, Mo, Cd, Se, Mn, Ni, Cr, N, P, Ca	Aktif dan pasif
Hg	Hg^+	K	Pasif dan aktif
Cr	$Cr^{6+} > Cr^{3+} > CrO_4^{2-}$	Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, S, P	Cr^{3+} pasif, Cr^{6+} aktif

Tabel 2.1 menunjukkan bahwa penyerapan unsur logam berat oleh sistem perakaran tidaklah sama. Penyerapan tersebut bergantung pada sifat-sifat dari unsur logam berat itu sendiri. Hydrilla yang terpapar logam Cu akan mengakumulasi logam tersebut melalui dua jenis penyerapan sesuai dengan Tabel 2.1, yaitu penyerapan aktif dan pasif. Penyerapan aktif (*metabolic*) terjadi melalui absorpsi logam kedalam sitoplasma dari epidermis atau sel kortikal dan selanjutnya masuk melalui jalur simplas (melalui sitoplasma) atau jalur apoplas (melalui dinding sel) (Russel, dkk., 1978). Penyerapan ini memerlukan energi dari kation yang dibawa

oleh protein atau enzim tertentu memasuki sel melalui membran sel. Setelah masuknya logam berat kedalam metabolisme tumbuhan, logam akan mengalami pengkelatan kompleks oleh limpahan peptida sistein, *metallothiineins* (MTs) dan *phytochelatins* (PCs). Proses pengkelatan ini yang membuat logam berat tidak lagi beracun bagi tumbuhan hydrilla atau disebut dengan *detoxification* (Baycu, 2002). Mekanisme pengkelatan logam-logam berat disajikan dalam Gambar 2.2. Logam-logam seperti Ag(I), Cd(II), Cu(II), dan Ni(II) dibawa oleh ikatan sulfur organik (R-SH) dalam residu sistein pada peptida tersebut (Meagher, 2000).

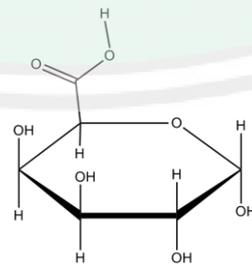


Gambar 2.2 Mekanisme pengkelatan logam berat dalam tumbuhan

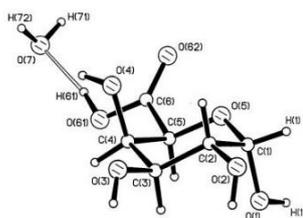
Berdasarkan Gambar 2.2 penyerapan aktif logam berat Cu oleh hydrilla melibatkan senyawa peptida, yaitu *phytochelatins* (PCs). *Phytochelatins* mengandung residu asam amino sistein yang tinggi tingkat kereaktifannya. Gugus sulfhidril (-SH) pada sistein bersifat nonpolar, tetapi gugus ini mampu membentuk

ikatan hidrogen lemah dengan oksigen dan nitrogen. Dalam sistein, pasangan elektron bebas pada atom sulfur mampu membentuk ikatan dengan elektrofil seperti ion logam (McKee, and James., 2003). Prinsip dari penyerapan aktif adalah seleksi ion yang masuk menggunakan membran permeabilitas.

Penyerapan pasif (*non-metabolic*) adalah penyerapan unsur ke dalam sel tanpa memerlukan energi. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi di luar dan di dalam sel. Selain penyerapan ke dalam sel, akumulasi logam Cu juga dapat terjadi dengan mengikat kation logam berat Cu pada dinding sel. Terdapat senyawa yang berperan dalam penyerapan ini, yaitu asam galakturonat dalam pektin (Hall, 2002). Asam galakturonat merupakan monomer dari polimer asam poligalakturonat yang ada dalam pektin pada dinding sel tumbuhan. Pektin mengandung sekitar 70% asam galakturonat (Monhen, 2008). Gugus karboksilat pada asam galakturonat membentuk muatan negatif yang dapat berikatan kuat dengan kation Cu^{2+} di dalam dinding sel (Ansari, dkk., 2015). Akibatnya kation logam berat akan diakumulasi di dalam dinding sel. Struktur kimia asam α -galakturonat disajikan dalam Gambar 2.3 (Widiastuti, 2015). Struktur stereokimia dari asam α -galakturonat monohidrat disajikan dalam Gambar 2.4 (Tang, dkk., 2001).

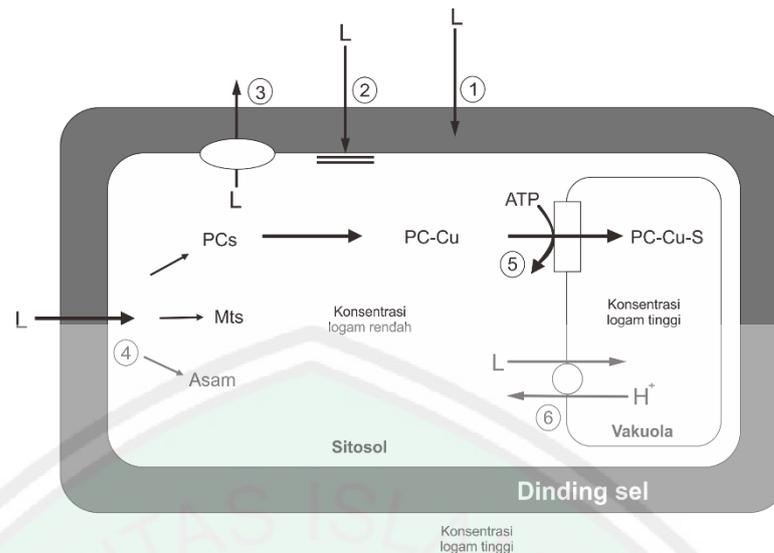


Gambar 2.3 Struktur kimia α -galakturonat



Gambar 2.4 Struktur stereokimia asam α -galakturonat monodirat

Mekanisme penyerapan logam Cu dari lingkungan cukup rumit. Mekanisme absorpsi logam Cu akan sangat berbeda berdasarkan spesies tumbuhan, karakteristik logam, dan densitas unsur terkait dengan kelarutannya. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi logam Cu awal bukan berarti semakin tinggi pula tingkat toksisitasnya terhadap hydrilla. Konsentrasi total logam Cu tidak dapat memberikan informasi yang cukup mengenai tingkat toksisitasnya. Mobilitas logam, ketersediaan hayati dan toksisitas seringkali tidak hanya bergantung pada total konsentrasi, tetapi juga pada bentuk fisikokimianya (Yuan, dkk; 2004). Bentuk fisiko kimia yang dimaksud adalah interaksi antara logam Cu dengan senyawa pada tumbuhan sehingga terbentuk suatu mekanisme akumulasi logam berat. Dalam berbagai investigasi menunjukkan bahwa Cu dalam tumbuhan terikat pada asam pektat atau histidil pada pektin dalam dinding sel. Selain itu, afinitas logam Cu yang tinggi terhadap protein dan gugus sulfidril memungkinkan adanya interaksi antara logam Cu dengan senyawa organik lain (Hu, dkk; 2010). Mekanisme tersebut mampu mengurangi konsentrasi logam Cu dari perairan, mengurangi ketersediaan dan mobilitasnya, serta mencegah efek racun logam Cu terhadap tumbuhan atau detoksifikasi.



Gambar 2.5 Skema penyerapan logam Cu oleh sel tumbuhan hiperakumulator

Bagian terpenting dalam sistem remediasi adalah hiperakumulasi dan detoksifikasi. Detoksifikasi logam berat pada tumbuhan dapat terjadi karena beberapa mekanisme. Saat hydrilla tumbuh di daerah dengan konsentrasi logam yang tinggi, sebagian logam akan menembus dinding sel dan akan membentuk kelat dengan berbagai jenis ligan (fitokelatin, metalotienin, dan asam) di dalam sitosol. Bagian yang pertama menjadi target dari logam berat Cu yang beracun adalah membran plasma. Keberadaan logam Cu yang tinggi pada membran plasma akan meningkatkan pengeluaran ion K^+ dari akar dan juga akan menghambat terbentuknya enzim ATPase. Oleh karena itu, kompleks Cu-fitokelatin (Cu-PCs) disimpan dalam vakuola. Konsentrasi logam dalam vakuola akan lebih besar dari pada dalam membran sel. Sebagian logam juga bisa dilepaskan ke perairan kembali melalui apoplas (Hall, dkk; 2002). Skema detoksifikasi logam Cu oleh sel tumbuhan diringkas dalam Gambar 2.5.

Berdasarkan Gambar 2.5 terdapat enam mekanisme sel tumbuhan hiperakumulator dalam mengakumulasi dan mendetoksifikasi logam berat dari

lingkungannya. Mekanisme-mekanisme tersebut adalah: (i) Berikatan dengan dinding sel; (ii) Mengurangi masuknya logam ke plasma membran; (iii) Pengeluaran secara aktif melalui apoplas; (iv) Pengkelatan oleh berbagai jenis ligan di dalam sitosol; (v) Transport kompleks PC-Cu ke dalam vakuola; (vi) Transport dan akumulasi logam Cu dalam vakuola (Hall, dkk; 2002). Keenam mekanisme penyerapan logam tersebut terjadi pada tumbuhan hydrilla saat tumbuh di lingkungan dengan konsentrasi tembaga yang tinggi. Selain masuk ke dalam sel dan disimpan dalam vakuola, logam Cu juga dapat diakumulasi di permukaan dinding sel dan berikatan dengan asam galakturonat dalam pektin. Struktur asam galakturonat disajikan dalam Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.

Akumulasi tajuk hydrilla terhadap logam berat Cu lebih baik dari pada akar. Kemampuan adsorpsi dinding sel pada daun yang menyebabkan logam Cu lebih banyak terakumulasi pada tajuk. Berdasarkan Tabel 2.2, konsentrasi Cu pada dinding sel daun lebih besar daripada organel di dalam sel tumbuhan hydrilla. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi dinding sel lebih besar dari pada translokasi logam Cu ke jaringan lain (Xue, dkk., 2010).

Tabel 2.2 Konsentrasi Cu pada bagian akar dan daun tumbuhan hydrilla

Waktu Pemaparan (Jam)	Akar (mg kg ⁻¹ BS)			Daun (mg kg ⁻¹ BS)		
	Dinding Sel	Organel	Larut	Dinding Sel	Organel	Larut
0	12,3	1,8	5,4	20,0	1,9	3,2
2	32,3	7,0	20,6	100	6,0	18,0
5	37,5	7,5	15,7	104	7,6	24,3
12	43,4	9,8	24,3	128	7,7	24,6
24	43,3	9,6	22,6	135	8,0	25,1
96	44,4	10,8	25,7	140	8,1	26,9

Keterangan: BS = Berat Segar

2.4 Aklimatisasi Hydrilla

Aklimatisasi atau aklimasi merupakan suatu upaya penyesuaian fisiologis atau adaptasi dari suatu organisme terhadap suatu lingkungan baru yang akan dimasukinya. Proses penyesuaian ini bersifat variatif bergantung pada sejauh mana perbedaan kondisi lingkungan lama dengan lingkungan baru organisme tersebut. Teknik aklimatisasi yang baik dan benar dapat sangat memengaruhi hasil penelitian secara ex-situ. Aklimatisasi berhubungan dengan respon jangka panjang suatu organisme terhadap lingkungan baru disekitarnya. Berbagai perubahan mendadak yang membangkitkan tanggapan cepat dan jangka pendek melalui sistem saraf dan hormonal bukanlah contoh aklimatisasi. Ketika musim panas berkurang, organisme mengubah substansi dan kebiasaan mereka dalam mengantisipasi musim dingin yang akan datang. Penyesuaian bertahap untuk kondisi seperti ini adalah aklimatisasi (Britannia, 1998). Dalam penelitian mengenai fitoremediasi yang dilakukan secara eks situ, proses aklimatisasi tumbuhan uji diperlukan untuk menyesuaikan dengan kondisi laboratorium. Tujuannya agar pertumbuhan tumbuhan tidak terganggu secara fisiologis. Aklimatisasi hydrilla diperlukan untuk mengetahui dampak yang mungkin ditimbulkan saat hydrilla tumbuh di lingkungan yang baru (Wu, dkk., 2015).

2.5 Destruksi Sampel

Metode destruksi yang digunakan untuk analisis unsur Cu adalah metode destruksi basah. Metode destruksi basah melibatkan berbagai kombinasi asam kuat dalam mendegradasi secara kimia suatu matriks sampel untuk meningkatkan kelarutan. Perlakuan-perlakuan dalam metode ini dilakukan dalam temperatur yang

tinggi dengan desain alat khusus untuk meminimalisir kontaminasi zat lain dari udara, lingkungan sekitar, dan dinding alat itu sendiri. Adanya kemungkinan hilangnya analit dari sampel akibat adsorpsi oleh dinding alat, penguapan dan koekstraksi dapat dikurangi dengan memodifikasi tahap-tahap perlakuan. Penggunaan teknik destruksi tertutup untuk mengisolasi sistem dari lingkungan sekitar dinilai dapat mengurangi dua kendala diatas, yaitu terkontaminasi dan hilangnya analit dari sampel (Twyman, 2005). Destruksi basah dapat juga dilakukan dalam beaker yang terbuka dan dipanaskan diatas penangas. Namun, pendestruksian yang dilakukan dalam labu Kjeldahl atau penampung lain yang didesain secara khusus dapat memberikan hasil yang lebih baik.

Komponen organik dalam tumbuhan dapat terdekomposisi oleh campuran asam-asam pengoksidasi. Jenis asam pengoksidasi antara lain adalah asam perklorat, asam sulfat, asam nitrat, asam peroksida, dll. Jenis asam yang tepat untuk mengoksidasi logam Cu dalam komponen organik adalah asam nitrat (HNO_3). Asam nitrat panas dapat mengoksidasi semua jenis logam berat termasuk Cu. Asam ini juga mampu mengoksidasi semua jenis komponen organik. Kinerja asam nitrat dalam mendestruksi tidak perlu ditingkatkan melalui kombinasi asam. Alasannya karena logam Cu yang dioksidasi oleh asam nitrat dapat mengalami *recovery* hingga mencapai 100% (Twyman, 2005). Pengoksidasi yang digunakan adalah 7 mL HNO_3 + 1 mL H_2O_2 sesuai dengan protokol penggunaan microwave untuk sampel tumbuhan. Kombinasi asam nitrat dengan asam peroksida mampu mendekomposisi bahan organik dan mengoksidasi logam Cu dengan nilai *recovery* 100% (Twyman, 2005). Asam nitrat mampu mendekomposisi bahan organik $(\text{CHO})_x$ yang berikatan dengan logam Cu hingga menjadi gas CO_2 dan NO sesuai

dengan Persamaan 4.1. Gas yang dihasilkan dapat meningkatkan tekanan dalam vessel dan membantu proses destruksi. Reaksi tersebut juga mengakibatkan Cu terlepas dari senyawa organik dalam sampel dan membentuk Cu^{2+} .

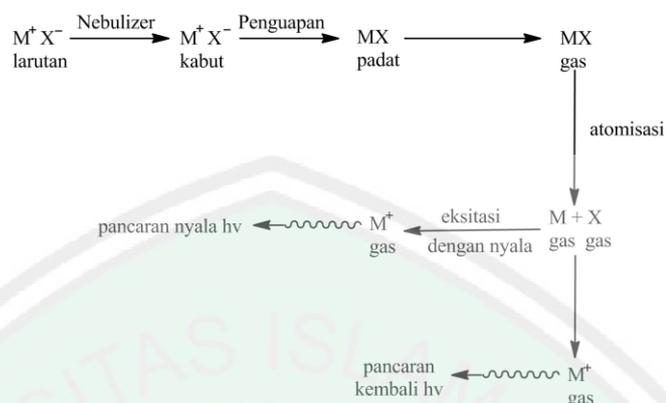


Logam Cu dalam bentuk Cu^{2+} akan membentuk garam $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ yang lebih mudah larut dalam air. Larutan tersebut dapat terionisasi dalam air dan membentuk Cu^{2+} yang dapat dianalisis dengan AAS. Fungsi penambahan asam peroksida juga sebagai pengoksidasi yang membantu memaksimalkan destruksi. Gas H_2O dan O_2 akan terbentuk saat asam peroksida dipanaskan pada suhu 100°C . Molekul air yang terbentuk akan bereaksi dengan gas NO_2 membentuk HNO_3 dan HNO_2 . HNO_3 dapat mendestruksi senyawa organik yang tersisa, sedangkan HNO_2 akan terurai kembali menjadi NO_2 dan NO . Proses tersebut akan terus berulang hingga semua senyawa organik habis terdekomposisi.

2.6 Prinsip Analisis Kadar Tembaga (Cu) secara Spektroskopi Serapan Atom

Kadar logam Cu dalam hydrilla dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS). Metode ini dipilih karena memiliki sensitifitas yang tinggi, mudah, murah, sederhana, cepat, dan hanya membutuhkan sedikit cuplikan (Supriyanto, dkk., 2007). Analisis logam menggunakan AAS lebih spesifik karena lampu katoda yang digunakan sudah sesuai dengan analit yang dianalisis. Instrumen ini juga dapat digunakan untuk menganalisis analit dengan konsentrasi yang sangat

kecil. Alur kerja AAS secara umum digambarkan dalam Gambar 2.4 (Basset, dkk., 1994).



Gambar 2.6 Alur umum atomisasi logam dalam SSA

Prinsip dasar analisis menggunakan AAS adalah penyerapan energi radiasi elektromagnetik oleh atom-atom logam pada keadaan dasar. Atom-atom pada keadaan dasar yang menyerap energi elektromagnetik dapat mengeksitasi elektronnya (Rohman, 2007). Panjang gelombang energi yang diserap oleh atom bervariasi tergantung pada sifat dari atom tersebut. Logam tembaga Cu menyerap energi pada panjang gelombang 324,8 nm. Logam dapat mengalami eksitasi saat logam menyerap energi pada keadaan dasar. Perubahan kedudukan elektron inilah yang membuat logam menjadi ion dan terbaca oleh instrumen AAS (Jain, dkk., 2006).

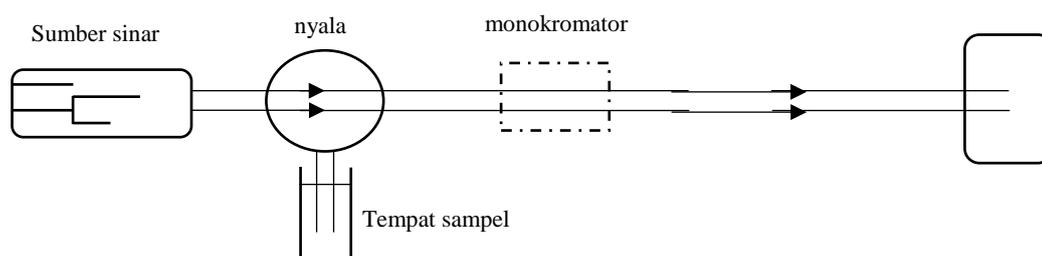
Spektroskopi Serapan Atom (AAS) menganut hukum absorpsi sinar Lambert-Beer. Hukum Lambert berbunyi, apabila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan akan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang dilewati. Hukum Beer berbunyi, intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut (Khopkar,

1990). Hukum Lambert-Beer secara matematis dapat dituliskan seperti Persamaan 2.1. Berdasarkan Persamaan 2.1, dapat dilihat bahwa absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day & Underwood, 2002).

$$A = -\log \frac{I_0}{I_t} = -\log T = \epsilon bc \dots \dots \dots 2.1$$

Dengan, A adalah nilai absorbansi. I_0 dan I_t secara berturut-turut adalah intensitas sumber sinar dan intensitas sinar yang diteruskan. ϵ adalah absorbtivitas molar (mol/liter). b adalah panjang medium atau tebal nyala. c adalah konsentrasi atom-atom yang menyerap sinar (ppm) dan T adalah transmittan.

Secara umum, instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom dapat digambarkan pada Gambar 2.6. Di dalam instrumen AAS terdapat berbagai jenis komponen penyusun. Terdapat sumber radiasi berupa lampu katoda berbentuk silinder yang dilapisi dengan lapisan logam tertentu. Tempat sampel berfungsi sebagai wadah sampel yang akan dianalisis. Monokromator terletak dibagian setelah tempat sampel. Fungsinya untuk memilih sinar monokromatis dari sinar polikromatis. Detektor terletak setelah monokromator, dimana bagian ini berfungsi untuk mengukur intensitas sinar yang dipancarkan oleh atom. Amplifier bertugas untuk memperkuat sinar yang diterima oleh detektor agar dapat di baca dengan mudah oleh *recorder*. Kemudian semua sinar yang diterima akan dicatat hasilnya oleh *readout* (Rohman, 2007).



Gambar 2.7 Komponen Spektrofotometer Serapan Atom

Analit dalam bentuk larutan harus diuapkan menjadi atom-atomnya agar dapat menyerap energi dari sinar lampu katoda yang dilewatkan. Terdapat dua jenis penguapan yang digunakan dalam AAS. Teknik pertama adalah teknik penguapan menggunakan nyala (*flame*). Nyala ini merupakan hasil pembakaran bahan bakar asetilena yang bersuhu 2200°C. Pada atomisasi ini asetilena berperan sebagai bahan bakar dan oksigen di udara berperan sebagai bahan pengoksidasi. Teknik kedua adalah penguapan tanpa nyala (*flameless*). Teknik ini memanfaatkan arus listrik untuk memanaskan wadah sampel yang terbuat dari grafit. Sampel yang berada dalam wadah grafit akan berubah menjadi atom-atom akibat pemanasan tersebut (Rohman, 2007).

2.7 Fitoremediasi Hydrilla dalam Perspektif Islam

Fitoremediasi adalah suatu upaya penanganan terhadap suatu kerusakan lingkungan. Dengan diterapkannya teknik fitoremediasi diharapkan mampu memperbaiki kondisi perairan dan tanah yang telah tercemar oleh logam berat Cu. Kondisi perairan dan tanah yang rusak akibat logam berat Cu tersebut sejatinya adalah ulah dari manusia. Aktifitas manusia yang tidak mempertimbangkan keseimbangan ekosistem lingkungan membuat manusia semena-mena terhadap lingkungannya sendiri. Padahal ada banyak makhluk Allah SWT di muka bumi, akan tetapi hanya manusia yang disebut sebagai perusak bumi. Seperti halnya yang telah disebutkan dalam QS. Ar-Ruum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ (41)

Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, Allah SWT menghendaki agar mereka merasakan

sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (QS. Ar-Ruum: 41).

Lafadz **ظَهَرَ** memiliki makna terjadinya suatu peristiwa di muka bumi secara terang dan nampak jelas, sedangkan lafadz **الْفَسَادُ** bermakna keluarnya sesuatu dari keseimbangan di daratan dan lautan baik sedikit ataupun banyak. Bumi yang semula seimbang karena kodratnya diciptakan seperti itu, menjadi tidak seimbang karena ulah manusia (Shihab, 2002). Aktifitas manusia cenderung mencemari daratan dan perairan terus menerus. Akibatnya terdapat banyak air dan tanah yang menurun kualitasnya yang juga berimbas pada kesehatan manusia.

Allah SWT telah menciptakan alam semesta serta seluruh isinya yang tergabung dan berjalan di suatu sistem yang seimbang. Semua hal tersebut telah disesuaikan dengan kebutuhan manusia untuk hidup. Namun, manusia banyak yang ingkar dan bahkan merusaknya. Hal itu membuat keseimbangan alam di laut dan di bumi menjadi tidak lagi seimbang. Untuk menjaga keseimbangan itu, maka Allah menganjurkan manusia untuk kembali ke jalan yang benar (**لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ**). Menurut Ali (2009) dalam Tafsir Yusuf Ali, menyebutkan bahwa lafadz **لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ** bermakna bahwa tujuan terakhir keadilan Tuhan dan hukuman-Nya adalah memperbaiki alam dari kerusakan dan mengembalikannya ke asal saat pertama kali diciptakan. Oleh karena itu, sudah menjadi tanggung jawab bersama manusia untuk mewujudkan hal itu agar dapat diterapkan kepada lingkungannya sendiri.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2018 – April 2019 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 & Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas laboratorium, seperangkat alat microwave digestion, oven, mortar, pH meter, gunting, spatula, aluminium foil, bola hisap, lemari asap, bak karet, wadah kaca, kertas saring Whatmann no. 42, neraca analitik, seperangkat instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merk varian spektra AA 240 yang dilengkapi dengan lampu katoda tembaga (Cu).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tumbuhan hidup *Hydrilla* dan air yang diambil dari Danau Ranu Grati Pasuruan Jawa Timur, padatan Cu (CuSO_4 anhidrat), larutan standar Cu ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) 1000 ppm, HNO_3 (E-merk), H_2O_2 , aquademin, dan aquades.

3.3 Rancangan Penelitian

Sampel hydrilla dan air yang telah diambil diuji awal kadar logam Cu dan pH airnya. Sampel hydrilla diaklimatisasi dalam bak karet berisi air ± 20 liter. Aklimatisasi hydrilla dilakukan selama 7 hari dalam bak karet dengan ditambahkan aquades (Urifah, dkk., 2017). Pemaparan sampel hydrilla dilakukan dengan menambahkan larutan CuSO_4 anhidrat sebesar 1, 3, 5, 7 dan 9 mg/L selama 7 hari dalam 1,5 L aquademin. Setelah itu dilakukan uji kadar Cu pada biomassa hydrilla dan air menggunakan metode destruksi basah tertutup menggunakan microwave untuk biomassa hydrilla. Analisis kadar Cu menggunakan instrumentasi SSA dengan metode kurva standar.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap dalam penelitian yang dilakukan ini meliputi :

1. Pengambilan sampel tumbuhan dan air.
2. Analisis awal kadar logam Cu pada sampel tumbuhan dan air menggunakan instrumen SSA.
3. Aklimatisasi sampel tumbuhan dan kontrol.
4. Pemaparan sampel tumbuhan dengan larutan logam Cu.
5. Destruksi sampel.
6. Analisis kadar logam Cu pada bagian batang, dan daun sampel tumbuhan hydrilla.
7. Analisis data.

3.5 Metode Penelitian

3.5.1 Pengambilan Sampel Tumbuhan dan Air

Sampel hydrilla dan air diambil dari Danau Ranu Grati Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Tumbuhan hydrilla yang berwarna hijau dengan ukuran daun sebesar 1,25 – 2 cm diambil sebanyak 2 kg pada bagian yang terlihat di permukaan air saja. Alat yang digunakan untuk mengumpulkan tumbuhan adalah perahu, gunting, dan wadah sterefoam. Tumbuhan dibilas dengan air untuk membersihkan suspensi atau pengotor lain yang dapat mengganggu pengamatan dan mencegah pembusukan. Sampel ditempatkan dalam wadah plastik dengan ditambahkan sedikit air agar tumbuhan tidak kekeringan saat dibawa dari danau ke laboratorium di kota Malang. Sampel air diambil sebanyak 250 mL dengan di tempatkan dalam wadah kaca. Pengambilan sampel air di bagi menjadi tiga area, yaitu area pariwisata, area pemukiman dan tambak, serta area tengah danau. Sampel air ditambahkan 4 tetes HNO₃ sampai pH 2 (SNI 6989.59: 2008).

3.5.2 Aklimatisasi Sampel

Perlakuan awal untuk membantu adaptasi tumbuhan terhadap lingkungan barunya adalah aklimatisasi. Aklimatisasi dilakukan dengan memasukkan tumbuhan hydrilla ke dalam bak karet yang berisi akuades sebanyak ±20 liter dan dibiarkan selama 7 hari. Tujuan dari aklimatisasi ini adalah agar tumbuhan dapat beradaptasi dengan lingkungan buatan yang dibuat dalam skala laboratorium. Langkah ini dilakukan sebelum tumbuhan dipindahkan ke wadah-wadah kaca yang berbeda.

3.5.3 Preparasi Larutan Stok Logam Cu

Larutan stok tembaga (Cu) 1000 ppm dibuat dengan cara melarutkan 2,5 g tembaga sulfat anhidrat (CuSO_4) dalam 1 L aquademin. Dari larutan stok tersebut dibuat larutan tembaga dengan konsentrasi 1, 3, 5, 7, dan 9 mg/L masing-masing sebanyak 1500 mL.

3.5.4 Pemaparan Sampel dengan Logam Cu

Tumbuhan hydrilla ditimbang dengan berat masing-masing tumbuhan sebesar 50 g. Setiap tumbuhan diletakkan dalam satu buah wadah kaca tanpa media tanam. Wadah kaca yang dibutuhkan sebanyak 18 buah. Tiga wadah kaca sebagai kontrol berisi hydrilla dan akuademin, sedangkan 15 wadah lainnya berisi tumbuhan hydrilla dan larutan logam dengan konsentrasi 1, 3, 5, 7, dan 9 mg/L dengan tiga kali pengulangan (triplo). Kemudian air dan biomassa hydrilla diambil setelah 7 hari pemaparan.

3.5.5 Destruksi Sampel

Sampel yang telah dipapar logam berat Cu dipreparasi dengan metode destruksi basah tertutup sebelum dianalisis menggunakan SSA. Bagian batang dan daun Hydrilla dipisahkan dan dikeringkan dengan oven bersuhu 120°C selama 2 jam (Gallardo-William, dkk., 2002). Destruksi basah tertutup menggunakan microwave digestion dilakukan dengan cara menimbang 0,5 gram sampel bagian tubuh tumbuhan hydrilla dan dimasukkan vessel. Kemudian dimasukkan larutan pengoksidasi sesuai dengan method di aplikasi note microwave, untuk sampel berupa tumbuhan ditambah dengan 7 mL HNO_3 65% + 1 mL H_2O_2 30% (Dewi,

dkk., 2013). Vessel ditutup lalu dipasang sensor suhu dan tekanan. Klik start (tombol hijau). Proses digest ditunggu sampai selesai. Setelah proses berhenti, dinginkan suhu hingga mencapai 60°C. Dibuka vessel microwave. Hasil destruksi disaring dengan kertas saring. Dilakukan pengenceran terhadap hasil destruksi sampel sebanyak 2 kali. Pengenceran pertama diambil 8 mL larutan hasil dan ditandabatkan ke dalam labu takar 25 mL. Kemudian diambil kembali larutan hasil pengenceran pertama sebanyak 2 mL dan diencerkan ke dalam labu takar 25 mL. Namun, untuk sampel daun dengan konsentrasi logam Cu 0 mg/L hanya diencerkan sekali saja.

3.5.6 Analisis Kadar Tembaga (Cu) dalam Hydrilla

Larutan baku standar $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 100 mg/L dibuat dari larutan stok Cu 1000 mg/L yang dipipet sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditanda bataskan dengan HNO_3 0,5 M. Larutan standar Cu 1, 2, 3, 4 dan 5 mg/L dibuat dengan cara mengambil 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 dan 1,25 mL larutan baku standar 100 mg/L ke dalam labu ukur 50 mL kemudian diencerkan dengan HNO_3 0,5 M sampai tanda batas. Semua sampel air yang diambil didinginkan sampai proses analisis siap untuk dilakukan. Sampel air dan tumbuhan dianalisis menggunakan instrumen SSA. Setelah semua sampel siap, kadar tembaga (Cu) ditentukan menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang 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 gelombangnya 324,8 nm. Aliran asetilen diatur dengan laju 2 L/menit. Aliran udara diatur dengan laju 10,0 L/menit. Lebar celah dan kuat arus

diatur menjadi 0,5 nm dan 5 mA secara berturut-turut. Semua sampel dan larutan standar diukur absorbansinya. Sampel daun dan batang tumbuhan hydrilla dalam variasi konsentrasi Cu 1, 3, 5, 7, dan 9 mg/L diukur absorbansinya dan diplotkan hasil pengukuran ke dalam Tabel 3.1. Dalam setiap variasi konsentrasi dilakukan tiga kali pengulangan. Pengukuran kadar Cu dilakukan pada saat uji awal hydrilla yang baru diambil dari danau, pada hari pertama pemaparan, dan hari ke tujuh setelah pemaparan.

Tabel 3.1 Hasil pengukuran absorbansi

[Cu] (mg/L)	Bagian Tumbuhan	Pengulangan		
		I	II	III
1	Daun			
	Batang			
3	Daun			
	Batang			
5	Daun			
	Batang			
7	Daun			
	Batang			
9	Daun			
	Batang			

Tabel 3.2 Konsentrasi Cu dalam bagian tubuh hydrilla

[Cu] (mg/L)	Bagian Tumbuhan	Hari ke -				
		0	1	3	5	7
3						

3.6 Analisis Data

Konsentrasi 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 tumbuhan hydrilla, dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.1. Dalam persamaan tersebut dihitung perbandingan konsentrasi logam yang diakumulasi oleh akar (mg/kg BS) dengan konsentrasi logam yang tersisa di perairan (mg/L). Persamaan tersebut disebut dengan Biological Concentration Factor (BCF).

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

Kadar hydrilla dalam biomassa berbeda dengan kadar logam Cu dalam larutan, sehingga kadar logam Cu dalam biomassa dihitung menggunakan Persamaan 3.2.

$$\text{Kadar logam Cu (mg/kg)} = \frac{b \times v \text{ (L)} \times Fp}{m \text{ (g)}}$$

Dimana, *b* adalah konsentrasi logam Cu yang didapatkan dari perhitungan menggunakan instrumen AAS dengan satuan mg/L. *v* adalah volume larutan hasil setelah destruksi dengan satuan liter. *Fp* adalah faktor pengenceran yang dilakukan dalam preparasi sampel sebelum analisis menggunakan AAS. *m* adalah massa cuplikan biomassa yang didestruksi dengan satuan gram. Kemudian, untuk mengetahui kemampuan hydrilla dalam mengakumulasi logam dari perairan dapat dihitung *Bioconcentration Factor* (BCF) nya dengan Persamaan 3.3.

$$\text{BCF} = \frac{[\text{Metal}]_{\text{bagian tumbuhan}}}{[\text{Metal}]_{\text{air}}} \dots\dots\dots 3.3$$

Kapasitas adsorpsi yang dimiliki oleh tumbuhan hydrilla segar dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.4

$$Q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{m} \right) \times V \dots\dots\dots 3.4$$

Dimana, Q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g). C_0 adalah konsentrasi larutan awal dan C_e adalah konsentrasi larutan akhir. m adalah massa adsorben yang digunakan (g) dan V adalah volume total larutan (L).

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan one way ANOVA diikuti dengan perbandingan antara rata-rata dengan menggunakan uji perbedaan yang paling signifikan (Xue, dkk., 2010).



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengambilan Sampel

Penelitian ini menggunakan sampel tumbuhan hydrilla segar yang diambil secara langsung dari habitat aslinya di Danau Ranu Grati, Kabupaten Pasuruan. Teknik purposive sampling dimanfaatkan sebagai teknik yang digunakan untuk mengambil sampel tumbuhan hydrilla tersebut. Teknik purposive sampling adalah teknik penentuan pengambilan sampel berdasarkan pada kondisi lingkungan hidup di daerah tempat penelitian. Terdapat tiga titik pengamatan yaitu titik A, B, dan C. Setiap titik diambil sampel airnya untuk dianalisis kandungan logam Cu-nya. Sampel air diasamkan untuk menghindari aktivitas mikroba (Ramchander, dkk., 2015). Selanjutnya sampel air dianalisis kandungan logam Cu dengan AAS.

Titik A terletak di kawasan wisata, sedangkan titik B dan C terletak di kawasan pemukiman warga dan area tengah danau. Kandungan logam Cu pada titik A cukup tinggi, yaitu 0,069 mg/L. Pada titik B dan C kandungan logam Cu-nya lebih rendah daripada titik A yaitu 0,029 dan 0,026 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa danau Ranu Grati Pasuruan telah tercemar logam berat Cu karena ketiga titik pengamatan mengandung Cu diatas 0,02 mg/L (PERMEN RI No 82, 2001).

Kandungan logam Cu yang tinggi pada titik A dipicu oleh banyaknya aktivitas wisata. Pada titik ini juga terdapat banyak limbah yang tertimbun di beberapa pintu air yang mengalirkan air dari danau ke sungai. Pada titik A juga tidak terdapat tumbuhan hydrilla yang tumbuh. Pada titik B banyak terdapat aktivitas warga sekitar. Aktivitas ini sebenarnya justru lebih berpotensi

menyumbang pencemaran logam Cu lebih besar dari pada titik A. Terdapat banyak keramba ikan yang terbentang sepanjang titik B yang berpotensi menghasilkan limbah pakan ikan yang cukup banyak. Ditambah lagi dengan limbah buangan masyarakat yang juga dibuang ke danau. Namun, kondisi ini justru berbanding terbalik dengan hasil analisis yang menunjukkan bahwa kandungan logam Cu pada titik B lebih rendah dibanding dengan titik A. Diduga kondisi ini terjadi karena tumbuhan hydrilla yang tumbuh di sekitar titik B berperan dalam mengurangi kandungan logam dalam perairan tersebut. Pada titik C juga mengandung logam Cu yang rendah, bahkan paling rendah daripada dua titik lainnya. Alasannya karena titik C terletak di area tengah danau yang tidak banyak terdampak oleh aktivitas manusia.

Titik pengambilan hydrilla adalah pada titik B. Alasannya karena posisi tumbuh hydrilla berada hanya ± 2 meter di bawah permukaan air, sehingga sampel hydrilla relatif mudah untuk diambil. Proses pengambilan sampel tumbuhan hydrilla dan air dilakukan pada siang hari pukul 09.00 WIB hingga pukul 13.00 WIB. Sampel tumbuhan dipilih yang berwarna hijau dengan ukuran daun sebesar 1,25 – 2 cm. Digunakan perahu selama proses pengambilan karena debit air danau mengalami peningkatan. Sampel disimpan dalam wadah plastik dengan ditambahkan air untuk menjaga kelembapan hydrilla sehingga dapat bertahan selama perjalanan menuju laboratorium.

4.2 Aklimatisasi Sampel

Tumbuhan hydrilla ditumbuhkan dalam skala laboratorium selama masa penelitian. Oleh karena itu, proses aklimatisasi harus dilakukan agar hydrilla

mampu bertahan hidup. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan hasil yang representatif terhadap kemampuan hydrilla sebagai agen fitoremediator secara optimal. Proses aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dalam wadah plastik berisi akuades tanpa media tanam. Aerator ditambahkan sebagai sumber oksigen untuk menjaga suplai oksigen terlarut dalam air tetap seimbang. Hydrilla ditempatkan dekat dengan ruang terbuka agar mendapatkan persediaan cahaya yang cukup saat siang hari. Hasilnya hydrilla dapat tumbuh dengan baik. Berdasarkan Gambar 4.1, tumbuhan berwarna hijau segar dan terdapat akar baru yang tumbuh. Salah satu faktor penentu keberhasilan proses aklimatisasi adalah dapat tumbuhnya akar-akar baru (Febrianto, dkk; 2015).

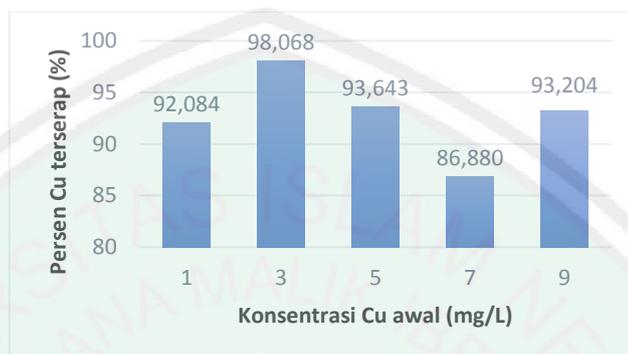


Gambar 4.1 Hydrilla setelah 7 hari aklimatisasi

4.3 Penentuan Nilai Persen Terserap Logam Cu oleh Hydrilla

Konsep penelitian ini adalah pembuatan suatu lingkungan hidup buatan untuk hydrilla dengan konsentrasi logam Cu yang berbeda-beda. Tujuannya adalah untuk mengetahui sejauh mana kemampuan hydrilla dalam mengurangi logam Cu dari perairan. Parameternya adalah total serapan logam Cu oleh hydrilla dan kondisi

fisik hydrilla setelah dilakukan pemaparan. Hydrilla harus mampu bertahan dengan baik dalam kondisi air tercemar logam berat. Persentase logam tembaga yang berhasil diserap oleh hydrilla pada berbagai konsentrasi disajikan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Persentase logam tembaga yang terserap oleh hydrilla

Berdasarkan Gambar 4.2, hydrilla dengan berat yang sama mampu menyerap logam Cu dengan persentase yang beragam. Pada konsentrasi logam Cu 1 mg/L, hydrilla mampu menyerap sebesar 92,08% logam Cu dari konsentrasi total logam dalam larutan. Artinya sebanyak 0,9208 mg/L logam Cu telah diserap oleh hydrilla dalam waktu 7 hari. Persentase logam Cu terserap mengalami kenaikan pada konsentrasi Cu sebesar 3 mg/L dan merupakan nilai serapan tertinggi. Pada kondisi ini hydrilla telah menyerap 2,9421 mg/L logam Cu dari larutan. Namun, pada konsentrasi 5 mg/L dan seterusnya nilai serapan hydrilla terhadap logam Cu mengalami penurunan yang signifikan. Persen Cu terserap paling rendah berada pada larutan dengan konsentrasi Cu sebesar 7 mg/L. Angkanya dibawah 90% yaitu hanya 89,47%, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada konsentrasi 3 mg/L sebesar 98,07%. Dari hasil pada Gambar 4.2 dan Tabel L3.1 dapat disimpulkan bahwa hydrilla mampu mengurangi rata-rata 90% cemaran logam Cu dalam larutan.

Menurut Xue (2010), menyatakan bahwa tumbuhan hydrilla mampu menyerap logam Cu dari larutan sebesar 99% saat dipapar dengan 4 mg/L logam Cu.

Analisis secara statistik menggunakan one way ANOVA serta uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi konsentrasi logam Cu terhadap persen terserapnya logam Cu oleh hydrilla. Pengujian statistik data ini menggunakan taraf signifikansi 5% dengan pengujian hipotesis sebagai berikut :

1. $H_0 = 0$, artinya tidak ada pengaruh variasi konsentrasi logam Cu terhadap persen terserapnya logam Cu oleh hydrilla.
2. $H_1 \neq 0$, artinya ada pengaruh variasi konsentrasi logam Cu terhadap persen terserapnya logam Cu oleh hydrilla.

Berdasarkan hasil pada Lampiran 5.1 menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Artinya terdapat pengaruh variasi konsentrasi logam Cu terhadap persen terserapnya logam Cu oleh hydrilla. Maka uji lanjutan dapat dilakukan untuk melihat perbedaan yang signifikan dari berbagai perlakuan. Uji lanjut yang digunakan adalah uji Beda Nyata Terkecil (BNT) atau LSD. Data hasil uji BNT dapat menunjukkan beda nyata antara satu perlakuan terhadap perlakuan yang lain. Selain itu juga dapat diketahui nilai maksimum dan minimum persentase logam Cu yang terserap oleh hydrilla dalam berbagai perlakuan. Hasil uji BNT ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Lampiran 5.1 disimpulkan bahwa hydrilla dengan berat 50 gram dapat menyerap logam Cu paling baik pada konsentrasi logam Cu sebesar 3 mg/L saat dipapar selama 7 hari. Hasil ini relevan dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa jenis tumbuhan air yang terendam

seperti hydrilla memiliki penyerapan paling tinggi pada konsentrasi logam Cu sebesar 3 mg/L (Hu, dkk; 2010). Kemampuan hydrilla dalam menyerap logam Cu pada konsentrasi lain masih mungkin untuk ditingkatkan potensinya dengan menambah waktu pengamatan menjadi 14 sampai 30 hari.

Tabel 4.1 Hasil uji lanjutan BNT pengaruh variasi konsentrasi logam Cu terhadap persen terserapnya logam Cu oleh hydrilla

Variasi konsentrasi logam Cu (mg/L)	Rata-rata (%)	Notasi
7	86,880	A
1	92,084	B
9	93,203	B
5	93,643	B
3	98,067	C

4.4 Penentuan Kadar Logam Cu dalam Biomassa Hydrilla

Tiap bagian tubuh hydrilla memiliki kemampuan akumulasi logam Cu yang berbeda-beda. Menurut Xue, dkk (2010), bagian tunas dari tumbuhan hydrilla dapat mengakumulasi logam Cu lebih baik dari pada bagian akar. Tunas tumbuhan hydrilla terdiri dari bagian batang dan daun. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap kemampuan akumulasi Cu oleh bagian batang dan daun hydrilla. Hasil analisis kadar logam Cu dalam batang dan daun hydrilla disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Konsentrasi logam Cu dalam biomassa hydrilla

Konsentrasi logam Cu awal (mg/L)	Konsentrasi logam Cu dalam biomassa hydrilla (mg/kg DW)	
	Daun	Batang
0	144,900	0,691
1	383,307	74,449
3	1593,386	247,778
5	2429,147	448,305
7	2761,976	513,765
9	4085,918	860,424

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa bagian daun hydrilla mengakumulasi logam Cu lebih banyak dari pada bagian batang. Besaran nilai konsentrasi logam yang diserap oleh masing-masing bagian meningkat seiring dengan meningkatnya total konsentrasi Cu awal dalam larutan. Logam Cu lebih banyak terakumulasi ke dalam daun karena luas permukaan daun lebih besar dari pada batang. Hal tersebut dilihat dari perbandingan berat biomassa daun dan batang yang diperoleh adalah 2 : 1 berdasarkan data pada Tabel L3.4. Luas permukaan berpengaruh terhadap banyaknya Cu yang diakumulasi oleh tumbuhan hydrilla. Alasannya karena berdasarkan data pada Tabel 2.2 disebutkan bahwa kandungan Cu terbanyak terdapat pada dinding sel daun (Xue, dkk., 2010). Artinya saat Cu diakumulasi oleh daun, maka logam Cu akan lebih banyak teradsorpsi oleh dinding sel dari pada masuk ke dalam organel sel daun. Logam Cu berinteraksi melalui ikatan dengan senyawa asam galakturonat pada pektin di dinding sel daun (Hall, dkk., 2002). Urutan kandungan Cu terbanyak pada tubuh tumbuhan dimulai dari bagian daun > akar > batang (Angelova, dkk., 2006).

Informasi lain yang didapatkan dari Tabel 4.2 adalah hydrilla mampu bertindak sebagai tumbuhan hiperakumulator. Pada dasarnya tumbuhan hiperakumulator Cu harus mampu mentolelir sedikitnya 280 mg Cu/kg berat kering biomasanya (Baker, dkk; 1994). Apabila melihat hasil pada Tabel 4.2, hydrilla dapat dikategorikan sebagai tumbuhan hiperakumulator logam berat Cu karena jumlah logam Cu yang diakumulasi lebih dari 280 mg/kg berat kering biomasanya.

Hasil pada Tabel 4.2 juga berkaitan dengan kemampuan adsorpsi tumbuhan hydrilla terhadap logam Cu. Kemampuan adsorpsi suatu bahan ditunjukkan dengan nilai kapasitas adsorpsinya. Kapasitas adsorpsi adalah kapasitas adsorben dalam

menyerap suatu adsorbat pada permukaannya. Jumlah adsorbat yang dapat diserap bergantung pada luas permukaan adsorben. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi hydrilla pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi hydrilla hidup terus meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi logam Cu dalam larutan. Kapasitas tertinggi terdapat pada konsentrasi logam Cu sebesar 9 mg/L, nilainya adalah 4,99 mg/g. Hasil ini masih dimungkinkan akan terus meningkat apabila melihat trend yang dihasilkan. Kapasitas adsorpsi akan mulai konstan saat adsorbat yang diserap oleh adsorben mulai setimbang dengan adsorbat yang ada pada larutan. Dengan hasil ini dapat disimpulkan bahwa hydrilla masih memiliki potensi untuk mengakumulasi logam Cu lebih banyak lagi. Menurut Harguinteguy, dkk (2014), tumbuhan air lain yang mirip dengan hydrilla seperti *Stuckenia filiformis* memang memiliki kapasitas yang besar dalam mengakumulasi logam berat ke dalam tubuhnya, sehingga memungkinkan tumbuhan air seperti hydrilla untuk mengakumulasi banyak logam Cu.



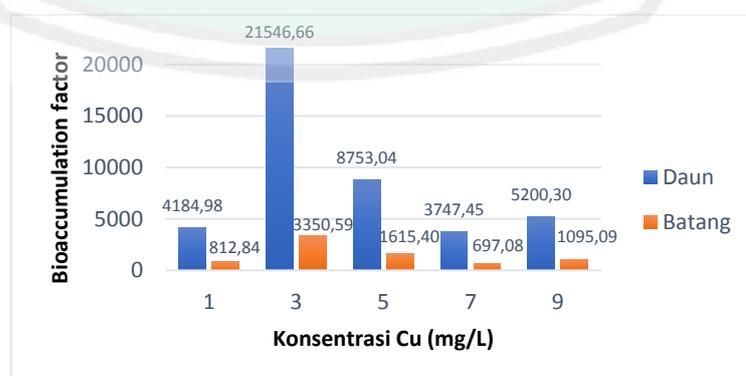
Gambar 4.3 Kapasitas adsorpsi hydrilla terhadap logam Cu

4.5 Penentuan *Bioconcentration Factor* (BCF)

Bioconcentration adalah proses teradsorpsinya suatu zat kimia dari lingkungan sekitar oleh sebuah organisme hidup melalui sistem pernapasan, rongga tubuh dan dinding sel permukaan kulitnya. *Bioconcentration* hanya dapat dialami

oleh tumbuhan yang masih hidup. Secara matematis, nilai *bioconcentration* ditunjukkan melalui sebuah persamaan yang disebut dengan *Bioconcentration Factor* (BCF). BCF didapat dari rasio konsentrasi suatu bahan kimia dalam tubuh organisme dan konsentrasi bahan kimia dalam larutan saat keadaan stabil (Arnot, dkk; 2006). Tiap-tiap bagian tubuh hydrilla memiliki nilai BCF nya masing-masing, sehingga dapat diketahui bagian mana yang memiliki kemampuan lebih baik dalam mengakumulasi logam Cu. Nilai BCF dihitung menggunakan Persamaan 3.2. Hasil perhitungan nilai BCF digambarkan dalam bentuk grafik gabungan antara nilai BCF daun dan batang pada Gambar 4.4.

Berdasarkan Gambar 4.4, nilai BCF daun lebih besar dari pada nilai BCF batang secara keseluruhan. Artinya daun dapat mengakumulasi logam Cu lebih baik dari pada batang. Nilai keduanya (BCF batang dan daun) meningkat dari konsentrasi 1 mg/L ke konsentrasi 3 mg/L. Namun, mengalami penurunan yang signifikan sekitar 40% pada saat konsentrasi logam Cu awal berada diatas 3 mg/L. Menurut Hu, dkk, (2010) penelitian serupa dengan variasi konsentrasi Cu yang lebih besar mulai dari 0, 1, 3, 5, 10, dan 20 mg/L menunjukkan hasil serapan paling cepat dan tinggi adalah pada konsentrasi Cu awal 3 mg/L. Maka pada konsentrasi Cu awal diatas 3 mg/L telah terjadi penurunan daya serap logam Cu oleh hydrilla.



Gambar 4.4 Nilai BCF daun dan batang hydrilla terhadap logam Cu

4.6 Pengamatan Aktifitas Remediasi Hydrilla Selama 7 Hari

Tumbuhan hydrilla yang dipapar oleh logam Cu diamati perkembangannya setiap hari selama 7 hari. Konsentrasi awal logam Cu yang digunakan adalah 3 mg/L karena pada konsentrasi ini hydrilla dapat menyerap logam Cu paling baik berdasarkan pembahasan pada Subbab 4.1. Pengamatan dilakukan sebanyak lima kali dalam 7 hari, yaitu pada hari ke 0, 1, 3, 5, dan 7. Total logam Cu yang tersisa setelah dipapar selama 7 hari ditampilkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Total logam Cu yang tersisa selama 7 hari pemaparan dalam air

Hasil analisis logam Cu pada saat hari ke-0 pada Gambar 4.5 tidak dicantumkan. Alasannya karena penurunan konsentrasi logam Cu dari hari ke-0 ke hari ke-1 sangat signifikan, sehingga penurunan pada hari selanjutnya tidak begitu nampak. Terlihat pada saat hari ke-0 konsentrasi logam Cu masih sebesar 3 mg/L. Namun, pada selang waktu 24 jam konsentrasi Cu sudah menurun drastis sekitar 88% dari konsentrasi awal, karena laju akumulasi logam Cu oleh hydrilla yang tinggi (Hu, dkk., 2010). Penurunan yang tidak signifikan terjadi pada hari ke-3 dan ke-5. Pada hari ke-7 penurunan konsentrasi Cu mulai signifikan dan menyisakan logam Cu dalam larutan hanya sebesar 0,15 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa potensi penyerapan hydrilla terhadap logam Cu dapat terus meningkat sampai hari ke-7 dan dimungkinkan akan terus meningkat sampai pada titik tertentu. Melalui

data tersebut juga dapat dikonfirmasi bahwa tumbuhan hydrilla mampu menyerap logam Cu hingga lebih dari 90% total kadar Cu di lingkungan.

Uji statistik menggunakan one way ANOVA serta uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) dilakukan pada hasil pengamatan kedua ini. Tujuannya adalah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penyerapan logam Cu oleh hydrilla. Pengujian statistik data ini menggunakan taraf signifikansi 5% dengan pengujian hipotesis sebagai berikut :

1. $H_0 = 0$, artinya tidak ada pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penyerapan logam Cu oleh hydrilla.
2. $H_1 \neq 0$, artinya ada pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penyerapan logam Cu oleh hydrilla.

Berdasarkan Lampiran 5.2 menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Artinya terdapat pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penyerapan logam Cu oleh hydrilla. Maka uji lanjutan dapat dilakukan untuk melihat perbedaan yang signifikan dari berbagai perlakuan tersebut. Uji lanjut yang digunakan adalah uji Beda Nyata Terkecil (BNT) atau LSD. Data hasil uji BNT dapat menunjukkan signifikansi perbedaan satu perlakuan terhadap perlakuan yang lain. Selain itu juga dapat diketahui nilai terkecil dari logam Cu yang tersisa dalam larutan selama 7 hari perlakuan. Hasil uji BNT ditampilkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil uji lanjutan BNT pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penyerapan logam Cu oleh hydrilla

Variasi lama waktu pemaparan (Hari)	Rata-rata (mg/L)	Notasi
7	0,155	A
5	0,294	B
3	0,302	B
1	0,322	B

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Lampiran 5.2 menunjukkan bahwa terdapat perlakuan yang memiliki beda nyata (signifikan) terhadap perlakuan lain dan ada juga perlakuan yang tidak memiliki beda nyata terhadap perlakuan lain. Lama waktu pemaparan 7 hari menyisakan logam Cu dalam larutan paling rendah dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Kemudian perlakuan lain tidak berbeda nyata. Kesimpulan dari hasil tersebut adalah hydrilla mampu memberikan hasil penyerapan logam Cu yang signifikan mulai dari 7 hari keatas.

4.7 Pemanfaatan Hydrilla dalam Perspektif Islam

Penelitian ini mengkaji mengenai kemampuan tumbuhan hydrilla sebagai agen fitoremediator logam Cu. Menurut hasil penelitian, tumbuhan ini mampu toleran terhadap lingkungan yang tinggi kandungan cemaran logam Cu nya. Selain itu, tumbuhan hydrilla juga mampu mengurangi kandungan logam Cu dari perairan hingga mencapai rata-rata 90% dari konsentrasi logam Cu awal. Hal ini merupakan suatu anugerah dari Allah SWT yang telah menciptakan makhluk yang dapat membantu mengatasi masalah manusia. Fitoremediasi dengan tumbuhan hydrilla dapat menjadi salah satu solusi dalam membantu mengembalikan kualitas perairan dan tanah yang telah menurun akibat cemaran logam Cu yang disebabkan oleh aktifitas manusia sendiri.

Allah SWT telah berfirman dalam surat Shaad ayat 27 yang isinya mengenai tiada kesia-siaan atas penciptaan semua makhluk Allah SWT. Tak terkecuali tumbuhan hydrilla yang biasa dianggap sebagai gulma, akan tetapi ternyata menyimpan manfaat yang besar bagi manusia. Bunyi ayat 27 surat Shaad adalah sebagai berikut:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ذَلِكَ ظُنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ (27)

Artinya: “Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir. Maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka” (QS. Shaad ayat 27)

Menurut Tafsir Jalalayn yang dimaksud dengan lafadz *باطلاً* adalah main-main. Makna dari penggalan ayat tersebut adalah Allah SWT tidak menciptakan sesuatu dengan main-main dan tidak memiliki makna. Selalu terdapat hikmah dibalik penciptaan suatu makhluk. Meskipun di mata beberapa orang makhluk tersebut tidak memiliki manfaat untuk mereka. Namun, Allah tetap menyimpan setiap maksud besar dibalik penciptaan makhluk.

Salah satu bentuk ciptaan Allah SWT yang dapat dimanfaatkan oleh manusia adalah tumbuh-tumbuhan. Tumbuh-tumbuhan menyimpan beragam manfaat untuk kehidupan manusia sebagaimana disebutkan dalam QS. Asy-Syu'araa ayat 7 yang berbunyi:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ (7)

Artinya: “Dan apakah mereka tidak memerhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik?” (QS. Asy-Syu'araa: 7)

Lafadz *زَوْجٍ* menurut Tafsir Al-Mishbah berarti tumbuh-tumbuhan. Tumbuh-tumbuhan yang baik adalah tumbuhan yang membawa manfaat bagi manusia dan makhluk lain yang ada di bumi. Keanekaragaman tumbuhan yang ada membawa beragam manfaat bagi makhluk lain termasuk manusia. Salah satu contoh tumbuhan tersebut adalah hydrilla. Meski demikian, manusia tetap diberi peringatan untuk

tidak merusak lingkungan oleh Allah SWT. Bukan berarti Allah menciptakan solusi agar manusia dapat semena-mena terhadap lingkungan. Larangan Allah SWT tersebut jelas tertera dalam QS. Al-A'raaf ayat 56 yang berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ (56)

Artinya: “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” (QS. Al-A'raaf: 56)

Menurut Tafsir Jalalayn lafadz وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ artinya adalah larangan untuk berbuat syirik dan maksiat setelah Allah mengutus rosul-Nya untuk memperbaiki kerusakan di muka bumi. Kemudian pesan selanjutnya adalah anjuran kepada manusia untuk selalu berbuat ihsan kepada siapapun. Dengan perbuatan ihsan maka rahmat Allah akan semakin dekat kepada orang tersebut. Dalam Tafsir Al-Mishbah juga disebutkan anjuran untuk berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut akan siksa-Nya dan berharap pahala-Nya. Kasih sayang Allah sangat dekat kepada setiap orang yang berbuat baik, dan pasti terlaksana.

Terdapat korelasi antara surat Asy-Syu'ara ayat 7 dengan surat Al-A'raaf ayat 56. Pada surat Al-A'raaf ayat 56 Allah SWT mengingatkan kita untuk tidak merusak ciptaan-Nya setelah disempurnakan. Namun, Allah juga menyebutkan dalam surat Asy-Syu'ara ayat 7 yang merupakan sebuah solusi dari suatu permasalahan yang diakibatkan oleh manusia sendiri. Sehingga terdapat sebuah pesan pembelajaran yang disiratkan agar manusia senantiasa berusaha kembali memperbaiki kerusakan yang telah diperbuat dengan solusi yang telah Allah SWT siapkan pula. Sejatinya manusia akan selalu memiliki celah untuk berbuat salah dan melanggar perintah Allah SWT, akan tetapi Allah SWT yang Maha Baik tidak

membiarkan hambanya terhanyut dalam kesalahan. Oleh karena itu, Allah SWT selalu menyiapkan solusi dari setiap permasalahan manusia agar manusia mampu kembali ke jalan yang di ridloi oleh Allah SWT.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Variasi konsentrasi logam Cu sebesar 3 mg/L memberikan nilai akumulasi logam Cu oleh tumbuhan hydrilla terbaik dari pada konsentrasi lain selama 7 hari pengamatan. Bagian daun memiliki penyerapan yang lebih baik dari pada bagian batang karena nilai BCF nya lebih tinggi dari pada batang secara keseluruhan. Selain itu, pada konsentrasi 3 mg/L logam Cu memiliki nilai BCF nya juga paling tinggi yaitu sebesar 21546,66.
2. Tumbuhan hydrilla tergolong jenis tumbuhan hiperakumulator karena mampu toleran terhadap logam Cu dan juga total akumulasi logam Cu nya lebih dari 280 mg/kg.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan kajian mengenai lama waktu pemaparan logam Cu untuk melihat batas maksimum serapannya oleh hydrilla diatas 7 hari.
2. Menambahkan pengamatan terkait desorpsi unsur logam Cu yang terkandung dalam tubuh hydrilla.
3. Menambahkan nutrisi Hoagland sebagai media tanam hydrilla.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, H. 2001. *Kimia Unsur dan Radiokimia*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- Al-Mandeel, F.A.A. 2013. A New Record of the Invasive Species *Hydrilla* (Linn. F.) Royal on the Iraqi Rivers. *Advance in Environmental Biology*. 7(2): 384-390.
- Ali, Abdullah Yusuf. 2009. *Tafsir Yusuf Ali Teks, Terjemahan Dan Tafsir Qur'an 30 Juz*. Bogor : Litera Antarnusa
- Angelova, V., Ivanov, K., and Ivanova, R. 2006. Heavy Metal Content in Plants from Family Lamiaceae Cultivated in an Industrially Polluted Region. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*. 11 (4) : 37 – 46.
- Ansari, A.A., Gill, S.S., Gill, R., Lanza, G.R., and Newman, L. 2015. *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 1*. New York: Springer.
- Appenroth, K.-J. 2010. Chapter 2: Definition of “Heavy Metals” and Their role in Biological Systems. *Soil Heavy Metals*. 19: 19 – 29.
- Arnot, J. A., and Frank. A. P. C. G. A Review of Bioconcentration Factor (BCF) and Bioaccumulation Factor (BAF) Assessments for Organic Chemicals in Aquatic Organisms. 2006.
- Baker, J. M., R. D. Reeves., and A. S. M. Hajar. 1994. Heavy Metal Accumulation and Tolerance in British Populations of the Metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl. *New Phytol*. 127: 61 – 68.
- Basset, J., Denney, R.C., Jeffrey, G.H., and Mendhom, J. 1994. *Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: EGC.
- Baycu, G. 2002 Phytochelatin Biosynthesis and Cadmium Detoxification. *Journal of Cell and Molecular Biology*. 1: 45 – 55.
- Britannica, E. 1998. *Acclimatization*. <https://www.britannica.com/science/acclimatization>. Diakses pada tanggal 14 Oktober 2018.
- Brouwer, P. 2010. *Theory of XRF*. Netherlands: PANalytical BV.

- Budianto, A. 2017. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea Aquatic Forrsk*) di Sungai Lesti Kabupaten Malang dengan Variasi Metode Destruksi Basah Tertutup Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Candelone, J.P., and Sungmin H. 1995. Post-Industrial Revolution Changes in Large-Scale Atmospheric Pollution of the Northern Hemisphere by Heavy Metals as Documented in Central Greenland Snow and Ice. *Journal of Geophysical Research*. 100(D8): 16.605 – 16.616.
- Cardwell, A.J., Hawker, D.W., and Greenway, M. 2002. Metal Accumulation in Aquatic Macrophytes from Southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*. 48: 653 – 663.
- Chen, G., Xingmei L., Philip C.B., and Jianming X. 2015. Opportunities for Phytoremediation and Bioindication of Arsenic Contaminated Water Using a Submerged Aquatic Plant: *Vallisneria spiralis* (Lour.) Hara. *International Journal of Phytoremediation*. 17: 249 – 255.
- Cobett, C.S. 2002. Phytochelatins and Their Roles in Heavy Metals Detoxification. *Plant Physiol*. 123: 825 – 832.
- Day & Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Duffus, J.H. 2002. “Heavy Metals”-A Meaningless Term ?. *Pure and Applied Chemistry*. 74(5): 793 – 807.
- Edward. 2013. *Dangers of Copper*. <https://www.globalhealingcenter.com/natural-health/dangers-of-copper/>. Diakses pada tanggal 25 September 2018.
- Febrianto, R., Suwirman., dan Syamsuardi. 2015. Aklimatisasi Planlet Kantong Semar (*Nepenthes gracilis* Korth.) pada Berbagai Campuran Media Tanam Tanah Ultisol. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 4(2): 96-101.
- Figueira, M.M., B. Volesky., V.S.T. Ciminelli., Felicity. 2000. Biosorption of Metals in Brown Seaweed Biomass. *Water Research*. 34(1): 196 – 204.
- Gerhardt, K.E., Huang, X.-D., Glick, B.R., and Greenberg, B.M. 2009. Phytoremediation and Rhizoremediation of Organic Soil Contaminants: Potential and Challenges. *Plant Science*. 176: 20 – 30.

- Goltenboth, F., Timotius, K.H., Milan, P.P., and Margraf, J. 2012. *Ekologi Asia Tenggara*. Jakarta: Salemba Teknika
- Hall, J.L. 2002. Cellular Mechanism for Heavy Metal Detoxification and Tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 53(366): 1 – 11.
- Harguinteguy, C.A., Cirelli, A.F., and Pignata, M.L. 2014. Heavy Metal Accumulation in Leaves of Aquatic Plant *Stuckenia filiformis* and its relationship with sediment and water in the Suquia River (Argentina). *Microchemical Journal*. 114 : 111 – 118.
- Hassan, N.A., Abdul-Rahman A.A., and Abdul-Hameed, M.A. 2016. Phytoremediation of Lead by *Hydrilla* Lab. Work. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 5(6): 271 – 278.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Hayati*. 12(1): 35 – 40.
- Hu, J. Z., AiZhen. Z., DongLi. P., and GuoXin, S. 2010. Bioaccumulation and Chemical Forms of Cadmium, Copper, and Lead in Aquatic Plants. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 53: 235-240.
- Iqbal, M., Saeed, A., and Zafar, S.I. 2009. FTIR Spectrophotometry, Kinetics and Adsorption Isotherms Modeling, Ion Exchange, and EDX Analysis for Understanding the Mechanism of Cd²⁺ and Pb²⁺ Removal by Mango Peel Waste. *Journal of Hazardous Materials*. 164: 161 – 171.
- Jain, P., Atamjyot., and Puri, B.K. 2006. Atomic Absorption Spectrometric Determination of Copper After Adsorption of Its Sodiumdiethyldithiocarbamate Complex on a New Polymeric Adsorbent. *Indian Journal of Chemistry*. 45A: 409 – 411.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.
- Langeland, K.A. 1996. *Hydrilla: The Perfect Aquatic Weed*. *Center for Aquatic and Invasive Plants*. 61: 293 – 304.
- Mareer, P.J., and Garvey, K.K. 2001. *Aquatic Pest Control*. California: University of California.

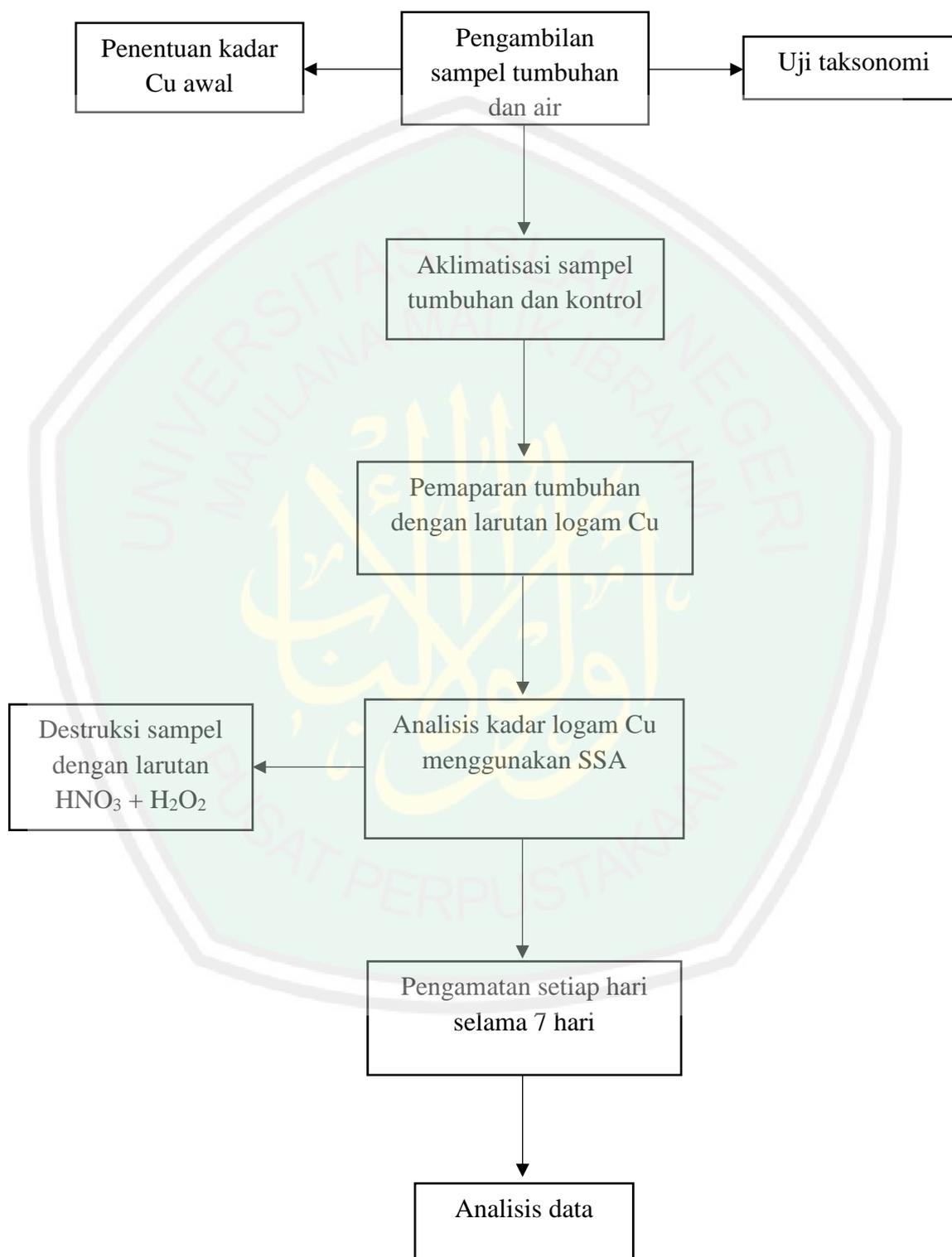
- McKee, T., James, R.M. 2003. *Biochemistry: The Molecular Basis of Life*. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Meagher, R.B. 2000. Phytoremediation of Toxic Elemental and Organic Pollutants. *Plant Biotechnology*. 3: 153 – 162.
- Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M.J., Samson, D., and Tack, F.M.G. 2005. Comparison of EDTA and EDDS as Potential Soil Amendments for Enhanced Phytoextraction of Heavy Metals. *Chemosphere*. 58: 1011 – 1022.
- Mench, M., Schwitzguebel, J.-P., Schroeder, P., Bert, V., Gawronski, S., and Gupta, S. 2009. Assessment of Successful Experiments and Limitations of Phytotechnologies: Contaminant Uptake, Detoxification and Sequestration, and Consequences of Food Safety. *Environmental Sciences Pollution Research*. 16: 876 – 900.
- Monhen, D. 2008. Pectin Structure and Biosynthesis. *Plant Biology*. 11: 266 – 277.
- Moon, D.-H., Park, J.-W., Koutsospyros, A., Cheong, K.H., and Chang, Y.-Y. 2016. Assessment of Soil Washing for Simultaneous Removal of Heavy Metals and Low-Level Petroleum Hydrocarbons Using Various Washing Solution. *Environmental Earth Sciences*. 75(10): 884.
- Morgan, T.J., George, A., Boulamanti, A.K., Alvarez, P., Adanouj, W., Dean, C., Vassilev, S.V., Baxter, D., and Andersen, L.K. 2015. Quantitative X-ray Fluorescence Analysis of Biomass (Switchgrass, Corn Stover, Eucalyptus, Beech, and Pine Wood) with a Typical Commercial Multi-Element Method on a WD-XRF Spectrometer. *Energy & Fuels*. 1 – 57.
- Newman, L.A., and Reynolds, C.M. 2004. Phytodegradation of Organic Compounds. *Biotechnology*. 15: 225 – 230.
- Oliveira, H. 2012. Chromium as an Environmental Pollutant: Insights on Induced Plant Toxicity. *Journal of Botany*. 2012: 8.
- Pal, D.K., and S.B. Nimse. 2006. Little Known Uses of Common Aquatic Plant, *Hydrilla* (Linn. F.) Royle. *Natural Product Radiance*. 5(2): 108 – 111.
- Peuke, A.D., and Heinz, R. 2005. Phytoremediation with Transgenic Trees. *Zeitschrift fur Naturforschung*. 60c: 199 – 207.

- Phukan, P., Rupa, P., and S.N. Phukan. 2015. Heavy Metal Uptake Capacity of *Hydrilla*: A Commonly Available Aquatic Plant. *International Research Journal of Environmental Sciences*. 4(3): 35 – 40.
- Pyatt, F.B., A.J. Pyatt., C. Walker., T. Sheen., and J.P. Grattan. 2005. The Heavy Metal Content of Skeletons from an Ancient Metalliferous Polluted Area in Southern Jordan with Particular Reference to Bioaccumulation and Human Health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60: 295 – 300.
- Quthb, S. 2004. *Tafsir fi zhalil Qur'an di bawah naungan Al-Qur'an Jilid VII*. Jakarta: Gema Insani
- Ramchander, J., B. Rajitha., G. Sunitha., E. Praveen., A. Anjaneyulu., J. Sunitha., and Sayaji R. 2015. Quantitative Determination of Heavy Metals in the Wather Samples of Four Areas of Hydreabad in Telangana State. *Journal of Applied Chemistry*. 8: 18-19
- Ramesh, S., Rajan, R., and Santhanam, R. 2014. *Freshwater Phytopharmaceutical Compounds*. US: CRC Press.
- Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Russel, R.S. 1978. *Plant Root Systems: Their Function and Interaction with the Soil*. London: McGraw-Hill.
- Shihab, M.Q. 2002. *Tafsir al-Misbah: pesan, kesan, dan keserasian al-Quran vol 5*. Jakarta: Lentera Hati.
- Silalahi, J. 2010. Analisis Kualitas Air dan Hubungannya dengan Keanekaragaman Vegetasi Akuatik di Perairan Balige Danau Toba. *Tesis*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Siotto, M., and Rossana, S. 2018. Copper Imbalance in Alzheimer's Disease: Overview of the Exchangeable Copper Component in Plasma and the Intriguing Role Albumin Plays. *Coordination Chemistry Reviews*. 371: 86 – 95.
- Siregar, T.H., and Jovita, T.M., Kandungan Logam pada Beberapa Lokasi Perairan Indonesia pada Tahun 2001 sampai dengan 2005. *Squalen*. 3(1): 7 – 15.

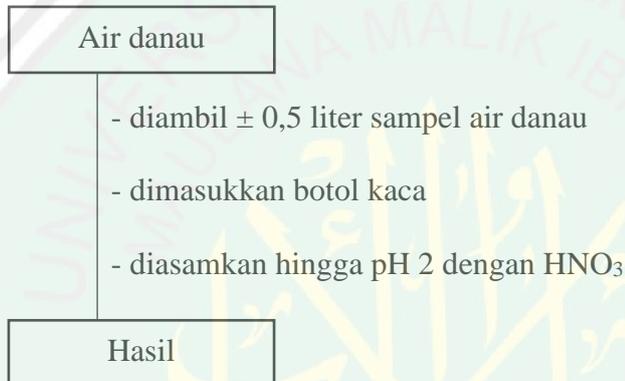
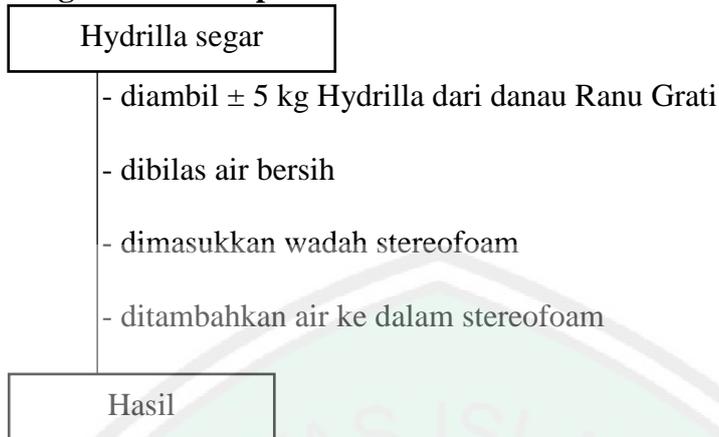
- Supriyanto., Samin., dan Zainul, K. 2007. Analisis Cemaran Logam Berat Pb, Cu, Cd pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). *Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Yogyakarta*. ISSN 1978-0176.
- Tang, H.-R., Belton, P.S., Davies, S.c., and Hughes, D.L. 2001. Solid State NMR and X-ray Diffraction Studies of α -D-galacturonic Acid Monohydrate. *Carbohydrate Research*. 330: 391 – 339.
- Twyman, R.M. 2005. *Sample Dissolution for Elemental Analysis: Wet Digestion*. 4503 – 4510.
- Urifah, D., Kusriani., Umi, Z., Handaru, B.C., and Rieke, Y. 2017. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Oleh Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla*). *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 11(2): 100 – 108.
- West, S., D.J. Charman., J.P. Grattan., and A.K. Cherburkin. 1997. Heavy Metals in Holocene Peats from South West England: Detecting Mining Impacts and Atmosphere Pollution. *Water, Air, and Soil Pollution*. 100: 343 – 353.
- Widiastuti, D.H. 2015. Ekstraksi Pektin Kulit Jeruk Bali dengan *Microwave Assisted Extraction* dan Aplikasinya sebagai *Edible Film*. *Tugas Akhir*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Wu, J., Dai, Y., Rul, S., Zhong, F., and Cheng, S. 2015. Acclimation of *Hydrilla* to Sediment Anoxia in Vegetation Restoration in Eutrophic Waters. *Ecotoxicology*. DOI 10.1007/s10646-015-1549-y.
- Xue, P., Guo-xin, L., Wen-ju, L., and Chang-zhou, Y. 2010. Copper Uptake and Translocation in a Submerged Aquatic Plant *Hydrilla* (L.F.) Royle. *Chemosphere*. 81: 1098 – 1103.
- Yuan, C., G. Jiang., L. Liang., X. Jin., and J. Shi. 2004. Sequential Extraction of Some Heavy Metals in Haihe River Sediments, People's Republic of China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 73: 59 – 66.

LAMPIRAN

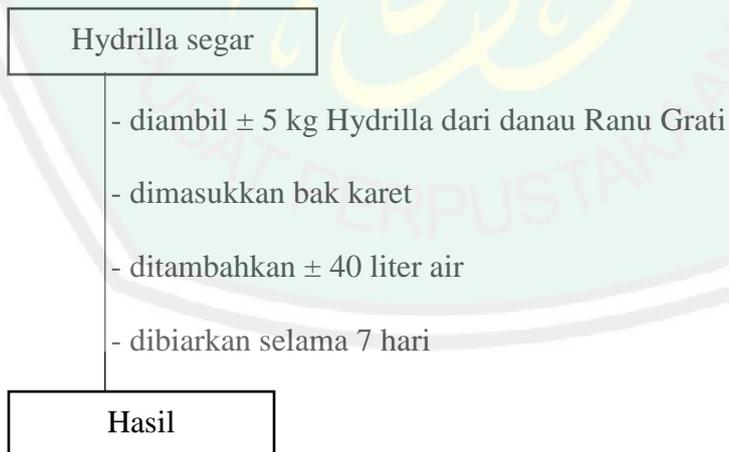
Lampiran 1. Rancangan penelitian



Lampiran 2. Diagram Alir
1. Pengambilan Sampel



2. Aklimatisasi Sampel



3. Preparasi Larutan Cu untuk Pemaparan

CuSO₄ anhidrat

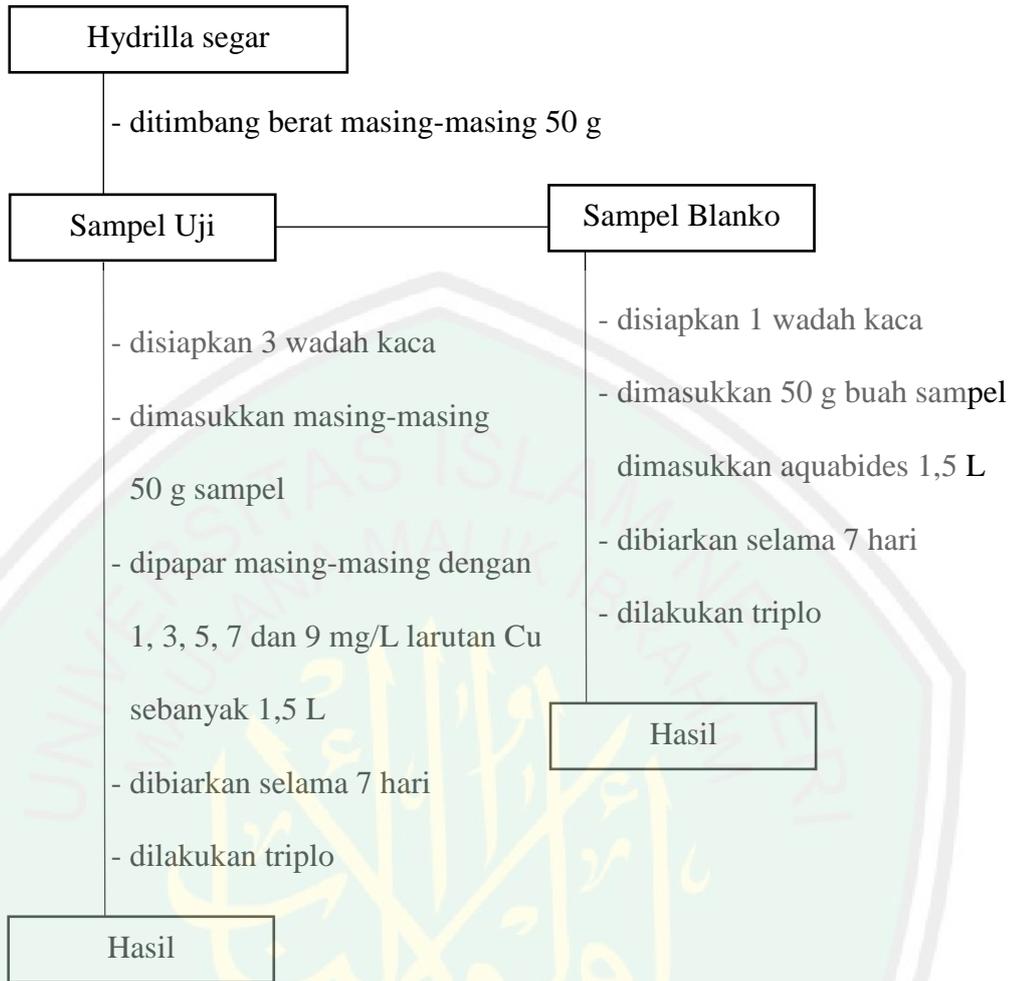
- ditimbang CuSO₄ sebanyak 2,5 g
- dimasukkan labu ukur 1 liter
- ditambahkan aquademin hingga tanda batas
- dihomogenkan

Cu 1000 mg/L

- diambil 1,5; 4,5; 7,5; 10,5; dan 13,5 mL
- dimasukkan masing-masing dalam labu ukur 1000 mL dan 500 mL
- ditambahkan aquademin hingga tanda batas
- dihomogenkan
- diperoleh larutan Cu 1, 3, 5, 7 dan 9 mg/L

Hasil

4. Pemaparan Sampel



5. Destruksi Sampel

Sampel Hydrilla

- dipisahkan antara daun dan batang
- dikeringkan dalam oven selama 2,5 jam dengan suhu 120 °C
- diambil 0,5 g
- dimasukkan dalam vessel
- ditambahkan 7 mL HNO₃ 65% dan 1 mL H₂O₂ 30%
- dipasang serangkaian alat *microwave digestion*
- didestruksi hingga larutan jernih
- ditunggu dingin
- disaring
- diencerkan ke dalam labu takar 25 mL
- diambil 2 mL dan diencerkan ke dalam labu takar 25 mL

Hasil

6. Analisis Sampel dengan SSA

a. Pengaturan Instrumen

Instrumen SSA

- 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 sebanyak 50 mL
- ditambahkan HNO₃ 0,5 M hingga tanda batas dan dihomogenkan

Cu 100 mg/L

- diambil 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 dan 2,5 mL
- dimasukkan masing-masing dalam labu ukur 50 mL
- ditambahkan HNO₃ 0,5 M hingga tanda batas dan dihomogenkan
- diperoleh larutan Cu 1, 2, 3, 4, dan 5 mg/L

Hasil

c. Pengukuran Absorbansi

Sampel dan Larutan Kalibrasi

- dipasangkan pada instrumen sesuai prosedur
- dibaca absorbansi sampel dan larutan kalibrasi

Hasil

7. Pengamatan Sampel Setiap Hari Selama 7 Hari

Sampel hydrilla segar

- Diaklimatisasi selama 7 hari
- Dipapar dengan 3 mg/L logam Cu
- Diambil cuplikan air dan hydrilla pada hari ke-0, 1, 3, 5, dan 7
- Dikeringkan biomassa hydrilla selama 2,5 jam pada suhu 100°C
- Didestruksi biomassa hydrilla dengan microwave sebanyak 0,5 g
- Dianalisis cuplikan air dan hydrilla dengan AAS

Hasil

Lampiran 3. Perhitungan Pembuatan Reagen

1. Pembuatan Kurva Standar Tembaga (Cu)

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

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

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

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

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

Sehingga larutan Cu 100 mg/L dibuat dengan dipipet 5 mL larutan Cu stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

- b. Pembuatan larutan standar 1 mg/L

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

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 1 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 1 mg/L dibuat dengan dipipet 0,5 mL larutan Cu stok 100 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

- c. Pembuatan larutan standar 2 mg/L

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

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 2 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 1,0 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 2 mg/L dibuat dengan dipipet 1,0 mL larutan Cu stok 100 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

- d. Pembuatan larutan standar 3 mg/L

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

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 3 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{3 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 1,5 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 3 mg/L dibuat dengan dipipet 1,5 mL larutan Cu stok 100 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

e. Pembuatan larutan standar 4 mg/L

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

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 4 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{4 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 2,0 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 4 mg/L dibuat dengan dipipet 2,0 mL larutan Cu stok 100 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

f. Pembuatan larutan standar 5 mg/L

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

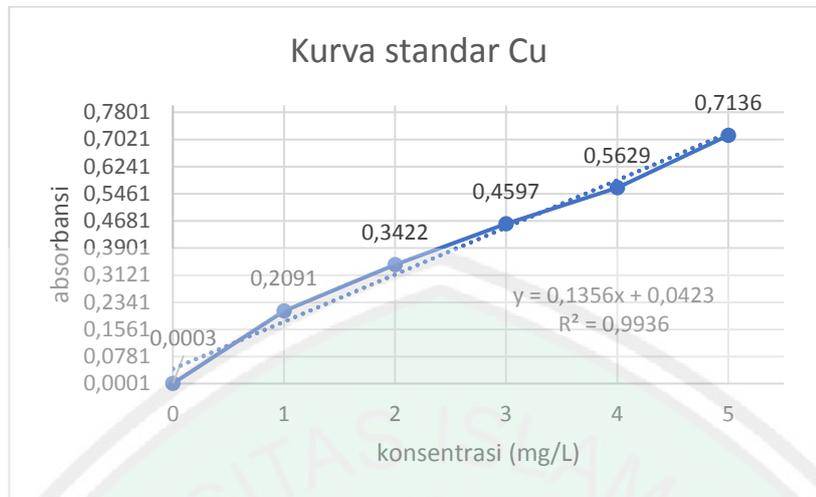
$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 5 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{5 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 5 mg/L dibuat dengan dipipet 2,5 mL larutan Cu stok 100 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

2. Hasil Uji Linieritas Dan Sensitivitas



3. Hasil Uji Akurasi

a. 1 mg/L

$$y = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,2091 = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,2091 - 0,0423 = 0,1356x$$

$$x = 1,230 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ Recovery} = \frac{1,230 \text{ mg/L}}{1 \text{ mg/L}} \times 100\%$$

$$= 123,0 \%$$

b. 2 mg/L

$$y = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,3422 = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,3422 - 0,0423 = 0,1356x$$

$$x = 2,211 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ Recovery} = \frac{2,211 \text{ mg/L}}{2 \text{ mg/L}} \times 100\%$$

$$= 110,6 \%$$

c. 3 mg/L

$$y = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,4597 = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,4597 - 0,0423 = 0,1356x$$

$$x = 3,078 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Recovery} &= \frac{3,078 \text{ mg/L}}{3 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= 102,6 \% \end{aligned}$$

d. 4 mg/L

$$y = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,5629 = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,5629 - 0,0423 = 0,1356x$$

$$x = 3,839 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Recovery} &= \frac{3,839 \text{ mg/L}}{4 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= 95,9 \% \end{aligned}$$

e. 5 mg/L

$$y = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,7136 = 0,1356x + 0,0423$$

$$0,7136 - 0,0423 = 0,1356x$$

$$x = 4,951 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Recovery} &= \frac{4,951 \text{ mg/L}}{5 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= 99,0 \% \end{aligned}$$

4. Pembuatan Larutan Cu untuk Pemaparan

a. Pembuatan Larutan Cu 1000 mg/L

Larutan stok Cu 1000 mg/L dibuat dengan melarutkan 2,5 g CuSO₄ anhidrat ke dalam 1000 mL aquademin.

$$\begin{aligned} \text{Massa CuSO}_4 \text{ anhidrat dibutuhkan} &= \frac{\text{BM CuSO}_4 \text{ anhidrat}}{\text{BA Cu}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= \frac{159,62 \text{ g/mol}}{63,5 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= 2514 \text{ mg} \\ &= 2,5 \text{ g} \end{aligned}$$

b. Pembuatan Larutan Cu 1 mg/L

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

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 1 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 1,5 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 1 mg/L dibuat dengan dipipet 1,5 mL larutan Cu stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1500 mL aquademin.

c. Pembuatan Larutan Cu 3 mg/L

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

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

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

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

Sehingga larutan Cu 3 mg/L dibuat dengan dipipet 4,5 mL larutan Cu stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1500 mL aquademin.

d. Pembuatan Larutan Cu 5 mg/L

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

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

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

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

Sehingga larutan Cu 5 mg/L dibuat dengan dipipet 7,5 mL larutan Cu stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1500 mL aquademin.

e. Pembuatan Larutan Cu 7 mg/L

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

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

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

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

Sehingga larutan Cu 7 mg/L dibuat dengan dipipet 10,5 mL larutan Cu stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1500 mL aquademin.

f. Pembuatan Larutan Cu 9 mg/L

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

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 9 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{9 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 13,5 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 9 mg/L dibuat dengan dipipet 13,5 mL larutan Cu stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1500 mL aquademin.

5. Pembuatan Larutan HNO₃ 0,5 M

Diketahui: berat jenis HNO₃ 65% = 1,39 g/cm³

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sehingga larutan HNO₃ 0,5 M dibuat dengan dipipet 17,42 mL HNO₃ 65% kemudian dilarutkan dalam 500 mL aquades.

6. Penentuan Persen Logam Tembaga (Cu) yang Terserap Oleh Tumbuhan Hydrilla

Perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla menggunakan Persamaan 3.1. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Persen terserap (\%)} = \frac{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,077 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\% = 92,333\%$$

Hasil perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla pada masing-masing sampel dirangkum pada Tabel L3.1.

Tabel L3.1 Perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla

[Cu awal] mg/L	Ulangan	[Cu tersisa] mg/L	Standar Deviasi	Persen terserap (%)	Rata-rata
1	1	0,077	0,011	92,333	93,079
	2	0,069		93,079	
	3	0,092		90,841	
3	1	0,066	0,021	97,805	98,863
	2	0,034		98,863	
	3	0,074		97,535	
5	1	0,355	0,039	92,901	94,450
	2	0,321		93,579	
	3	0,278		94,450	
7	1	0,737	0,158	89,471	86,883
	2	0,994		85,804	
	3	1,024		85,372	
9	1	0,632	0,185	92,983	93,204
	2	0,418		95,359	
	3	0,786		91,270	

7. Penentuan nilai kapasitas adsorpsi tumbuhan hydrilla

Perhitungan nilai kapasitas adsorpsi hydrilla menggunakan Persamaan 3.3.

Contoh perhitungan nilai kapasitas adsorpsi hydrilla hidup adalah sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas adsorpsi (mg/g)} = \frac{(1-0,77)\frac{\text{mg}}{\text{L}}}{4,070 \text{ g}} \times 1,5 \text{ L} = 0,340 \text{ mg/g}$$

Hasil perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla pada masing-masing sampel dirangkum pada Tabel L3.2.

Tabel L3.2 Perhitungan kapasitas adsorpsi hydrilla

[Cu awal] mg/L	[Cu tersisa] mg/L	Berat kering (g)	Volume larutan (L)	Kapasitas adsorpsi	Rata- rata
	0,077	4,070		0,340	
1	0,069	3,439		0,406	0,35
	0,092	4,459		0,306	
	0,066	2,777		1,585	
3	0,034	2,975		1,495	1,59
	0,074	2,591		1,694	
	0,355	2,889		2,412	
5	0,321	3,693	1,5	1,901	2,07
	0,278	3,717		1,905	
	0,737	3,351		2,803	
7	0,994	3,322		2,712	2,98
	1,024	2,619		3,423	
	0,632	2,423		5,180	
9	0,418	2,760		4,664	4,99
	0,786	2,406		5,121	

8. Penentuan Kadar Logam Cu dalam Bagian Daun dan Batang Hydrilla

Perhitungan kadar logam Cu dalam bagian daun dan batang hydrilla menggunakan Persamaan 3.2. Untuk sampel daun dengan konsentrasi logam Cu 0 mg/L hanya diencerkan sebanyak satu kali, sedangkan sampel lain diencerkan sebanyak 2 kali. Contoh perhitungan kadar logam Cu dalam biomassa hydrilla adalah sebagai berikut:

- a. Sampel daun dalam 0 mg/L logam Cu :

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu (mg/kg)} &= \frac{b \times v \times Fp_1}{m} \\ &= \frac{2,898 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 8 \times 10^{-3} \text{ L} \times 3,125}{5 \times 10^{-4} \text{ kg}} \\ &= 144,90 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

- b. Sampel daun dalam 1 mg/L logam Cu :

$$\text{Kadar logam Cu (mg/kg)} = \frac{b \times v \times Fp_1 \times Fp_2}{m}$$

$$= \frac{0,613 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 8 \times 10^{-3} \text{ L} \times 3,125 \times 12,5}{5 \times 10^{-4} \text{ kg}}$$

$$= 383,31 \text{ mg/kg}$$

Hasil perhitungan kadar logam Cu dalam biomassa hydrilla pada masing-masing sampel dirangkum pada Tabel L3.3.

Tabel L3.3 Perhitungan kadar logam Cu dalam bagian tubuh hydrilla

[Cu awal] mg/L	[Cu pada instrumen AAS] mg/L	Massa biomassa yang didestruksi (kg)	[Cu sebenarnya] mg/kg
Daun			
0	2,898		144,900
1	0,613		383,307
3	2,549	5 x 10 ⁻⁴	1593,386
5	3,887		2429,147
7	4,419		2761,976
9	6,537		4085,918
Batang			
0	0,001		0,691
1	0,119		74,449
3	0,396	5 x 10 ⁻⁴	247,778
5	0,717		448,305
7	0,822		513,765
9	1,377		860,424

Tabel L3.4 Massa biomassa daun dan batang hydrilla

Konsentrasi Cu awal (mg/L)	Biomassa Daun (gram)	Biomassa Batang (gram)	Konsentrasi Cu awal (mg/L)	Biomassa Daun (gram)	Biomassa Batang (gram)
0	2,462	1,169	5	1,75	1,139
0	1,178	0,787	5	2,661	1,032
0	2,071	1,181	5	2,794	0,924
1	2,703	1,368	7	2,096	1,256
1	2,254	1,185	7	2,238	1,084
1	3,321	1,139	7	2,071	0,789
3	1,812	0,966	9	2,423	1,132
3	1,879	1,102	9	2,76	1,082
3	1,539	1,052	9	1,586	0,82
Rata-rata				2,200	1,067

9. Penentuan Nilai *Bioccentration Factor* (BCF)

Perhitungan nilai BCF menggunakan Persamaan 3.3. Contoh perhitungan nilai BCF sebagai berikut:

$$\text{BCF} = \frac{29,801 \text{ ppm}}{0,092 \text{ ppm}} = 325,37$$

Hasil perhitungan nilai BCF pada masing-masing sampel dirangkum pada Tabel L3.5.

Tabel L3.5 Hasil perhitungan nilai BCF

[Cu awal] mg/L	[Cu pada biomassa] mg/kg	[Cu tersisa dalam air] mg/L	BCF
Daun			
1	29,801	0,092	325,37
3	181,061	0,074	2448,40
5	285,531	0,278	1028,86
7	327,135	0,737	443,86
9	492,627	0,786	626,99
Batang			
1	9,220	0,092	100,66
3	30,886	0,074	417,66
5	55,952	0,278	201,61
7	64,134	0,737	87,02
9	107,467	0,786	136,78

10. Penentuan Tersen Terserap Logam Cu oleh Hydrilla Selama 7 Hari Pengamatan

Perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla selama 7 hari menggunakan Persamaan 3.1. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Persen terserap (\%)} = \frac{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,077 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\% = 92,333\%$$

Hasil perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla pada masing-masing sampel dirangkum pada Tabel L3.6.

Tabel L3.6 Perhitungan persen logam tembaga (Cu) yang terserap oleh hydrilla

Hari ke -	Pengulangan	[Cu tersisa] mg/L	Persen terserap (%)	Rata-rata
1	1	0,344	88,528	88,155
	2	0,327	89,088	
	3	0,395	86,850	
3	1	0,317	89,419	89,937
	2	0,265	91,160	
	3	0,323	89,233	
5	1	0,282	90,601	90,200
	2	0,340	88,653	
	3	0,260	91,347	
7	1	0,158	94,745	94,904
	2	0,202	93,274	
	3	0,099	96,693	

11. Penentuan Kadar Logam Cu dalam Biomassa Hydrilla Selama 7 Hari

Perhitungan kadar logam Cu dalam bagian daun dan batang hydrilla menggunakan Persamaan 3.2. Contoh perhitungan kadar logam Cu dalam biomassa hydrilla adalah sebagai berikut:

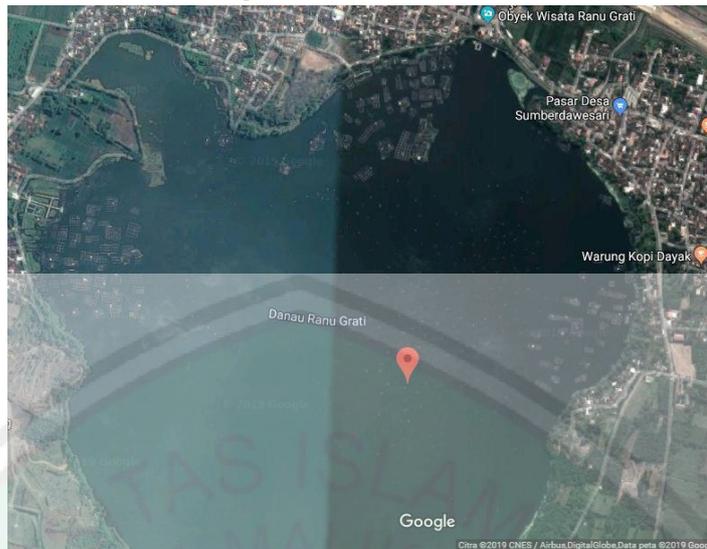
$$\text{Kadar logam Cu (mg/kg)} = \frac{2,898 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 3,125}{5 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 18,113 \text{ mg/kg}$$

Hasil perhitungan kadar logam Cu dalam biomassa hydrilla pada masing-masing sampel dirangkum pada Tabel L3.7.

Tabel L3.7 Perhitungan hasil kadar logam Cu dalam biomassa hydrilla selama 7 hari

Hari ke -	[Cu pada instrumen AAS] mg/L	Massa biomassa yang didestruksi (kg)	[Cu sebenarnya] mg/kg
Daun			
0	2,452		15,325
1	1,551		121,171875
3	1,813	5 x 10 ⁻³	141,640625
5	1,972		154,0625
7	2,044		159,6875
Batang			
0	2,672		16,75344
1	0,189		14,765625
3	0,167	5 x 10 ⁻³	13,046875
5	0,281		21,953125
7	0,366		28,59375

Lampiran 4. Dokumentasi Kegiatan Penelitian



Denah pengambilan sampel pada titik A, B, dan C



Proses pengambilan sampel hydrilla dan pengawetan sampel air



Lokasi pengambilan sampel



Proses aklimatisasi



Kondisi hydrilla setelah aklimatisasi



Pembuatan larutan stok Cu



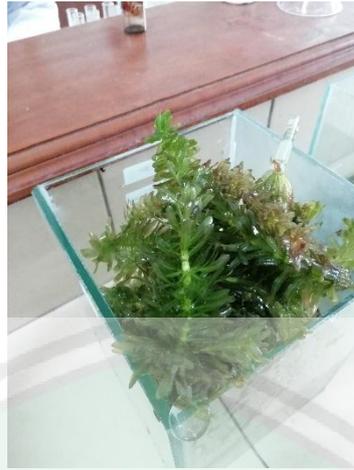
Proses penimbangan hydrilla sebelum pemaparan



Proses pemaparan hydrilla dengan berbagai konsentrasi



Kondisi hydrilla setelah 7 hari pemaparan



Proses panen hydrilla setelah 7 hari pemaparan



Proses pengeringan sampel hydrilla setelah 7 hari pemaparan



Penyimpanan sampel hydrilla kering sebelum analisis



Proses destruksi basah tertutup dengan *microwave*



Sampel biomassa hydrilla setelah destruksi



Analisis kadar logam Cu dalam biomassa hydrilla dan air

Lampiran 5. Data Pendukung

Lampiran 5.1 Output Data Hasil Pengujian BNT Pengaruh Variasi Konsentrasi Terhadap Jumlah Persen Cu Terserap oleh Hydrilla Menggunakan Aplikasi SPSS

Descriptives

Persen terserap

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1 ppm	3	92,0843	1,14050	,65847	89,2511	94,9175	90,84	93,08
3 ppm	3	98,0667	,70117	,40482	96,3249	99,8085	97,53	98,86
5 ppm	3	93,6433	,77694	,44857	91,7133	95,5734	92,90	94,45
7 ppm	3	86,8800	2,25329	1,30094	81,2825	92,4775	85,37	89,47
9 ppm	3	93,2033	2,05413	1,18595	88,1006	98,3061	91,27	95,36
Total	15	92,7755	3,92690	1,01392	90,6009	94,9502	85,37	98,86

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Persen_terserap

LSD

Konsentrasi_Cu (I)	Konsentrasi_Cu (J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 ppm	3 ppm	-5,98237*	1,24861	,001	-8,7645	-3,2003
	5 ppm	-1,55904	1,24861	,240	-4,3411	1,2230
	7 ppm	5,20429*	1,24861	,002	2,4222	7,9864
	9 ppm	-1,11904	1,24861	,391	-3,9011	1,6630
3 ppm	1 ppm	5,98237*	1,24861	,001	3,2003	8,7645
	5 ppm	4,42333*	1,24861	,005	1,6413	7,2054
	7 ppm	11,18667*	1,24861	,000	8,4046	13,9687
	9 ppm	4,86333*	1,24861	,003	2,0813	7,6454
5 ppm	1 ppm	1,55904	1,24861	,240	-1,2230	4,3411
	3 ppm	-4,42333*	1,24861	,005	-7,2054	-1,6413
	7 ppm	6,76333*	1,24861	,000	3,9813	9,5454
	9 ppm	,44000	1,24861	,732	-2,3421	3,2221
7 ppm	1 ppm	-5,20429*	1,24861	,002	-7,9864	-2,4222
	3 ppm	-11,18667*	1,24861	,000	-13,9687	-8,4046
	5 ppm	-6,76333*	1,24861	,000	-9,5454	-3,9813
	9 ppm	-6,32333*	1,24861	,000	-9,1054	-3,5413
9 ppm	1 ppm	1,11904	1,24861	,391	-1,6630	3,9011
	3 ppm	-4,86333*	1,24861	,003	-7,6454	-2,0813
	5 ppm	-,44000	1,24861	,732	-3,2221	2,3421
	7 ppm	6,32333*	1,24861	,000	3,5413	9,1054

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

Persen_terserap

	Konsentrasi_Cu	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD ^a	7 ppm	3	86,8800		
	1 ppm	3		92,0843	
	9 ppm	3		93,2033	
	5 ppm	3		93,6433	
	3 ppm	3			98,0667
	Sig.			1,000	,726

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Lampiran 5.2 Output Data Hasil Pengujian BNT Pengaruh Variasi Konsentrasi Terhadap Jumlah Persen Cu Terserap oleh Hydrilla Menggunakan Aplikasi SPSS

Descriptives

Cu_tersisa

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1 Hari	3	,35533	,035388	,020431	,26742	,44324	,327	,395
3 Hari	3	,30167	,031896	,018415	,22243	,38090	,265	,323
5 Hari	3	,29400	,041328	,023861	,19134	,39666	,260	,340
7 Hari	3	,15300	,051682	,029838	,02462	,28138	,099	,202
Total	12	,27600	,085554	,024697	,22164	,33036	,099	,395

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Cu_tersisa
LSD

(I) Hari_Ke	(J) Hari_Ke	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Hari	3 Hari	,053667	,033288	,146	-,02310	,13043
	5 Hari	,061333	,033288	,103	-,01543	,13810
	7 Hari	,202333*	,033288	,000	,12557	,27910
3 Hari	1 Hari	-,053667	,033288	,146	-,13043	,02310
	5 Hari	,007667	,033288	,824	-,06910	,08443
	7 Hari	,148667*	,033288	,002	,07190	,22543
5 Hari	1 Hari	-,061333	,033288	,103	-,13810	,01543
	3 Hari	-,007667	,033288	,824	-,08443	,06910
	7 Hari	,141000*	,033288	,003	,06424	,21776
7 Hari	1 Hari	-,202333*	,033288	,000	-,27910	-,12557
	3 Hari	-,148667*	,033288	,002	-,22543	-,07190
	5 Hari	-,141000*	,033288	,003	-,21776	-,06424

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

Cu_tersisa

	Hari_Ke	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	7 Hari	3	,15300	
	5 Hari	3		,29400
	3 Hari	3		,30167
	1 Hari	3		,35533
	Sig.		1,000	,322

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

