

FITOREMEDIASI LOGAM SENGG (Zn) OLEH TANAMAN *Hydrilla verticillata* DARI DANAU RANU GRATI PASURUAN BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI

SKRIPSI

**Oleh:
SITI ZULAIKAH
NIM. 16630066**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

FITOREMEDIASI LOGAM SENGG (Zn) OLEH TANAMAN *Hydrilla verticillata* DARI DANAU RANU GRATI PASURUAN BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI

SKRIPSI

**Oleh:
SITI ZULAIKAH
NIM. 16630066**

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

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

FITOREMEDIASI LOGAM SENG (Zn) OLEH TANAMAN *Hydrilla verticillata* DARI DANAU RANU GRATI PASURUAN BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI

SKRIPSI

Oleh:
SITI ZULAIKAH
NIM. 16630066

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 22 Juni 2023

Pembimbing I



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

Pembimbing II



A. Ghana'Im Fasya, M.Si
NIP. 19820616 200604 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia



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

FITOREMEDIASI LOGAM SENG (Zn) OLEH TANAMAN *Hydrilla verticillata* DARI DANAU RANU GRATI PASURUAN BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI

SKRIPSI

**Oleh:
SITI ZULAIKAH
NIM. 16630066**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 22 Juni 2023**

Penguji Utama	: Diana Candra Dewi, M.Si NIP. 19770720 200312 2 001	 (.....)
Ketua Penguji	: Rif'atul Mahmudah, M.Si NIDT. 19830125 20160801 2 068	 (.....)
Sekretaris Penguji	: Dr. Suci Amalia, M. Sc NIP. 19821104 200901 2 007	 (.....)
Anggota Penguji	: A. Ghanaim Fasya, M.Si NIP. 19820616 200604 1 002	 (.....)

**Mengesahkan,
Ketua/Program Studi**



**Rachmawati Wingsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 1 010**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Siti Zulaikah
NIM : 16630066
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul penelitian : Fitoremediasi Logam Seng (Zn) oleh Tanaman *Hydrilla verticillata* dari Danau Ranu Grati Pasuruan Berdasarkan Variasi Konsentrasi

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

Malang, 21 Juni 2023
Yang membuat pernyataan,



Siti Zulaikah
NIM. 16630066

MOTTO

*“Follow your dream like breaker, even if it breaks down don’t ever run
backwards, never!*

Because the dawn right before the sunrises is the darkest”

BTS - Tomorrow

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

Kedua orang tua penulis, Bapak Ahmad Aris Ainul Yamin dan Ibu Warsini sebagai motivasi utama selama proses menulis hingga proses penelitian, terima kasih atas semua pengorbanan dan kasih sayang yang tulus sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi secara maksimal. Terima kasih kepada kakak penulis, Anita Purnamasari dan keluarga yang senantiasa memberikan dorongan agar penulis selalu bersemangat dalam mengerjakan skripsi.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya tiada henti kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Fitoremediasi Logam Seng (Zn) oleh Tanaman *Hydrilla verticillata* dari Danau Ranu Grati Pasuruan”** sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana sains.

Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah mengajarkan kita untuk selalu berorientasi kepada agama yang benar yakni agama islam. Penulis mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini, terutama kepada:

1. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang.
2. Ibu Dr. Suci Amalia, M.Sc dan Bapak A. Ghanaim Fasya, M.Si selaku dosen pembimbing dan dosen pembimbing agama yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memotivasi, dan memberi masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Seluruh dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu, pengetahuan, pengalaman, dan wawasannya, sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.
4. Orang tua penulis, Bapak Ahmad Aris Ainul Yamin dan Ibu Warsini, yang telah banyak memberikan perhatian, nasihat, doa, dan dukungan baik moril maupun material kepada penulis yang tak mungkin terbalaskan.
5. Kakak saya Anita Purnamasari beserta keluarga, yang selalu menyemangati saya untuk melanjutkan studi hingga selesai.
6. Seluruh teman-teman jurusan Kimia angkatan 2016 yang selalu memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Besar harapan penulis agar skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak dalam mengembangkan ilmu pengetahuan. Penulis menyadari bahwa

tulisan ini masih ada kekurangan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang masih bersifat membangun, baik dari segi isi maupun bentuk susunannya.

Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan menambah khasanah ilmu pengetahuan. Demikian laporan ini kami buat semoga dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, 21 Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUTUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
مستخلص البحث.....	ivx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Prespektif Al-Quran Tentang Fitoremediasi.....	7
2.2 <i>Hydrilla verticillata</i>	9
2.3 Logam Berat Seng (Zn)	10
2.3.1 Sumber Aktivitas Manusia Penghasil Limbah Zn	12
2.3.2 Toksisitas Logam Seng (Zn).....	13
2.4 Fitoremediasi	14
2.4.1 <i>Hydrilla verticillata</i> sebagai Fitoremediator	17
2.4.2 Mekanisme Penyerapan Logam Berat oleh <i>Hydrilla</i> <i>verticillata</i>	20
2.5 Fitokelatin	22
2.6 Parameter Fitoremediasi	24
2.6.1 <i>Biocentratiion Factor</i> (BCF)	25
2.6.2 <i>Translocation Factor</i> (TF).....	26
2.7 Aklimatisasi Sampel	26
2.8 Destruksi Sampel	27
2.9 Analisis Kadar Logam Seng (Zn) dengan menggunakan Spektroskopi Serapan Atom	29
2.10 <i>One Way</i> ANOVA	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	34
3.2 Alat dan Bahan	34
3.2.1 Alat	34
3.2.1 Bahan	34
3.3 Rancangan Penelitian.....	35
3.4 Tahapan Penelitian.....	35
3.5 Metode Penelitian	36
3.5.1 Pengambilan Sampel Tanaman dan Air	36
3.5.2 Aklimatisasi Sampel	36
3.5.3 Preparasi Konsentrasi Larutan Logam Berat Zn	37
3.5.4 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Zn.....	37
3.5.5 Destruksi Sampel.....	38
3.5.6 Analisis Seng pada Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dengan menggunakan instrument SSA	39
3.6 Analisis Data.....	40
 BAB IV PEMBAHASAN.....	 42
4.1 Aklimatisasi Sampel	42
4.2 Penentuan Konsentrasi Seng pada Limbah Buatan dari Bagian Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> dan Sampel Air Danau.....	42
4.3 Parameter Fitoremediasi	49
4.3.1 Penentuan nilai <i>Bioaccumulation Factor</i> (BCF)	49
4.3.2 Penentuan nilai <i>Translocation Factor</i> (TF)	51
4.4 Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Menggunakan <i>One way</i> ANOVA.....	52
4.5 Kajian Penelitian dalam Prespektif Islam	55
 BAB V PENUTUP.....	 59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
 DAFTAR PUSTAKA	 60
LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	10
Gambar 2.2	Mekanisme fitoremediasi tanaman dalam menyerap polutan	17
Gambar 2.3	Struktur Fitokelatin	23
Gambar 2.4	Skema Umum Atomisasi Zn pada SSA	30
Gambar 2.5	Komponen Spektrofotometer Serapan Atom	32
Gambar 4.1	Perbandingan hasil pemaparan Zn hari ke-0 dan hari ke-15	43
Gambar 4.2	Kurva standar Zn	45
Gambar 4.3	Perkiraan terbentuknya ikatan antara Zn dengan fitokelatin.....	47
Gambar 4.4	Titik pengambilan sampel air	48
Gambar 4.5	Nilai BCF pada daun dan batang	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 4.1 Konsentrasi Zn dalam <i>Hydrilla verticillata</i> setelah pemaparan.....	45
Tabel 4.2 Konsentrasi Zn pada sampel air danau dan bagian <i>Hydrilla</i> <i>verticillata</i> sebelum aklimatisasi	49
Tabel 4.3 Nilai TF daun terhadap batang.....	52
Tabel 4.4 Hasil uji <i>one way</i> ANOVA daun	53
Tabel 4.5 Hasil uji <i>one way</i> ANOVA batang	53
Tabel 4.6 Hasil Uji BNT daun	54
Tabel 4.7 Hasil Uji BNT batang	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan Penelitian	68
Lampiran 2 Diagram Alir.....	69
Lampiran 3 Perhitungan	75
Lampiran 4 Data Mentah	83
Lampiran 5 Dokumentasi	87

ABSTRAK

Zulaikah, S. 2023. **Fitoremediasi Logam Seng (Zn) oleh Tanaman *Hydrilla verticillata* dari Danau Ranu Grati Pasuruan Berdasarkan Variasi Konsentrasi**. Skripsi. Program Studi Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. Suci Amalia, M.Sc; Pembimbing II: A. Ghanaim Fasya, M.Si

Kata Kunci: fitoremediasi, *Hydrilla verticillata*, logam Zn, aklimatisasi, destruksi, BCF, TF

Hydrilla verticillata adalah salah satu alternatif tanaman yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam Zn berdasarkan pada pengaruh variasi konsentrasi logam. Selain itu, juga untuk mengetahui daya serap tanaman tersebut berdasarkan pada parameter nilai fitoremediasi. Langkah penelitian ini yaitu sebelum *Hydrilla verticillata* dipaparkan dengan logam, terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi selama 7 hari. Kemudian dilakukan proses pemaparan selama 15 hari dengan konsentrasi logam Zn 1, 3, 5 dan 7 mg/L. Setelah itu, sampel didestruksi secara tertutup menggunakan *microwave digestion* dan dianalisis kandungan logam Zn pada tanaman *Hydrilla verticillata* menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Hasil analisis terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi seng pada perairan menunjukkan golongan hiperakumulator logam. Nilai BCF diperoleh masing-masing pada daun dan batang > 1 dan nilai TF diperoleh > 1. Pada variasi konsentrasi seng 1, 3, 5 dan 7 mg/L untuk nilai TF berturut-turut adalah 2,98; 1,95; 1,35; dan 1,95.

ABSTRACT

Zulaikah, S. 2023. **Phytoremediation of Zinc Metal (Zu) by *Hydrilla verticillata* Plants from Ranu Grati Lake in Pasuruan based on Variations of Concentration.** Thesis. Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Dr. Suci Amalia, M.Sc; Supervisor II: A. Ghanaim Fasya, M.Si

Keywords: phytoremediation, *Hydrilla verticillata*, Zn metal, acclimatization, destruction, BCF, TF

Hydrilla verticillata is an alternative plant that can be used as a phytoremediation agent. This study aims to examine *Hydrilla verticillata* has ability to remediate Zn based on the influence of variations in metal concentration. Moreover, this research is also to determine the absorption capacity of these plants based on the phytoremediation value parameters. The first step of this research before *Hydrilla verticillata* exposed to metal is acclimatization for 7 days. Then the exposure processes in 15 days with metal concentrations of Zn are 1, 3, 5 and 7 mg/L. Then, destruction the sample using microwave digestion and analyzed Zn's concentration in the *Hydrilla verticillata* plant using the Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) instrument. The ability result of *Hydrilla verticillata* on zinc phytoremediation of water are showing that the plant is metal hyperaccumulator. All the BCF value of the seam and leaf are > 1 and so does the TF are > 1 . The variation of zinc concentration 1, 3, 5 and 7 mg/L have 2,98; 1,95; 1,35; and 1,95 TF values.

مستخلص البحث

زليقة، س. ٢٠٢٢. المعالجة النباتية لمعدن الزنك (Zn) بواسطة نبات هدرلة (*Hydrilla verticillata*) من بحيرة رانو غراطي باسوروان على أساس اختلافات التركيز. البحث الجامعي. قسم الكيمياء. كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأول: د. سوجي أملية، الماجستير. المشرف الثاني: أ. غنائم فشا، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: المعالجة النباتية، هدرلة، معدن الزنك، التأقلم، تدمير، BCF، TF.

هدرلة هي إحدى البدائل النباتية التي يمكن استخدامها كعامل معالجة نباتية. يهدف هذا البحث إلى فحص قدرة هدرلة في معالجة معدن الزنك بناء على تأثير الاختلافات في تركيز المعادن. بالإضافة إلى ذلك، لمعرفة امتصاص هذه النباتات على أساس معلمات قيم المعالجة النباتية. هذه الخطوة البحثية هي قبل تعرض هدرلة للمعادن، ويتم التأقلم الأول لمدة ٧ أيام. ثم تم تنفيذ عملية التعرض لمدة ١٥ يوماً بتركيزات معدنية من الزنك من ١ و ٣ و ٥ و ٧ ملغم / لتر. بعد ذلك، تم تدمير العينة بطريقة مغلقة باستخدام هضم الميكروويف وتحليل محتوى معدن الزنك في نباتات هدرلة باستخدام أداة التحليل الطيفي للامتصاص الذري (SSA). أظهرت نتائج تحليل قدرة هدرلة على معالجة الزنك في المياه مجموعة من المراكم المعدنية. تم الحصول على قيم معامل التركيز الأحيائي على الأوراق والسيقان < 1 وتم الحصول على قيم $TF < 1$ على التوالي. وعند الاختلافات في تركيز الزنك البالغة ١، ٣، ٥، ٧ و ملغم/لتر لقيم TF كانت ٢.٩٨؛ ١.٩٥؛ ١.٣٥؛ و ١.٩٥ على التوالي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi menyebabkan kemajuan pesat pada dunia industri, namun perkembangan industri juga dapat menyebabkan dampak negatif bagi kelestarian lingkungan. Hal ini dikarenakan banyaknya limbah yang terbuang sehingga menimbulkan penurunan kualitas lingkungan. Salah satu pencemaran yang paling banyak ditemukan adalah pencemaran air. Pencemaran air dapat ditemukan di sumber-sumber air seperti air tanah, sungai, danau dan lautan. Pencemaran air disebabkan oleh adanya makhluk hidup, zat, energi atau komponen ke dalam yang diakibatkan oleh aktivitas manusia.

Air dapat tercemar oleh berbagai komponen anorganik, diantaranya berbagai jenis logam berat berbahaya yang digunakan dalam berbagai keperluan sehingga diproduksi secara terus-menerus dalam skala industri. Logam berat adalah logam yang memiliki berat 5 gram atau lebih untuk setiap cm^3 . Logam berat dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam ekosistem.

Seng (Zn) merupakan salah satu logam berat yang dapat menimbulkan pencemaran air. Pada konsentrasi rendah, ion Zn bersifat esensial bagi pertumbuhan sebagai unsur mikro, tetapi pada konsentrasi lebih tinggi logam tersebut bersifat toksik. Zn sering dimanfaatkan pada berbagai industri, seperti industri elektroplating. Limbah logam Zn sering ditemukan di berbagai perairan

seperti sungai, danau dan lautan. Konsentrasi Zn dapat dikategorikan berbahaya apabila nilainya melebihi ambang batas yang ditentukan.

Berdasarkan penelitian Nugraha *et al.* (2022), konsentrasi Zn yang terdapat pada Perairan Matras, Sungailiat, Provinsi Bangka sebesar 0,92 mg/L. Konsentrasi tersebut melebihi ambang batas air golongan II yang ditetapkan oleh Pemerintah pada terdapat pada PP No. 22 Tahun 2021. Berdasarkan pemanfaatan Danau Ranu Grati untuk tempat rekreasi air dan irigasi, maka penggolongan kategori air untuk Danau Ranu Grati termasuk pada air golongan II. Ambang batas konsentrasi Zn pada perairan danau untuk golongan II adalah kurang dari 0,05 mg/L. Zn dengan dosis tinggi dapat menghambat pembentukan sel darah dan kekebalan sistem imun, menurunkan kadar HDL dan meningkatkan kadar LDL (UC Berkeley Wellness Letter, April 2007; Univ of Maryland, Medical Center, 2007). Allah SWT berfirman di dalam Al-Quran surat al-A'raf ayat 56 yaitu:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ

قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya: “ *Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diciptakan dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan.*”

Berdasarkan kutipan ayat di atas Allah SWT melarang umat manusia supaya tidak membuat kerusakan. Bumi ini diciptakan oleh Allah SWT atas segala kelengkapannya seperti gunung, lembah, sungai, lautan dan daratan agar dapat dimanfaatkan dengan baik. Apabila manusia mengikuti perintah ini dengan baik maka niscaya Allah SWT akan memberikan rahmat kepada hamba-Nya. Kita

sebagai umat manusia yang diberikan kesempurnaan akal dan pikiran hendaknya melestarikan lingkungan sebagaimana yang difirmankan Allah SWT dalam Al-Quran surat Luqman ayat 10 sebagai berikut:

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَالْأَرْضِ رَوَاسِي أَنْ تُمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿١٠﴾

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

Berdasarkan kutipan ayat Al-Quran di atas, mengatakan betapa banyak kekayaan alam yang terdapat di bumi ini Allah SWT menciptakan banyak tumbuh-tumbuhan sehingga kita semua dapat memanfaatkannya dengan baik. *Hydrilla verticillata* merupakan salah satu contoh tumbuhan yang termasuk dalam kategori tumbuhan baik. *Hydrilla verticillata* merupakan salah satu tanaman yang berpotensi untuk mengatasi pencemaran air. Tumbuhan tersebut banyak tumbuh di perairan dan dibuang begitu saja di sekitar pematang tanpa dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar. *Hydrilla verticillata* mengandung nitrogen dan karbon organik, komponen tersebut berpotensi untuk dijadikan sebagai pupuk organik. Kelimpahan *Hydrilla verticillata* di perairan dapat meningkatkan pH, mengurangi oksigen dan meningkatkan suhu perairan (Goltenboth, *et al.*, 2012).

Hydrilla verticillata merupakan salah satu tanaman fitoremediator yang mempunyai kemampuan mengolah limbah berupa logam berat, zat organik maupun zat anorganik (Alghaffar, 2016). *Hydrilla verticillata* mempunyai potensi

dalam menurunkan kadar pencemar air limbah yang memiliki kadar komponen organik tinggi (Ningsih, *et al.*,2014). Fitoremediasi merupakan teknologi remediasi in-situ yang memanfaatkan kemampuan yang melekat pada tumbuhan hidup (Wang, *et al.* 2011). Penelitian mengenai fitoremediasi sangat digemari karena memiliki teknik yang mudah dilakukan serta memerlukan biaya yang sedikit.

Penelitian mengenai *Hydrilla verticillata* sebagai agen fitoremediator telah banyak dilakukan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Rondonuwu (2013), mengenai fitoremediasi limbah Hg menggunakan tanaman dan sistem reaktor. Tanaman *Hydrilla verticillata* dapat mengakumulasi logam Pb sebesar 83,96%. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Marthana, *et al.* (2017) dalam hasil penelitiannya mengenai bioakumulasi Timbal (Pb) oleh *Hydrilla verticillata* L.F. Royle di Danau Rawapening Ambarawa Semarang dimana nilai BAF dari tanaman *Hydrilla verticillata* L.F. Royle yang dipaparkan oleh logam Pb menghasilkan angka sebesar 97,90%.

Selanjutnya Aqli (2019) dalam studinya mengenai fitoremediasi oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle Danau Ranu Grati Pasuruan dengan variasi konsentrasi Logam Cu (1, 3, 5, 7, dan 9 mg/L) didapatkan hasil berupa *Hydrilla verticillata* dapat mengakumulasi Cu sebesar 3 mg/L sebesar 98, 07% dan bagian daun lebih banyak mengakumulasi Cu. Kemudian Novi, *et al.* (2019) melakukan penelitian tentang fitoremediasi logam Zn (Seng) menggunakan *Hydrilla* sp. pada limbah industri kertas dengan variasi waktu pemaparan 3, 6, 9, 12, 15, dan 18 hari didapatkan hasil berupa penyerapan Zn sebesar 50% dilakukan pada waktu pemaparan 15 hari.

Berdasarkan pada penelitian yang sudah dilakukan, potensi *Hydrilla verticillata* untuk meremediasi limbah yang terdapat di lingkungan sudah banyak dilakukan, fitoremediasi *Hydrilla verticillata* dengan variasi waktu pemaparan dengan logam Zn telah dilakukan dan diperoleh waktu pemaparan yang optimum adalah 15 hari, namun belum diketahui secara pasti berapa konsentrasi maksimum Zn yang dapat diserap oleh tanaman *Hydrilla verticillata*. Sehingga pada penelitian ini dilakukan fitoremediasi oleh *Hydrilla verticillata* dengan variasi konsentrasi logam Zn sebesar 1, 3, 5, dan 7 mg/L dengan waktu pemaparan selama 15 hari dengan pengukuran, BCF (*Bioconcentration factor*) dan TF (*Translocation factor*). Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah *Hydrilla verticillata* yang terdapat di Danau Ranu Grati Pasuruan dapat meremediasi limbah logam Zn buatan dengan konsentrasi 1, 3, 5, dan 7 mg/L.

Analisis kadar Zn pada *Hydrilla verticillata* dilakukan menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Penelitian ini bertujuan untuk menambah pengetahuan bagi masyarakat awam bahwa tanaman *Hydrilla verticillata* dapat digunakan sebagai agen penyerap limbah, terutama limbah logam berat Zn.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi terhadap aktivitas remediasi pada tanaman *Hydrilla verticillata*?
2. Bagaimanakah daya serap tanaman *Hydrilla verticillata* terhadap logam Zn berdasarkan nilai BCF dan TF?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi terhadap aktivitas remediasi pada tanaman *Hydrilla*.
2. Untuk mengetahui daya serap tanaman *Hydrilla verticillata* terhadap logam berat Zn berdasarkan nilai BCF dan TF.

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel tanaman *Hydrilla verticillata* berasal dari Danau Ranu Grati Pasuruan Jawa Timur.
2. Variasi konsentrasi logam Zn yang digunakan adalah 1, 3, 5, dan 7 mg/L.
3. Analisis biomassa dilakukan pada batang dan daun tanaman *Hydrilla verticillata*.

1.5 Manfaat

1. Mengetahui potensi tanaman *Hydrilla verticillata* sebagai fitoremediator di perairan.
2. Mengetahui mekanisme akumulasi logam berat Zn oleh *Hydrilla verticillata*.
3. Sebagai bahan studi lanjut untuk objek penelitian fitoremediasi menggunakan *Hydrilla verticillata*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prespektif Islam Tentang Fitoremedisasi

Berkembangnya industri semakin memudahkan manusia untuk beraktivitas. Namun dibalik banyaknya manfaat yang dihasilkan, hal tersebut memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan. Salah satunya masalah yang ditimbulkan oleh masifnya perkembangan industri adalah pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan disebabkan oleh adanya logam berat menghasilkan limbah di dalam lingkungan hidup yang dapat mengakibatkan perubahan struktur sehingga menyebabkan terganggunya keseimbangan lingkungan. Hal tersebut tercantum dalam firman Allah SWT pada Al-Quran Surat ar-Rum Ayat 41.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي
عَمَلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya:

“Telah nampak kerusakan di darat dan laut yang disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah SWT. Menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”

Dilanjutkan oleh firman Allah SWT yang tercantum dalam Al-Quran Surat al-Baqarah ayat 30.

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلٰٓئِكَةِ اِنِّيْ جَاعِلٌ فِى الْاَرْضِ خَلِيْفَةًۭۙ قَالُوْۤا اَنْتَ جَعَلُۙ فِیْهَا مَنْ يُّفْسِدُ فِیْهَا

وَيَسْفِكُ الدِّمَآءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَۗ قَالَ اِنِّيْۤ اَعْلَمُۙ مَا لَا تَعْلَمُوْنَ ﴿٧﴾

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

Adapun maksud dari ayat tersebut yaitu, bahwa Allah SWT telah menciptakan manusia sebagai khalifah di muka bumi untuk senantiasa berbuat kebaikan. Berdasarkan ayat tersebut memiliki keterkaitan dengan lingkungan bahwa, sebagai manusia harus bertanggung jawab terhadap pengelolaan lingkungan. Salah satu upaya pengelolaan lingkungan untuk mengatasi pencemaran logam berat dari kegiatan industri dapat dilakukan dengan melakukan pengolahan limbah secara biologis, yaitu dengan metode fitoremediasi yang memanfaatkan tanaman yang telah Allah SWT ciptakan di muka bumi ini sebagaimana dalam firman Allah SWT pada Al-Quran surat asy-Syu'ara ayat 7.

اَوَلَمْ يَرَوْۤا اِلَى الْاَرْضِ كَمْۤ اَنْبَتْنَا فِيْهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍۭۙ كَرِيْمٍ ﴿٧﴾

Artinya:

“*Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik?*”.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan tumbuhan dengan segala manfaat yang diberikanNya. Maka manusia sebagai makhluk yang diberikan kesempurnaan dalam berfikir hendaknya dapat memanfaatkan hal tersebut dalam hal kebaikan. Seperti mengembangkan ilmu pengetahuan yang

bertujuan untuk meminalisir banyaknya pencermaran air dengan menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata*.

2.2 *Hydrilla verticillata*

Hydrilla verticillata merupakan tanaman yang melayang di air. *Hydrilla* merupakan tanaman air yang sempurna karena memiliki sifat yang mudah untuk beradaptasi. *Hydrilla verticillata* merupakan jenis tanaman air yang pada umumnya hanya terdiri dari satu spesies. Meskipun demikian, beberapa ahli botani membaginya menjadi beberapa spesies yaitu: *Hydrilla asiatica*, *Hydrilla japonica*, *Hydrilla lithuanica* dan *Hydrilla ovalifolica*. *Hydrilla verticillata* memiliki rimpang putih kekuningan yang tumbuh di sedimen bawah air sampai dengan kedalaman sedimen bawah air sampai dengan kedalaman 2 meter. Tanaman tersebut dapat menurunkan pencemaran perairan lebih efektif karena bagian daun, batang dan akar terendam di bagian air (Artiyani, 2011).

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* tumbuh di banyak perairan, namun pemanfaatannya sangat sedikit sehingga tanaman tersebut dibuang begitu saja di sekitar pematang tanpa dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar. *Hydrilla verticillata* mengandung nitrogen dan karbon organik yang merupakan unsur yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga tumbuhan tersebut sangat berpotensi dijadikan sebagai pupuk organik. Kelimpahan *Hydrilla verticillata* di perairan dapat meningkatkan pH, mengurangi oksigen dan meningkatkan suhu perairan (Goltenboth, *et al.*, 2012).



Gambar 2.1 Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (Ramesh, 2014)

Menurut Ramesh (2014), klasifikasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* adalah sebagai berikut

Kingdom : Plantae
Super Devisi : Spermatophyta
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Hydrocharataceae
Genus : Hydrilla
Spesies : *Hydrilla verticillata*

2.3 Logam berat Seng (Zn)

Pada berbagai kasus pencemaran air, logam berat merupakan polutan yang paling berbahaya karena menimbulkan efek racun bagi manusia dan organisme lain di perairan (Boran dan Altinok, 2010). Logam berat dapat terakumulasi di lingkungan seperti air dan sedimen. Logam berat juga dapat terabsorpsi oleh biota laut (Effendi, 2003). Logam berat yang melayang pada perairan suatu saat akan

turun dan mengendap pada dasar perairan, membentuk sedimentasi sehingga konsentrasi logam berat dalam sedimen jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam yang sama dalam badan air (El Nemr *et al.*, 2014).

Logam berat pada umumnya merupakan logam yang memiliki berat 5 gram atau lebih dalam setiap cm^3 , sehingga logam dengan berat kurang dari 5 gram setiap cm^3 digolongkan sebagai logam ringan (Darmono, 1995). Logam merupakan unsur penting yang dibutuhkan setiap makhluk hidup dan termasuk komponen alami yang terdapat di kulit bumi yang tidak dapat terdegradasi ataupun dihancurkan dan merupakan zat yang berbahaya karena dapat terjadi bioakumulasi. Bioakumulasi adalah peningkatan konsentrasi zat kimia dalam tubuh makhluk hidup dalam waktu yang cukup lama, dibandingkan dengan konsentrasi zat kimia yang terdapat di alam (Panggabean dan Prasetyo, 2008).

Seng merupakan unsur logam dengan nomor atom 30, berlambang Zn (Zinc) dengan berat molekul 65,38 mg/mol. Zn memiliki titik lebur 929,69 K dan titik didih 1180 K, serta berat jenis 7,14 g/cm^3 . Ciri fisik Zn berupa logam dengan warna pucat keabu-abuan dan sangat mengkilap. Unsur ini terletak pada golongan IIIB, sehingga Zn merupakan unsur golongan transisi (Mulyono, 2005). Menurut Machbub dan Mulyadi (2000), logam Zn merupakan salah satu jenis logam berat yang kandungannya paling tinggi dibanding beberapa logam lainnya. Pada konsentrasi rendah Zn ditemui dalam bentuk ion dan bersifat esensial bagi pertumbuhan sebagai unsur renik, namun pada konsentrasi lebih tinggi logam tersebut bersifat toksik (Mejare dan Bolow, 2001).

2.3.1 Sumber Aktivitas Manusia Penghasil Limbah Zn

Kegiatan manusia di sektor pertanian membutuhkan pupuk agar tanaman yang dibudidayakan menjadi subur. Zn merupakan unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman dalam fase pertumbuhan. (Anggiat, 2009). Menurut Solomon *et al.* (2014), $ZnSO_4$ sering digunakan untuk tambahan dalam pupuk NPK, salah satu pengaplikasiannya adalah untuk meningkatkan jumlah tandan biji tanaman tanaman jagung (Alloway, 2008). Selain kegiatan pemupukan, limbah Zn juga dapat dihasilkan melalui pemakaian pestisida pada tanaman. Contoh pestisida yang mengandung Zn adalah fungisida jenis Antracol 70 WP dan Mancozeb. Antracol 70 WP berfungsi untuk mengendalikan jamur pada bawang merah, sedangkan Mancozeb merupakan fungisida yang mengandung ion Mn^{2+} dan Zn^{2+} . Mancozeb mampu meningkatkan konsentrasi spesies oksigen reaktif pada organisme (Nugroho dan Sasmita, 2021).

Selain dari sektor pertanian, limbah Zn juga dapat dihasilkan dari limbah rumah tangga. Zn dalam bentuk klorida digunakan sebagai deodorant, Zn juga dapat ditemukan dalam bahan pembuatan shampoo anti ketombe. Zinc pyrithione dan $ZnSO_4$ dapat ditemukan dalam produk deterjen yang mana limbah sisa penggunaan bahan-bahan tersebut langsung dibuang dari saluran pembuangan air yang terdapat di rumah-rumah ke danau (Maslukah, 2006). Kendaraan bermotor dan kapal yang digunakan peternak ikan di danau turut menyumbang emisi logam Zn. Menurut Layola (2009), penggunaan bahan bakar solar dan rem pada kendaraan menjadi penyumbang emisi logam berat seperti Zn, Cu, dan Fe.

2.3.2 Toksisitas Logam Seng (Zn)

Logam berat yang umum ditemukan di lingkungan seperti Cd, Pb, Co, Zn, dan Cr memiliki sifat fitotoksik baik pada konsentrasi rendah maupun konsentrasi sangat tinggi yang terdeteksi dalam air limbah. Apabila logam Zn terdapat pada sedimen, tumbuhan dan hewan yang hidup dalam sedimen perairan dapat menyerap Zn, sehingga Zn dapat masuk ke dalam tubuh manusia apabila manusia tersebut mengkonsumsinya. Pada jumlah kecil, logam berat tertentu memiliki sifat positif berupa nutrisi penting untuk kehidupan lingkungan yang sehat, tetapi logam berat dalam jumlah besar dapat menyebabkan keracunan (Rajkumar, *et al.*, 2011).

Toksisitas logam berat Zn dapat turun dengan meningkatnya kesadahan, sebaliknya akan meningkat dengan meningkatnya suhu dan penurunan oksigen terlarut. Toksisitas terhadap organisme akuatik seperti algae, avertebrata dan ikan sangat variatif mulai kurang dari 1 mg/L hingga lebih dari 100 mg/L. Toksisitas logam berat Zn bersama dengan K, Mg, dan Cd bersifat aditif, dimana toksistas logam Zn dan Cu bersifat sinergik yaitu toksisitas meningkat, lebih toksik daripada penjumlahan keduanya. Logam berat Zn dan logam berat Cd mempunyai struktur mirip sehingga mempunyai beberapa kesamaan sifat (Effendi, 2013). Apabila tubuh kita mengkonsumsi seng dengan dosis tinggi, maka dapat menghambat pembentukan sel darah dan kekebalan sistem imun, menurunkan kadar HDL dan meningkatkan kadar LDL (UC Berkeley Wellness Letter, April 2007; Univ of Maryland, Medical Center, 2007).

2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi seringkali dikaitkan dengan bioremediasi. Berdasarkan prinsip kerjanya fitoremediasi dan bioremediasi sangatlah berbeda. Menurut Smith (2013), fitoremediasi melalui vegetasi merupakan penggunaan tanaman yang bersimbiosis dengan mikroba yang berpotensi besar mampu melakukan remediasi tanah yang tercemar. Tanaman fitoremediasi memiliki karakter spesifik, diantaranya adalah toleran terhadap tingkat logam tinggi, logam mampu terakumulasi cukup tinggi dalam jaringan tanaman di atas tanah, tingkat pertumbuhan cepat, mampu menghasilkan biomassa yang cukup tinggi, dan memiliki sistem akar yang kuat (Alkorta dan Garbisu, 2004). Sedangkan bioremediasi memanfaatkan mikroorganisme. Mikroorganisme atau mikroba merupakan bentuk kehidupan pertama yang sangat adaptif dan mampu dengan cepat berevolusi menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan yang kritis. (Seigle, *et al.*, 1996).

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, *et al.*, 2009). Menurut Ansari, *et al* (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 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.

Mekanisme dan efisiensi fitoremediasi bergantung pada jenis kontaminan, ketersediaan hayati dan sifat tanah (Li, *et al.*, 2012). Ada beberapa cara tanaman membersihkan atau memulihkan area yang terkontaminasi. Penyerapan kontaminan pada tanaman terjadi terutama melalui sistem akar, di mana hal tersebut merupakan mekanisme utama untuk mencegah toksisitas. Sistem akar menyediakan luas permukaan yang sangat besar yang menyerap dan mengakumulasi air dan nutrisi penting untuk pertumbuhan bersama dengan kontaminan non-esensial lainnya (Ma, *et al.*, 2011).

Fitoremediasi dapat dilakukan pada kontaminan yang terdapat di dalam di tanah, sedimen, dan air. Masing-masing mekanisme ini akan berdampak pada volume, mobilitas, atau toksisitas kontaminan, seperti yang dimaksudkan oleh penerapan fitoremediasi (Ali *et al.*, 2013). Mekanisme fitoremediasi dibagi menjadi 6 macam antara lain:

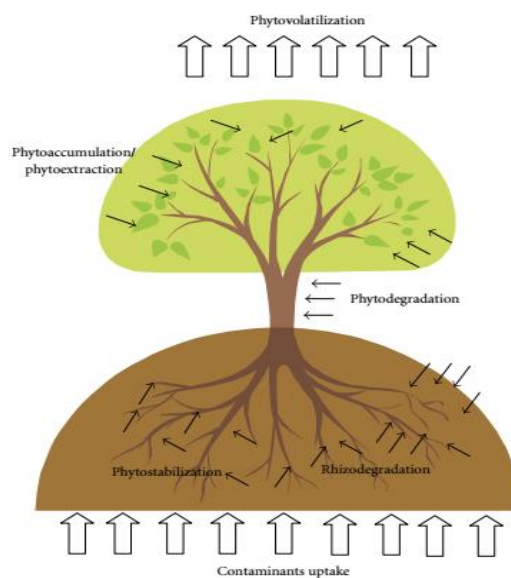
1. Fitoekstraksi juga disebut fitoakumulasi, mengacu pada serapan dan translokasi kontaminan logam di dalam tanah oleh akar tanaman. Fitoekstraksi terutama digunakan untuk treatment tanah yang terkontaminasi (Glick, 2010).
2. Fitovolatilisasi melibatkan penggunaan tanaman untuk mengambil kontaminan dari tanah, mengubahnya menjadi bentuk yang mudah menguap dan memindahkannya ke atmosfer (Saier dan Trevors, 2010). Fitovolatilisasi juga melibatkan kontaminan yang dibawa ke dalam tubuh tumbuhan, tetapi kemudian kontaminan yang memiliki bentuk yang mudah menguap, atau produk degradasi yang mudah menguap diangkut dengan uap air dari daun (Wang, *et al.*, 2017).

3. Fitodegradasi adalah proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme di dalam tumbuhan. Metabolisme polutan di dalam tumbuhan melibatkan enzim antara lain nitroductase, laccase, dehalogenase, oksigenase dan nitrillase (Chaney, *et al.*, 1995).

4. Fitostabilisasi merupakan proses yang dilakukan oleh tumbuhan untuk mentransformasikan polutan di dalam tanah menjadi senyawa nontoksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tubuh tumbuhan. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah. Fitostabilisasi dapat diartikan sebagai penyimpanan tanah dan sedimen yang terkontaminasi dengan menggunakan vegetasi, dan imobilisasi kontaminan beracun polutan (Chaney, *et al.*, 1995).

5. Rizofiltrasi digunakan untuk memulihkan air tanah yang diekstraksi, air permukaan, dan air limbah dengan konsentrasi kontaminan rendah. Metode ini merupakan metode adsorpsi atau pengendapan ke akar tanaman atau penyerapan kontaminan dalam larutan yang mengelilingi zona akar (Wang, *et al.*, 2017). Rhizofiltrasi biasanya dieksploitasi di air tanah (baik in situ atau diekstraksi), air permukaan, atau air limbah untuk menghilangkan logam atau senyawa anorganik lainnya. Rhizofiltrasi dapat digunakan untuk Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, dan Cr, yang tertahan di dalam akar (Vamerali, *et al.*, 2010).

6. Rizodegradasi dilakukan dengan cara polutan diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat atau disinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini adalah tepat untuk dekontaminasi zat organik (Pranoto, 2013)



Gambar 2.2. Mekanisme fitoremediasi tanaman dalam menyerap polutan (Pranoto, 2013)

2.4.1 *Hydrilla verticillata* Sebagai Remediator

Fitoremediasi merupakan suatu sistem yang melibatkan penggunaan tanaman untuk membersihkan atau menstabilkan lingkungan yang terkontaminasi. Sistem tersebut dapat meminimalisir biaya produksi dan ramah lingkungan. Salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai fitoremediator adalah tanaman *Hydrilla verticillata*. Tanaman *Hydrilla verticillata* merupakan tanaman yang melayang di air, sehingga dapat menurunkan bahan pencemar perairan lebih efektif karena bagian daun, batang dan akar erendam di dalam air (Artiyani, 2011).

Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa tanaman *Hydrilla verticillata* dapat menurunkan bahan pencemar. Berdasarkan penelitian Marthana, *et al.* (2017) mengenai kajian tentang biakumulasi timbal (Pb) oleh *Hydrilla verticillata* L.F Royle di Danau Rawapening Ambarawa Semarang menghasilkan dengan variasi waktu pemaparan (1, 2 dan 3 minggu) menghasilkan bahwa BAF terbesar

didapatkan dengan waktu pemaparan 2 minggu. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Urifah, *et al.* (2017) mengenai kajian tentang absorpsi logam berat timbal (Pb) oleh tanaman *Hydrilla verticillata* dengan variasi berat tanaman *Hydrilla verticillata* sebesar (30, 35 dan 40 gram) dan waktu pemaparan (0, 7, dan 14 hari) menghasilkan waktu pemaparan optimum terdapat pada hari ketujuh dengan kadar Pb pada berat 70 gram sebanyak 0,7174 mg/Kg, pada akar sebesar 0,47 mg/Kg dan pada batang sebesar 0,36 mg/Kg.

Selanjutnya Aqli (2019) dalam penelitiannya mengenai fitoremediasi oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* L.F Royle di Danau Ranu Grati Pasuruan dengan variasi konsentrasi logam Cu (1, 3, 5, 7 dan 9 mg/L) diperoleh hasil berupa *Hydrilla verticillata* dapat menyerap logam Cu dengan konsentrasi 3 mg/L sebesar 98,07%. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Al Farobi (2019) mengenai fitoremediasi oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* L.F Royle di Danau Ranu Grati Pasuruan dengan variasi konsentrasi logam Pb (15, 20, 25, 30 dan 35 mg/L) yang menghasilkan bahwa tumbuhan *Hydrilla verticillata* dapat menyerap logam Pb sebanyak 90%. Kemudian Novi, *et al.* (2019) melakukan penelitian mengenai fitoremediasi logam seng (Zn) menggunakan *Hydrilla* sp. pada limbah industri kertas dengan variasi waktu pemaparan (3, 6, 9, 12, 15 dan 18 hari) menghasilkan bahwa presentase penyerapan Zn pada hari 0 – 15 sebesar 50%.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Tahun	Tema	Variasi	Hasil Terbaik
1.	Dewi Urifah, Kusriani, Umi Zakiyah, Handaru B. C, Rieke Y	2017	Kajian mengenai absorpsi logam Timbal Pb oleh tanaman Hydrilla (<i>Hydrilla verticillata</i>)	Variasi berat tanaman (30, 35, 40 g) dan waktu pemaparan (0, 7 dan 14 hari)	- Waktu pemaparan 7 hari - Kadar Pb pada berat 70 gram sebesar 0,7174 ppm - Penyerapan Pb pada akar 0,47 mg/Kg, batang 0,36 mg/Kg dan daun.
2.	Mohammad Rosyidatul Aqli	2019	Kajian mengenai fitoremediasi oleh Tumbuhan Hydrilla (<i>Hydrilla verticillata</i> (L.F.) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan	Variasi konsentrasi Logam Cu (1, 3, 5, 7, dan 9 mg/L)	- Konsentrasi Cu 3 mg/L sebesar 98,07% -Bagian daun lebih banyak mengakumulasi Cu.
3.	Wahyu Aziz Al-Farobi	2019	Kajian mengenai fitoremediasi oleh Tumbuhan Hydrilla (<i>Hydrilla verticillata</i> (L.F.) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan	Variasi konsentrasi Logam Cu (15, 20, 25, 30 dan 35 mg/L)	<i>Hydrilla verticillata</i> dapat menyerap logam Pb sebesar 90%.
4.	Cory Novi, Sartika, Afifah Nur Shobah	2019	Kajian mengenai fitoremediasi Logam Seng (Zn) menggunakan <i>Hydrilla</i> sp. pada limbah industri kertas	Variasi waktu pemaparan (3, 6, 9, 12, 15, dan 18 hari)	Presentase penyerapan Zn pada hari 0-12 sebesar 50% dan pada hari ke-18 sebesar 25%.

2.4.2 Mekanisme Penyerapan Logam Berat oleh *Hydrilla verticillata*

Tumbuhan membutuhkan nutrisi untuk bertahan hidup yang berfungsi untuk proses pertumbuhan. Nutrisi atau unsur hara yang diserap oleh tumbuhan biasanya berada dalam bentuk ion (bermuatan). Penyerapan unsur hara terjadi melalui proses difusi. Secara umum mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman berlangsung secara aktif (*active uptake*) dan penyerapan secara pasif (*passive uptake*).

Menurut Hardiani, *et al.* (2009), penyerapan logam berat secara aktif (*active uptake*) oleh tanaman meliputi tiga proses penyerapan dan akumulasi logam berat yang saling berkesinambungan, yaitu:

1. Penyerapan oleh akar dilakukan agar tanaman dapat menyerap logam, dengan cara logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa faktor bergantung pada spesies tanaman, diantaranya seperti pH, pembentuk reduktase spesifik pada logam, ekskresi zat khelat.
2. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (*xilem* dan *floem*) ke bagian tanaman lainnya. Kemampuan pengangkutan dalam tanaman dapat ditingkatkan dengan bantuan zat khelat.
3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Logam berat yang masuk ke dalam tanaman akan berikatan dengan unsur hara lain dan mengalami imobilisasi ke bagian tanaman tertentu seperti akar. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel (Priyanto dan Prayitno, 2006).

Sedangkan penyerapan logam berat secara pasif (*passive uptake*) atau biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dan proses pengikatan ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu (Hardiani, *et al.*, 2009)

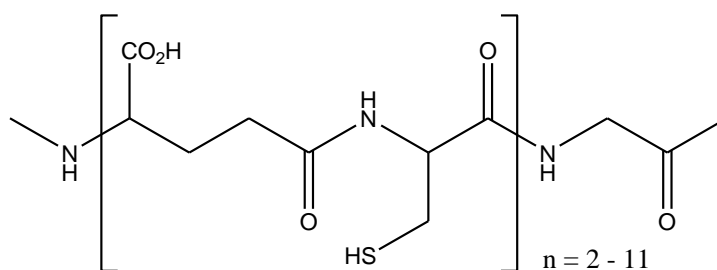
1. Pertukaran ion, dimana ion monovalen dan divalen seperti ion Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan dengan ion logam berat.
2. Formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti korboksil, thiol, fosfat, hidroksi yang berada di dinding sel. Proses biosorpsi dapat berjalan lebih efektif pada pH tertentu dan kehadiran ion-ion lainnya di media, dimana logam berat dapat diendapkan sebagai garam yang tidak terlarut.

Zn merupakan unsur mikro esensial untuk tumbuhan tingkat tinggi. Zn berfungsi sebagai penyusun pati dan aktivator enzim (aldolase, asam aksalat dekarboksilase, histidin, superoksida demutase dan lain-lain), pembentukan klorofil, dan metabolisme karbohidrat. Mineral-mineral sebagai sumber utama yang kaya Zn dalam tanah adalah ZnS, dan sumber yang sangat kecil dari mineral-mineral $ZnCO_3$, ZnO, $ZnSO_4$ dan $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ (Lahuddin, 2007). Berdasarkan intensitas kandungan Zn yang meningkat akibat adanya proses akumulasi sehingga *Hydrilla verticillata* yang tercemar logam seng dapat mengakumulasi logam tersebut dalam jaringan tubuhnya. Semakin tinggi kandungan logam dalam perairan, maka semakin tinggi kandungan logam seng yang terakumulasi pada *Hydrilla verticillata* tersebut. Hal ini berkaitan dengan sifat logam Zn yang sulit terdegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan (Natsir, *et al.*, 2014).

Mineral Zn yang terdapat dalam tanah antara lain ZnS, (ZnFe)S dan ZnCO₃. Pelarutan mineral Logam Zn adalah komponen alam yang terdapat di kerak bumi. Adsorpsi Zn dalam tanah dapat terjadi karena adanya bahan organik dan mineral liat. Mineral Zn yang ada dalam tanah antara lain ZnS, (ZnFe)S, dan ZnCO₃. Pelarutan mineral terjadi secara alami sehingga unsur yang terkandung di dalamnya terbebas dalam bentuk ion. Zn²⁺ yang terbebas mengalami proses lanjut, terikat dengan matrik tanah atau bereaksi dengan unsur-unsur lain. Zn diserap oleh tanaman dalam bentuk ion Zn²⁺ dan dalam tanah alkalis diserap dalam bentuk monovalen Zn(OH)⁺, Zn juga dapat diserap dalam bentuk kompleks khelat, misalnya Zn-EDTA (Lahuddin, 2007).

2.5 Fitokelatin

Menurut Chen dan Cutright (2002), ada dua gugus fungsi yang terlibat dalam membantu proses penyerapan logam berat yaitu produksi senyawa logam pengkelat untuk membentuk senyawa kompleks yang lebih *mobile* dan kurang beracun dan kelarutan logam yang dapat mengasamkan *rhizosphere*. Apabila tanaman terkontaminasi logam berat, maka tanaman tersebut menghasilkan fitokelat yang dapat membantu dalam kedua fungsi tersebut untuk memfasilitasi proses penyerapan logam berat. Fitokelatin adalah reaktif peptida-tiol yang terdiri dari glutation (Glu), sistein dan glisin (Gupta, *et al.*, 2004). *Glutation* adalah antioksidan alami yang digunakan pada reaksi enzim selama pembentukan fitokelatin. Fitokelatin akan menyimpan logam berat dalam vakuola yang merupakan sel tempat penyimpanan cadangan makanan pada tumbuhan (Schützendübel dan Polle, 2002). Struktur Fitokelatin terdapat pada Gambar 2.5



Gambar 2.3 Struktur Fitokelatin (Schützendübel dan Polle, 2002)

Penyerapan logam berat oleh tanaman yang nantinya akan berikatan dengan protein membentuk senyawa kompleks melalui ikatan koordinasi sebagai hasil penggunaan elektron secara bersama-sama. Suatu kation yang mempunyai daya polarisasi tinggi mudah bereaksi dengan ligan karena kerapatan muatan positif tinggi sehingga menghasilkan interaksi yang kuat. Ion-ion logam yang bermuatan positif besar, yang memiliki bilangan oksidasi tinggi memberikan polarisabilitas kecil yang dikelompokkan dalam asam keras dan sebaliknya ion-ion yang bermuatan kecil atau nol termasuk dalam kelompok asam lunak. Ligan-ligan dengan atom donor yang sangat elektronegatif merupakan basa keras (Meriatna, 2008).

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

kurangnya cahaya yang diubah menjadi energi kimia dalam bentuk ATP dan NADPH + H. Selanjutnya digunakan untuk fiksasi CO₂ dengan enzim rubisco sebagai katalisator untuk pembentukan glukosa (Mutmainnah, *et al.*, 2015).

Hydrilla verticillata yang terpapar logam Zn dalam waktu yang lama dengan jumlah yang banyak akan menyebabkan stres, sehingga membentuk zat *phytochelatin* dan *metalothionin*. *Phytochelatin* adalah kelompok protein yang memiliki asam amino sistein, glisin dan asam glutamat yang menginduksi tanaman. Sedangkan *metalothionin* adalah protein transport yang dapat memindahkan kelebihan logam Zn dari satu tempat ke tempat yang lain untuk menghindari efek toksik yang ditimbulkan terhadap suatu tumbuhan. *Phytochelatin* dan *metalothionin* bekerjasama dalam mengikat logam Zn yang ada di dalam air. setelah *Phytochelatin* mengikat logam Zn, maka zat *metalothionin* akan mempack logam Zn ke dalam suatu sel atau jaringan dalam akar untuk menyimpan Zn, sehingga keberadaan logam Zn tidak akan mengganggu metabolisme tanaman (Mutmainnah, *et al.*, 2015).

2.6 Parameter Fitoremediasi

Tanaman yang dapat dijadikan sebagai bioakumulator adalah tanaman yang memiliki nilai faktor biokonsentrasi dan translokasi lebih dari 1. Nilai biokonsentrasi dapat dikategorikan tinggi apabila nilainya lebih dari 1. Tanaman dapat dikategorikan sebagai tanaman fitostabilizer jika nilai dari faktor biokonsentrasi lebih dari 1 dan faktor translokasi kurang dari 1. Jika nilai dari biokonsentrasi lebih dari 1 dan faktor translokasi kurang dari 1. Jika nilai dari biokonsentrasi kurang dari 1 dan nilai faktor translokasi lebih dari 1 maka

tanaman tersebut dapat dikategorikan sebagai tanaman fitoekstraktor (Mellem, *et al.*, 2012; Sopyan, *et al.*, 2014; Usman, *et al.*, 2013).

2.6.1 Bioconcentration Factor (BCF)

Menurut Connel dan Miller (2006), biokonsentrasi adalah masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan seperti insang atau kulit. Biokonsentrasi adalah akumulasi logam berat yang diambil secara langsung dari air oleh organisme seperti ikan atau tumbuhan air. Biokonsentrasi faktor merupakan kecenderungan suatu bahan kimia yang diserap oleh organisme akuatik.

Untuk mengetahui mekanisme akumulasi logam berat dalam organisme perairan dengan cara menghitung nilai *bioconcentration factor* (BCF) atau faktor biokonsentrasi. Biokonsentrasi merupakan masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan, sedangkan bioakumulasi adalah masuknya bahan pencemar oleh makhluk hidup dari suatu lingkungan melalui suatu mekanisme. Bioakumulasi bahan kimia dalam suatu perairan merupakan kriteria penting dalam evaluasi tingkat pencemaran suatu lingkungan (Ghosh dan Singh, 2005). Sedangkan untuk mengukur tingkat pencemaran di suatu perairan adalah dengan cara mengukur biokonsentrasi biota yang hidup didalamnya (Connel dan Miller, 2006).

BCF merupakan rasio antara konsentrasi bahan kimia dalam organisme akuatik dengan konsentrasi bahan kimia di dalam air (LaGrega, *et al.*, 2001). BCF diukur untuk mengetahui kemampuan bioakumulasi logam dari kerang dalam air

dan sedimen. Perhitungan BCF dapat dihitung dengan persamaan 2.1 (Potipat, *et al.*, 2015).

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

Dimana, $C_{organisme}$ merupakan konsentrasi logam berat dalam organisme dalam (ppm) dan C_{air} adalah konsentrasi logam berat dalam air (ppm).

2.6.2 *Translocation Factor (TF)*

Faktor Translokasi (TF) merupakan kemampuan tanaman untuk menyerap kontaminan melalui akar dan kemudian mentranslokasikannya dari akar ke organ bagian atas tanaman (Ahmadpour, *et al.*, 2012). Nilai TF lebih dari 1 menunjukkan bahwa tanaman tersebut mentranslokasikan kontaminan yang diserap ke organ bagian atas tanaman. TF ditentukan berdasarkan perbandingan jumlah kontaminan yang ada di organ bagian atas tanaman terhadap jumlah kontaminan yang ada di akar (Arifin, 2012). TF dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$TF = \frac{BCF \text{ daun}}{BCF \text{ batang}} = \dots\dots\dots (2.2)$$

2.7 **Aklimatisasi Tanaman**

Aklimatisasi tanaman adalah suatu tahapan penyesuaian dari tanaman hasil kultur jaringan terhadap lingkungan sekitar. Aklimatisasi dapat disebut sebagai tahapan penyesuaian diri sebelum pada akhirnya tanaman mampu hidup di lapangan. Tahapan ini sering dilakukan oleh banyak orang. Sebelum tanaman dipindahkan maka harus diperhatikan media tumbuh yang tepat untuk tanaman

tersebut. Tahapan aklimatisasi merupakan tahapan kritis karena tahapan ini merupakan peralihan dari keadaan yang selama ini terkondisi dengan baik di dalam ruang kultur, menuju ke kondisi alam yang suhu, iklim, temperatur dan lainnya berubah-ubah (Harahap, 2008).

Berdasarkan penelitian pada umumnya mengenai proses fitoremediasi secara ek-situ dilakukan melalui cara memasukkan tanaman *Hydrilla verticillata* ke dalam bak plastik yang berisi air dan dibiarkan selama beberapa hari. Sehingga dapat diketahui bahwa nantinya pada saat penelitian berlangsung bahwa Hydrilla mati bukan karena air tempat dia hidup (Urifah, *et al.*, 2017).

2.8 Destruksi Sampel

Destruksi adalah pemecahan senyawa menjadi unsur-unsur yang lebih sederhana sehingga dapat dianalisis. Destruksi juga disebut sebagai perombakan dari bentuk organik logam menjadi bentuk logam-logam anorganik. Pada dasarnya ada dua jenis destruksi yang dikenal dalam ilmu kimia yaitu destruksi basah (oksida basah) dan destruksi kering (oksida kering). Kedua destruksi ini memiliki teknik pengerjaan dan lama pemanasan atau pendestruksian yang berbeda (Kristianingrum, 2012).

Destruksi kering merupakan perombakan organik logam di dalam sampel menjadi logam-logam anorganik dengan jalan pengabuan sampel dalam *muffle furnace* dan memerlukan suhu pemanasan tertentu. Pada umumnya dalam destruksi kering membutuhkan suhu pemanasan antara 400 – 800°C, suhu tersebut sangat tergantung pada jenis sampel yang akan dianalisis. Penentuan suhu

pengabuan dengan sistem ini harus ditinjau berdasarkan jenis logam yang akan dianalisis dahulu terlebih (Kealey dan Haines, 2002).

Sedangkan destruksi basah dibagi menjadi dua yaitu metode destruksi basah terbuka dimana sampel dicampurkan dengan reagen asam yang dipanaskan menggunakan pemanas listrik (*hotplate*) dan metode destruksi tertutup reaksi pelarutan dan pemecahan dilakukan dalam wadah tertutup yang lebih aman terhadap penguapan dan pemuaihan bahan. yang mana sampel dicampurkan dengan reagen asam yang dipanaskan menggunakan *refluks* atau *microwave* (Namik, *et al.*, 2006).

Destruksi basah lebih baik dibandingkan dengan kering karena tidak banyak bahan yang hilang dengan suhu pengabuan yang tinggi seperti destruksi kering (Sumardi, 1981). Pada umumnya senyawa organik akan lebih mudah hancur dengan proses destruksi basah. Prinsip dasar dari destruksi basah sendiri yaitu, penggunaan asam nitrat untuk menghancurkan zat organik dengan suhu rendah yang bertujuan untuk menghindari hilangnya mineral akibat penguapan. Proses destruksi sampel dibantu dengan penggunaan asam nitrat yang berfungsi untuk mengoksidasi senyawa organik (C, H, O) dalam sampel menjadi CO₂, H₂O, O₂. Selain itu, dalam prosesnya ditambahkan H₂SO₄, HCl, atau H₂O₂ yang berfungsi sebagai agen pengoksidasi untuk mempercepat proses destruksi.

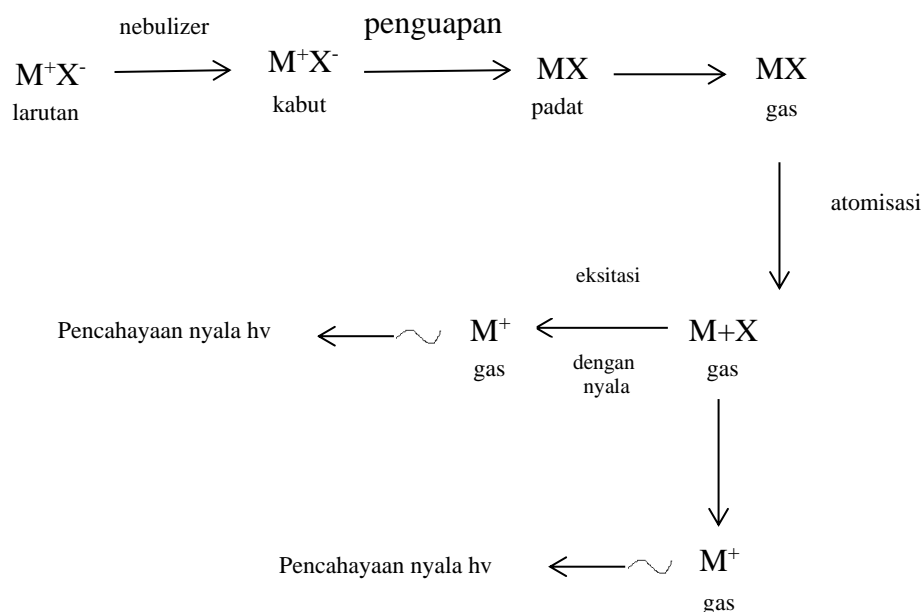
Proses destruksi basah yang dilakukan pada sampel *Hydrilla verticillata* dilakukan dengan menggunakan *microwave digestion*. Destruksi dengan *microwave digestion* memiliki beberapa keunggulan antara lain; kualitas dari hasil destruksi lebih tinggi, tidak ada unsur-unsur volatile yang hilang, serta waktu

yang dibutuhkan dalam proses destruksi lebih singkat yaitu sekitar 20 – 40 menit (Matusiewicz, 2005).

Perombakan logam Zn pada sampel *Hydrilla verticillata* dengan menggunakan asam-asam kuat baik tunggal maupun campuran yang kemudian dioksidasi dengan menggunakan zat oksidator. Pelarut-pelarut yang dapat digunakan untuk destruksi basah antara lain HNO_3 , H_2SO_4 , HClO_4 , dan HCl . Kesemua pelarut tersebut dapat digunakan baik tunggal maupun campuran. Kesempurnaan destruksi ditandai dengan diperolehnya larutan jernih pada larutan destruksi, yang menunjukkan bahwa semua konstituen yang ada telah larut sempurna atau perombakan senyawa-senyawa organik telah berjalan dengan baik. Senyawa-senyawa garam yang terbentuk setelah destruksi merupakan senyawa garam yang stabil dan disimpan selama beberapa hari (Chang, 1993).

2.9 Analisis Kadar Logam Seng (Zn) secara Spektroskopi Serapan Atom

Kadar Zn dalam *Hydrilla verticillata* dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). metode ini dipilih karena memiliki sensitifitas yang tinggi, mudah, murah sederhana, cepat dan hanya membutuhkan sedikit cuplikan (Supriyanto, *et al.*, 2007). Analisis logam menggunakan SSA lebih spesifik kerana lampu katoda yang digunakan sudah dengan analit yang akan dianalisis. Instrumen ini juga dapat digunakan untuk menganalisis analit dengan konsentrasi yang sangat kecil. Alur kerja SSA secara umum digambarkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema umum atomisasi Zn pada SSA (Basset, *et al.*, 1994)

Prinsip dasar analisis menggunakan SSA 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 Zn menyerap energi pada panjang gelombang 213,9 nm. Logam dapat mengalami eksitasi saat logam tersebut menyerap energi dalam keadaan dasar. Perubahan kedudukan elektron inilah yang membuat logam menjadi ion dan terbaca oleh instrumen SSA.

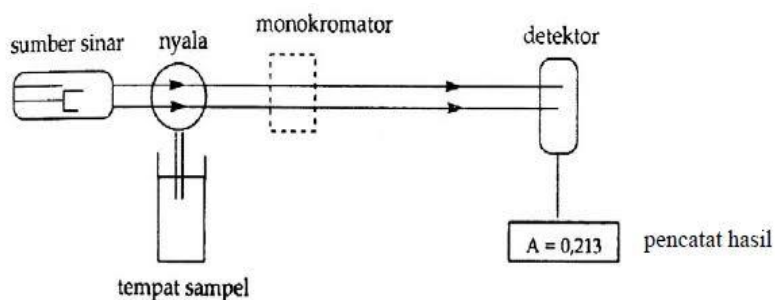
Spektroskopi Serapan Atom (SSA) menganut hukum absorpsi Lambert-Beer. Hukum Lambert berbunyi, apabila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan akan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang dilewati. Hukum Beer berbunyi, intensitas sinar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

bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut (Khopkar, 1990). Hukum Lambert-Beer secara matematis dapat dituliskan pada Persamaan 2.5. Berdasarkan persamaan 2.1 dapat dilihat bahwa absorbsi berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day dan Underwood, 2002).

$$A = -\log \frac{I_0}{I_1} = -\log T = \epsilon bc \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan, A adalah nilai absorbansi, I_0 dan I_1 secara berturut-turut adalah intensitas sumber sinar dan intensitas sinar yang diteruskan, ϵ adalah absorptivitas molar (mol/L), b adalah panjang medium atau tebal nyala, c adalah konsentrasi atom-atom yang menyerap sinar (ppm) dan T adalah transmittan.

Secara umum, instrumentasi SSA dapat digambarkan pada Gambar 2.5. pada instrumen SSA 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 di bagian setelah sampel, fungsinya untuk memilih sinar monokromatis dari sinar polikromatis. Detektor terletak setelah monokromator, yang mana bagian ini berfungsi untuk mengukur intensitas sinar yang dipancarkan oleh atom. Amplifier bertugas untuk memperkuat sinar yang diterima oleh detector agar dapat dibaca dengan mudah oleh *readout* (Rohman, 2007).



Gambar 2.5 Komponen Spektrofotometer Serapan Atom (Rohman, 2007)

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 SSA. 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).

2.10 One Way ANOVA

ANOVA merupakan singkatan dari *analysis of varian* yakni suatu uji komparatif yang digunakan untuk menguji perbedaan data yang lebih dari dua kelompok. Uji ANOVA memiliki dua rancangan yaitu rancangan acak lengkap (RAL) untuk sampel yang homogen dan rancangan acak kelompok (RAK) untuk sampel yang heterogen tapi mengarah ke homogen. Uji dalam ANOVA menggunakan uji F karena digunakan untuk pengujian dengan sampel lebih dari

dua. Uji ANOVA berdasarkan variabel yang diamati terbagi menjadi dua jenis yaitu analisis varian satu faktor (*One Way ANOVA*) dan analisis varian dua faktor (*Two Way ANOVA*) (Artaya, 2018).

Menurut Xue (2002), analisis secara statistik menggunakan *one way ANOVA* atau uji lanjut Beda Nyata Kecil (BNT) dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh konsentrasi Zn oleh *Hydrilla verticillata*. Pengujian statistik data ini menggunakan taraf signifikansi 5% dengan pengujian hipotesis sebagai berikut:

1. $H_0 = 0$, artinya tidak ada pengaruh variasi konsentrasi logam Zn terhadap persen logam Zn pada *Hydrilla verticillata*.
2. $H_1 \neq 0$, artinya ada pengaruh variasi konsentrasi logam Zn terhadap persen logam Zn pada *Hydrilla verticillata*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari – April 2023 di Laboratorium Kimia Organik, Laboratorium Layanan dan Instrumentasi Progran Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat *microwave digestion*, oven, mortar, alu, loyang pemanggang, ayakan, spatula, pipet volume, piper tetes, pipet ukur, bola hisap, labu ukur, tabung reaksi, wadah kaca, neraca analitik, kertas saring, rak tabung sendrifugasi, tabung sentrifugasi, seperangkat instrumentasi Spektrofotometri Serapan atom (SSA) merk varian spectra AA 240 yang dilengkapi dengan lampu katoda seng (Zn).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman hidup *Hydrilla verticillata* dan air yang diambil dari Danau Ranu Grati Pasuruan Jawa Timur, larutan standar Zn, HNO₃, H₂O₂, dan Aquadenim.

3.3 Rancangan Penelitian

Sampel *Hydrilla verticillata* yang telah diambil kemudian dibilas dengan air bersih dan diaklimatisasi. Sampel *Hydrilla verticillata* diaklimatisasi dalam di dalam wadah yang berisi dengan air kran \pm 20 liter. Aklimatisasi *Hydrilla verticillata* dilakuan selama 7 hari dalam wadah plastik dengan ditambahkan air kran yang terdapat pada labratorium. Pemaparan sampel *Hydrilla verticillata* dilakukan dengan menambahkan larutan Zn sebesar 1, 3, 5, dan 7 mg/L selama 15 hari dalam 1000 mL aquademin. Setelah itu dilakukan uji kadar Zn pada biomassa *Hydrilla verticillata* dengan metode destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion*. Analisis kadar Zn menggunakan instrumentasi SSA dengan metode kurva standar.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap yang akan dilakukan dalam penelitian yang dilakukan ini terdiri dari:

1. Pengambilan sampel tanaman dan air
2. Analisis awal kadar logam Zn pada air dan tumbuhan dengan menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA)
3. Aklimatisasi sampel tanaman dan kontrol
4. Pemaparan sampel tanaman dengan larutan logam Zn
5. Destruksi sampel
6. Analisis kadar logam Zn pada bagian akar dan daun dari tanaman *Hydrilla verticillata*

7. Analisis data

3.5 Metode Penelitian

3.5.1 Pengambilan sampel Tanaman dan Air

Sampel *Hydrilla verticillata* dan air diambil dari Danau Ranu Grati di Kabupaten Pasuruan. Tumbuhan hydrilla yang berwarna hijau dengan ukuran daun sebesar $\pm 1,25 - 2$ cm diambil sebanyak 1 Kg. Alat yang dibutuhkan untuk mengambil sampel adalah perahu, gunting, dan plastik. Tumbuhan dibilas dengan air untuk membersihkan suspensi atau pengotor lain yang dapat mengganggu pengamatan dan mencegah pembusukan. Sampel ditempatkan dalam plastik dengan ditambahkan sedikit air agar tumbuhan tidak kering saat dibawa dibawa dari tempat pengambilan sampel menuju laboratorium UIN Malang. Sampel air diambil sebanyak 500 mL dan ditempatkan ke dalam botol plastik. Sampel air ditambahkan dengan 4 tetes HNO_3 sampai pH 2 (SNI 6989.59: 2008).

3.5.2 Aklimatisasi Sampel

Aklimatisasi dilakukan dengan cara memasukkan tanaman *Hydryilla verticillata* ke dalam kontainer plastik yang berisi air kran sebanyak ± 20 liter dan dibiarkan selama 7 hari (Hayati, 2012). Tujuan dari proses aklimatisasi agar tanaman mampu beradaptasi dengan lingkungan buatan baru yang dibuat di dalam laboratorium. Tanaman *Hydryilla verticillata* yang telah diaklimatisasikan tersebut kemudian dipilih dengan kriteria sebagai berikut; tanaman memiliki daun yang segar dan berwarna hijau, tinggi, serta masing-masing individu tanaman *Hydrilla verticillata* memiliki panjang akar yang relatif seragam. Air dipilih sebagai media aklimatiasi daripada aquademin karena air memiliki kandungan

mineral yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, sedangkan aquademin hanya mengandung H₂O tanpa adanya tambahan mineral di dalamnya (Lestari, *et al.*, 2015)

3.5.3 Preparasi Konstentrasi Larutan Logam Berat Zn

Pembuatan larutan sebagai stimulasi limbah yang akan digunakan sebagai larutan pemapar diawali dengan menimbang padatan ZnSO₄.7H₂O sebanyak 4,4 gram. Selanjutnya, dilarutkan dengan 1000 mL aquademin. Kemudian hasil larutan tersebut dibuat larutan Zn sebesar 1000 mL dengan konsentrasi 1, 3, 5, dan 7 mg/L.

3.5.4 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Zn

Tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) sebanyak 50 gram yang telah melalui tahapan aklimatisasi kemudian dipindahkan ke dalam wadah kaca. Wadah kaca yang dibutuhkan sebanyak 5 buah. Satu wadah sebagai kontrol yang berisi akuades dengan *Hydrilla verticillata*. Kemudian 4 wadah lainnya berisi sampel percobaan yakni Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) dan larutan ZnSO₄.7H₂O dengan konsentrasi 1, 3, 5 dan 7 mg/L. Pengamatan dan pengukuran sampel *Hydrilla verticillata* dan larutan ion seng dilakukan pada hari ke-15 sejak dilakukannya proses pemaparan (Novi, *et al.*, 2019). Proses pemaparan untuk setiap konsentrasi dan waktu pemaparan dilakukan sebanyak dua kali.

3.5.5 Dekstruksi Sampel

Setelah sampel dipaparkan oleh logam berat Zn kemudian dikeringkan dan diletakkan pada loyang pemanggang berbahan *alloy* dengan menggunakan oven pada suhu 120°C selama 2 jam. Kemudian digerus hingga halus, lalu diayak dan ditimbang sampai berat kering konstan sebesar 0,5 g. Sampel yang sudah dipreparasi selanjutnya didekstruksi menggunakan metode basah tertutup dengan menggunakan *microwave digestion*. Selanjutnya sampel ditambahkan larutan pendestruksi berupa campuran dari 7 mL HNO₃ 65% + 1 mL H₂O₂ 30%. Kemudian vessel ditutup dan diatur suhu dan tekanan sesuai dengan metode serta diklik tombol mulai.

Sampel yang didestruksi dengan *microwave digestion* harus mengikuti panduan khusus yang telah diatur dalam buku petunjuk penggunaan yang ada. Suhu dan tekanan yang digunakan adalah 130, 150 dan 190°C. Untuk menaikkan suhu menjadi 130°C dibutuhkan waktu sebanyak 5 menit dengan tekanan sebesar 0,2 MPa, kemudian untuk menaikkan suhu menjadi 150°C dibutuhkan waktu 3 menit dengan sebesar tekanan 0,7 MPa dan untuk menaikkan suhu menjadi 190°C dibutuhkan waktu 7 menit dengan tekanan sebesar 1 MPa.

Proses destruksi akan berhenti secara otomatis dan mengalami *cooling down* selama 10 menit apabila proses destruksi selesai, kemudian dibuka tutup vessel. Sampel yang telah didestruksi kemudian disaring untuk dipisahkan antara filtrat dan residu, kemudian diukur volume dan ditandabatkan menggunakan labu takar 10 mL dengan aquademin. Sampel air sisa fioremediasi diambil 8 mL ke dalam tabung sentrifugasi, lalu dianalisis dengan instrumen SSA.

3.5.6 Analisis Zn pada Tanaman *Hydrilla verticillata* dengan Menggunakan Instrumen SSA

Semua sampel hasil destruksi diambil dan didinginkan. Hal pertama yang harus dilakukan adalah menyiapkan larutan baku standar Zn 50 mg/L dibuat dari larutan stok Zn 100 mg/L yang dipipet sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL yang ditandabatkan menggunakan HNO₃ 0,5 M. Kemudian diencerkan lagi menjadi 10 mg/L dibuat dari larutan stok Zn 50 mg/L yang dipipet sebanyak 10 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL yang ditandabatkan menggunakan HNO₃ 0,5 M. Selanjutnya larutan standar Zn dengan konsentrasi 0,5; 1; 1,5 dan 2 mg/L dibuat dengan cara mengambil 0,2; 2,5; 5; 7,5; dan 10 mg/L dari larutan baku standar Zn. Larutan yang telah diambil tersebut kemudian dimasukkan dalam labu ukur 50 mL dan ditandabatkan menggunakan HNO₃ 0,5 M. Setelah semua sampel baik air maupun tanaman dingin dan proses analisis siap dilakukan, kadar Zn ditentukan menggunakan instrumentasi SSA.

Analisis kadar Zn pada sampel tanaman dilakukan dengan cara menyaring larutan hasil destruksi agar terbesar dari endapan. Kemudian sampel yang telah disaring diencerkan terlebih dahulu. Pengenceran dilakukan agar sampel dapat terdeteksi oleh instrumen SSA. Pengenceran yang dilakukan pada penelitian dilakukan sebanyak 3 kali. Pengenceran pertama dilakukan dengan cara mengambil larutan hasil destruksi sebanyak 2 mL dan diencerkan dengan aquademin ke dalam labu ukur 5 mL dan didapatkan hasil pengenceran sebanyak 2, 5 kali. Pengenceran kedua dilakukan dengan cara mengambil larutan hasil pengenceran pertama sebanyak 2 mL untuk diencerkan dengan aquademin dalam

labu ukur 5 mL dan didapatkan hasil pengenceran sebanyak $2,5 \times 2,5$ kali. Selanjutnya pengenceran yang ketiga dilakukan dengan cara mengambil larutan hasil pengenceran kedua sebanyak 1 mL lalu diencerkan dengan aquademin ke dalam labu ukur 10 mL sehingga didapatkan hasil pengenceran sebesar $2,5 \times 2,5 \times 10$ kali. Setelah dilakukan pengenceran sebanyak tiga kali, sampel siap untuk dilakukan analisis dengan menggunakan instrumen SSA.

3.6 Analisis Data

Konsentrasi logam seng (Zn) pada tanaman *Hydrilla verticillata* dalam bentuk biomassa berbeda dengan kadar logam Zn dalam bentuk larutan. Untuk menghitung kadar logam Zn dalam bentuk biomassa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1.

$$\text{Kadar logam Zn } \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = \frac{b \times v \text{ (L)}}{m \text{ (Kg)}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana, b = konsentrasi logam Zn dalam sampel dari instrumen SSA (mg/L)

v = volume larutan setelah desktruksi (L)

m = masa cuplikan biomassa yang terdeteksi (Kg)

Selanjutnya untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam mengakumulasi logam dapat dihitung nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) nya seperti yang tertulis dalam persamaan 3.2 (Zayed, *et al.*, 1998).

$$\text{BCF} = \frac{C_{\text{bagian tanaman}}}{C_{\text{limbah buatan}}} = \dots\dots\dots (3.2)$$

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

$C_{\text{limbah buatan}}$ = konsentrasi logam berat dalam air (mg/L)

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

1. $BCF > 1$: Tumbuhan akumulator (Tumbuhan menyerap logam).
2. $BCF = 1$: Tumbuhan indikator (Tumbuhan menolerasi keberadaan logam).
3. $BCF < 1$: Tumbuhan ekskluder (Tumbuhan tidak menyerap logam)

Nilai hitung menentukan perpindahan konsentrasi logam berat dari akar menuju ke bagian lainnya (daun maupun batang) dari suatu tumbuhan dapat dihitung nilai *Translocation factor* (TF) dengan Persamaan 3.4.

$$TF = \frac{BCF \text{ daun}}{BCF \text{ batang}} = \dots\dots\dots (3.3)$$

Menurut Majid, *et al.* (2014), kategori TF dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

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

Langkah yang selanjutnya adalah analisis menggunakan *one way* ANOVA metode rancangan acak lengkap (RAL) aplikasi SPSS bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak (secara statistik) antara berbagai variasi konsentrasi Zn terhadap fitoremediasi oleh tanaman *Hydrilla verticillata*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aklimatisasi Sampel

Tanaman *Hydrilla verticillata* ditumbuhkan dalam skala laboratorium selama penelitian. Hal tersebut bertujuan untuk memberikan hasil representatif terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* sebagai agen fitoremediator. Proses aklimatisasi berlangsung selama 7 hari dalam wadah kontainer plastik berisi air kran. *Hydrilla verticillata* ditempatkan di tempat terbuka dengan intensitas cahaya matahari yang cukup. Proses ini bertujuan agar tanaman dapat tumbuh dengan baik dan mengalami fotosintesis. Setelah dilakukan proses aklimatisasi terdapat sedikit sedikit perubahan pada tanaman *Hydrilla verticillata* yakni munculnya sedikit tunas. Hal ini selaras dengan parameter berhasilnya proses aklimatisasi yang ditinjau dengan adanya pertumbuhan tunas pada tanaman (Purnadewi, *et al.*, 2019).

4.2 Penentuan Konsentrasi Zn pada Limbah Buatan dari Bagian Tanaman *Hydrilla verticillata* dan Sampel Air Danau

Setelah dilakukan aklimatisasi, proses selanjutnya yaitu pemaparan dengan logam Zn. Proses ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam menyerap logam seng yang terlarut dalam air dan penyimpanannya dalam bagian batang dan daun. Bagian akar tidak diamati karena proses aklimatisasi tidak menunjukkan pertumbuhan secara signifikan pada bagian akar. Proses pemaparan dilakukan dengan berbagai konsentrasi Zn dari konsentrasi 1 –7 mg/L untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam

meremediasi logam Zn pada berbagai variasi konsentrasi. *Hydrilla verticillata* yang dipakai dalam penelitian ini merupakan tanaman yang diambil dari titik yang sama dengan berat yang sama. Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa proses pemaparan dilakukan selama 15 hari dengan kontrol *Hydrilla verticillata* dalam aquademin tanpa Zn. Setelah pemaparan selama 15 hari, tanaman *Hydrilla verticillata* berubah menjadi sedikit menguning dan daunnya sedikit gugur.



Gambar 4.1 Perbandingan hasil pemaparan Zn hari ke-0 dan hari ke-15

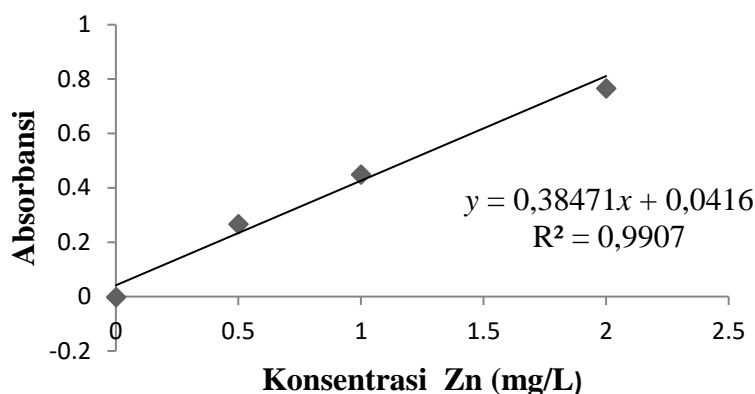
Sampel yang sudah dipaparkan kemudian dikeringkan, dan dipisahkan antara bagian batang dan daun. Sampel batang dan daun kemudian dihaluskan dan dilakukan destruksi dengan bantuan *microwave digestion* dengan menambahkan larutan pendestruksi berupa HNO_3 dan H_2O_2 . Menurut Twyman (2005), kombinasi asam nitrat dengan asam peroksida mampu mengoksidasi bahan organik dan mengoksidasi logam dengan nilai *recovery* 100%. Asam nitrat mampu mendekomposisi bahan organik $(\text{CHO})_x$ yang berikatan dengan logam Zn 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 yang melibatkan Zn terlepas dari senyawa organik dalam sampel membentuk Zn^{2+} .



Logam Zn dalam bentuk Zn^{2+} akan membentuk garam $Zn(NO_3)_2$ yang lebih mudah larut dalam air. Larutan tersebut dapat terionisasi dalam air membentuk ion Zn^{2+} yang dapat dianalisis oleh instrumen SSA. Fungsi penambahan asam peroksida sebagai pengoksidasi yang membantu memaksimalkan destruksi. Gas H_2O dan O_2 akan terbentuk saat asam peroksida dipanaskan pada suhu $100^\circ C$. Molekul air yang terbentuk akan bereaksi dengan gas NO_2 membentuk HNO_3 dan HNO_2 . HNO_3 dapat mendestruksi senyawa organik yang tersisa, sedangkan HNO_2 akan terurai kembali menjadi NO dan NO_2 . Proses tersebut akan terus berulang hingga semua senyawa organik habis terdekomposisi.

Sebelum dilakukan analisis dengan instrumen SSA, dilakukan pembuatan kurva standar terlebih dahulu. Dimana didapatkan kurva standar yang terdapat pada Gambar 4.2. Nilai persamaan linier kurva standar Zn adalah $y = 0,38471x + 0,0416$. Nilai regresi sebesar 0,9907 menyatakan besarnya kontribusi konsentrasi terhadap keragaman intensitas sebesar 99,07% (Nusyura, *et al.*, 2022). Hasil dari penentuan konsentrasi logam Zn setelah proses pemaparan ditampilkan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.2 Kurva standar Zn

Tabel 4.1 Konsentrasi Zn dalam *Hydrilla verticillata* setelah pemaparan

Variasi Konsentrasi Zn (mg/L)	Variasi Zn (mg/Kg)*	
	Daun	Batang
1	535,4	185,2
3	898,5	458,7
5	1240,7	913,0
7	1693,8	866,9

* BK: Berat Kering

Pada penelitian yang dilakukan oleh Li, *et al.* (2018), konsentrasi Zn pada *Hydrilla verticilla* yang tumbuh di Danau Taihu China baik pada batang dan daun adalah $69,8 \pm 10,6$ mg/Kg. Sedangkan pada penelitian ini, konsentrasi Zn pada bagian tanaman sangat tinggi dikarenakan adanya kesalahan pada saat pengeringan dengan oven. Sampel dikeringkan pada loyang pemanggang yang terbuat dari alloy yang mengandung Al dan Zn sebagai campurannya, sehingga kadar Zn yang diperoleh tidak murni berasal dari larutan pemapar, namun juga terdapat hasil kontaminasi dengan loyang pemanggang.

Hasil penentuan konsentrasi Zn dalam bagian daun dan batang *Hydrilla verticillata* menunjukkan bahwa bagian daun mengakumulasi lebih banyak dibandingkan bagian batang. Setelah dilakukan pemaparan selama 15 hari, dihasilkan akumulasi seng tertinggi terdapat pada konsentrasi 7 mg/L. Pada

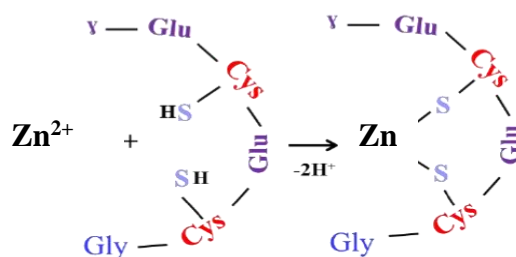
konsentrasi tersebut *Hydrilla verticillata* dapat mengakumulasi seng sebanyak 1693 mg/Kg pada bagian daun dan 866,9 mg/Kg pada bagian batang. Menurut Suyitno (2008), kandungan Zn yang terdapat pada daun lebih besar daripada batang dikarenakan pada daun banyak membutuhkan Zn untuk proses fotosintesis dan pertumbuhan, sedangkan pada batang tanaman tidak terlalu membutuhkan Zn dalam jumlah banyak karena bagian tersebut hanya difungsikan untuk penyimpanan cadangan makanan dalam bentuk karbohidrat pada jaringan vakuola.

Tren konsentrasi Zn pada daun semakin naik seiring dengan bertambahnya konsentrasi logam limbah buatan. Hal ini berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan Urifah, *et al.* (2017), yang mana kandungan logam (Pb) pada daun *Hydrilla* mengalami peningkatan pada hari ke-7 dan mengalami penurunan pada hari ke-14. Berdasarkan penelitian yang kami lakukan, pada hari ke-15 bagian daun mengalami rontok dan terdapat perubahan warna menjadi kuning. Hal tersebut dikarenakan organ tanaman mengalami kejenuhan dalam mengakumulasi logam, sehingga penyerapan logam mengalami penurunan. Namun, jika dibandingkan dengan konsentrasi daun pada limbah buatan 7 mg/L mengalami kenaikan, dimana seharusnya mengalami penurunan. Hal ini disebabkan adanya kesalahan preparasi dan kontaminasi dari lingkungan.

Sedangkan untuk batang mengalami kenaikan dari konsentrasi 1 – 5 mg/L dan mengalami penurunan pada konsentrasi 7 mg/L. Menurut Gao, *et al.* (2022), batang *Hydrilla verticillata* yang dipaparkan dengan Zn selama 15 hari mengalami penyerapan tertinggi pada konsentrasi 4,8 – 5 mg/L kemudian turun 6 dan 8 mg/L, hal ini dikarenakan kinerja hormon SOD (*Superoxide dismutase*) dan hormon

POD (*Peroksidase*) memiliki titik penyerapan optimum Zn pada konsentrasi 4,8 mg/L. Menurut Halliwell dan Gutteridge (1999), hormon SOD berperan sebagai pelindung hancurnya sel-sel dalam organ tanaman dan mencegah peradangan karena adanya radikal bebas. Sedangkan menurut Cao, *et al.*, (2004), hormon POD berfungsi sebagai katalis pada dekomposisi H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 .

Bertambahnya konsentrasi seng pada air menyebabkan akumulasi oleh *Hydrilla verticillata* semakin besar. Hal tersebut disebabkan semakin banyaknya senyawa fitokelatin (PCs) yang terlibat dalam proses detoksifikasi Zn. *Hydrilla verticillata* dapat menyerap logam sampai ambang batang yang ditentukan karena memiliki kemampuan meredam stres metal. Tanaman tersebut akan mengeluarkan senyawa fitokelatin ($(\gamma\text{-GluCys})_n\text{-Gly}$) ketika mengalami stres metal dan akan mengikat logam tersebut dan terbawa ke dalam sel. Proses terbentuknya ikatan antara Zn dengan fitokelatin ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perkiraan proses terbentuknya ikatan antara Zn dengan Fitokelatin (Rodrigo, *et al.*, 2013)

Sampel tanaman *Hydrilla verticillata* pada penelitian ini diambil pada titik B sedangkan untuk sampel air diambil pada dua titik, yaitu titik A yang terletak di pinggir danau yang tidak ditumbuhi oleh *Hydrilla verticillata* dan titik B. Pengambilan sampel air dan tanaman *Hydrilla verticillata* dilakukan dengan

teknik *purposive sampling*, teknik tersebut merupakan teknik pengambilan sampel berdasarkan pada kondisi lingkungan hidup di daerah penelitian. Tujuan pengambilan sampel air pada titik yang berbeda adalah untuk mengetahui apakah ada perbedaan kadar Zn pada air danau yang tidak ditumbuhi *Hydrilla verticillata* dan yang terdapat tanaman *Hydrilla verticillata*. Posisi pengambilan sampel tumbuhan dan air dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Titik pengambilan sampel air dan tanaman sebelum aklimatisasi (Google Earth, 2023)

Hasil analisis air dan bagian sampel tanaman sebelum aklimatisasi dapat dilihat pada Tabel 4.2. Kandungan Zn yang terdapat pada air danau yang diambil dari titik A yaitu 1,121 mg/L lebih tinggi daripada kadar Zn yang terdapat di titik B yaitu 0,3215 mg/L dan kadar Zn pada kedua sampel air melebihi ambang batas air kelas II yang ditentukan oleh PP No. 22 Tahun 2021 yaitu 0,05 mg/L. Hal tersebut dikarenakan titik A terletak di dekat spot wisata, pemukiman warga dan daerah pertanian, dimana terdapat aktivitas-aktivitas tersebut berpotensi untuk menghasilkan limbah Zn. Sedangkan pada titik B terletak di tengah danau yang minim aktivitas pertanian, jauh dari spot wisata dan pemukiman warga. Pada titik tersebut terdapat populasi *Hydrilla verticillata* yang dapat menyerap polutan

sehingga kadar Zn pada titik B lebih rendah daripada titik A. Hal tersebut dibuktikan adanya kandungan Zn pada *Hydrilla verticillata* yang terdapat di Danau Grati, masing-masing bagian tanaman seperti daun mengandung kadar Zn sebesar 229,93 mg/Kg dan pada bagian batang sebesar 202,097 mg/Kg. Sehingga dapat dibuktikan bahwa *Hydrilla verticillata* dapat menyerap logam Zn pada perairan danau.

Kadar Zn pada biomassa *Hydrilla verticillata* sebelum dilakukan proses aklimatisasi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi sampel air danau. Kesalahan pada saat proses pengeringan sampel dengan menggunakan tempat pengering berupa loyang pemanggang berbahan *alloy* menjadi faktor utama tingginya biomassa *Hydrilla verticillata*. Data yang terdapat pada Tabel 4.2 membuktikan bahwa besarnya kadar Zn pada biomassa daun dan batang *Hydrilla verticillata* pada Tabel 4.1 menjadi kurang valid. Namun didapatkan tren bahwa kadar Zn pada biomassa daun lebih tinggi dibandingkan dengan batang. Hal tersebut selaras dengan data yang terdapat pada Tabel 4.1 dimana kadar Zn pada biomassa daun lebih tinggi daripada batang.

Tabel 4.2 Konsentrasi Zn pada sampel air danau dan bagian *Hydrilla verticillata* sebelum aklimatisasi

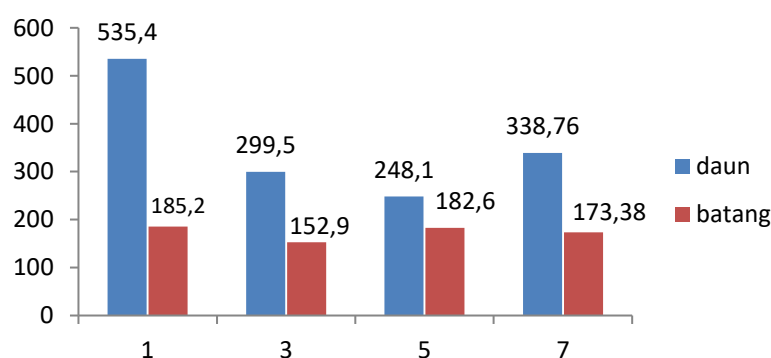
Lokasi sampel	Jenis sampel	Konsentrasi Zn	Baku mutu air kelas II (mg/L)
A	Air danau	1,121 mg/L	0,05
B	Air danau	0,3215 mg/L	
B	Daun <i>Hydrilla verticillata</i>	229,230 mg/Kg	-
B	Batang <i>Hydrilla verticillata</i>	202,097 mg/Kg	

4.3 Parameter Fitoremediasi

Fitoremediasi secara umum diartikan dengan kegiatan mengurangi polutan dalam suatu lingkungan yang dilakukan dengan memanfaatkan tumbuhan hidup. Pengelompokan suatu tumbuhan sebagai agen fitoremediator didasarkan pada beberapa parameter. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap dua parameter fitoremediasi, yaitu *Biocentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF).

4.3.1 Penentuan Nilai *Biocentration Factor* (BCF)

Kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi logam berat dapat diukur menggunakan parameter BCF. BCF dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara konsentrasi logam atau polutan yang terakumulasi oleh *Hydrilla verticillata* dengan konsentrasi logam atau polutan sisa pada air tempat hidupnya (LaGrega, *et al.*, 2001). Menurut Zayed (1998) BCF bertujuan untuk menentukan indeks akumulasi tumbuhan dalam mengakumulasi logam dan dihitung berdasarkan berat keringnya. Analisis BCF pada penelitian ini dilakukan terhadap bagian daun dan batang dari tanaman *Hydrilla verticillata*. Hasil penentuan BCF pada bagian daun dan batang ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Nilai BCF pada daun dan batang

Data tersebut menunjukkan nilai BCF pada bagian daun dan batang selama 15 hari pemaparan. Berdasarkan data pada Gambar 4.6 nilai BCF daun lebih tinggi daripada batang. Hal tersebut menggambarkan bahwa pada *Hydrilla verticillata* logam Zn lebih terkonsentrasi pada bagian daun. Nilai BCF daun *Hydrilla verticillata* pada konsentrasi 1 mg/L sampai 5 mg/L turun dan pada konsentrasi 7 mg/L nilai BCF kembali naik, sedangkan nilai BCF pada batang mengalami penurunan pada konsentrasi 3 mg/L, kembali naik di konsentrasi 5 mg/L dan turun lagi pada konsentrasi 7 mg/L. Ketidakjelasan tren BCF pada penelitian ini disebabkan adanya pengaruh kontamasi menggunakan loyang pemanggang berbahan alloy Al dengan campuran Zn pada saat pengeringan dengan oven. Menurut Purwiyanto (2013), tinggi rendahnya nilai BCF pada setiap konsentrasi limbah buatan dikarenakan jumlah biomasa yang menyerap Zn tidak sebanding dengan konsentrasi limbah buatan yang dipaparkan. Berdasarkan penelitian Dogan, *et al.* (2018), melakukan penelitian terhadap tumbuhan air *Ceaophyllum demersum* L yang dipaparkan logam Pb dengan variasi konsentrasi logam Pb 25, 50, 75, dan 100 mg/L selama 5 hari menunjukkan nilai BCF yang semakin menurun bersamaan dengan bertambahnya konsentrasi pemaparan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Greger (2004), yang mana nilai BCF umumnya bernilai tinggi apabila konsentrasi polutan pada media tumbuh rendah dan semakin menurun ketika konsentrasi polutan tinggi.

Secara keseluruhan, pada penelitian ini setiap variasi konsentrasi Zn limbah buatan baik pada bagian daun dan batang memiliki nilai BCF lebih dari 1. Menurut Usman, *et al.* (2019), nilai BCF lebih dari satu diindikasikan sebagai tumbuhan akumulator yang mana tumbuhan tersebut dapat digunakan untuk

fitoremediasi karena memiliki kemampuan mengakumulasi zat kontaminan di bagian akar, batang, maupun daun. Nilai BCF pada daun lebih tinggi dibandingkan pada batang menunjukkan bahwa logam seng lebih terakumulasi di bagian daun.

4.3.2 Penentuan Nilai *Translocation Factor*

Translokasi secara sederhana diartikan sebagai perpindahan komponen dari suatu tempat ke tempat yang lain. *Translocation Factor* (TF) secara umum digunakan untuk menentukan translokasi logam secara relatif dari bagian tumbuhan yang satu menuju bagian tumbuhan yang lain (Gupta, *et al.*, 2008). TF juga digunakan untuk menentukan sifat fitoremediator dari suatu tumbuhan. Nilai TF pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai TF daun terhadap batang

Konsentrasi Seng (mg/L)	TF
1	2,89
3	1,95
5	1,35
7	1,95

Pada penelitian ini, TF digunakan untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam menstranslokasikan logam seng dari bagian batang menuju bagian daun. Selain itu nilai TF juga digunakan untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* sebagai akumulator logam seng. Berdasarkan Tabel 4.3, nilai TF diperoleh dengan menghitung perbandingan konsentrasi logam seng yang terakumulasi pada bagian daun dan batang. Nilai TF tertinggi terdapat pada konsentrasi 1 mg/L, sedangkan nilai TF terendah terdapat pada konsentrasi 5

mg/L. Semua nilai pada variasi konsentrasi limbah buatan melebihi 1, sehingga dapat disimpulkan bahwa tumbuhan *Hydrilla* bersifat fitoekstraktor.

4.4 Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Menggunakan *One Way ANOVA*

Analisis secara statistika untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi seng terhadap remediasi seng oleh *Hydrilla verticillata* pada daun dan batang tanaman dilakukan dengan menggunakan metode *one way ANOVA*. Selanjutnya untuk mengetahui pada variasi konsentrasi berapakah *Hydrilla verticillata* dapat menyerap logam seng secara signifikan dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) atau uji *Least Significant Difference (LSD)*. Hipotesis yang diajukan pada analisis ini adalah:

1. $H_0 = 0$, maka tidak ada perbedaan pengaruh variasi konsentrasi Zn terhadap Zn yang teremediasi oleh *Hydrilla verticillata*
2. $H_0 \neq 0$, maka minimal ada satu pengaruh variasi konsentrasi Zn terhadap Zn yang teremediasi oleh *Hydrilla verticillata*

Hipotesis tersebut diuji berdasarkan dua aspek yaitu uji F dan uji probabilitas. Pada pengujian nilai F dinyatakan jika nilai F_{hitung} lebih besar daripada F_{tabel} maka H_0 ditolak dan sebaliknya. Uji probabilitas dinyatakan jika signifikansi (sig.) kurang dari alpha (5%) maka H_0 ditolak dan sebaliknya. Hasil uji *one way ANOVA* pada daun ditampilkan pada Tabel 4.4 dan uji *one way ANOVA* pada batang ditampilkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.4 Hasil Uji *one way ANOVA* pada daun

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,464	3	0,488	715,478	0,000

Within Groups	0,003	4	0,001
Total	1,467	7	

Tabel 4.5 Hasil Uji *one way* ANOVA pada daun

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,722	3	0,240	50,599	0,000
Within Groups	0,019	4	0,475		
Total	0,741	7			

Hasil pada Tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal tersebut berdasarkan pada uji nilai F dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan pada uji probabilitas dimana nilai sig. (0,000) lebih kecil dari alpha (0,05) sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa terdapat minimal satu pengaruh variasi konsentrasi seng terhadap seng yang teremediasi oleh *Hydrilla verticillata*.

Selanjutnya dilakukan uji lanjut atau uji perbandingan berganda dengan menggunakan metode statistik uji BNT. Uji perbandingan berganda digunakan untuk menguji perlakuan dari faktor dimana pengujian ANOVA dinyatakan signifikan atau terdapat minimal 1 pasang perlakuan yang memiliki pengaruh yang berbeda. Hasil uji BNT daun ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji BNT pada daun

Konsentrasi Seng (mg/L)	Rata-rata	Notasi
1	0,5354	A
3	0,8968	B
5	1,2407	C
7	1,6938	D

Hasil pada Tabel 4.6 menunjukkan perbedaan notasi pada setiap variasi perlakuan, dalam hal ini variasi konsentrasi seng. Konsentrasi seng 1, 3, 5 dan 7 mg/L memiliki notasi secara berturut-turut A, B, C dan D. Notasi yang berbeda

tersebut menunjukkan bahwa semua variasi konsentrasi memiliki perbedaan nyata, sehingga setiap variasi perlakuan menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi seng yang termediasi oleh *Hydrilla verticillata*. Pada bagian daun rata-rata tertinggi yaitu pada variasi konsentrasi 7 mg/L yang dimana dapat meremediasi logam seng sebanyak 1,6938 mg/L dan terendah adalah pada variasi konsentrasi 1 mg/L yaitu sebanyak 0,5354 mg/L. Hasil BNT batang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Uji BNT pada batang

Konsentrasi Seng (mg/L)	Rata-rata	Notasi
1	0,1852	A
3	0,4587	B
5	0,9130	C
7	0,8669	D

Hasil pada Tabel 4.7 menunjukkan pada bagian daun rata-rata tertinggi yaitu pada variasi konsentrasi 5 mg/L yang mana dapat meremediasi logam Zn sebanyak 0,9130 mg/L dan terendah adalah pada variasi konsentrasi 1 mg/L yaitu sebanyak 0,1852 mg/L. Sehingga dengan adanya uji BNT dapat disimpulkan bahwa fitoremediasi dengan *Hydrilla verticillata* memiliki pengaruh nyata dalam menurunkan kadar Zn pada limbah buatan.

4.5 Kajian Penelitian dalam Prespektif Islam

Hasil analisis kandungan seng terhadap sampel air dan tumbuhan *Hydrilla verticillata* menunjukkan bahwa perairan Danau Ranu Grati tercemar oleh logam seng. Hal tersebut berdasarkan dua sampel air yang telah dianalisis dengan SSA. Kedua titik pengambilan sampel yaitu pada pinggir danau dekat daerah wisata dan

bagian tengah tempat *Hydrilla verticillata* tumbuh subur. Hasil analisis kadar logam seng (Zn) pada titik A yaitu 1,121 mg/L dan titik B yaitu 0,3215 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kadar seng Danau Ranu Grati Pasuruan melebihi ambang batas untuk air kelas II yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yaitu sebesar 0,05 mg/L. Sehingga air danau tersebut berbahaya apabila digunakan untuk wahana rekreasi, sarana irigasi dan peternakan.

Pencemaran air pada danau tersebut tersebut tidak lain disebabkan oleh aktivitas manusia. Kegiatan yang dilakukan oleh manusia seperti membuang sampah sembarangan membuat pencemaran lingkungan terjadi. Penggunaan bahan-bahan yang mengandung logam seperti pupuk, pestisida, pencemaran yang dihasilkan oleh pabrik menyebabkan semakin meningkatnya kandungan Zn di lingkungan. Allah SWT berfirman dalam Al-Quran asy-Syu'ara ayat 183.

وَلَا تَبْخَسُوا النَّاسَ أَشْيَاءَهُمْ وَلَا تَعْنُوا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ ﴿١٨٣﴾

Artinya: “Dan janganlah kamu merugikan manusia pada hak-haknya dan janganlah kamu merajalela di muka bumi dengan membuat kerusakan”

Menurut Shihab (2002), makna dari merugikan pada hak-haknya adalah mengurangi apa yang menjadi hak orang lain. Dalam hal pencemaran lingkungan tersebut manusia telah mengambil hak manusia lain yang tidak melakukan kerusakan lingkungan. Sesama manusia dan makhluk yang lain yang tidak ikut dalam perusakan lingkungan terkena dampak dari ulah manusia yang dzalim. Sebagai makhluk yang diciptakan Allah SWT dengan sesempurna mungkin,

hendaknya kita sebagai manusia yang dibekali dengan kemampuan berfikir melakukan hal yang bermanfaat bagi lingkungan.

Hasil penelitian terhadap pertumbuhan *Hydrilla verticillata* terbukti dapat mengurangi kandungan logam Zn dalam perairan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanaman *Hydrilla verticillata* dapat dimanfaatkan untuk fitoremediator alami di lingkungan aslinya untuk mengurangi kadar logam Zn di perairan Danau Ranu Grati Pasuruan. Penelitian ini juga bertujuan agar masyarakat khususnya yang tinggal di dekat Danau Ranu Grati Pasuruan dapat memaksimalkan fungsi tanaman *Hydrilla verticillata* dan tidak lagi menganggap tanaman tersebut sebagai gulma. Rasulullah SAW bersabda di dalam hadist sahih yang diriwayatkan oleh Abu Dawud.

عن عبد الله بن حبشي قال : قال رسول الله صلى الله عليه وسلم : من قطع سدرة صوب الله رأسه في النار (وراه أبو داود وصححه الألباني)
سئل أبو داود عن معنى هذا الحديث ، فقال : هذا الحديث مختصر يعني من قطع سدرة في فلاة يستظل بها ابن السبيل والبهائم عبثا وظلما بغير حق يكون له فيها صوب الله رأسه في النار

Artinya: Dari Abdullah bin Habasyi berkata “Rasulullah shallallahu ‘alaihi wasallam bersabda, “Barangsiapa yang menebang pohon (tempat berteduh), Allah akan menundukkan kepalanya di dalam neraka”. Imam Abu Dawud ditanya tentang makna hadist ini. Abu Dawud berkata, “Hadist ini singkat. Artinya, Barangsiapa yang menebang pohon sidr yang biasanya dipakai musafir atau binatang di padang pasir, tanpa alasan yang jelas atau secara aniaya, Allah akan menundukkan kepalanya di neraka.”

Hadist tersebut menjelaskan bahwa manusia yang melakukan perusakan terhadap alam akan masuk neraka. Diketahui bahwa *Hydrilla verticillata* sering disepelekan kegunaannya. Kurangnya pengetahuan akan manfaat *Hydrilla verticillata* pada masyarakat menyebabkan banyaknya pemusnahan tanaman

tersebut karena dianggap sebagai hama, sehingga diperlukan penyuluhan akan banyaknya manfaat dari tanaman *Hydrilla verticillata* bagi perairan. Allah SWT berfirman dalam Al-Quran surat Ali Imran ayat 190–191.

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾
 الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَفُجُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ
 وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan Kami, Tiadalah Engkau menciptakan semua ini sia-sia, Maha suci Engkau, lindungilah Kami dari azab neraka"*”.

Menurut Shihab (2002) ayat ini mengundang manusia untuk berpikir, karena *sesungguhnya dalam penciptaan*, yakni benda-benda angkasa seperti matahari, bulan, dan jutaan gugusan bintang yang terdapat di *langit* atau dalam pengaturan sistem kerja langit yang sangat teliti serta kejadian *dan* perputaran *bumi* pada porosnya, yang melahirkan *silih bergantinya malam dan siang* perbedaannya, baik dalam masa maupun dalam panjang dan pendeknya terdapat tanda-tanda kemahakuasaan Allah SWT bagi *ulūl-albāb*, yakni orang-orang yang memiliki akal yang murni.

Sebagai manusia yang diciptakan dengan akal yang sempurna, hendaknya dapat dimaksimalkan dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menambah wawasan mengenai fungsi *Hydrilla verticillata* yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi limbah logam di perairan. Sehingga tanaman yang dulu dipandang sebelah mata menjadi tanaman yang kaya akan manfaat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Variasi konsentrasi Zn berpengaruh terhadap fitoremediasi oleh *Hydrilla verticillata*. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya uji statistik yang menunjukkan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan uji probabilitas dengan nilai signifikansi $(0,000) < \alpha (0,05)$.
2. *Hydrilla verticillata* merupakan tanaman hiperakumulator. Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan analisis terhadap parameter fitoremediasi yaitu BCF dan TF yang keduanya memiliki nilai > 1 . Sehingga *Hydrilla verticillata* yang terdapat di Danau Ranu Grati Pasuruan dapat dimanfaatkan untuk mengurangi kandungan logam Zn dalam perairan.

5.2 Saran

1. Perbaikan untuk analisis fitoremediasi *Hydrilla verticillata* dengan menggunakan limbah logam buatan adalah pada saat pengeringan sampel dengan oven harus menggunakan wadah non logam, sehingga kontaminasi sampel kering dengan wadah saat dikeringkan tidak terjadi seperti pada penelitian ini.
2. Perlu dilakukan analisis kadar Zn pada air sisa fitoremediasi dengan proses destruksi terlebih dahulu atau minimal diberikan beberapa tetes asam kuat agar hasil yang diperoleh pada saat pengukuran dengan SSA lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadpour, P., Mohammed, M., Abdu, A., Soleiman, M., dan Tayefeh, F. 2012. *Phytoremediation of Heavy Metals: A Green Technology*. Afr. J. Bioethanol.
- Al Farobi, Wahyu Aziz. 2019. Fitoremediasi Oleh *Hydrilla verticillata* (L.F) Royle Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Konsentrasi Logam Timbal (Pb) [Skripsi]. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Alghaffar, H.N. 2016. Phytoremediation of Chromium and Chopper from Aqueous Solutions Using *Hydrilla verticillata*. *Journal of Science*. 57(1): 78-86.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metal: Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881.
- Alkorta, I., dan Garbisu, C. 2001. Phytoextraction: a Cost of Effective Plant-Based Technology for Removal of Heavy Metals from The Environment. *Bioresource Technology*. 77(3), 229-336.
- Alloway, B. 2008. *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. Vol 2nd Edition.
- Anggiat, S. 2009. Respon Pertumbuhan dan Produksi Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill.) dengan Pemberian Unsur Hara Makro Mikro dan Blotong [Skripsi]. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Ansari, A.A., Gill, R., Lanza, G.R., dan Newman, L. 2015. *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 1*. Spinger: New York.
- Aqli, Hs. M.R. 2019. Fitoremediasi Oleh Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (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: Malang.
- Arifin, Z. 2007. Pentingnya Mineral Tembaga (Cu) dalam Tubuh Hewan dalam Hubungannya dengan Penyakit. *WARTAZOA*. 17(2): 93-99.
- Artaya, I.P. 2018. *Uji ANOVA*. Surabaya: Universitas Narotama.
- Artiyani, A. 2011. Penurunan Kadar N-Total Dan P-Total Pada Limbah Cair Tahu Dengan Metode Fitoremediasi Aliran Batch Dan Kontinyu Menggunakan Tanaman *Hydrilla verticillata*. 6.

- Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and Excluder Strategies in the Response of Plant to Heavy Metals. *Journal Plant Nutrition*. 3(1-4): 643-654.
- Boran, Muhammet, dan Ilhan Altinok. 2010. A Review of Heavy Metals in Water, Sediment and Living Organisms in the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic. Sciences* 10: 565–72.
- Cao, T., Ni, L.Y., dan Xie, P. 2004. Acute Biochemical Responses of a Submersed Macrophyte, *Potamogeton crispus* L., to High Ammonium in an Aquarium Experiment. *J. Freshwater. Ecol.* 19(2): 279-284.
- Chang, Raymond. 1993. *Kimia Dasar Konsep Inti Edisi Pertama*. Jakarta, Indonesia
- Chaney, RL. 1995. Potential Use of Metal Hyperaccumulators. *Mining Environment Manag* 3:9-11.
- Connel dan Miller. 2006. *Kimia dan Etoksikologi Pencemaran*. UI Press: Jakarta.
- Chen, H. dan Cutright, T.J. 2002. The Interactive Effects of Chelator, Fertilizer and Rizobacteria for Enhancing Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil, Soils and Sediments. 2(4), 203-210.
- Darmomo. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi*. Jakarta: UI Press.
- Day dan Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Dogan, M., Karatas, M., dan Aasim, M. 2018. Cadmium and Lead Bioaccumulation Potentials of an Aquatic Macrophyte *Ceratophyllum demersum* L.: a Laboratory Study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 148:431–440.
- Effendi, H., 2003, *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan, edisi ke-1*. Kanisius: Yogyakarta.
- El Nemr, A., Dalia, M.S., Aly, S., Khaled, A., dan El-Sikaily, A. 2014. Comprehensive Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments Along the Egyptian Red Sea Coast. *Environmental Division, National Institute of Oceanography and Fisheries*: Kayet Bey, El-Anfoushy, Alexandria, Egypt.
- Gao, Q., Yang, W., Fang, B., dan Chen., Q. 2022. Physiological and Biochemical Responses of *Hydrilla verticillata* under Cu and Zn Stress. *The International Conference on Biomedical Engineering and Bioinformatics*.hlm. 111-115.

- Ghosh, M. & Singh, S.P., 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization.
- Glick, B.R. (2010). Using Soil Bacteria to Facilitate Phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 28(3), 367–374.
- Goltenboth, F., Timotius, K.H dan Margraf, J., 2012. *Ekologi Asia Tenggara Kepulauan Indonesia*. Salemba Teknika: Jakarta.
- Greger, Maria. 2004. Metal Availability, Uptake, Transport and Accumulation in Plants. dalam Prasad M.N.V. (Ed). *Heavy Metal Stress in Plants: from Biomolecules to Ecosystem* (hlm. 757–809). Springer-verlag: Berlin.
- Gupta, H. dan Cutright, T.S., 2002. Decontamination and/or Revegetation of Fly Ash Dykes Through Naturally Growing Plants. *Journal of Hazardous Materials*. 153, 1078-1084.
- Halliwell, B. dan Gutteridge, J.H.M. 1999. *Free Radicals in Biology and Medicine. Third Edition*. Oxford Science Publication: New York.
- Harahap, S.I.S. 2008. Penentuan Kadar Besi (Fe), Timbal (Pb), Mangan (Mn) dan Seng (Zn) Pada Air Bersih Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom.
- Hardiani, H., Kardiansyah, T., dan Sugesty, S. 2016. Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Dalam Tanah Terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas. *Jurnal Selulosa*, 1(01).
- Hidayati, Nuril. 2013 Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat. *J. Tek. Ling.* Vol. 4 No. 2
- Khopkar, S. M. 2010. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Kealey, P., dan Harnes, P.J. 2002. *Instant Notes Analytical Chemistry*. BIOS Scientific Publisher Limited: New York.
- Kristianigrum, Susila. 2012. Kajian Berbagai Proses Dekstruksi Sampel dan Efeknya. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Pendidikan dan Terapan MIPA*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- LaGrega, M.D., Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans and Environmental Resources Management. 2001. *Hazardous Waste Management*. Second Edition. New York: McGraw Hill.
- Lahuddin. 2007. Aspek Unsur Mikro dalam Kesuburan Tanah. *Pidato Pengukuhan Guru Besar*. Universitas Sumatera Utara.
- Layola, B. Sc. 2009. *Physical Chemistry – II*. India.

- Lestari, A., Anita, S., Hanifah, T. A. 2015. Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Sebagai Fitoremediator Ion Kadmium (II), Kromium (IV) dan Timbal (II). *JOM FMIPA Universitas Riau*. 2 (2): 1-7.
- Li, H.Y., Wei, D.Q., Shen, M., dan Zhou, Z.P. 2012. Endophytes and Their Role in Phytoremediation. *Journal of Fungal Diversity*, 54(1), 11–18.
- Li, B., Xiao, L.L., Jian. H., Jun, L., Zhong, L.W., Guilin, H., Si, L.L., dan Cong, Q.L. 2018. Heavy Metal Accumulation in Common Aquatic Plants in Rivers and Lakes in the Taihu Basin. *Internasional Journal of Enviroment. Res. Public Health*. 15(12), 2857.
- Ma, Y., Prasad, M.N.V., Rajkumar, M., dan Freitas, H. 2011. Plant Growth Promoting Rhizobacteria Andendophytes Accelerate Phytoremediation of Metalliferous Soils. *Biotechnology Advances*, 29(2), 248– 258.
- Machbub, B. dan Mulyadi, M. 2000. Kualitas Air Sungai Sebagai Kualitas Standar Sumber Air. *Buletin PUSAIR*. No. 34 Tahun IX April 2000: 31-38.
- Majid S.N., Khwakaram A. I., Rasul G. A. M., dan Ahmed Z. H. 2014. Bioaccumulation, Enrichment and Translocation Factors of Some Heavy Metals in *Typha Angustifolia* and *Phragmites Australis* Species Growing along Qalyasan Stream in Sulaimani City. *Journal of Zankoy Sulaimani-Part A*. 16 (4): 93-109.
- Marthana, W.S., Soeprobowati, T.R. dan Izzati, M. 2017. Bioakumulasi Timbal (Pb) oleh *Hydrilla verticillata* L. F. Royle di Danau Rawapening, Ambarawa Semarang. *Jurnal Sains & Matematika*. Vol 22 Issue 2.
- Maslukah, L. 2006. *Konsentrasi Logam Berat Pb, CD, Cu, Zn, dan Pola Sebarannya di Muara Banjir Kanal Barat*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Matusiewicz, H. 2013. *Wet Digestion Methods. Comphrahensive Analyticalludges, Soils, and Oils*. USA: Environmental Protection Agency.
- Mejare, M. dan L, Bulow. 2001. Metal-Binding Protein and Peptides in Bioremediation and Photoremediation of Heavy Metal. *Trend in Biotechnology*. 19(2). 67-73.
- Mellem, J.J., Sipahli, S., dan Mohanlall, V. 2007. Stability and Degradation Kinetics of Crude Anthocyanin Extract from Sabdariffa. *Food of Science and Thechnology*. 37(2):207-215.
- Meriatna, 2008. Penggunaan Membran Kitosan untuk Menurunkan Kadar Logam Krom (Cr) dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam, Universitas Sumatera Utara, Medan, (Tesis).

- Mutmainnah, F., Arinafril, dan Suheryanto. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) menggunakan *Hydrilla verticillata* dan *Najas indica*. *Jurnal. Teknik Lingkungan UNAND*. 12(2):90-103.
- Mulyono, H. 2005. *Kamus Kimia*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Namik, K., Oras, I., dan Ataman, Y. 2006. *Trace Element Analysis of Food and Diet*. The Royal Society of Chemistry: 66-67.
- Natsir, S., Yuni, E.P., dan Ira, E. 2014. Penyisihan Ion Kadmium pada Limbah Cair Pabrik Pulp dan Paper dengan Menggunakan Membran Keramik. *Jurnal Teknik Kimia*. 20 (2): 7-16.
- Ningsih, I.S., Wahyu, L. Yelmida, A. 2014. Fitoremediasi Zn dari Limbah Ciar Pabrik Pengolahan Karet dengan Pemanfaatan *Pistia strationes* L. *JOM FMIPA*. 1(2): 1-9.
- Novi, C., dan Sartika. 2019. Fitoremediasi Seng (Zn) Menggunakan *Hydrilla* sp. Pada Limbah Industri Kertas. *Jurnal Kimia Valensi*. Vol. 5.
- Nugraha, M. A., Pamungkas, A., Syari, I.A., Sari, S.P., Umroh, Utami, E., Akhrianti, I., dan Priyambada, A. 2022. Penelitian Pencermaran Logam Berat Cd, Pb, Cu, dan Zn pada Sedimen Permukaan Perairan Matras, Sungailiat, Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis*. 25(1): 70-78.
- Nusyura, R., Azizah, E., Ningsih, D.P., dan Dewi, M.N. 2023. Analisis Kadar Logam Kadmium, Mangan dan Seng dalam Air Limbah secara *Inductively Plasma – Optical Emission Spectrometry*. *Jurnal Serambi Engineering*. 3(1): 4529 -4530.
- Panggabean dan Prasetyo. 2008. *Manajemen Sumber Daya Manusia*. Bogor. Ghalia Indonesia.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001. Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Potipat, J., Tangrock-Olan, N. Helander, H.F. 2015. Bioconcentration Factor and Depuration of Heavy Metals if Oysters (*Soccostrea cucullata*) and Mussels (*Perna vindis*) in The River of Coustal Area of Chanthabumi Province Gulf of Thailand. *Environmental Journal*. 8(2): 118-128.
- Pranoto. 2013. Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Pengolahan Sampah Menjadi Kompos *Indonesian Journal of Conservation*. 2(1): 66-73.

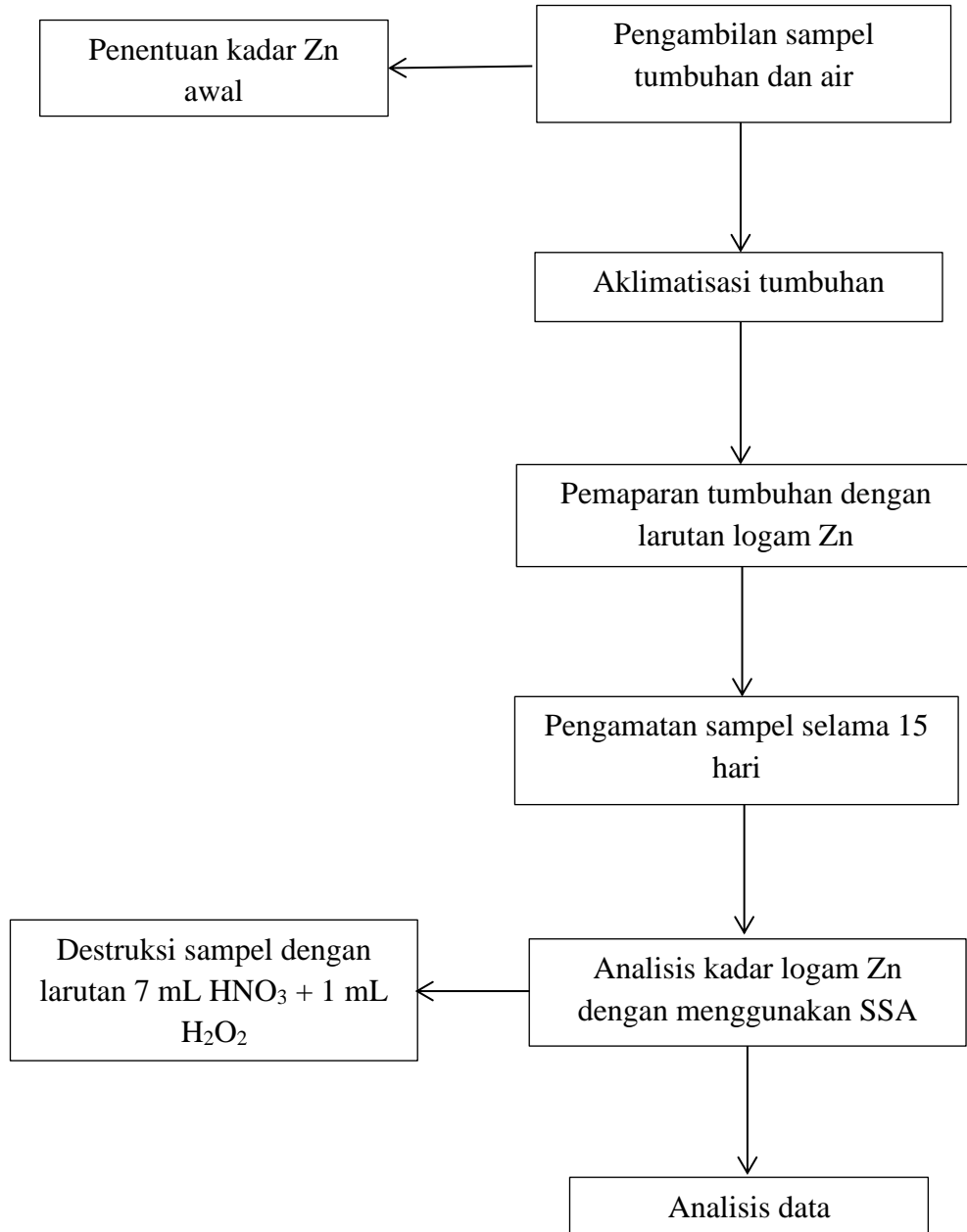
- Priyanto, B. dan Prayitno, J. 2006. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat.
- Purnadewi, G.C., Wulandari, A. S., dan Damayanti, R. U. 2019. Pengaruh Metode Pengakaran dan Media Aklimatisasi terhadap Keberhasilan Aklimatisasi Tembesu (*Fragaria fragans* (Roxb.) Miq.). *Jurnal Pembenihan Tanaman Hutan*. 7(1): 1-12.
- Purwiyanto, A.I.S. 2013. Daya Serap Akar dan Daun Mangrove Terhadap Logam Tembaga (Cu) di Tanjung Api-Api Sumatera Selatan. *Maspari Journal*. 5(1): 1-5.
- Rachmawati, S. 2017. Analisis Penurunan Kadar COD Air Limbah Industri. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 64-68.
- Rajkumar, M., Sandhya, S. M., Prasad, N.V., Freitas, H. 2011. Perspectives of Plant-Associated Microbes in Heavy Metal Phytoremediation. *Biotechnology Advances*.
- Ramesh, dan R Achari, G.A. 2014. Diversity, Biocontrol, and Plant Growth Promoting Abilities of Xylem Residing Bacteria from Solanaceous Crops. *International Journal of Microbiology*. 1-14.
- Rodrigo, M.A.M., Cernei, N., Kominkova, M., Zitka, O., Beklova, M., Zehnalek, J., Kizek, R., dan Adam, V. 2013. Ion Exchange Chromatography and Mass Spectrometric Methods for Analysis of Cadmium-Phytochelatin(II)Complexes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10: 1034-1311.
- Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Rondonuwu, Sendy B. 2014. Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*. 14 (1).
- Sari, P.S., Hardiyanti, S., Wahyono, D., dan Manohara, D. 2022. Aplikasi Fungisida dan Pupuk Silika untuk Menekan Penyakit Bercek Daun *Pyricularia zingiberi* pada Jahe Merah. *Jurnal Fitopalogi Indonesia*. 18(4): 167 – 176.
- Schutzendubel, Andre and Polle, Andrea. 2002. Plant Respones to Abiotic Stresses: Heavy Metal-Inducted Oxidated Stress and Protection by Mycorhization. *Journal of Experimental Botany*. Vol 43, No. 372.
- Shihab, M. Quraish. 2022. *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Vol. 8*. Jakarta: Lentera Hati.

- Seigle, F., Murandi, D., Isabella and Zmirou, D. 1997. Aflatoxins in Municipal Solid Wasted Compost? A First Answer. *Journal of Agriculture*. 45 2788-2792.
- Shrivastava, Manoj dan Srivastava, Sudhakar. 2021. Application and Research Progress of *Hydrilla verticillata* in Ecological Restoration of Water Contaminated with Metals and Metalloids. *Journal of Environmental Challenges*.
- Smith, R. H., 2013. *Plant Tissue Culture Third Edition*. Elsevier: Texas.
- Solomon, I.R., Saddiq, A.M., Usman, B.H. 2014. Effects of Some Organic Manures on N, P, K, Zn, and Fe Uptake in Straw and Grains of Rice in The Soils of Lake Geriyo, Adamawa State, Nigeria. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*. 14(7): 674-680.
- Sopyan R., Sikanna, Sumarni N.K. 2014. Fitoakumulasi Merkuri oleh Akar Tanaman Bayam Duri (*Amarantus spinosus linn.*) pada Tanah Tercemar. *Online Journal of Natural Science*. 3(1), 31-39.
- Souri, Z., Karimi, N. dan Sandalio, L.M. 2017. Arsenic Hyperaccumulation Strategies: an Overview. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 5(67): 1-8.
- Sumardi. 1981. Metode Desruksi Contoh Secara Kering dalam Analisa Unsur-Unsur Fe-Cu-Mn, dan Zn dalam Contoh-Contoh Biologis. *Prosiding Seminar Nasional Metode Analisis*. Jakarta: LIPI.
- Supriyanto, Samin, dan Kamal, Z. 2007. Analisis Cemarkan Logam Berat Pb, Cu, dan Cd Pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). *Prosiding Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta.
- Twyman, R.M. 2005. *Sample Dissolution for Elemental Analysis: Wet Digestion*. 4503 – 4510.
- Urifah, D., Kusriani, Zakiyah, U., Handaru, B.C., Rieke, Y. 2017. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Oleh Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*). *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 11(2).
- UC Berkeley Wellness Letter. 2007.
- University of Maryland Medical Center. 2007.

- Usman, K., Al-Ghouti, M.A., dan Abu-Dieyeh, M.H. 2019. The Assument of Cadnium, Chromium, Copper, and Nickel Tollerrence and Bioaccumulation by Shurb Plant *Tetraena qataranse*. *Scientific Reports*. 9(5658): 1-15.
- Usman, A. R. A., Alkredaa, R. S., dan Al-Wabel, M. I. 2013. Heavy Metal Contamination in Sediments and Mangroves from the Coast of Red Sea: *Avicennia sp. marina* as Potential Metal Bioaccumulator. *Ecotoxicol Environ Saf*. 9: 263-270.
- Vamerali, T., BAandiera, M. & Mosca, G. 2010. Field Crops for Phytoremediation of Metal-Contaminated Land. A review. *Environmental Chemistry Letters*. 8(1), 1–17.
- Wang H., Zhang H., dan Cai G. 2011. An Application Of Phytoremediation To River Pollution Remediation. *Procedia Environmental Sciences*, 10(PART C), 1904-1907.
- Zayed, A., Gowthaman, S., dan Terry, N. 1998. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*. 27 (3): 715-721.

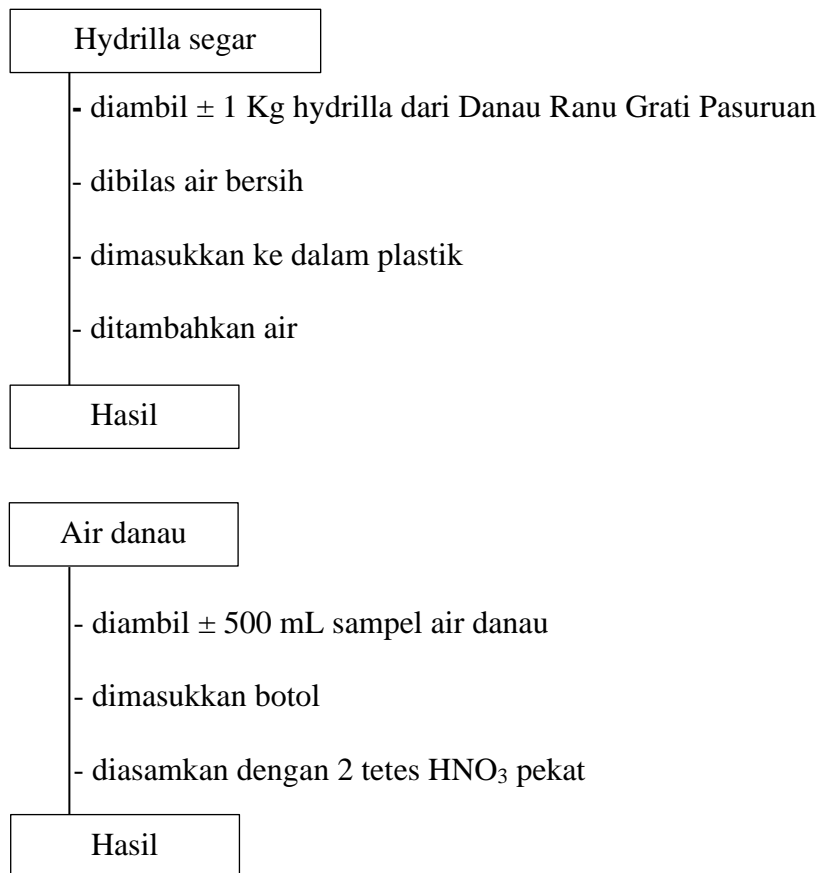
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian

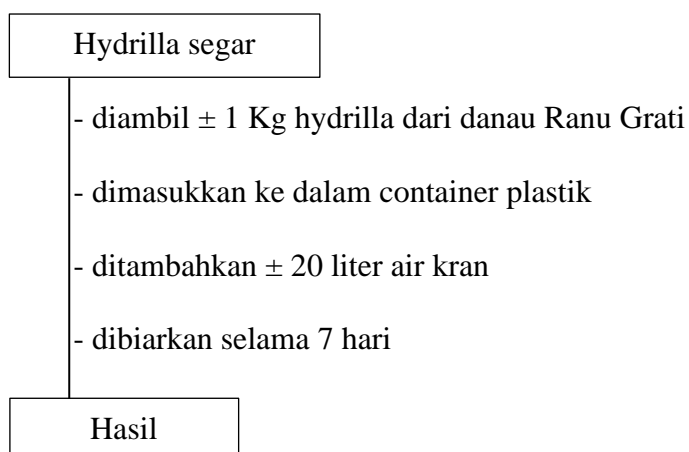


Lampiran 2. Diagram Alir

1. Pengambilan Sampel



2. Aklimatisasi Sampel



3. Preparasi Larutan Zn untuk Pemaparan

ZnSO₄ anhidrat

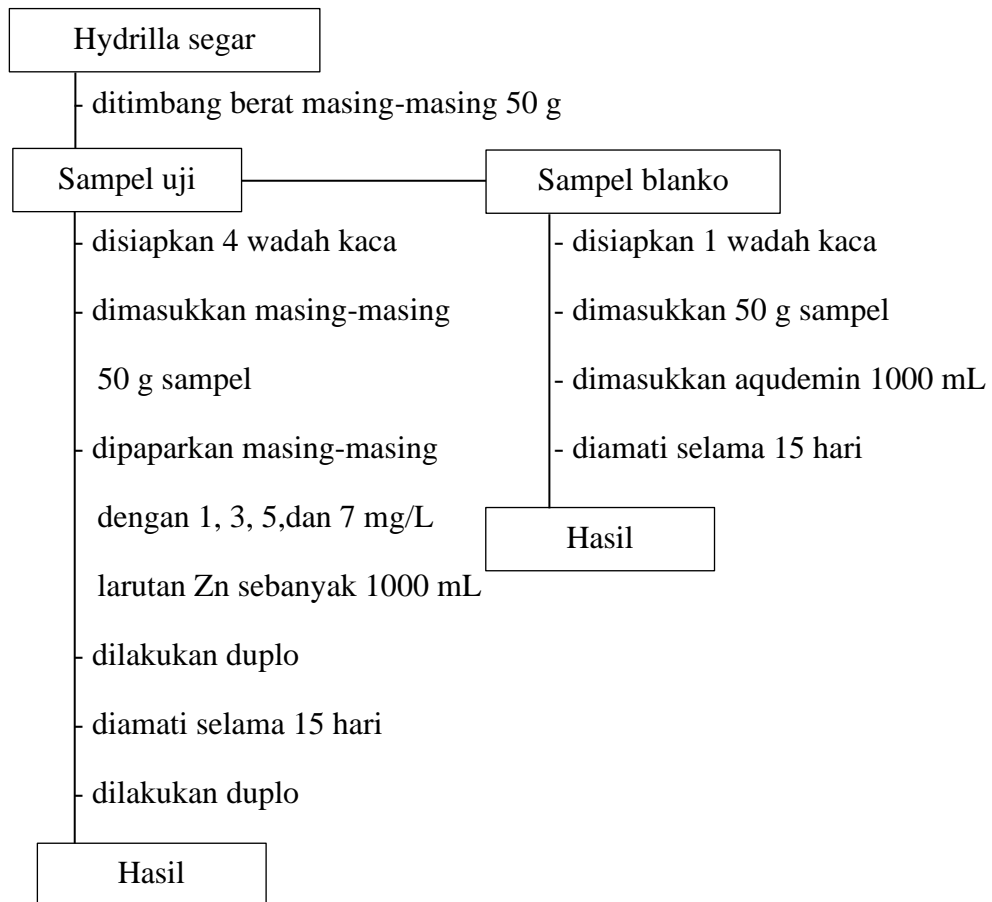
- ditimbang ZnSO₄ sebanyak 4,4 g
- dimasukkan labu ukur 1000 mL
- ditambahkan aquades hingga tanda batas
- dihomogenkan

Zn 1000 mg/L

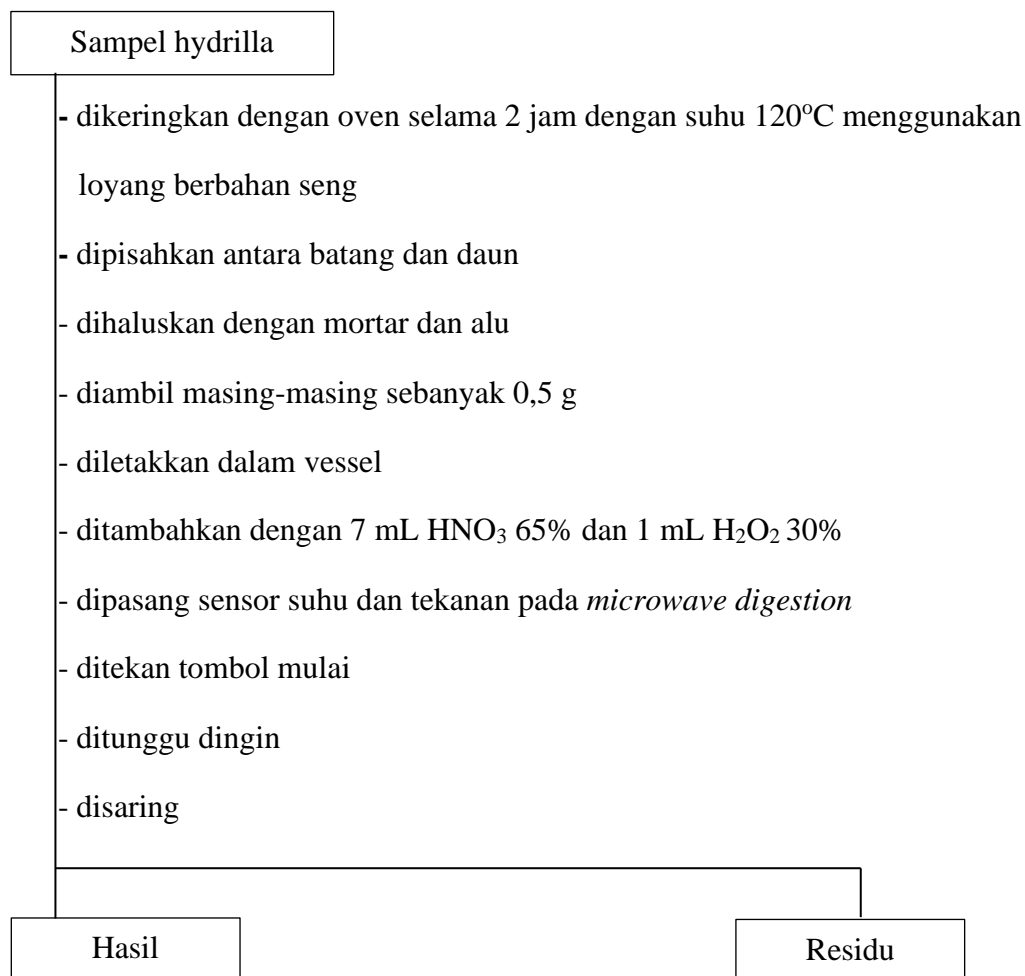
- diambil 1, 3, 5 dan 7 mL
- dimasukkan masing masing dalam labu ukur 1000 mL
- ditandabatkan dengan aquademin
- dihomogen
- diperoleh larutan Zn 1, 3, 5 dan 7 mg/L

Hasil

4. Pemaparan Sampel

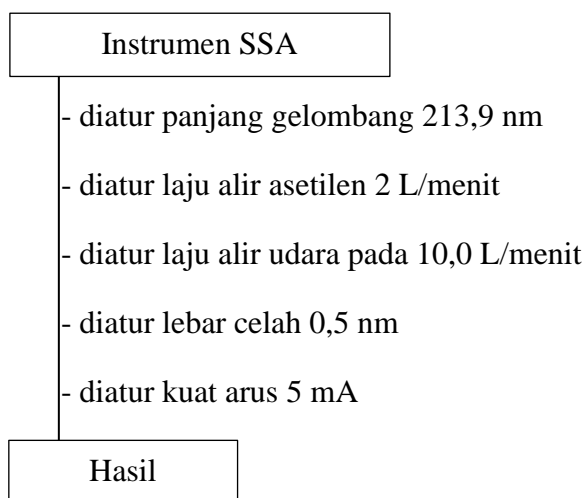


5. Dekstruksi Sampel

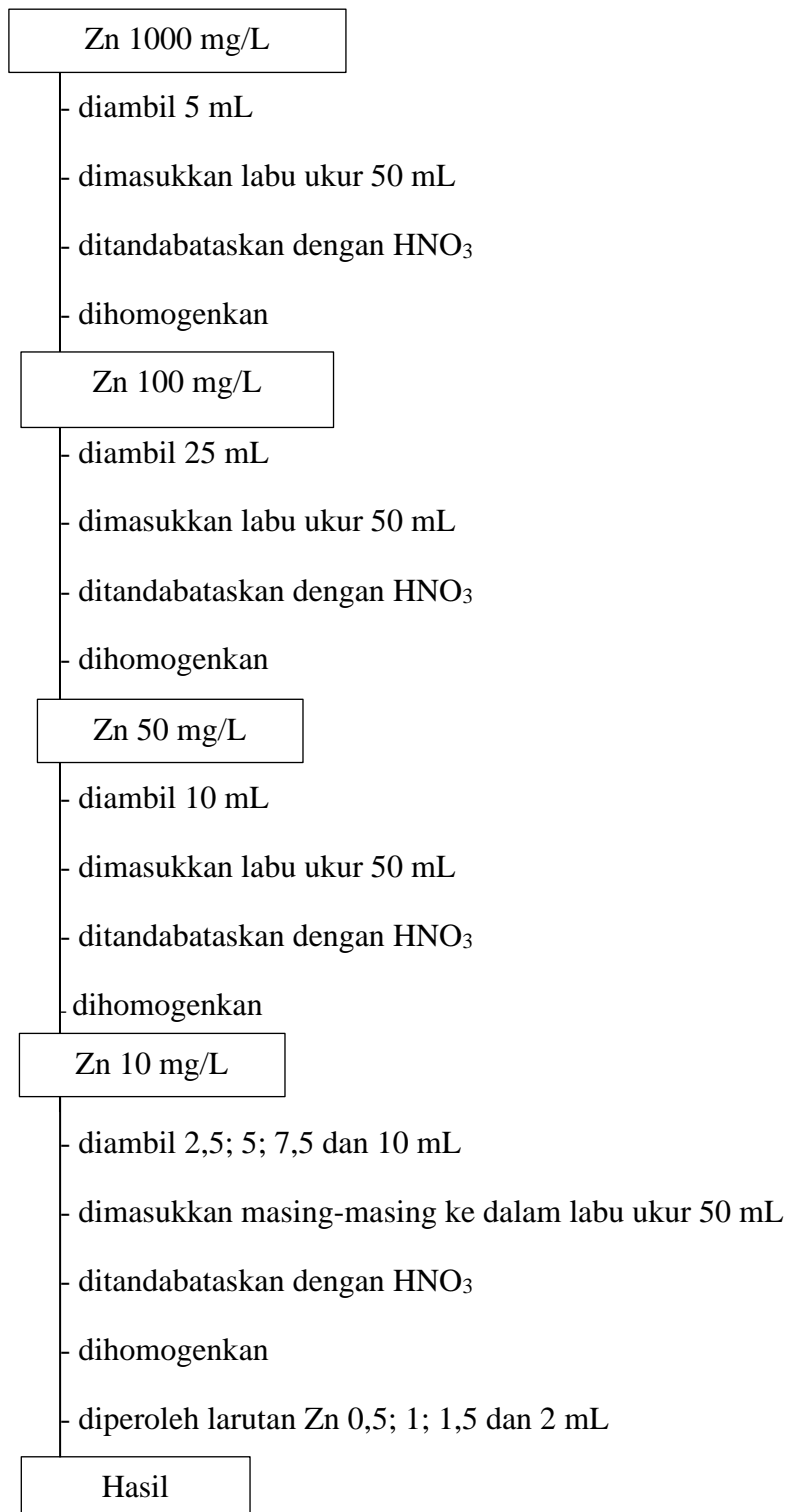


6. Analisis Sampel dengan SSA

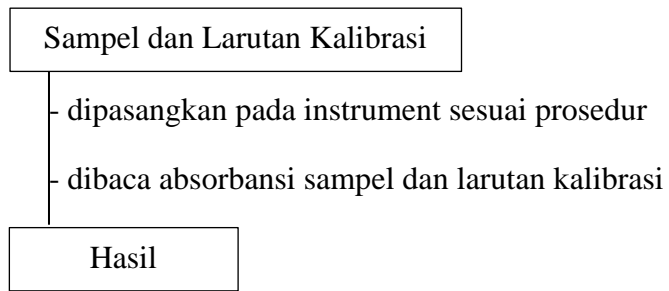
a. Pengaturan Instrumen



b. Pembuatan Larutan Kalibrasi Standar



c. Pengukuran Absorbansi



Lampiran 3. Perhitungan

1. Pembuatan Larutan Zn Untuk Pemaparan

a. Pembuatan Larutan Stok Zn 1000 mg/L

Larutan stok Zn 1000 mg/L dapat dibuat dengan melarutkan 4,4 gram $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ anhidrat ke dalam 1000 mL aquademin.

$$\begin{aligned} \text{Massa ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O yang dibutuhkan} &= \frac{\text{BM ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{\text{AR Zn}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= \frac{287 \text{ mg/mol}}{65 \text{ mg/mol}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= 4415,38461 \text{ mg} \\ &= 4,4 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Pembuatan Larutan Zn 1 mg/L dari larutan stok Zn 1000 mg/L

Larutan logam Zn 1 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 3mL larutan stok Zn 1000 mg/L yang kemudian dilarutkan dengan 1000 mL aquademin.

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 &= 1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1000 \text{ mL} \\ V_1 &= \frac{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1000 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}} \\ V_1 &= 1 \text{ mL} \end{aligned}$$

c. Pembuatan Larutan Zn 3 mg/L dari larutan stok Zn 1000 mg/L

Larutan logam Zn 3 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 3mL larutan stok Zn 1000 mg/L yang kemudian dilarutkan dengan 1000 mL aquademin.

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 &= 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1000 \text{ mL} \\ V_1 &= \frac{3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1000 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}, \quad V_1 = 3 \text{ mL} \end{aligned}$$

d. Pembuatan Larutan Zn 5 mg/L dari larutan stok Zn 1000 mg/L

Larutan logam Zn 5 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 5 mL larutan stok Zn 1000 mg/L yang kemudian dilarutkan dengan 1000 mL aquademin.

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

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

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

e. Pembuatan Larutan Zn 7 mg/L dari larutan stok Zn 1000 mg/L

Larutan logam Zn 7 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 7 mL larutan stok Zn 1000 mg/L yang kemudian dilarutkan dengan 1000 mL aquademin.

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

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

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

2. Pembuatan Larutan HNO₃ 0,5 M

Berat Jenis (ρ) HNO₃ 65% = 1,39 g/cm³ = 1390 g/L

BM HNO₃ = 63 mg/mol

$$\text{HNO}_3 \text{ 65\%} = \frac{1390 \text{ g}}{1 \text{ L}} = \frac{65 \text{ g/mol}}{100 \text{ g larutan}}$$

$$\frac{1390 \text{ g}}{1 \text{ L}} = \frac{100 \text{ g}}{V}, \quad V = 0,0719 \text{ L}$$

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

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

$$n \text{ HNO}_3 = \frac{1390 \text{ g}}{0,0719 \text{ L}}$$

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

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

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

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

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

Sehingga larutan HNO_3 dibuat dengan cara dipipet HNO_3 65% sebanyak 17,42 mL yang kemudian dilarutkan dengan 500 mL aquademin.

3. Pembuatan Larutan Kurva Standar Logam Zn

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c. Pembuatan larutan Zn 10 mg/L dari larutan Zn 50 mg/L

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

$$50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}, \quad V_1 = 10 \text{ mL}$$

Larutan logam Zn 10 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 10 mL larutan stok Zn 50 mg/L yang kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

d. Pembuatan larutan Zn 0,5 mg/L dari larutan Zn 10 mg/L

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

$$10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 0,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}, \quad V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Larutan logam Zn 5 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 2,5 mL larutan stok Zn 10 mg/L yang kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

e. Pembuatan larutan Zn 1 mg/L dari larutan Zn 50 mg/L

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

$$10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}, \quad V_1 = 5 \text{ mL}$$

Larutan logam Zn 1 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 5 mL larutan stok Zn 10 mg/L yang kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

f. Pembuatan larutan Zn 1,5 mg/L dari larutan Zn 10 mg/L

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

$$10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 1,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}, \quad V_1 = 7,5 \text{ mL}$$

Larutan logam Zn 1,5 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 7,5 mL larutan stok Zn 10 mg/L yang kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

g. Pembuatan larutan Zn 2 mg/L dari larutan Zn 10 mg/L

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

$$10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}, \quad V_1 = 10 \text{ mL}$$

Larutan logam Zn 2 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 10 mL larutan stok Zn 10 mg/L yang kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

4. Konsentrasi Zn dalam Air

Contoh perhitungan konsentrasi seng pada air danau adalah sebagai berikut:

Persamaan regresi linear: $\text{absorbansi} = 0,38471x C + 0,04161$

$$0,4730 = 0,38471x C + 0,04161$$

$$0,38471 C = 0,4730 - 0,04161$$

$$C = 0,43139$$

$$C = \frac{0,43139}{0,38471}$$

$$C = 1,121 \text{ mg/L}$$

dengan rumus di atas dapat diperoleh konsentrasi Zn pada berbagai titik Danau Ranu Grati pada Tabel L3.1

Tabel L3.1 Hasil perhitungan konsentrasi Zn pada air danau dan tanaman sebelum aklimatisasi

Lokasi sampel	Jenis sampel	Konsentrasi Zn	Baku mutu air kelas II (mg/L)
A	Air danau	1,121 mg/L	0,05
B	Air danau	0,3215 mg/L	
B	Daun <i>Hydrilla verticillata</i>	229,230 mg/Kg	-
B	Batang <i>Hydrilla verticillata</i>	202,097 mg/Kg	

5. Konsentrasi Zn pada tumbuhan sebelum aklimatisasi

Contoh perhitungan konsentrasi seng pada tumbuhan sebelum aklimatisasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 [\text{Zn}] \text{ mg/Kg} &= \frac{[\text{Zn}] \text{ instrumen } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V \text{ destruksi (L)} \times fp}{\text{Berat sampel Kering (Kg)}} \\
 &= \frac{2,07582 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,008 \text{ L} \times (2,5 \times 2,5)}{0,0005 \text{ Kg}} \\
 &= 207,582 \text{ mg/Kg}
 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan konsentrasi seng pada bagian batang dan daun pada Tabel L3.2.

Tabel L3.2 Hasil perhitungan konsentrasi Zn sebelum aklimatisasi

	[Zn] instrumen (mg/L)		[Zn] sebenarnya (mg/Kg)	
	Daun	Batang	Daun	Batang
Awal aklimatisasi	2,07582	2,22923	207,582	229,923

6. Konsentrasi Zn pada tumbuhan

Contoh perhitungan konsentrasi seng pada tumbuhan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 [\text{Zn}] \text{ mg/Kg} &= \frac{[\text{Zn}] \text{ instrumen } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V \text{ destruksi (L)} \times fp}{\text{Berat sampel Kering (Kg)}} \\
 &= \frac{0,5354 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,008 \text{ L} \times (2,5 \times 2,5 \times 10)}{0,0005 \text{ Kg}} \\
 &= 535,4 \text{ mg/Kg}
 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan konsentrasi seng pada bagian batang dan daun pada Tabel L3.3

Tabel L3.3 Konsentrasi Zn pada sampel tumbuhan

Variasi [Zn] (mg/L)	[Zn] instrumen (mg/L)		[Zn] sebenarnya (mg/Kg)	
	Daun	Batang	Daun	Batang
1	0,5354	0,1852	535,4	185,2
3	0,8985	0,4587	898,5	458,7
5	1,2407	0,9130	1240,7	913,0
7	1,6938	0,8669	1693,8	866,9

7. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF)

Contoh perhitungan BCF pada *Hydrilla verticillata* adalah sebagai berikut:

$$\text{BCF} = \frac{[\text{Zn}] \text{ bagian tumbuhan } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{[\text{Zn}] \text{ air } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}$$

$$\text{BCF} = \frac{535,4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{1 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}$$

$$\text{BCF} = 534,4$$

dengan rumus yang sama diperoleh hasil BCF pada *Hydrilla verticillata* adalah pada Tabel L3.5

Tabel L3.5 Nilai BCF *Hydrilla verticillata*

Variasi [Zn] (mg/L)	[Zn] bagian tumbuhan		BCF	
	Daun	Batang	Daun	Batang
1	535,4	185,2	535,4	185,2
3	898,5	458,7	299,5	152,9
5	1240,7	913,0	248,1	182,6
7	1693,8	866,9	338,7	173,3

7. Nilai *Translocation Factor* (TF)

Contoh perhitungan TF pada *Hydrilla verticillata* adalah sebagai berikut:

$$\text{TF} = \frac{[\text{Zn}] \text{ daun } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{[\text{Zn}] \text{ batang } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}$$

$$TF = \frac{535,4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{185,2 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}$$

$$TF = 2,89$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil TF pada *Hydrilla verticillata* adalah pada Tabel L3.6

Tabel L3.6 Nilai TF daun terhadap batang *Hydrilla verticillata*

Variasi kons. (mg/L)	[Zn] (mg/L)		TF
	Daun	Batang	
1	535,4	185,2	2,89
3	898,5	458,7	1,95
5	1240,7	913,0	1,35
7	1693,8	866,9	1,95

Lampiran 4. Data Mentah

1. Data SPSS pada Daun

Descriptives

Zn_terserap

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min.	Max.
					Lower Bound	Upper Bound		
1	2	.5354	.04780	.03380	.1059	.9648	.5016	.5692
3	2	.8968	.00212	.00150	.8777	.9158	.8953	.8983
5	2	1.2407	.01895	.01340	1.0704	1.4109	1.2273	1.2541
7	2	1.6938	.00898	.00635	1.6131	1.7745	1.6875	1.7002
Total	8	1.0916	.45782	.16186	.7089	1.4744	.5016	1.7002

ANOVA

Zn_terserap

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.464	3	.488	715.478	.000
Within Groups	.003	4	.001		
Total	1.467	7			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Zn_terserap

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1 mg/L	3 mg/L	-.3614000*	.0261206	.001	-.46773	-.25506
		5 mg/L	-.7053000*	.0261206	.000	-.81163	-.59896
		7 mg/L	-1.1584500*	.0261206	.000	-1.26478	-1.05211
	3 mg/L	1 mg/L	.3614000*	.0261206	.001	.25506	.46773
		5 mg/L	-.3439000*	.0261206	.001	-.45023	-.23756
		7 mg/L	-.7970500*	.0261206	.000	-.90338	-.69071
	5 mg/L	1 mg/L	.7053000*	.0261206	.000	.59896	.81163
		3 mg/L	.3439000*	.0261206	.001	.23756	.45023
		7 mg/L	-.4531500*	.0261206	.000	-.55948	-.34681
7 mg/L	1 mg/L	1.1584500*	.0261206	.000	1.05211	1.26478	

		3 mg/L	.7970500*	.0261206	.000	.69071	.90338
		5 mg/L	.4531500*	.0261206	.000	.34681	.55948
LSD	1 mg/L	3 mg/L	-.3614000*	.0261206	.000	-.43392	-.28887
		5 mg/L	-.7053000*	.0261206	.000	-.77782	-.63277
		7 mg/L	-1.1584500*	.0261206	.000	-1.23097	-1.08592
	3 mg/L	1 mg/L	.3614000*	.0261206	.000	.28887	.43392
		5 mg/L	-.3439000*	.0261206	.000	-.41642	-.27137
		7 mg/L	-.7970500*	.0261206	.000	-.86957	-.72452
	5 mg/L	1 mg/L	.7053000*	.0261206	.000	.63277	.77782
		3 mg/L	.3439000*	.0261206	.000	.27137	.41642
		7 mg/L	-.4531500*	.0261206	.000	-.52567	-.38062
	7 mg/L	1 mg/L	1.1584500*	.0261206	.000	1.08592	1.23097
		3 mg/L	.7970500*	.0261206	.000	.72452	.86957
		5 mg/L	.4531500*	.0261206	.000	.38062	.52567

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

Zn_terserap

	variasi seng	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	1 mg/L	2	.535400			
	3 mg/L	2		.896800		
	5 mg/L	2			1.240700	
	7 mg/L	2				1.693850
	Sig.			1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

2. Data SPSS pada Batang

ANOVA

Konsentrasi Zn terserap

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.722	3	.240	50.599	.000
Within Groups	.019	4	.475		
Total	.741	7			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: konsentrasi

	(I) variasi konsentrasi	(J) variasi konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1 mg/L	3 mg/L	-273.435	68.9748	.054	-554.2218	7.3518
		5 mg/L	-727.785	68.9748	.002	-1008.5718	-446.9982
		7 mg/L	-681.685	68.9748	.002	-962.4718	-400.8982
	3 mg/L	1 mg/L	273.435	68.9748	.054	-7.3518	554.2218
		5 mg/L	-454.350	68.9748	.009	-735.1368	-173.5632
		7 mg/L	-408.250	68.9748	.014	-689.0368	-127.4632
	5 mg/L	1 mg/L	727.785	68.9748	.002	446.9982	1008.5718
		3 mg/L	454.350	68.9748	.009	173.5632	735.1368
		7 mg/L	46.1000	68.9748	.904	-234.6868	326.8868
	7 mg/L	1 mg/L	681.685	68.9748	.002	400.8982	962.4718
		3 mg/L	408.250	68.9748	.014	127.4632	689.0368
		5 mg/L	-46.1000	68.9748	.904	-326.8868	234.6868
LSD	1 mg/L	3 mg/L	-273.4350	68.9748	.017	-464.9400	-81.9300
		5 mg/L	-727.7850	68.9748	.000	-919.2900	-536.2800
		7 mg/L	-681.6850	68.9748	.001	-873.1900	-490.1800
	3 mg/L	1 mg/L	273.4350	68.9748	.017	81.9300	464.9400
		5 mg/L	-454.3500	68.9748	.003	-645.8550	-262.8450
		7 mg/L	-408.2500	68.9748	.004	-599.7550	-216.7450
	5 mg/L	1 mg/L	727.7850	68.9748	.000	536.2800	919.2900

	3 mg/L		454.3500	68.9748	.003	262.8450	645.8550
	7 mg/L		46.1000	68.9748	.540	-145.4050	237.6050
7 mg/L	1 mg/L		681.6850	68.9748	.001	490.1800	873.1900
	3 mg/L		408.2500	68.9748	.004	216.7450	599.7550
	5 mg/L		-46.1000	68.9748	.540	-237.6050	145.4050

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

konsentrasi

	Variasi konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	1 mg/L	2	0.1852	
	3 mg/L	2	0.4587	
	7 mg/L	2		0.8669
	5 mg/L	2		0.9130
	Sig.		.054	.904

Lampiran 5. Dokumentasi



Gambar L5.1 Proses aklimatisasi



Gambar L5.2 Proses pemaparan



Gambar L5.3 Setelah pada hari ke-0



Gambar L5.4 Setelah 15 hari



Gambar L5.5 Air sisa setelah 15 hari



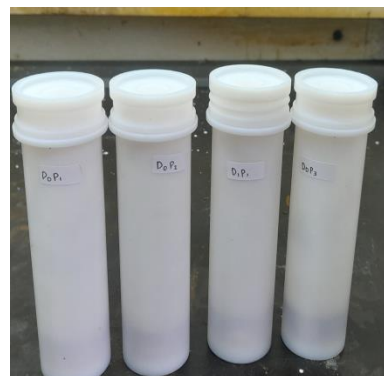
Gambar L5.6 Hasil pemisahan



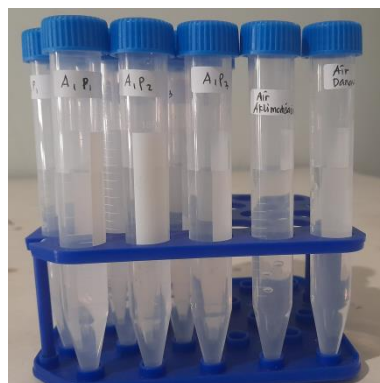
Gambar L7.7 Setelah dihaluskan



Gambar L5.8 Larutan standar Zn

Gambar L5.9 *Microwave digestion*

Gambar L5.10 Hasil destruksi



Gambar L5.11 Sampel air



Gambar L5.12 Analisis SSA