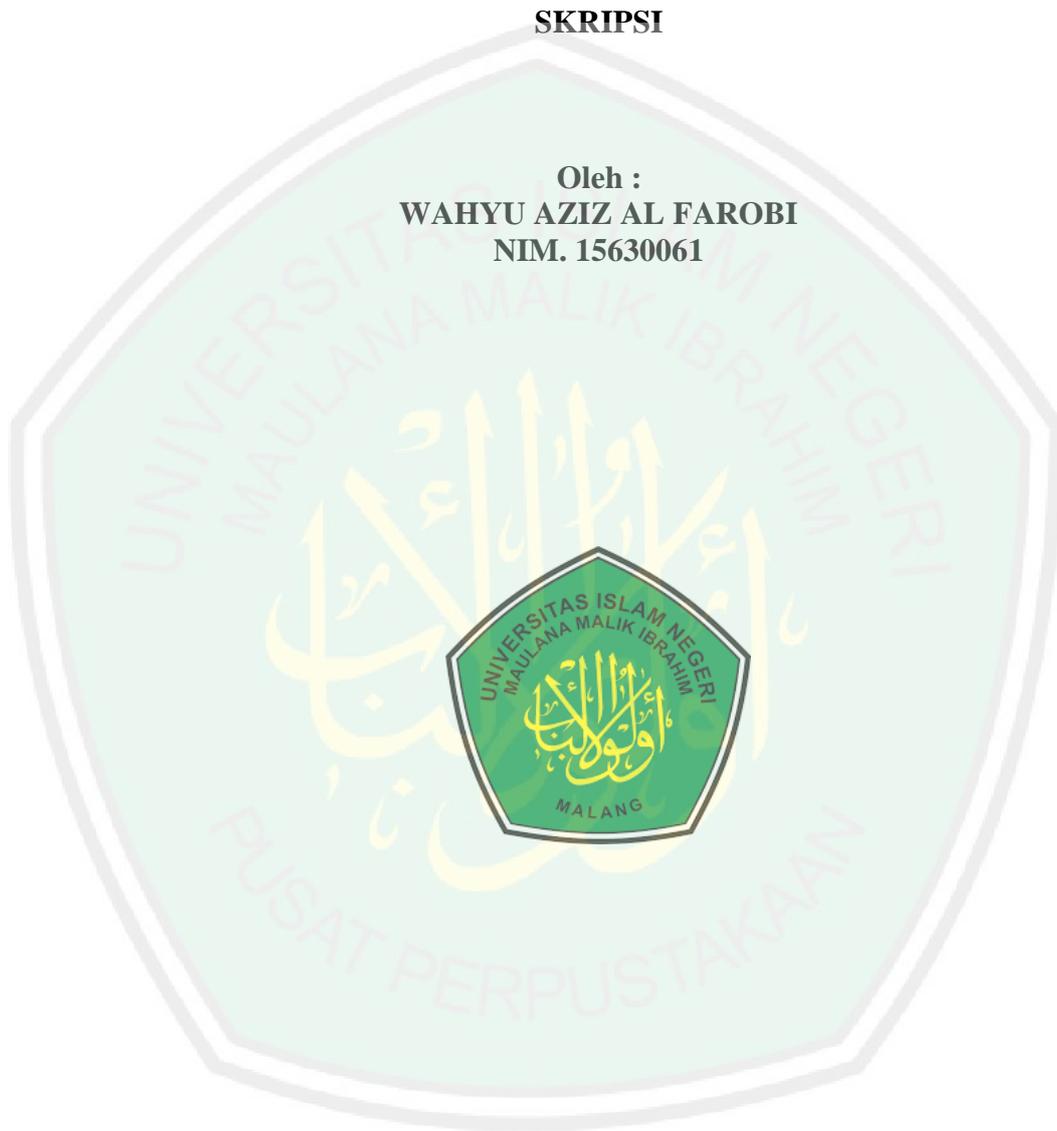


**FITOREMEDIASI OLEH *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle DANAU RANU
GRATI PASURUAN DENGAN VARIASI KONSENTRASI LOGAM
TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Oleh :
WAHYU AZIZ AL FAROBI
NIM. 15630061

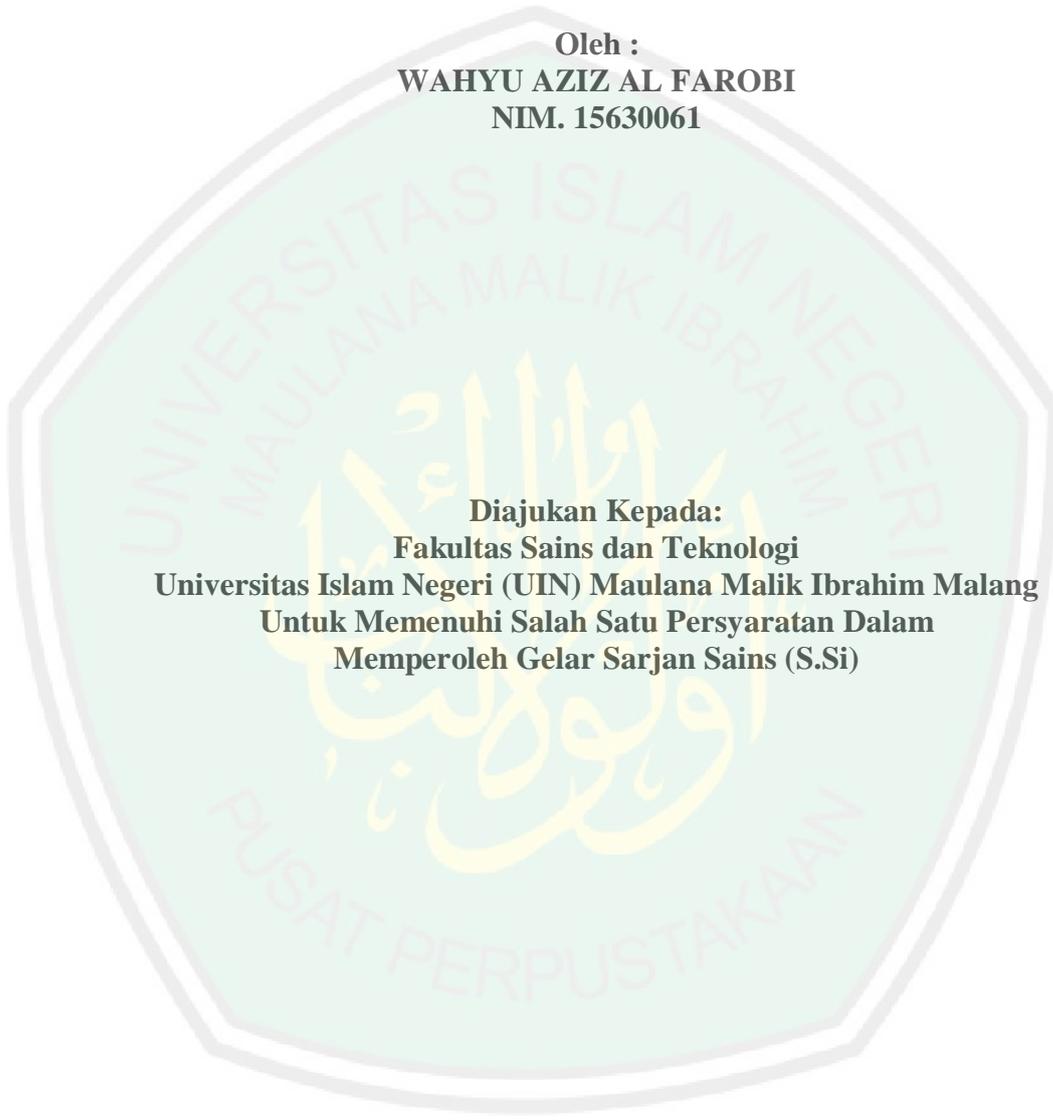


**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**FITOREMEDIASI OLEH *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle DANAU RANU
GRATI PASURUAN DENGAN VARIASI KONSENTRASI LOGAM
TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Oleh :
WAHYU AZIZ AL FAROBI
NIM. 15630061



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

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

**FITOREMEDIASI OLEH *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle DANAU RANU
GRATI PASURUAN DENGAN VARIASI KONSENTRASI LOGAM
TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Oleh :
WAHYU AZIZ AL FAROBI
NIM. 15630061

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 25 Oktober 2019

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

Mengesahkan,
Ketua Jurusan



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

**FITOREMEDIASI OLEH *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle DANAU RANU
GRATI PASURUAN DENGAN VARIASI KONSENTRASI LOGAM
TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Oleh :
WAHYU AZIZ AL FAROBI
NIM. 15630061

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 25 Oktober 2019

Penguji Utama	: Himmatul Baroroh, M.Si NIP. 19750730 200312 2 001	(.....)
Ketua Penguji	: A. Ghanaim Fasya, M.Si NIP. 19820616 200604 1 002	(.....)
Sekretaris Penguji	: Suci Amalia, M.Sc NIP. 19821104 200901 2 007	(.....)
Anggota Penguji	: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc NIDT. 19900906 20180201 2 239	(.....)

**Mengesahkan,
Ketua Jurusan**



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wahyu Aziz Al Farobi

NIM : 15630061

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

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

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

Malang, 25 Oktober 2019
Yang membuat pernyataan




Wahyu Aziz Al Farobi
NIM. 15630061

MOTTO

*“Bersungguh-sungguh dalam proses,
bersabar dalam menanti hasil”*



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua penulis, Bapak M. Yususf, S.Pd.I dan Ibu Siti Maryam sebagai motivasi utama selama proses belajar penulis, terimakasih atas segala pengorbanan waktu, tenaga, dan materi sehingga penulis dapat mencapai titik ini secara maksimal. Terima kasih kepada adik penulis, Ibram Alfian Aziz, kebahagiaan dia kelak menjadi dorongan agar penulis bisa menyelesaikan pendidikannya sesegera mungkin. Dan terakhir kepada seluruh keluarga besar penulis ucapkan terima kasih atas dukungan materi selama penulis menempuh pendidikan.



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur alhamdulillah penulis hanturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Fitoremediasi Oleh *Hydrilla Verticillata* (L.f) Royle Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Konsentrasi Logam Timbal (Pb)”

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan jazakumullah ahsanal jaza' kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya proposal penelitian ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Yusuf, Ibu Maryam, Ibram, serta seluruh keluarga besar penulis yang telah mendukung dan memotivasi baik dari segi waktu, materi, dan tenaga.
2. Prof. Dr, Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Suci Amalia, M.Sc, A. Ghanaim Fasya, M.Si, dan Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memotivasi, mengarahkan, dan memberi masukan untuk terselesainya proposal penelitian ini.
6. Seluruh Dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu yang berharga.
7. Teman-teman Kimia Angkatan 2015 khususnya tim penelitian Kimia Bahan Alam, Sahambat Geng, dan Majelis Cunam-cunam (Akhi Andy, Waked, Ridlo, Rosi, Burhan, Sam'uth, Icus, Brenda, Sovi, dan Siwwiw) yang telah memberikan masukan dan memberikan canda tawa selama masa penelitian.
8. Semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan dan penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Malang, 25 Oktober 2019

Penyusun



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
المُلخَص	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Hydrilla verticillata</i>	7
2.2 Timbal dan Toksisitas Timbal	8
2.2.1 Efek Timbal pada Sistem Saraf	9
2.2.2 Efek Timbal pada Ginjal	9
2.2.3 Efek Timbal pada Reproduksi	10
2.3 Fitoremediasi dan Mekanisme Fitoremediasi	10
2.3.1 Mekanisme Kerja Fitoremediasi	12
2.3.2 Fitoremediasi Logam Timbal pada <i>Hydrilla verticillata</i>	13
2.3.3 Perbedaan Fitoremediasi dengan Bioremediasi	15
2.4 Parameter Fitoremediasi	16
2.4.1 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)	16
2.4.2 <i>Bioaccumulation Factor</i> (BAF)	16
2.4.3 <i>Translocation Factor</i> (TF)	17
2.4.4 Waktu Fitoremediasi	17
2.5 Destruksi Sampel	18
2.5.1 Destruksi Basah Tertutup dengan Refluks	20
2.5.2 Destruksi Basah Tertutup dengan <i>Microwave Digestion</i>	21
2.6 Analisa Kadar Timbal menggunakan Spektroskopi Serapan Atom	

	x
(SSA)	22
2.7 Uji <i>One Way</i> ANOVA	25
2.8 Pencemaran Lingkungan dalam Pandangan Islam	26
BAB III METODELOGI PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan	28
3.2.1 Alat	28
3.2.2 Bahan	28
3.3 Rancangan Penelitian	28
3.4 Tahapan Penelitian	29
3.5 Metode Penelitian	29
3.5.1 Pengambilan Sampel Tanaman dan Air	29
3.5.2 Aklimatisasi Sampel	30
3.5.3 Pembuatan Larutan Pb untuk Pemaparan	30
3.5.4 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Pb	30
3.5.5 Destruksi Sampel	31
3.5.6 Analisa Timbal (Pb) pada <i>Hydrilla verticillata</i>	31
3.5.6.1 Analisa Kadar Timbal dengan Instrumentasi SSA	31
3.6 Analisa Data	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Proses Pengambilan Sampel	34
4.2 Uji Konsentrasi Pb Awal pada Sampel <i>Hydrilla verticillata</i> dan Air	35
4.3 Aklimatisasi Sampel <i>Hydrilla verticillata</i>	37
4.4 Penentuan Konsentrasi Timbal dalam Bagian <i>Hydrilla verticillata</i>	38
4.5 Penentuan Persen Timbal Teremediasi oleh <i>Hydrilla verticillata</i>	41
4.6 Parameter Fitoremediasi	43
4.6.1 Penentuan <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)	43
4.6.2 Penentuan <i>Translocation Factor</i> (TF).....	46
4.7 Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi menggunakan <i>One Way</i> ANOVA	47
4.8 Kajian Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam	49
BAB V PENUTUP.....	52
4.1 Kesimpulan	52
4.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Hydrilla verticillata</i>	7
Gambar 2.2	Akumulasi timbal pada tubuh manusia	9
Gambar 2.3	Struktur fitokelatin	14
Gambar 2.4	Skema umum atomisasi Pb pada SSA	22
Gambar 2.5	Komponen SSA	24
Gambar 4.1	Perkiraan proses terbentuknya ikatan antara timbal dengan fitokelatin berdasarkan Rodrigo, dkk. (2013)	41
Gambar 4.2	Nilai BCF pada daun dan batang	44
Gambar L5.1	Pengambilan sampel	77
Gambar L5.2	Proses aklimatisasi	77
Gambar L5.3	Proses pemaparan	77
Gambar L5.4	Setelah 7 hari	77
Gambar L5.5	Hasil oven	77
Gambar L5.6	Hasil pemisahan	77
Gambar L5.7	<i>Microwave Digestion</i>	77
Gambar L5.8	Proses destruksi	77
Gambar L5.9	Hasil destruksi	78
Gambar L5.10	Larutan kalibrasi	78
Gambar L5.11	Proses SSA	78

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Visualisasi pemaparan sampel dan control	31
Tabel 3.2	Hasil pengukuran absorbansi	32
Tabel 4.1	Konsentrasi Pb pada air danau Ranu Grati Pasuruan	36
Tabel 4.2	Konsentrasi timbal dalam <i>Hydrilla verticillata</i>	39
Tabel 4.3	Persen timbal teremediasi <i>Hydrilla verticillata</i>	42
Tabel 4.4	Nilai TF pada variasi konsentrasi	46
Tabel 4.6	Hasil uji statistika <i>one way</i> ANOVA	48
Tabel 4.7	Hasil uji BNT	48
Tabel L2.1	Hasil perhitungan volume timbal pemapar	67
Tabel L2.2	Hasil perhitungan volume timbal standar	69
Tabel L2.3	Hasil perhitungan konsentrasi timbal	71
Tabel L2.4	Hasil perhitungan konsentrasi timbal	71
Tabel L2.5	Konsentrasi timbal pada tumbuhan sampel	72
Tabel L2.6	Persen teremediasi	72
Tabel L2.7	Nilai BCF <i>Hydrilla verticillata</i>	73
Tabel L2.8	Nilai TF	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian	63
Lampiran 2. Diagram Alir	64
Lampiran 3. Perhitungan	67
Lampiran 4. Data Mentah	74
Lampiran 5. Dokumentasi	77



ABSTRAK

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. Pembimbing I: Suci Amalia, M.Sc; Pembimbing II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Konsultan: A. Ghanaim Fasya, M.Si

Kata Kunci: *Hydrilla verticillata*, timbal, *microwave digestion*, BCF, TF

Danau Ranu Grati Pasuruan merupakan danau alami yang kaya akan organisme perairan, salah satunya adalah *Hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam timbal (Pb) dalam tubuhnya. Terdapat perbedaan penyerapan karena variasi konsentrasi logam dan perbedaan penyerapan pada bagian batang dan daun dari *Hydrilla verticillata*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi logam timbal pada fitoremediasi dan mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam timbal.

Tahapan penelitian ini meliputi: pengambilan sampel, uji awal sampel, aklimatisasi selama 5 hari, pemaparan sampel dengan logam Pb dengan konsentrasi 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L selama 7 hari, destruksi sampel secara tertutup dengan *microwave digestion*, dan analisis konsentrasi Pb dalam sampel menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

Hasil analisis terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam timbal dalam perairan menunjukkan bahwa termasuk golongan hiperakumulator logam. Nilai BCF diperoleh masing-masing pada bagian daun dan batang >1 dan nilai TF diperoleh >1. Pada konsentrasi timbal 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L untuk nilai TF berturut-turut adalah 3,32; 3,45; 3,60; 2,57; dan 2,59. Bertambahnya konsentrasi logam timbal dalam air mengakibatkan semakin banyaknya logam timbal yang terakumulasi oleh *Hydrilla verticillata*.

ABSTRACT

Al Farobi, Wahyu Aziz. 2019. **Phytoremediation by *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle of Ranu Grati Lake Pasuruan with Variation of Lead Concentrations.** Thesis. Chemistry Department Science and Technology Faculty of Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Suci Amalia, M.Sc; Supervisor II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Consultant: A. Ghanaim Fasya, M.Si

Kata Kunci: *Hydrilla verticillata*, lead, microwave digestion, BCF, TF

Ranu Grati is the natural lake that have a lot of water organism, one of them is *Hydrilla verticillata*. This plant has the ability to accumulate lead metal on his body. There are some effect between stem and leaf in accumulate lead metal at the different concentration. This research are to determine the effect of different variations of lead in phytoremediation by *Hydrilla verticillata* and to determine the ability of *Hydrilla verticillata* in lead metal phytoremediation.

Stage of research includes: sampling, initial test of sample, acclimatization for 5 days, metal exposure with variations 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L for 7 days, sample digestion using microwave, and analysis of lead concentration on *Hydrilla verticillata* using Atomic Absorption Spectrometry (AAS).

Result of analysis the ability of *Hydrilla verticillata* on phytoremediation the lead concentration on water showing this plant is metal hyperaccumulator. All BCF value of stem and leaf part are >1 and for TF value also >1 . On lead concentration 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L the TF value in a row is 3,32; 3,45; 3,60; 2,57; dan 2,59. Increasing lead concentration on water make effect the accumulation of lead by *Hydrilla verticillata* increasing too.

الملخص

الفارابي، وحي عزيز. ٢٠١٩. المعالجة النباتية بوسيلة *Hydrilla verticillata* روبيل بحيرة رانو جراتي فاسوروان بتنوع التركيز المعادن الرصاص. البحث الجامعي. قسم الكيمياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف ١: سوجس عمليا، الماجستير؛ المشرف ٢: لؤلؤة الحميدة العلي، الماجستير؛ المستشار: أ. غنائم فشي، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: *Hydrilla verticillata*، الرصاص، الهضم الميكروبي، العوامل التراكم البيولوجي، العوامل النقلية

بحيرة رانو جراتي فاسوروان هي البحيرة الطبيعية المليئة بالكائنات المائية، أحدها *Hydrilla verticillata*. له القدرة في تراكم المعادن الرصاص في جسمه. وجد اختلاف القبضة لوجود تنوع التركيز للمعادن الرصاص و اختلاف القبضة في العرق و الورقة من *Hydrilla verticillata*. استهدف هذا البحث إلي معرفة الآثار التنوع التركيز المعادن الرصاص في المعالجة النباتية و معرفة عن قدرة *Hydrilla verticillata* في معالجة المعادن الرصاص.

خطوات هذا البحث: أخذ النموذج، اختبار الأول للنموذج، أقلمة مدة خمسة أيام، تقديم النموذج بالمعادن الرصاص بالتركيز ١٥، ٢٠، ٢٥، ٣٠ و ٣٥ مليجرام لترا طول ٧ أيام، تدمير النموذج بالمغلق بالعظم الميكروبي، و تحليل التركيز الرصاص في النموذج باستخدام آلة التحليل الطيفي للامتصاص الذري.

استنتج نتيجة التحليل علي قدرة *Hydrilla verticillata* في معالجة المعادن الرصاص في المائية أنه من تصنيف *hiperakumulator* المعادن. نتيجة العوامل التراكم البيولوجي المحسولة من كل قطعة العرق و الورقة أكبر من ١ و نتيجة العوامل النقلية المحسولة أقل من ١. في تركيز الرصاص ١٥، ٢٠، ٢٥، ٣٠ و ٣٥ مليجرام لترا مستمرا العوامل النقلية بالمستمر هي: ٣،٣٢؛ ٣،٤٥؛ ٣،٦٠؛ ٢،٥٧؛ و ٢،٥٩. زيادة تركيز المعادن الرصاص في الماء تؤدي إلي كثرة المعادن الرصاص المتراكم بوسيلة *Hydrilla verticillata*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah lingkungan adalah masalah utama bagi kehidupan manusia. Terutama di Indonesia, pembangunan tidak beriringan dengan pelestarian lingkungan. Menurut Hadi (1998) salah satu prinsip dalam pembangunan berkelanjutan adalah pemeliharaan lingkungan (*maintenance of ecological integrity*). Setiap pembangunan harus memerhatikan prinsip tersebut. Lingkungan yang buruk akan menimbulkan berbagai penyakit bagi makhluk hidup di sekitarnya.

Industri berskala besar telah memiliki sistem pengolahan limbah agar tidak mencemari lingkungan. Namun pada industri skala kecil seperti industri kerajinan elektroplating tradisional, limbah hasil produksi masih dibuang sembarangan dan tidak diolah. Sumiyati, dkk. (2009) dalam penelitiannya menyebutkan limbah kerajinan elektroplating pada kerajinan rumahan di Kelurahan Citran, Kotagede Semarang menghasilkan limbah tembaga sebesar 4,628 mg/L. Tembaga termasuk golongan logam berat. Menurut Pinto, dkk. (2015) logam berat adalah logam yang bersifat racun dan memiliki densitas lebih dari 6 g/cm³. Logam berat sangat berbahaya jika masuk ke dalam tubuh manusia. Beberapa logam berat yang umum ditemukan pada perairan adalah timbal (Pb), kadmium (Cd), besi (Fe), mangan (Mn), dan nikel (Ni) (Radulescu, dkk., 2014).

Menurut Win, dkk. (2003) timbal merupakan salah satu logam yang sangat berbahaya bagi kehidupan manusia, hewan, dan fitoplankton. Mulyono (2007) menyebutkan bahwa timbal mempunyai berat atom 207,21 g/mol dengan berat jenis 11,34 g/cm³. Timbal termasuk golongan logam berat dan bersifat racun bagi

kehidupan makhluk hidup (Alluri, dkk., 2007). Keberadaan timbal dalam lingkungan tergantung aktivitas manusia. Seperti pada daerah industri akan terdapat timbal dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Berbeda pada daerah pedesaan hanya terdapat konsentrasi limbah yang kecil karena jaranganya penggunaan timbal dalam kehidupan masyarakat desa. Menurut Achmad (2004) timbal dapat ditemukan di semua lingkungan sehingga timbal dapat dengan mudah memasuki tubuh melalui udara, makanan, air minum, dan lingkungan yang tercemar. Timbal dalam perairan berbentuk Pb^{2+} dan berasal dari industri dan pertambangan. Hasil samping bahan bakar bertimbal merupakan sumber utama timbal pada udara dan daratan yang kemudian masuk ke perairan secara alami. Sedangkan timbal yang berasal dari batuan kapur dan galena adalah sumber timbal pada perairan alami. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/MENKES/Per/IV/2010 ambang batas timbal pada air layak minum adalah 0,01 mg/L.

Timbal masuk ke dalam tubuh dapat melalui pernapasan, pencernaan, dan dapat pula masuk melalui kulit. Timbal akan diserap ke dalam aliran darah kemudian akan terdistribusi ke jaringan lunak, tulang, dan gigi (Win, dkk., 2003). Logam timbal menyebabkan banyak masalah dan penyakit pada tubuh manusia. Menurut Singh, dkk. (2012) timbal dalam tubuh manusia dapat terakumulasi dalam jangka panjang dan menyebabkan anemia, ensefalopati (penyakit kelainan pada otak), dan hepatitis. Banyaknya kandungan logam timbal dalam tubuh bahkan dapat menyebabkan kematian. Kasus keracunan timbal di dunia terjadi di Nigeria. Pada tahun 2010, sebanyak 400 anak meninggal akibat keracunan timbal. Timbal tersebut berasal dari ekstraksi emas dari bijih besi yang juga mengandung timbal dimana sering dilakukan di dalam rumah-rumah penduduk (Patnistik, 2010).

Ranu Grati merupakan danau dengan luas \pm 197 ha. Menurut Muttaqinah (2008) organisme penghuni danau biasanya berupa mikroalga, zooplankton, bentos, nekton, dan tumbuhan. Salah satu tumbuhan yang banyak dijumpai, terutama pada dasar danau adalah *Hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* hidup secara submersum (terendam) dan berkelompok sehingga menutup permukaan air (Phukan, dkk., 2015). Pada Ranu Grati, *Hydrilla verticillata* banyak ditemukan pada dasar dan tepian danau. Menurut Kameswaran dan Vatsala (2017) *Hydrilla verticillata* merupakan tumbuhan air yang dapat meremediasi logam berat, seperti Pb, sehingga dikategorikan sebagai fitoremediator.

Allah SWT berfirman dalam surat Luqman ayat 10:

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوْسِي أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا
 مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ۝ ۱۰

Artinya:

“Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya 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 macam tumbuh-tumbuhan yang baik” (Q.S. Luqman: 10).

Menurut Shihab (2002) menyebutkan bahwa maksud dari “Kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik” adalah Allah SWT telah menumbuhkan segala macam tumbuhan di bumi yang baik dan bermanfaat. Tumbuhan diciptakan dengan segala manfaat yang terkandung di dalamnya. Termasuk tumbuhan *Hydrilla verticillata* yang hanya merupakan tumbuhan kecil bahkan dianggap tumbuhan pengganggu oleh sebagian orang awam yang belum mengerti manfaat besar seperti sebagai agen fitoremediasi logam berat dalam perairan.

Fitoremediasi merupakan konsep lama dalam pemanfaatan tumbuhan untuk dekontaminasi limbah dan sebagai bioindikator adanya pencemaran pada air atau udara (Indrasti, dkk., 2005). Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, fitoremediasi sangat efektif untuk mengurangi konsentrasi logam-logam berat dalam perairan. Banyak jenis tumbuhan yang dapat digunakan sebagai agensia fitoremediasi dan memiliki kemampuan optimal terhadap logam-logam tertentu. Sekitar 400 spesies tumbuhan telah teridentifikasi sebagai hiperakumulator logam (Prasad dan Freitas, 2003). *Typha domingensis*, *Lemna obscura*, *Hydrilla verticillata* Royle, dan *Crinum americanum* dilaporkan dapat mengakumulasi selenium (Carvalho dan Martin, 2001). *E. crassipes*, *L. minor* dan *A. pinnata* dapat meremediasi kadmium, kromium, kobalt, nikel, dan timbal (Upadhyay dan Tripathi, 2007).

Hydrilla verticillata juga dapat mengakumulasi Pb, dengan berat *Hydrilla verticillata* sebesar 40 gram dengan konsentrasi Pb sebesar 2 ppm selama tujuh hari dapat meremediasi sebanyak 0,47 mg/Kg pada akar, 0,36 mg/Kg pada batang, dan 0,38 mg/Kg pada daun (Urifah, dkk., 2017). Menurut Hassan dan Al-Kubaisi (2016) menyebutkan bahwa akumulasi tertinggi terjadi pada bagian akar kemudian daun dan terendah adalah pada batang. Pada hari ke-30 pemaparan menggunakan timbal dengan konsentrasi 30 ppm diperoleh akumulasi pada akar adalah 10,25 ppm, pada daun adalah 9,18 ppm, dan pada batang adalah 8,01. Menurut Fitter (1991) menyebutkan bahwa tumbuhan memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat sampai konsentrasi tertentu bahkan pada tingkat yang lebih besar dari konsentrasi di dalam tubuhnya. Tingginya akumulasi logam Pb pada akar disebabkan karena akar bersinggungan langsung dengan kontaminan. Melalui akar,

logam yang diserap didistribusikan ke daun (Caroline dan Moa, 2015). Timbal terserap karena adanya senyawa fitokelatin yang dikeluarkan ketika *Hydrilla verticillata* mengalami stress logam. Fitokelatin tersebut akan membentuk kompleks dengan timbal dan membawanya masuk ke dalam sel (Gupta, dkk., 1995).

Adanya perbedaan banyaknya logam yang terakumulasi oleh bagian-bagian pada *Hydrilla verticillata*, maka penelitian ini akan dilakukan fitoremediasi logam timbal (Pb) secara ex-situ dengan perlakuan terkontrol oleh tumbuhan fitoremediator *Hydrilla verticillata* yang diperoleh dari danau Ranu Grati Pasuruan. Selanjutnya dilakukan penentuan konsentrasi logam timbal pada daun dan batang dari *Hydrilla verticillata*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kemampuan *Hydrilla verticillata* danau Ranu Grati Pasuruan dalam meremediasi logam timbal?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap kemampuan fitoremediasi oleh *Hydrilla verticillata* danau Ranu Grati Pasuruan?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui bagaimana kemampuan *Hydrilla verticillata* danau Ranu Grati Pasuruan dalam meremediasi logam timbal.
2. Mengetahui bagaimana pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap kemampuan fitoremediasi oleh *Hydrilla verticillata* danau Ranu Grati Pasuruan.

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel yang digunakan berasal dari Danau Ranu Grati Pasuruan.
2. Sampel yang diambil adalah yang tampak pada permukaan air saja.
3. Analisis dilakukan pada kemampuan sampel meremediasi logam Pb dari $Pb(NO_3)_2$.
4. Variasi konsentrasi timbal yang digunakan adalah 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L, didasarkan pada penelitian Singh, dkk. (2011) dan Hassan dan Kubaisi (2016).
5. Kontrol hanya dilakukan pada air dan tumbuhan *Hydrilla verticillata*.
6. Analisis Pb hanya dilakukan pada air, daun, dan batang.
7. Analisis kandungan timbal pada *Hydrilla verticillata* menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).
8. Nilai TF dihitung berdasarkan konsentrasi timbal dalam daun dan batang.

1.5 Manfaat Penelitian

Menginformasikan kepada masyarakat tentang pentingnya tumbuhan air *Hydrilla verticillata* dalam mengurangi pencemaran lingkungan khususnya mengurangi konsentrasi logam timbal dalam perairan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Hydrilla verticillata*

Hydrilla verticillata adalah tumbuhan air yang merupakan bagian dari ekosistem danau yang memiliki peran sebagai sumber daya langsung maupun tidak langsung (Tanor, 2004). Selain di danau, *Hydrilla verticillata* juga dapat ditemui di sungai dan waduk. *Hydrilla verticillata* adalah tumbuhan submersum yang hidup pada air tergenang seperti waduk dan danau. Tumbuhan air adalah tumbuhan yang hidup di air atau yang beberapa siklus hidupnya berada di air (Shofawie, 1990). Gambar *Hydrilla verticillata* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Hydrilla verticillata*

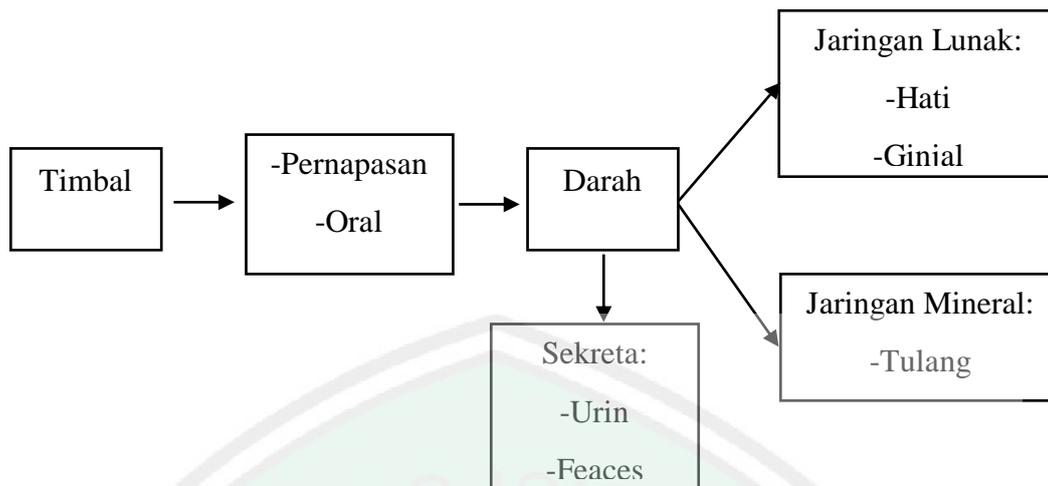
Menurut Ramesh, Rajan, & Santhanam (2014) klasifikasi untuk *Hydrilla verticillata* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Hydrocharitales
Suku	: Hydrocharitaceae
Genus	: Hydrilla
Spesies	: <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle

Hydrilla verticillata merupakan salah satu tumbuhan air yang dapat hidup di kolam maupun danau dengan air yang relatif jernih. Daun dari *Hydrilla verticillata* kecil dan berwarna hijau karena adanya klorofil. *Hydrilla verticillata* hidup berkoloni dan dapat tumbuh di permukaan hingga kedalaman 20 kaki. *Hydrilla verticillata* tumbuh bercabang-cabang hingga dapat menutupi permukaan air. Pertumbuhan tumbuhan ini dipengaruhi dari cahaya yang dapat diterima oleh *Hydrilla verticillata* yang digunakan untuk proses fotosintesis (Handoko dan Fajariyanti, 2013). *Hydrilla verticillata* merupakan tumbuhan yang seluruh bagian tubuhnya berada dalam air dan tumbuhan ini merupakan vegetasi akuatik yang mendominasi di perairan rawa (Silalahi, 2010).

2.2 Timbal dan Toksisitas Timbal

Timbal adalah logam yang berwarna abu-abu kebiruan yang memiliki massa atom relatif sebesar 207,19 g/mol (Svehla, 1979). Timbal adalah salah satu logam yang pertama kali ditemukan oleh manusia dan dalam konsentrasi kecil mudah ditemukan dimana-mana. Sifatnya yang memiliki ketahanan terhadap korosi, dan kelenturannya yang tinggi membuat timbal sering digunakan pada industri mobil, cat, keramik, plastik, dll. Hal tersebut membuat peningkatan konsentrasi timbal bebas dalam lingkungan (Flora, dkk., 2012). Menurut Yulaipi dan Aunurrohim (2013) timbal merupakan salah satu logam yang beracun dan banyak ditemukan sebagai pencemar dan pengganggu organisme perairan. Timbal diketahui dapat mempengaruhi fungsi tubuh terutama pada sistem saraf pusat, hati, dan ginjal (Kalia dan Flora, 2005). Diagram akumulasi timbal dalam tubuh manusia ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Akumulasi timbal pada tubuh manusia (DepKes RI, 2001)

2.2.1 Efek Timbal pada Sistem Saraf

Dibandingkan dengan sistem organ lainnya, sistem saraf merupakan yang paling sensitif dan target utama dari dampak racun timbal (Cory-Slechta, 1996). Sistem saraf pusat dan sistem saraf perifer juga terpengaruh oleh timbal. Pengaruh timbal pada sistem saraf perifer terasa pada orang dewasa, sedangkan sistem saraf pusat lebih terpengaruh pada anak-anak (Brent, 2006; Bellinger, 2004). Khususnya pada janin dan anak-anak sangat rentan terhadap efek timbal bagi perkembangan sistem saraf. Jumlah timbal yang terdistribusi ke otak lebih besar jika yang dibandingkan dengan orang dewasa (Needleman, 2004). Anak-anak dengan level timbal yang tinggi dapat mengalami penurunan kecerdasan, mudah lupa, dan pendengaran terganggu. Pada level yang lebih tinggi dapat menyebabkan kerusakan otak permanen bahkan kematian (Cleveland, dkk., 2008).

2.2.2 Efek Timbal pada Ginjal

Disfungsi ginjal terjadi pada konsentrasi timbal $>60 \mu\text{g/dL}$, namun juga ditemukan dapat terjadi pada konsentrasi timbal yang lebih kecil ($\sim 10 \mu\text{g/dL}$) (Grant, 2008). Kelainan fungsi ginjal dapat berupa nefropati akut dan nefropati

kronis. Pada nefropati akut terjadi kompleks antara protein dan timbal yang dapat menyebabkan eksresi glukosa, fosfat, dan asam amino yang tidak normal. Pada nefropati kronis, timbal dapat menyebabkan perubahan morfologi pada ginjal. Hal tersebut ditandai adanya perubahan glomerulus yang mengakibatkan kerusakan ginjal, hipertensi, dan hiperurisemia (Rastogi, 2008).

2.2.3 Efek Timbal pada Reproduksi

Timbal juga berefek buruk terhadap sistem reproduksi, baik pada wanita ataupun pria. Umumnya pada pria dapat mengalami berkurangnya libido, spermatogenesis yang tidak normal (mengurangi jumlah), kerusakan kromosom, kemandulan, dan disfungsi prostat. Pada wanita, konsentrasi timbal yang tinggi dapat menyebabkan kemandulan, keguguran, kelahiran prematur, dan ketuban pecah dini (Flora dan Agrawal, 2011). Selain itu, selama masa kehamilan, adanya timbal dapat mempengaruhi perkembangan janin (Saleh, dkk., 2009).

2.3 Fitoremediasi dan Mekanisme Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah sebuah proses yang dapat mengurangi logam pada tanah maupun perairan menggunakan berbagai jenis tumbuhan tanah maupun air. Pada proses ini akan melewati tiga tahap yaitu penyerapan dari larutan, perpindahan menuju xylem pada akar, dan perpindahan menuju tunas (Mench, dkk., 2009). Dalam tanah, logam dapat berupa sebagai ion bebas, senyawa logam larut, dan senyawa logam tak larut seperti golongan oksida, karbonat, dan hidroksida. Logam dapat tetap bertahan di tanah dengan cara tertahan di tanah, teradsorpsi secara khusus oleh konstituen tanah, berikatan dengan senyawa organik, dan diendapkan sebagai padatan murni ataupun campuran (Trakal, dkk., 2015).

Akar tumbuhan yang tumbuh pada wilayah yang terkontaminasi logam dapat mengembangkan mekanisme untuk menjaga penyerapan logam yang tidak berlebihan (Santa Maria dan Cogliatti, 1998). Pada beberapa spesies dapat mengakumulasi logam dalam bagian *aerial* yang tidak beracun pada tumbuhan. Akumulasi adalah cara yang paling disukai oleh tumbuhan untuk tetap tumbuh dalam area yang tercemar logam (Trakal, dkk., 2015).

Setelah penyerapan oleh akar, logam dapat masuk ke sitoplasma sel kortikal dan menuju *symplast* pada sel antar sel atau tetap pada *apoplast*. Beberapa logam berpindah secara pasif pada tumbuhan menggunakan air pada proses transpirasi, difusi sederhana, atau saluran protein. Pada proses pasif digambarkan bahwa logam berpindah pada akar mengikuti laju air, sedangkan pada proses aktif digambarkan bahwa logam berpindah menggunakan berbagai energi biologis (Simunek dan Hopmans, 2009).

Logam yang terserap dapat dimanfaatkan dalam sel-sel pada akar, tetapi sebagian besar akan ditransfer menuju xilem. Setelah memasuki xilem, kemudian memasuki arus transpirasi kemudian akan termetabolisme. Secara umum perpindahan logam dari akar menuju bagian tumbuhan yang lebih tinggi sebagai berikut (Kabata-Pendias, 2011):

- a. Mudah pindah : Ag, B, Li, Mo, dan Se
- b. Sedikit sukar pindah : Mn, Ni, Cd, dan Zn
- c. Sukar pindah : Co, Cu, Cr, Pb, Hg, dan Fe

Beberapa tumbuhan terestrial, logam dapat ditranslokasikan menuju organ lain melalui xilem. Translokasi *acropetal* untuk logam As, Cd, Cu, Pb dan Zn telah teramati pada tumbuhan *P. pertinatus* dan *P. crispus*. Pada *Hydrilla verticillata*

translokasi logam terutama untuk Cu dapat melalui cara *acropetal* dan *basipetal*. Oleh karena itu, nilai *bioaccumulation factor* pada logam Cu pada daun dan batang lebih besar dari bagian akar, sehingga translokasi melalui *acropetal* lebih disukai. Namun mekanisme detail mengenai perpindahan logam dalam sistem jaringan tumbuhan air belum teramati (Sherameti dan Varma, 2011).

2.3.1 Mekanisme Kerja Fitoremediasi

Fitoremediasi logam berat dari area tercemar umumnya terjadi melalui satu atau lebih dari mekanisme berikut, diantaranya (Muthusaravanan, dkk., 2018):

- a. *Phytoaccumulation* adalah proses tumbuhan dalam menarik zat kontaminan dalam tanah kemudian diakumulasikan di sekitar akar. Selanjutnya akan diteruskan menuju bagian tumbuhan lainnya seperti pada akar, batang, dan daun. Kontaminan dihilangkan dengan cara memanen tumbuhan tersebut.
- b. *Phytostabilization* adalah proses tumbuhan menarik zat kontaminan ke akar tumbuhan dan tidak dapat diteruskan ke bagian tumbuhan lainnya. Zat-zat tersebut menempel erat pada akar sehingga tidak akan terbawa aliran air. Adanya kerja sama dengan mikroba juga dapat mengubah logam ke bentuk yang kurang aktifnya.
- c. *Phytodegradation* adalah proses penyerapan polutan oleh tumbuhan untuk proses metabolisme tumbuhan. Polutan diubah dalam bentuk yang kurang beracunnya. Proses ini berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim dari tumbuhan tersebut. Beberapa enzim yang berperan dalam proses *Phytodegradation* adalah nitroreduktase, lakase, dehalogenase, peroksidase, dan nitrilase.

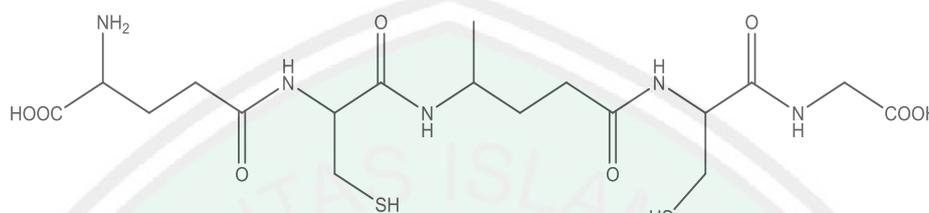
- d. *Phytovolatilization* merupakan proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan merubahnya menjadi bersifat volatil agar tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diuapkan ke atmosfer. Pada selenium dan merkuri diubah menjadi senyawa volatil yang berupa dimetil selenida dan merkuri oksida.
- e. *Hydraulic Control* pada proses ini tumbuhan bertindak sebagai pompa dan menarik air menuju bagian atas, dengan demikian tumbuhan dapat mengontrol pergerakan air dan menyerap kontaminan dalam air tersebut.

2.3.2 Fitoremediasi Logam Timbal pada *Hydrilla verticillata*

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *Hydrilla verticillata* memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya. *Hydrilla verticillata* dapat mengakumulasi Pb, dengan berat *Hydrilla verticillata* sebesar 40 gram dengan konsentrasi Pb sebesar 2 ppm selama tujuh hari dapat meremediasi sebanyak 0,47 mg/Kg pada akar, 0,36 mg/Kg pada batang, dan 0,38 mg/Kg pada daun (Urifah, dkk., 2017). Peningkatan konsentrasi logam Pb yang terakumulasi pada akar dikarenakan merupakan bagian yang pertama kali bersinggungan dengan logam timbal pada perairan. Menurut Mutmainnah, dkk. (2015) menyebutkan bahwa dengan adanya batang yang rontok maka logam berat Pb akan keluar dari sitosol dan terjadi kelarutan logam ke dalam air. Sel-sel pada tumbuhan memiliki konsentrasi kandungan ion yang tertinggi pada akar, kemudian akar akan mentransfer ke batang, daun, dan bagian lain dari tumbuhan (Fitter, 1991).

Perbedaan konsentrasi logam dalam air juga menunjukkan pengaruh besar terhadap akumulasi Pb oleh *Hydrilla verticillata*. Pada penelitian Hassan dan Al-Kubaisi (2016) digunakan variasi konsentrasi Pb 10, 20, dan 30 ppm. Pada hari kelima konsentrasi Pb dalam akar sebanyak 2,18; 4,61; dan 5,19 ppm. Tingginya

konsentrasi logam Pb yang diakumulasi semakin bertambah dengan semakin tingginya konsentrasi Pb pada perairan. Hal tersebut dikarenakan senyawa fitokelatin yang terbentuk semakin banyak karena mengalami stress logam yang tinggi. Struktur fitokelatin ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur fitokelatin

Fitokelatin merupakan suatu peptida yang terdiri dari asam amino dan memiliki gugus sistein yang berfungsi sebagai pelindung. Pada sistein terdapat gugus S yang berfungsi mengikat ion logam yang terserap. Fitokelatin biasanya terdapat pada akar (Puspita, dkk., 2011). Menurut Jaswiah, dkk (2016) menyebutkan bahwa selain sistein, dalam fitokelatin juga terdapat asam amino lain yaitu asam glutamat dan glisin.

Fitokelatin (PCs) terbentuk dari γ -GluCys dipeptida diikuti oleh $(\gamma$ -GluCys) $_n$ -Gly, dimana n umumnya adalah 2 sampai 5. Fitokelatin telah teridentifikasi di banyak jenis dari tumbuhan dan mikroorganisme. Fitokelatin secara struktur berhubungan dengan *glutathione* (GSH; γ -GluCysGly), dan banyak penelitian mengenai GSH menyebutkan bahwa GSH adalah substrat untuk mensintesis PCs. Enzim yang mengkatalisis sintesis PCs adalah fitokelatin sintetase (Cobbet dan Goldsbrough, 2002).

2.3.3 Perbedaan Fitoremediasi dengan Bioremediasi

Berdasarkan agen biologis pada proses dekontaminasi, proses remediasi dapat dikelompokkan menjadi fitoremediasi dan bioremediasi. Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi yang memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran, seperti ketika mikroba mendegradasi bahan berbahaya dan akan menghasilkan air dan CO₂ (Hardiani, dkk. 2011). Laju degradasi mikroba terhadap logam berat tergantung pada beberapa faktor seperti aktivitas mikroba, nutrisi, derajat keasaman, dan faktor lingkungan (Donlan dan Bauder, 2006). Pada teknik fitoremediasi dilakukan dengan menggunakan tumbuhan, namun tidak semua tumbuhan dapat berfungsi sebagai fitoremediator polutan. Menurut Youngman (1998) beberapa tumbuhan yang digunakan sebagai fitoremediator memiliki sifat sebagai berikut:

1. Cepat tumbuh.
2. Mampu mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak dalam waktu yang singkat.
3. Mampu meremediasi lebih dari satu polutan.

Teknik fitoremediasi dibandingkan dengan teknik bioremediasi lebih mudah dan sederhana. Bioremediasi umumnya memanfaatkan mikroba untuk menurunkan konsentrasi polutan dalam suatu lingkungan (Hardiani, dkk., 2011). Untuk melakukan bioremediasi diperlukan keahlian khusus dalam menangani mikroba yang digunakan dan tidak semua orang bisa melakukannya. Sedangkan pada teknik fitoremediasi tidak banyak membutuhkan keahlian khusus. Secara sederhana, teknik fitoremediasi dilakukan dengan cara hanya meletakkan tumbuhan fitoremediator pada lingkungan yang tercemar dan tanpa perlakuan khusus.

Keuntungan dari fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara insitu dan eksitu, mudah diterapkan, biaya operasional murah, sangat ramah lingkungan dan juga bernilai estetika bagi lingkungan (Santriyana, dkk., 2013).

2.4 Parameter Fitoremediasi

Dalam proses remediasi jejak kontaminan dalam media yang tercemar, resiko ekologi, dan waktu proses dalam meremediasi dapat ditentukan melalui beberapa parameter. Masing-masing parameter tersebut menunjukkan aktivitas tumbuhan dalam menyerap, mengakumulasi, memindahkan polutan dalam tubuhnya.

2.4.1 *Bioconcentration Factor* (BCF)

BCF dijelaskan sebagai kemampuan tanaman untuk akumulasi sebuah elemen dari sebuah substrat (Qihang, dkk. 2011). BCF bisa dihitung untuk semua bagian tanaman, seperti daun, batang, dan akar (Mishra dan Pandey, 2019). BCF dapat dihitung dengan rumus Persamaan 2.1 (Zayed, dkk., 1998).

$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi logam berat pada tumbuhan ketika panen } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{\text{Konsentrasi awal logam berat pada larutan luar } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.4.2 *Bioaccumulation Factor* (BAF)

Kemampuan suatu organisme dalam mengakumulasi logam dapat ditentukan dengan menghitung BAF. BAF mengalami perubahan dari waktu ke waktu. BAF dihitung melalui Persamaan 2.2 (Marthana, 2014).

$$F_B \% = \frac{C_m \times 100}{C_s} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan: $F_B \% = \text{BAF}$
 $C_m = \text{Konsentrasi logam berat pada tumbuhan}$
 $C_s = \text{Konsentras logam berat dalam substrat}$

Penelitian Marthana, dkk. (2014) terhadap nilai BAF *Hydrilla verticillata* dalam mengakumulasi logam diperoleh tertinggi pada minggu kedua sebesar 97,90 %.

2.4.3 Translocation Factor (TF)

TF juga dikenal sebagai hasil bagi dari tunas-akar, dimana menjelaskan kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan logam dari akar ke batang dan juga ke daun. Nilai TF dihitung dengan Persamaan 2.3 (Nirola, dkk., 2015).

$$TF = \frac{[\text{dalam tunas}(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}})]}{[\text{dalam akar}(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}})]} \dots\dots\dots(2.3)$$

Penelitian Kumar, dkk. (2012) terhadap lima jenis tumbuhan yaitu *Bacopa monnieri*, *Eichomia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, *Ipomea aquatic*, dan *Marsilea minuta*. Setiap tumbuhan tersebut dipapar dengan logam timbal dan dihitung nilai TF. Nilai TF semua tumbuhan sampel memiliki nilai >1 yang menunjukkan bahwa tumbuhan sampel merupakan tumbuhan hiperakumulator, kecuali pada tumbuhan *Eichomia crassipes*.

2.4.4 Waktu Fitoremediasi

Waktu fitoremediasi digunakan untuk mengevaluasi efisiensi suatu fitoekstraksi oleh tumbuhan. Waktu fitoremediasi dihitung dengan Persamaan 2.4 (Zhang, dkk., 2010).

$$\text{Waktu Fitoremediasi (tahun)} = \frac{C_t \times M_t}{C_s \times B_s} \times n \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan: Cs = Konsentrasi kontaminan dalam batang tumbuhan
 Ct = Konsentrasi kontaminan dalam tanah
 Bs = Biomassa batang tumbuhan
 Mt = Massa tanah
 n = Frekuensi panen tumbuhan

Zhang, dkk. (2010) menghitung waktu yang dibutuhkan *P. americanum* *P. purpureum* dalam menurunkan konsentrasi Cd dalam tanah. Diperlukan waktu 12 tahun untuk menurunkan konsentrasi Cd dari 8 mg/Kg menjadi 1 mg/Kg.

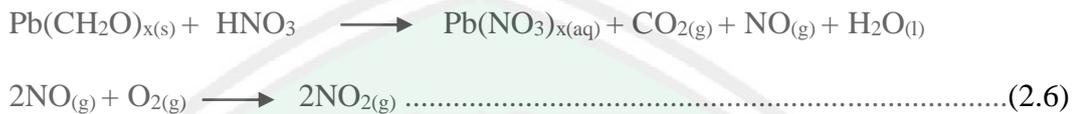
2.5 Destruksi Sampel

Destruksi merupakan perlakuan pemecahan senyawa logam dalam bentuk organik menjadi logam anorganik sehingga dapat dianalisis (Kristianingrum, 2012). Metode ini digunakan untuk menghancurkan atau melarutkan sampel sehingga dapat diukur (Raimon, 1993). Terdapat dua jenis destruksi yang umum dilakukan pada analisis kimia, yaitu destruksi basah dan kering.

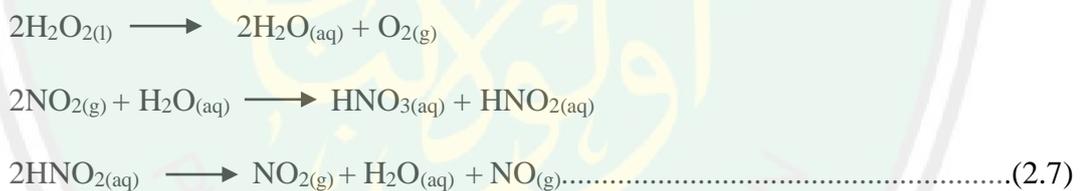
Destruksi basah adalah perombakan logam organik menggunakan asam-asam kuat, baik tunggal ataupun campuran. Kesempurnaan proses destruksi dapat diketahui dengan diperolehnya larutan jernih. Hal tersebut menunjukkan bahwa semua konstituen telah larut dan perombakan senyawa telah berjalan dengan baik. Destruksi kering adalah perombakan unsur organik logam yang dilakukan dalam *muffle furnace* pada suhu tertentu. Destruksi kering umumnya dilakukan dengan cara pengabuan dengan suhu yang cukup tinggi, antara 400-800 °C. Dalam menentukan suhu untuk pengabuan tersebut terlebih dahulu dilakukan peninjauan jenis logam yang akan dianalisis (Raimon, 1993). Menurut Sumardi (1981) menyebutkan bahwa metode destruksi basah lebih baik daripada destruksi kering dikarenakan tidak banyak bahan yang hilang dengan suhu pengabuan yang tinggi.

Pada destruksi basah dilakukan dengan cara menggunakan asam kuat pekat. Asam kuat yang biasa digunakan adalah asam nitrat (HNO_3) dikarenakan kemampuannya memecah sampel menjadi senyawa yang mudah terurai dan asam nitrat sukar mengalami penguapan (Budianto, 2017). Selain asam nitrat juga

digunakan asam peroksida (H_2O_2). Penggunaan asam nitrat dan asam peroksida secara bersamaan dapat memaksimalkan proses destruksi. Penambahan asam peroksida juga berfungsi sebagai agen pengoksidasi yang dapat menyempurnakan reaksi (Kristianingrum, 2012). Reaksi selama proses destruksi berlangsung ditampilkan pada Persamaan 2.6 (Wulandari dan Sukei, 2013).



Bahan organik dimisalkan sebagai $(\text{CH}_2\text{OH})_x$ akan terdekomposisi oleh asam nitrat menghasilkan CO_2 dan NO_x yang akan meningkatkan tekanan pada proses destruksi. Logam timbal akan terputus dari ikatannya dengan bahan organik akan menjadi bentuk garamnya yaitu $\text{Pb}(\text{NO}_3)_x$. adanya gas NO_2 mengindikasikan bahwa bahan organik telah teroksidasi oleh asam nitrat. Adanya asam peroksida reaksi berlanjut pada Persamaan 2.7.



Asam peroksida akan terurai pada suhu 100°C menjadi H_2O dan O_2 . Molekul air akan bereaksi dengan gas NO_2 membentuk HNO_3 dan HNO_2 . HNO_3 akan mendestruksi bahan organik yang masih belum terombak, sedangkan HNO_2 akan terurai NO_2 dan NO . Proses ini berlanjut hingga semua sampel telah terdestruksi (Wulandari dan Sukei, 2013).

Hassan dan Al-Kubaisi (2016) melakukan penelitian terhadap kandungan logam Pb dalam *Hydrilla verticillata*. Dimana pada penelitian tersebut dilakukan dengan mendestruksi sampel sebanyak 1 gram dilarutkan dalam 6 mL HNO_3 64%

+ 2 mL H₂O₂ 30%. Melalui metode tersebut diperoleh konsentrasi timbal pada *Hydrilla verticillata* sebesar 10,25 ppm pada akar.

2.5.1 Destruksi Basah Tertutup dengan Refluks

Destruksi basah tertutup adalah reaksi pelarutan dan pemecahan yang dilakukan pada wadah tertutup sehingga lebih aman terhadap penguapan dan pemuain bahan (Rodiana, dkk., 2013). Metode ini merupakan metode perbaikan terhadap metode destruksi terbuka, salah satu metodenya yaitu menggunakan proses refluks. Metode ini sering digunakan karena timbal memiliki sifat yang mudah menguap pada suhu kamar (Kristianingrum, 2012). Metode refluks didasarkan pada adanya pelarut yang volatil pada suhu tinggi namun akan kembali diubah menjadi cairan akibat adanya kondensor, sehingga pelarut akan tetap ada selama reaksi berlangsung (Darmono, 2001).

Metode analisis logam dengan menggunakan refluks dilakukan dengan memasukkan sampel dengan reagen pengoksidasinya ke dalam labu destruksi yang dilengkapi dengan kondensor kemudian dipanaskan pada temperatur 100 °C. Kondensor disambungkan kemudian dialiri air yang berfungsi sebagai pendingin, sehingga uap yang keluar dari tabung akan kembali mengembun masuk kembali ke dalam tabung. Destruksi dilakukan selama 3 jam, selanjutnya didinginkan dan disaring (Darmono, 2001).

Budianto (2017) melakukan penelitian terhadap kandungan logam Pb dalam kangkung air. Dimana pada penelitian tersebut dilakukan menggunakan metode destruksi tertutup dengan refluks. Sampel sebanyak 2 gram dilarutkan dalam 6 mL HNO₃ + 2 mL H₂O₂. Selanjutnya dipasang kondensor dan direfluks dengan suhu 100 °C. Melalui metode tersebut diperoleh konsentrasi timbal pada kangkung air

sebesar 0,2578 mg/Kg. Enders dan Lehmann (2012) melakukan perbandingan terhadap konsentrasi logam Pb pada jagung melalui berbagai metode destruksi. Diperoleh hasil konsentrasi menggunakan metode destruksi basah dengan pengoksidasi HNO₃ dan H₂O₂ adalah ±10 mg/Kg dan metode destruksi destruksi basah dengan pengoksidasi HNO₃ adalah ±8 mg/Kg.

2.5.2 Destruksi Basah Tertutup dengan *Microwave Digestion*

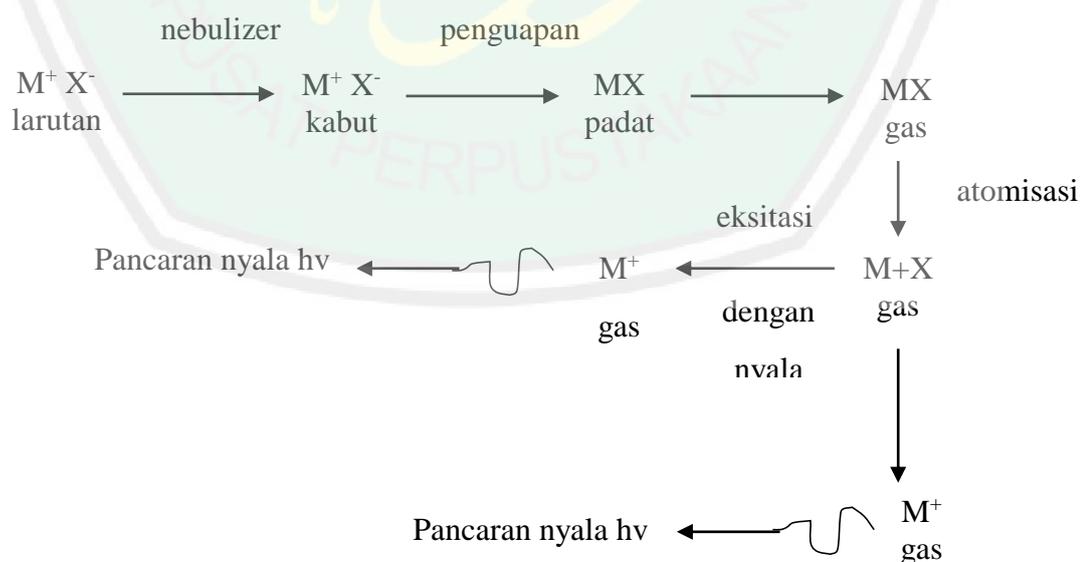
Untuk memperbaiki kelemahan dari metode destruksi asam terbuka, maka digunakan metode asam tertutup, salah satu caranya adalah penggunaan gelombang mikro dalam proses destruksi yang disebut metode *microwave digestion*. Metode *microwave digestion* adalah metode destruksi dalam wadah tertutup yang dikembangkan untuk penentuan elemen utama dengan tingkat *recovery* yang tinggi (Aldabe, dkk., 2013). Dalam metode ini, contoh uji ditambahkan asam kuat dalam sistem tertutup yang menyebabkan terjadinya peningkatan suhu dan tekanan. Peningkatan suhu dan tekanan serta kondisi pH yang rendah mengakibatkan contoh uji yang mengandung logam menjadi larut. Kemudian logam dimungkinkan dilakukan pengukuran dengan instrumen (Matusiewicz, 2003).

Metode ini merupakan modifikasi dari metode destruksi tertutup biasa. Pada proses preparasi sampel yang digunakan untuk dianalisis AAS sering menggunakan metode destruksi ini. Destruksi biasanya dilakukan dengan penambahan asam kemudian destruksi hanya berlangsung 5 sampai 40 menit. Destruksi *microwave digestion* menggunakan bejana yang kedap sehingga proses destruksi dapat berjalan lebih cepat dan dalam satu kali proses dapat langsung mendestruksi sampel 8 sampai 12 mengakibatkan proses destruksi menjadi lebih singkat (Anderson, 1999).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Budianto (2017) terhadap kandungan Pb dalam kangkung air menggunakan metode *microwave digestion* disimpulkan bahwa metode ini persen pemulihan dari logam tersebut lebih tinggi setelah destruksi. Pada penelitian tersebut dilakukan dengan penambahan asam nitrat dan asam peroksida. Pada sampel yang didestruksi sebanyak 2 gram diperoleh konsentrasi Pb sebesar 0,3086 mg/Kg.

2.6 Analisis Konsentrasi Timbal menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

SSA adalah salah satu jenis spektroskopi yang merupakan analisis unsur secara kuantitatif yang didasarkan pada penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Prinsip dasar pada metode SSA adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel (Khopkar, 1990). Metode SSA memiliki kelebihan yaitu sensitifitas tinggi, mudah, murah, sederhana, cepat, dan cuplikan yang digunakan sedikit (Supriyanto, dkk., 2007). Skema kerja umum pada metode SSA ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema umum atomisasi Pb pada SSA (Basset, dkk., 1994)

Secara umum proses atomisasi yang terjadi pada SSA adalah sebagai berikut (Chasten, 2000):

1. Nebulizer mencampur asetilena dan oksidan, menciptakan tekanan
2. Tekanan akan mengakibatkan sampel terserap ke ruang nebulizer
3. *Glass bead* dan *mixing paddle* di dalam *chamber* menciptakan campuran yang heterogen dari bahan bakar, oksidan, dan aerosol sampel
4. Campuran kemudian mengalir langsung ke kepala burner
5. Sampel cair akan menuju tempat pembuangan
6. Nyala memecah analit dan menjadikannya menjadi bentuk atom
7. Monokromator mengisolasi sinar dari analit dan memisahkannya dari sinar lain yang ditimbulkan oleh nyala
8. Detektor akan menentukan sinar yang keluar dari monokromator

Apabila cahaya dengan lambang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom bebas, maka sebagian cahaya akan diserap dan intensitas serapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas tersebut. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diperoleh dari pernyataan berikut: (Day dan Underwood, 2002):

1. Hukum Lambert yang menyatakan bahwa bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi.
2. Hukum Beer yang menyatakan bahwa intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut.

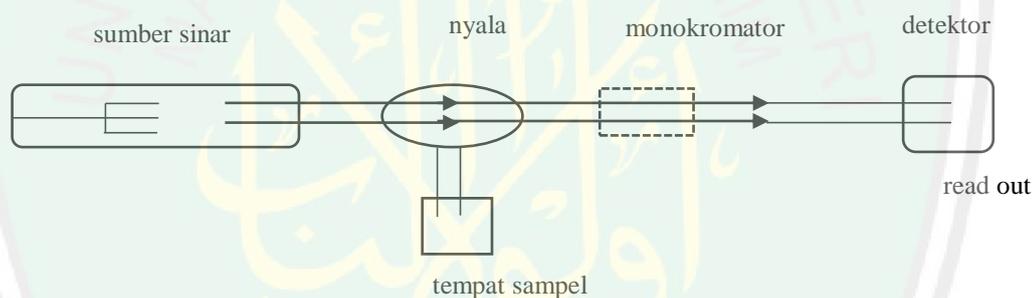
Melalui hukum tersebut diperoleh persamaan yang ditampilkan pada Persamaan 2.8 (Day dan Underwood, 2002).

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \text{ atau } A = a \cdot b \cdot C \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

- A = Absorbansi
 ϵ = Absorptivitas molar (mol/L)
a = Absorptivitas (gr/L)
b = Tebal nyala (cm)
C = Konsentrasi (ppm)

Instrumen SSA secara umum ditampilkan pada Gambar 2.6 dan dijelaskan sebagai berikut (Gandjar dan Rohman, 2010):



Gambar 2.6 Komponen SSA (Gandjar dan Rohman, 2010)

a. Sumber Radiasi

Sumber radiasi pada SSA adalah lampu katoda berongga berisikan katoda dan anoda yang tertutup tabung kaca.

b. Tempat Sampel

Sampel harus diuraikan menjadi atom-atom netral yang masih dalam keadaan azas. Sampel diubah menjadi uap atomnya dan untuk proses atomisasi.

c. Monokromator

Merupakan alat untuk memilih spektrum yang sesuai dengan panjang gelombang yang diinginkan.

d. Detektor

Digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melalui tempat pengamatan.

e. Amplifier

Merupakan alat untuk memperkuat sinyal yang diterima dari detektor sehingga alat pencatat sinyal

f. Read Out

Merupakan alat penunjuk atau alat pencatat hasil yang dapat berupa angka atau kurva.

2.7 Uji *One Way* ANOVA

Analisis varian (*analysis of variance*) atau ANNOVA adalah metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Uji dalam annova menggunakan uji F karena dipakai untuk pengujian lebih dari dua sampel. Annova digunakan untuk analisis komparasi multivariabel. Teknik analisis menggunakan tes “t” dilakukan dengan mencari perbedaan yang signifikan dari dua buah *mean* hanya efektif bila jumlah variabelnya ada dua. Anova satu arah (*one way annova*) digunakan apabila yang akan dianalisis terdiri dari satu variabel terikat dan satu variabel bebas. Analisis menggunakan uji annova dapat diperoleh kesimpulan (Budianto, 2017):

1. Apabila H_0 ditolak dan $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka faktor tersebut berpengaruh terhadap suatu variabel
2. Ataupun sebaliknya, apabila H_0 diterima dan $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka faktor tersebut tidak berpengaruh terhadap suatu variabel.

2.8 Pencemaran Lingkungan dalam Pandangan Islam

Islam adalah agama yang cinta kebersihan dan keindahan. Sebagaimana Nabi Muhammad bersabda dalam hadistnya.

إِنَّ اللَّهَ جَمِيلٌ يُحِبُّ الْجَمَالَ

Artinya:

“*Sesungguhnya Allah Swt itu Maha-Indah dan menyukai keindahan*” (H.R. Thabrani dan al-Hakim)

Umat muslim khususnya selalu diutamakan menjaga kebersihan baik dalam diri maupun dalam lingkungan tempat tinggalnya. Lingkungan yang bersih dapat membuat rasa nyaman dan kesehatan tubuh menjadi terlindungi. Allah SWT berfirman dalam surat al-A'raf ayat 56 mengenai larangan membuat kerusakan.

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

Artinya:

“*Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik*”(Q.S. al-A'raf: 56).

Ayat tersebut menjelaskan larangan manusia melakukan kerusakan di muka bumi. Allah menciptakan bumi dengan sangat baik, adanya gunung-gunung, lembah, daratan, lautan, sungai diciptakan Allah untuk digunakan dan dimanfaatkan sebaik-baiknya (Abdullah, 2007). Kerusakan tersebut tidak hanya akan merugikan manusia namun juga makhluk hidup lainnya. Seperti halnya pencemaran pada perairan danau yang akan mengganggu ekosistem danau dan air danau tidak dapat dimanfaatkan oleh penduduk sekitar.

Upaya menjaga lingkungan dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan makhluk hidup lainnya, seperti tumbuhan dan hewan. Tumbuhan diciptakan dengan segala manfaat yang terkandung di dalamnya. Allah SWT berfirman dalam surat al Jatsiyah ayat 13.

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُۥٓ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لٰآيٰتٍ لِّقَوْمٍ
يَتَفَكَّرُوْنَ ۙ ۱۳

Artinya:

“Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir”(Q.S. al Jatsiyah: 13).

Al Qarni (2007) menyampaikan bahwa Allah SWT menundukkan segala sesuatu yang ada di langit, seperti matahari, bulan, bintang, galaksi dan awan bagi hamba-hamba-Nya. Dia juga menundukkan semua yang ada di bumi, seperti hewan, tumbuhan, dan benda-benda mati agar semuanya dimanfaatkan oleh hamba-Nya. Semua nikmat ini Allah berikan kepada manusia agar mereka bersyukur dan mengikhlaskan ibadah hanya kepada Allah. Semua yang Allah tundukkan ini mengandung bukti-bukti kekuasaan Allah SWT yang nyata bagi orang yang mau memikirkan manfaat darinya.

Sebagai manusia yang dikaruniai akal, kita seharusnya dapat memahami bahwa segala ciptaan Allah SWT, memiliki manfaat yang besar bagi kehidupan umat manusia. Seperti manfaat dari tumbuhan Hydrilla yang dapat menurunkan konsentrasi logam Pb pada suatu perairan, sehingga lingkungan perairan yang sudah tercemar dapat kembali aman dan tidak menimbulkan penyakit bagi makhluk hidup yang mengkonsumsi dan menggunakannya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2018 — Maret 2019 di Laboratorium Kimia Organik serta Laboratorium Layanan dan Instrumen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat & Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas laboratorium, oven, gunting, spatula, plastik wrap, bola hisap, lemari asap, bak karet, aquarium kaca 10 x 10 x 25 cm, kertas saring Whatmann nomer 42, neraca analitik, seperangkat instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merk varian spektra AA 240 yang dilengkapi dengan lampu katoda timbal (Pb), dan seperangkat *microwave digestion* merk Mars Xpress.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tumbuhan hidup *Hydrilla verticillata* dan air yang diambil dari Danau Ranu Grati Pasuruan Jawa Timur, larutan standar Pb dari $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ unhidrat (E-Merck), HNO_3 (E-Merck), H_2O_2 (E-Merck), aquabides, dan aquades.

3.3 Rancangan Penelitian

Sampel *Hydrilla verticillata* dan air yang telah diambil diuji awal konsentrasi logam Pb. Sampel *Hydrilla verticillata* ditumbuhkan dalam bak karet

berisi aquabides \pm 10 liter. Aklimatisasi *Hydrilla verticillata* dilakukan selama 5 hari. Setelah aklimatisasi, dilakukan analisis Pb dengan AAS. Pemaparan sampel *Hydrilla verticillata* dilakukan dengan menambahkan larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebesar 0, 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L selama 7 hari. Setelah itu dilakukan uji konsentrasi Pb pada biomassa bagian daun, batang dari *Hydrilla verticillata* dan air menggunakan metode destruksi basah tertutup. Analisis konsentrasi Pb menggunakan instrumentasi SSA dengan teknik kalibrasi standar. (Urifah, 2017; Singh, dkk., 2011; Hassan dan Kubaisi, 2016).

3.4 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap dalam penelitian yang dilakukan ini meliputi :

1. Pengambilan sampel tumbuhan dan air.
2. Uji konsentrasi Pb awal pada sampel dan air.
3. Aklimatisasi sampel tumbuhan.
4. Uji konsentrasi Pb setelah aklimitisasi
5. Pemaparan sampel tumbuhan dengan larutan logam Pb.
6. Destruksi sampel.
7. Analisis timbal (Pb) dalam *Hydrilla verticillata* dan air
8. Analisis data.

3.5 Metode Penelitian

3.5.1 Pengambilan Sampel Tumbuhan dan Air

Sampel *Hydrilla verticillata* dan air diambil dari Danau Ranu Grati Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Tumbuhan *Hydrilla verticillata* yang memiliki ciri-ciri warna yang lebih hijau dengan ukuran daun sebesar 1,25 – 2 cm diambil sebanyak 1 Kg pada bagian yang terlihat dipermukaan air saja. Alat yang digunakan

untuk mengumpulkan tumbuhan adalah perahu, gunting, dan plastik. Tumbuhan dibilas dengan air. Sampel ditempatkan dalam plastik dan ditata dengan rapi. Untuk sampel air diambil sebanyak $\pm 0,5$ liter dengan ditempatkan pada botol kaca dan diasamkan hingga pH 2 dengan HNO₃ 65% (SNI 6989.59:2008).

3.5.2 Aklimatisasi Sampel

Aklimatisasi dilakukan dengan memasukkan 1 Kg tumbuhan *Hydrilla verticillata* ke dalam bak karet yang berisi aquademin sebanyak ± 10 liter dan dibiarkan selama 5 hari (Urifah, 2017). Langkah ini dilakukan sebelum tumbuhan dipindahkan ke media tanam baru di wadah kaca yang berbeda.

3.5.3 Pembuatan Larutan Pb untuk Pemaparan

Larutan stok timbal (Pb) 1000 mg/L dibuat dengan cara melarutkan 1,59 g Pb(NO₃)₂ dalam 1 liter aquademin. Dari larutan stok tersebut dibuat larutan timbal dengan konsentrasi 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L sebanyak 1500 mL.

3.5.4 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Pb

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* ditimbang seberat 50 gram. Tiap 50 gram tumbuhan diletakkan dalam satu aquarium kaca. Aquarium kaca yang dibutuhkan adalah sebanyak enam buah. Satu aquarium kaca hanya berisi *Hydrilla verticillata* dengan aquademin sebanyak 1500 mL, sedangkan lima aquarium kaca lainnya ditambah dengan tumbuhan *Hydrilla verticillata* sekaligus larutan logam Pb dengan konsentrasi 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L sebanyak 1500 mL. Aquarium kaca diberi tanda untuk menunjukkan level ketinggian air. Kemudian biomassa *Hydrilla verticillata* diambil setelah 7 hari pemaparan (Urifah, 2017). Pemaparan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali (triplo). Lebih jelas divisualisasikan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Visualisasi pemaparan sampel dan kontrol

Pemaparan					
S0 _I	S15 _I	S20 _I	S25 _I	S30 _I	S35 _I
S0 _{II}	S15 _{II}	S20 _{II}	S25 _{II}	S30 _{II}	S35 _{II}
S0 _{III}	S15 _{III}	S20 _{III}	S25 _{III}	S30 _{III}	S35 _{III}

Keterangan: S = *Hydrilla verticillata*

0, 15, 20, 25, 30, 35 = konsentrasi Pb dalam mg/L

I, II, III = pengulangan

3.5.5 Destruksi Sampel

Sampel setelah pemaparan dipisah bagian batang dan daun. Sampel dikeringkan 120 °C selama 2 jam (Gellardo-William, dkk., 2002). Sampel yang sudah dipreparasi kemudian dapat didestruksi menggunakan metode destruksi *microwave digestion*. Destruksi dilakukan dengan cara menimbang 0,5 gram sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* yang sudah halus dan dimasukkan vessel. Kemudian ditambah reagen 7 mL HNO₃ 65% + 1 mL H₂O₂ 30%. Tutup vessel kemudian diatur suhu dan tekanan sesuai metode dan klik tombol mulai. Tunggu hingga proses destruksi selesai dan setelah suhu mulai menurun vessel dapat dibuka (Budianto, 2017). Hasil destruksi disaring dengan kertas saring.

3.5.6 Analisis Timbal (Pb) pada *Hydrilla verticillata*

3.5.6.1 Analisis Konsentrasi Timbal dengan Instrumentasi SSA

Instrumen SSA diatur dengan kondisi sebagai berikut: alat SSA dengan merk varian spektra AA 240 dengan panjang gelombang Pb yang digunakan adalah 283,3 nm, laju alir asetilen 2,0 l/menit, laju alir udara 10,0 l/menit, lebar celah 0,5 nm, dan kuat arus 5 mA. Larutan baku standar untuk kalibrasi dibuat dengan konsentrasi 0,5; 1; 2; 4; dan 8 mg/L dengan cara melarutkan 0,5; 1; 2; 4; dan 8 mL larutan stok Pb 100 mg/L dalam 100 mL larutan HNO₃ 0,5 M. Selanjutnya

dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan instrumen SSA sehingga diperoleh data absorbansi masing-masing larutan kalibrasi standar.

Tabel 3.2 Hasil pengukuran konsentrasi Pb sisa pada air

Variasi Konsentrasi (mg/L)	Sisa dalam Air (mg/L)
15	
20	
25	
30	
35	

Semua sampel hasil destruksi diambil dan didinginkan sampai proses analisis siap untuk dilakukan. Konsentrasi timbal (Pb) ditentukan menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang dilengkapi dengan lampu katoda timbal (Pb) merk varian spektra AA 240. Panjang gelombang yang digunakan adalah 283,3 nm sesuai dengan panjang gelombang sinar yang dapat diserap atom Pb. Kemudian dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan SSA. Hasil analisis ditampilkan pada Tabel 3.2.

3.6 Analisis Data

Analisis absorbansi pada sampel menggunakan SSA dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Data pembuatan kurva standar memiliki hubungan antara konsentrasi dan absorbansi, sehingga konsentrasi timbal dapat diketahui melalui persamaan regresi linear pada Persamaan 3.1.

$$Y = bx + a \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana:

- Y = Absorbansi sampel
- x = Konsentrasi sampel
- b = *Slope*
- a = *Intersep*

Berdasarkan hasil perhitungan pada regresi linear, maka berat Pb sesungguhnya dalam sampel dapat ditentukan dengan rumus pada Persamaan 3.2.

$$\text{Konsentrasi Pb} = \frac{V_p \times b}{w} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana:

- V_p = Volume pengenceran (L)
- b = Konsentrasi yang terbaca instrumen (mg/L)
- W = Berat contoh (Kg)

Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak (secara statistik) antara berbagai variasi konsentrasi timbal terhadap fitoremediasi oleh *Hydrilla verticillata* dilakukan analisis ANOVA satu arah (Sudiro, 2013).



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan terhadap sampel tumbuhan dan air dari danau Ranu Grati. Teknik pengambilan sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* menggunakan metode *Accidental Sampling* yaitu metode pengambilan sampel yang didasarkan karena keterbatasan sampel yang ada pada lingkungan. Hal tersebut dilakukan karena populasi dari sampel yang sudah tinggal sedikit disebabkan warga sekitar masih menganggapnya sebagai tumbuhan pengganggu. Pengambilan sampel pada satu titik dilakukan agar karakteristik dari sampel tidak jauh berbeda. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan bantuan perahu. Sampel diambil kemudian dibawa ke pinggir danau untuk dicuci dan dikemas dalam wadah plastik berisi air.

Proses pengambilan sampel air dilakukan dengan mengambil sampel air pada daerah wisata Ranu Grati (Titik A), dekat pemukiman warga (Titik B), dan pada bagian tengah dari danau (Titik C). Sampel air diambil menggunakan gelas plastik kemudian dimasukkan dalam botol kaca bening. Sampel air terlebih dahulu disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatan pengotor agar tidak mengganggu proses analisis. Botol tempat sampel diisi sampai penuh hingga tidak ada gelembung udara. Kemudian ditambahkan HNO_3 pekat sebanyak dua tetes sehingga air sampel pH 2. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi adsorpsi dari wadah terhadap komponen yang akan dianalisis. Menurut Alaerts (1987) penambahan asam kuat pada proses pengawetan sampel berguna untuk meminimalisir terjadinya kehilangan senyawa anorganik yang akan dianalisis.

4.2 Uji Konsentrasi Pb Awal pada Sampel *Hydrilla verticillata* dan Air

Analisis konsentrasi Pb dilakukan menggunakan instrumen SSA sehingga sebelum dianalisis sampel yang berupa padatan harus melalui proses destruksi terlebih dahulu. Sampel *Hydrilla verticillata* yang berasal dari Ranu Grati dikeringkan dengan dioven untuk menghilangkan konsentrasi air dalam sampel. Sampel yang telah kering ditimbang dan dilakukan proses destruksi menggunakan *microwave digestion*. Pada proses ini senyawa organik akan dipecah menjadi senyawa anorganiknya dengan bantuan gelombang mikro dan tekanan sehingga proses destruksi menjadi lebih cepat.

Sampel yang didestruksi menggunakan *microwave* harus mengikuti metode yang telah diatur dalam buku petunjuk yang ada. Destruksi untuk sampel yang merupakan jenis-jenis tumbuhan disarankan menggunakan senyawa pengoksidasi berupa asam nitrat dan asam peroksida pekat. Pada proses destruksi menggunakan *microwave* terjadi peningkatan suhu dan tekanan pada waktu tertentu sesuai pengaturan metode terhadap sampel tersebut. Suhu dan tekanan yang digunakan adalah 130, 150, dan 180 °C, untuk menaikkan suhu menjadi 130 °C dibutuhkan waktu 10 menit dengan tekanan 0,1 MPa. Kemudian untuk menaikkan suhu menjadi 150 °C membutuhkan waktu 5 menit dengan tekanan 0,2 MPa. Selanjutnya untuk menaikkan suhu menjadi 180 °C membutuhkan waktu 10 menit dengan tekanan 0,7 MPa. Penggunaan suhu dan adanya tekanan pada sistem tertutup membuat proses destruksi menjadi lebih efisien namun penggunaannya harus hati-hati. Proses destruksi akan berhenti secara otomatis dan *microwave* akan mengalami proses *cooling down* selama 10 menit. Sampel hasil destruksi disaring agar terpisah dari sisa destruksi.

Tabel 4.1 Konsentrasi Pb pada air danau Ranu Grati Pasuruan

Titik	Konsentrasi Pb (mg/L)
A	0,032
B	0,092
C	0,111

Hasil dari proses destruksi kemudian dianalisis menggunakan SSA dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.1. Konsentrasi terbesar yaitu pada titik C sebesar 0,111 mg/L, pada titik ini merupakan bagian tengah danau dimana terdapat banyak keramba budi daya ikan yang berpotensi menghasilkan limbah yang lebih banyak dan banyaknya perahu bermotor yang lalu lintas di bagian tengah danau juga menyumbang terhadap pencemaran. Titik B mengandung timbal sebesar 0,092 mg/L, dimana titik tersebut merupakan titik pengambilan sampel yang dekat dengan pemukiman warga atau pada tepi danau, sehingga konsentrasi Pb lebih besar dibandingkan titik A. Banyaknya penggunaan barang dan aktivitas yang mengandung Pb oleh warga sekitar seperti penggunaan plastik kresek yang dapat mencemari perairan danau. Sedangkan pada titik A yang merupakan daerah wisata memiliki konsentrasi Pb yang paling rendah dikarenakan minimnya aktivitas kegiatan rumah tangga yang menghasilkan timbal dan perairan daerah tersebut yang cenderung bersih dari sampah sehingga tidak tercemar.

Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan menyebutkan bahwa ambang batas maksimal untuk timbal adalah sebesar 0,05 mg/L pada perairan yang digunakan untuk higiene sanitasi. Dari tiga titik yang dilakukan pengujian konsentrasi timbal hanya pada titik A yang memenuhi standar, pada titik tersebut memang diusahakan agar tidak mengandung pencemar yang tinggi. Kandungan timbal pada titik B dan C melebihi konsentrasi maksimal yang ditetapkan pemerintah, sehingga dikategorikan

tercemar timbal. Danau Ranu Grati pada bagian selain tempat wisata, sehari-hari digunakan warga untuk keperluan mencuci, mandi, dan keperluan lainnya. Warga diharapkan untuk mengurangi melakukan kegiatan higiene sanitasi menggunakan air danau Ranu Grati.

Sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* juga dilakukan analisis untuk mengetahui konsentrasi awal timbal. Bagian batang dan daun dipisahkan untuk dianalisis masing-masing konsentrasi awal timbal pada setiap bagiannya. Hasil analisis SSA didapat konsentrasi timbal pada bagian daun dan batang adalah 32 mg/Kg BK.

4.3 Aklimatisasi Sampel *Hydrilla verticillata*

Sampel *Hydrilla verticillata* yang berasal dari habitat aslinya yaitu danau Ranu Grati dilakukan proses aklimatisasi sebelum digunakan sebagai objek penelitian. Proses ini berfungsi untuk membantu proses adaptasi dari sampel *Hydrilla verticillata* terhadap lingkungan laboratorium. *Hydrilla verticillata* ditempatkan dalam wadah plastik tanpa media tanam dan ditambahkan aquades sebagai tempat hidup tumbuhan. Media tumbuh tersebut diletakkan dalam laboratorium dekat jendela agar memperoleh sinar matahari yang cukup. Aerator ditambahkan sebagai suplai oksigen dan menjaga oksigen terlarut dalam air serta untuk mengurangi bau busuk dalam air. Aklimatisasi dilakukan selama lima hari. Setelah lima hari *Hydrilla verticillata* mengalami pertumbuhan pada ujung tumbuhan serta tumbuhnya akar-akar baru. Bagian daun teramat berwarna hijau segar dan air hanya sedikit keruh sisa tanah yang masih melekat pada bagian sampel tumbuhan. Parameter berhasilnya proses aklimatisasi dapat ditinjau dari bertambahnya ukuran batang, daun, dan akar (Yasmin, dkk., 2018).

Hydrilla verticillata setelah proses aklimatisasi juga dilakukan uji konsentrasi timbal untuk mengetahui selama proses aklimatisasi apakah tumbuhan sampel masih meremediasi timbal. Hasil uji SSA menunjukkan pada bagian daun mengandung timbal sejumlah 56 mg/Kg BK dan pada bagian batang sejumlah 48 mg/Kg BK. Konsentrasi timbal setelah aklimatisasi dibandingkan pada konsentrasi sebelum aklimatisasi mengalami peningkatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama proses aklimatisasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* masih mampu meremediasi timbal.

4.4 Penentuan Konsentrasi Timbal dalam Bagian *Hydrilla verticillata*

Tumbuhan setelah proses aklimatisasi dimasukkan dalam wadah kaca untuk proses pemaparan menggunakan larutan logam $Pb(NO_3)_2$ anhidrat. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam mengurangi konsentrasi timbal yang terlarut dalam air dan penyimpanannya dalam bagian batang dan daun dari *Hydrilla verticillata*. Bagian akar tidak digunakan karena pada proses aklimatisasi hanya tumbuh dalam jumlah kecil. Dilakukan dalam beragam variasi konsentrasi timbal untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam timbal dalam berbagai macam variasi konsentrasi. Variasi konsentrasi timbal yang digunakan adalah 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L. *Hydrilla verticillata* yang digunakan diambil dari titik yang sama dan dengan berat yang sama. Pemaparan dilakukan selama tujuh hari dengan kontrol *Hydrilla verticillata* dalam aquades tanpa timbal. Setelah pemaparan selama tujuh hari, *Hydrilla verticillata* teramati pinggiran daun pada bagian bawah terlihat menguning. daun bagian atas berwarna hijau dan bagian ujung batang mengalami pertumbuhan, hanya pada konsentrasi 35 mg/L daun sedikit gugur.

Konsentrasi timbal yang telah teremediasi dalam bagian tumbuhan *Hydrilla verticillata* dianalisis menggunakan instrumentasi SSA. Sebelum dianalisis, *Hydrilla verticillata* dikeringkan menggunakan oven untuk mengurangi konsentrasi airnya. Selanjutnya dipisahkan antara batang dan daun. Bagian dan daun didestruksi secara terpisah. Destruksi dilakukan dengan penambahan asam nitrat dan asam peroksida dalam *microwave*. Dengan adanya tekanan dan suhu, proses destruksi akan menjadi lebih cepat. Hasil destruksi kemudian disaring untuk menyaring sisa pengotor selama proses destruksi. Diperoleh cairan bening kekuningan.

Hasil destruksi kemudian dianalisis kandungan timbalnya dengan menggunakan instrumen SSA. Pada proses ini menggunakan metode kalibrasi standar, dimana terlebih dahulu dibuat variasi standar logam kemudian dianalisis. Hasil penentuan konsentrasi logam timbal setelah proses fitoremediasi dalam bagian batang dan akar *Hydrilla verticillata* ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Konsentrasi timbal dalam *Hydrilla verticillata* setelah pemaparan

Variasi Konsentrasi Timbal (mg/L)	Konsentrasi Pb (mg/Kg BK)	
	Daun	Batang
0	168	8
15	9512	2864
20	12296	3560
25	13640	3784
30	13968	5424
35	15736	6064

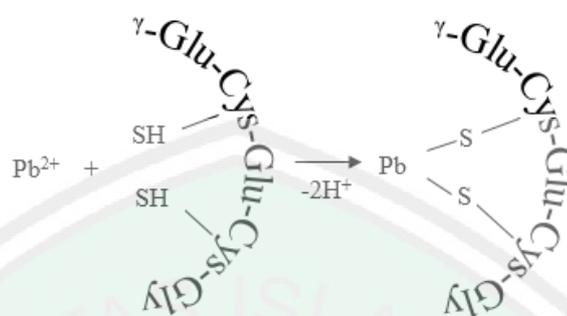
Keterangan: BK: Berat Kering

Hasil penentuan konsentrasi timbal dalam bagian daun dan batang dari *Hydrilla verticillata* menunjukkan bahwa bagian daun mengakumulasi lebih banyak dibandingkan pada bagian batang. Hasil pemaparan selama tujuh hari teramati pada konsentrasi timbal dalam air sebesar 15 mg/L, *Hydrilla verticillata* dapat mengakumulasi sebanyak 9512 mg/Kg BK pada daun dan 2864 mg/Kg BK

pada batang. Akumulasi tertinggi yaitu pada konsentrasi awal timbal 35 mg/L. Pada konsentrasi tersebut *Hydrilla verticillata* dapat mengakumulasi timbal sebanyak 15736 mg/Kg BK pada daun dan 6064 mg/Kg BK pada batang. Menurut Carolin dan Moa (2015) penyerapan tertinggi terjadi pada akar kemudian didistribusikan ke daun melalui tangkai. Pada batang mengalami penurunan penyerapan dikarenakan organ tumbuhan ini mengalami kejenuhan dalam mengakumulasi logam berat.

Bertambahnya konsentrasi timbal pada air menyebabkan akumulasi oleh *Hydrilla verticillata* semakin besar. Hal tersebut disebabkan semakin banyaknya senyawa fitokelatin dalam *Hydrilla verticillata* yang terbetuk seiring semakin bertambahnya logam berat dalam lingkungan. Menurut Gupta dkk. (1995) dalam *Hydrilla verticillata* terdapat sebuah senyawa bernama fitokelatin (PCs) yang terlibat dalam proses detoksifikasi Pb. Adanya Pb pada air dalam konsentrasi 0,5-10,0 μM mempengaruhi terjadinya sintesis fitokelatin. *Hydrilla verticillata* dapat menyerap metal sampai ambang batas yang ditentukan karena memiliki kemampuan meredam stress metal. *Hydrilla verticillata* akan mengeluarkan senyawa fitokelatin ((γ -GluCys)_n-Gly) ketika mengalami stress metal dan akan mengikat metal tersebut kemudian dibawa ke dalam sel. Mehra, dkk. (1995) mengemukakan bahwa Pb(II) dapat berikatan dengan fitokelatin dalam berbagai kondisi. Pb(II) dapat berikatan dengan dua sampai empat fitokelatin, diantaranya adalah Pb(II)₁-(γ -GluCys)₂-Gly, Pb(II)₁-(γ -GluCys)₃-Gly, Pb(II)₁-(γ -GluCys)₄-Gly, dan Pb(II)₂-(γ -GluCys)₄-Gly. Semakin panjang rantai peptida (fitokelatin) menyebabkan kekuatan ikatan semakin kuat, sehingga ikatan Pb(II) paling stabil adalah pada Pb(II)₁-(γ -GluCys)₄-Gly dan Pb(II)₂-(γ -GluCys)₄-Gly. Rodrigo, dkk. (2013) mengemukakan logam kadmium berikatan dengan gugus sulfidril pada dua

molekul sistein yang merupakan bagian dari dua fitokelatin dengan melepas dua atom hidrogen. Perkiraan ikatan timbal-fitokelatin ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perkiraan proses terbentuknya ikatan antara timbal dengan fitokelatin berdasarkan Rodrigo, dkk. (2013)

Pengamatan secara kualitatif dan kuantitatif tersebut *Hydrilla verticillata* dapat hidup dan tumbuh dalam lingkungan terkontaminasi timbal hingga 35 mg/L, sehingga *Hydrilla verticillata* merupakan tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan hiperakumulator dapat mengakumulasi logam berat dengan konsentrasi 1 % dari berat keringnya. Secara spesifik suatu tumbuhan dapat dikategorikan sebagai tumbuhan hiperakumulator logam timbal jika dapat mengakumulasi logam timbal lebih dari 1000 mg/Kg BK (Baker dan Brooks, 1989). Tumbuhan yang tergolong hiperakumulator dapat mengakumulasi logam berat dari lingkungannya tanpa mempengaruhi secara signifikan terhadap pertumbuhan tumbuhan tersebut (Astrini, 2014).

4.5 Penentuan Persen Timbal Teremediasi oleh *Hydrilla verticillata*

Hydrilla verticillata merupakan tumbuhan air yang memiliki kemampuan sebagai fitoremediator harus dapat mengurangi konsentrasi timbal dalam perairan secara optimal. Menurut Stowel, dkk. (2000) tumbuhan air secara umum dapat

menetralsir komponen-komponen tertentu seperti logam berat dalam perairan sehingga bermanfaat untuk penanganan limbah cair. Percobaan dilakukan untuk mengetahui pada konsentrasi berapakah *Hydrilla verticillata* dapat meremediasi timbal paling maksimal. Sebagai tumbuhan fitoremediator kondisi tubuh dari *Hydrilla verticillata* akan tidak terpengaruh oleh adanya kontaminasi logam berat yang ada di lingkungan. Untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam mengurangi konsentrasi logam berat dalam air dapat ditentukan dengan menghitung persen teremediasinya. Persen logam timbal teremediasi oleh *Hydrilla verticillata* ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Persen timbal teremediasi *Hydrilla verticillata*

Konsentrasi Timbal	Timbal Teremediasi (%)
15	99,18
20	98,50
25	98,43
30	99,33
35	99,43

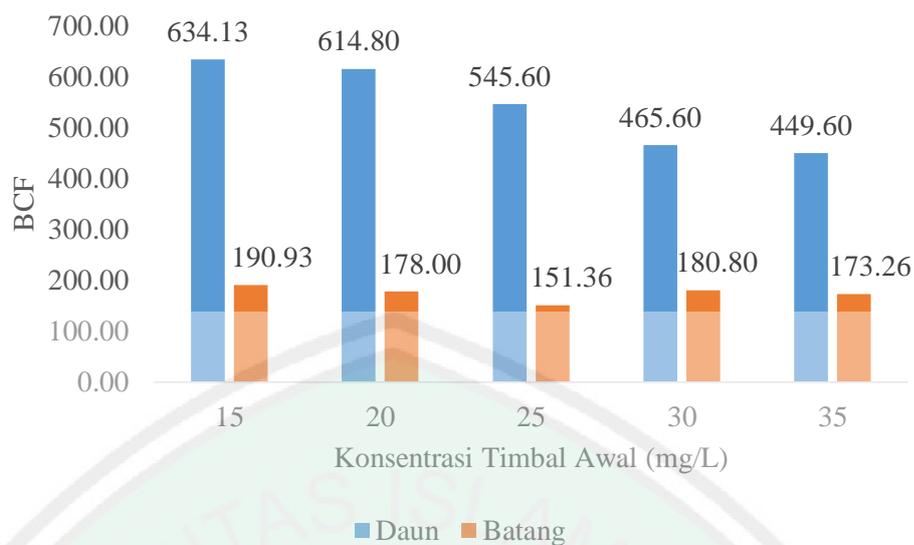
Nilai persen teremediasi ditentukan dengan menghitung perbandingan konsentrasi yang teremediasi dengan konsentrasi awal dari logam timbal dalam air. Nilai tersebut merupakan rata-rata dari tiga kali pengulangan. Dari data tersebut *Hydrilla verticillata* menyerap maksimal pada 35 mg/L yaitu 99,43 % yang artinya dari 35 mg/L logam timbal dalam air telah teremediasi rata-rata sebanyak 34,80 mg/L oleh 50 gram berat basah *Hydrilla verticillata* selama 7 hari. Dari semua variasi konsentrasi tersebut *Hydrilla verticillata* dapat meremediasi timbal diatas angka 90 %. Menurut Mutmainnah (2015) *Hydrilla verticillata* rata-rata dapat meremediasi logam sebanyak lebih dari 90 % dari total konsentrasi logam timbal dalam perairan.

4.6 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 *Bioconcentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF).

4.6.1 Penentuan *Bioconcentration Factor* (BCF)

Kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi logam berat dapat diukur menggunakan parameter BCF. BCF merupakan kemampuan suatu organisme akuatik seperti tumbuhan dalam mengakumulasi polutan atau bahan kimia di dalam tubuhnya. BCF juga 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, dkk., 2001). Konsentrasi timbal dalam tubuh *Hydrilla verticillata* dinyatakan dalam mg/Kg sedangkan konsentrasi sisa timbal dalam air dinyatakan dalam mg/L. Nilai BCF dihitung berdasarkan pada berat kering dari sampel, sehingga *Hydrilla verticillata* yang telah dipapar logam timbal dengan variasi 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L selama 7 hari terlebih dahulu dikeringkan untuk selanjutnya didestruksi dengan menggunakan metode *microwave digestion*. Menurut Zayed dkk. (1998) BCF berguna untuk menentukan indeks akumulasi tumbuhan dalam mengakumulasi logam dan dihitung berdasarkan berat keringnya. Analisis BCF pada percobaan ini dilakukan terhadap setiap bagian dari *Hydrilla verticillata*. Hasil penentuan BCF pada bagian daun dan batang ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Nilai BCF pada daun dan batang

Data tersebut menunjukkan nilai BCF untuk bagian daun dan batang. Berdasarkan data tersebut tren nilai BCF pada batang tidak jauh berbeda dengan nilai BCF pada daun, namun nilai BCF daun lebih tinggi dari pada bagian batang. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada *Hydrilla verticillata* logam timbal lebih terkonsentrasi pada bagian daun. Data tersebut menunjukkan pada konsentrasi 15-35 mg/L nilai BCF semakin menurun. Pada bagian batang menunjukkan bahwa maksimum BCF terdapat pada konsentrasi 35 mg/L. Pada daun nilai BCF cenderung naik turun. Perbedaan tersebut diakibatkan karena masa pemaparan yang kurang lama, sehingga akumulasi timbal oleh *Hydrilla verticillata* kurang maksimal. Song, dkk. (2018) melakukan penelitian terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam mengakumulasi logam nikel dengan variasi konsentrasi logam dan variasi waktu pemaparan dengan hasil maksimum akumulasi oleh *Hydrilla verticillata* baik pada bagian batang dan daun adalah pada pemaparan selama 21 hari. Pemaparan selama 21 hari tersebut menunjukkan tren nilai BCF semakin menurun seiring meningkatnya konsentrasi logam dalam perairan.

Secara sederhana nilai BCF menunjukkan kemampuan suatu organisme dalam mengakumulasi logam yang berada pada air di lingkungannya. Pada hasil penelitian menunjukkan bahwa *Hydrilla verticillata* memiliki nilai BCF yang tergolong sangat tinggi. Menurut Usman, dkk. (2019) menyebutkan untuk nilai BCF lebih dari satu diindikasikan sebagai tumbuhan hiperakumulator. Nilai BCF *Hydrilla verticillata* pada bagian batang dan daun terhadap akumulasi timbal sangat besar, pada setiap variasi konsentrasi timbal memiliki nilai $BCF > 1$. Nilai BCF pada daun lebih tinggi dibandingkan pada bagian batang yang menunjukkan bahwa logam timbal lebih terakumulasi pada bagian daun yang dibuktikan dengan lebih banyaknya konsentrasi timbal pada bagian daun (Tabel 4.2).

Data tersebut juga menunjukkan bahwa semakin naiknya konsentrasi logam timbal pada air mengakibatkan nilai BCF pada bagian daun dan batang dari *Hydrilla verticillata* mengalami penurunan. Dalam Suter, dkk. (2000) dan Greger (2004) menyebutkan bahwa nilai *bioaccumulation factor* umumnya bernilai tinggi ketika konsentrasi polutan pada media rendah dan semakin menurun ketika konsentrasi polutan semakin tinggi. Menurut Mendez dan Maier (2008) ada beberapa cara untuk mengukur dan menunjukkan kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi logam. Salah satu caranya adalah dengan menghitung *bioconcentration factor* yang sebelumnya juga disebut sebagai *bioaccumulation factor*. Data tersebut juga sesuai dengan penelitian Dogan, dkk. (2018) dimana tumbuhan air yang bernama *Ceratophyllum demersum* L dipapar dengan logam timbal dengan variasi konsentrasi timbal 25, 50, 75, dan 100 mg/L selama lima hari menunjukkan nilai BCF yang semakin menurun bersamaan dengan bertambahnya konsentrasi timbal pemapar.

4.6.2 Penentuan *Translocation Factor* (TF)

Translokasi secara sederhana diartikan perpindahan komponen dari suatu tempat ke tempat lainnya. *Translocation Factor* (TF) secara umum digunakan untuk menentukan translokasi logam secara relatif dari bagian tumbuhan yang satu menuju bagian tumbuhan yang lain (Gupta, dkk., 2008). TF juga digunakan untuk mengategorikan suatu tumbuhan sebagai fitoremediator (Masarovicova, dkk., 2010).

Tabel 4.4 Nilai TF pada variasi konsentrasi

Konsentrasi Timbal (mg/L)	TF
15	3,32
20	3,45
25	3,60
30	2,58
35	2,59

Pada penelitian ini, TF digunakan untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam mentranslokasikan logam timbal dari bagian batang menuju bagian daun dan untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* sebagai akumulator logam timbal. Hasil perhitungan TF ditampilkan pada Tabel 4.4. Nilai TF diperoleh dengan menghitung perbandingan konsentrasi logam timbal yang terakumulasi pada bagian daun dan bagian batang. Dari hasil perhitungan tersebut menunjukkan nilai TF pada setiap konsentrasi memiliki nilai >1 . Nilai TF tertinggi yaitu pada konsentrasi timbal 25 mg/L, sedangkan yang terendah adalah pada konsentrasi timbal 30 mg/L. Nilai TF lebih dari satu menunjukkan bahwa tumbuhan tersebut memiliki kemampuan sebagai hiperakumulator (Souri, dkk., 2017). Pada penelitian ini nilai TF >1 pada setiap variasi konsentrasi logam timbal, sehingga *Hydrilla verticillata* dapat dikategorikan sebagai tumbuhan hiperakumulator logam

timbal. Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian Kumar dkk. (2012) dimana tumbuhan *Hydrilla verticillata* memiliki nilai TF 1,98 sehingga dikelompokkan sebagai akumulator logam timbal.

Kedua parameter tersebut yaitu TF dan BCF dapat digunakan dalam memperkirakan sebuah tumbuhan untuk tujuan fitoremediasi. Hanya tumbuhan yang pada kedua parameter tersebut memiliki nilai di atas satu yang dapat dikategorikan sebagai tumbuhan hiperakumulator (Souri, dkk., 2017). Berdasarkan mekanisme fitoremediasi, *Hydrilla verticillata* dimungkinkan masih dalam mekanisme fitoakumulasi. Pada penelitian ini, nilai TF dan BCF pada *Hydrilla verticillata* memiliki nilai >1 pada setiap variasi konsentrasi, sehingga dapat digunakan sebagai tumbuhan untuk proses fitoremediasi dan *hydrilla* tergolong sebagai tumbuhan hiperakumulator.

4.7 Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi menggunakan *One Way* ANOVA

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

1. $H_0 = 0$, maka tidak ada perbedaan pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap timbal yang teremediasi oleh *Hydrilla verticillata*
2. $H_1 \neq 0$, maka minimal ada satu pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap timbal 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 dari 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 statistik *one way* ANOVA ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil uji statistika *one way* ANOVA

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	748,532	4	187,133	5248,679	,000
Within Groups	,357	10	,036		
Total	748,888	14			

Hasil pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal tersebut berdasarkan pada uji nilai F dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ (3,48) dan pada uji probabilitas dimana nilai sig. (0,000) lebih kecil dari alpha (0.005) sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa terdapat minimal satu pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap timbal yang teremediasi dalam *Hydrilla verticillata*. Selanjutnya dilakukan uji lanjut atau uji perbandingan berganda dengan menggunakan metode statistik uji BNT. Uji lanjut juga disebut *posthoc tests*. 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 ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil uji BNT

Konsentrasi Timbal (ppm)	Rata-rata	Notasi
15	14,8767	A
20	19,7000	B
25	24,6067	C
30	29,8000	D
35	34,8000	E

Hasil pada Tabel 4.7 menunjukkan perbedaan notasi pada setiap variasi perlakuan dalam hal ini variasi konsentrasi timbal. Konsentrasi timbal 15, 20, 25, 30, dan 35 ppm memiliki notasi secara berturut-turut adalah A, B, C, D, dan E. Notasi yang berbeda tersebut menunjukkan bahwa semua variasi konsentrasi memiliki perbedaan nyata, sehingga setiap variasi perlakuan menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi timbal yang teremediasi oleh *Hydrilla verticillata*. Rata-rata tertinggi yaitu pada variasi konsentrasi 35 mg/L yang dimana dapat meremediasi logam timbal sebanyak 34,8000 mg/L dan terendah adalah pada variasi 15 mg/L yaitu sebanyak 14,8767 mg/L.

4.8 Kajian Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Hasil analisis kandungan timbal dalam sampel air dan tumbuhan menunjukkan bahwa perairan danau Ranu Grati tercemar logam timbal. Hal tersebut berdasarkan tiga sampel air yang telah dianalisis menggunakan metode SSA. Tiga titik pengambilan sampel yaitu pada daerah wisata, dekat pemukiman warga, dan bagian tengah perairan danau. Hasil analisis kandungan timbal secara berturut-turut adalah 0,032; 0,092; dan 0,111 mg/L. Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan menyebutkan bahwa ambang batas maksimal untuk timbal adalah sebesar 0,05 mg/L pada perairan yang digunakan untuk higiene sanitasi. Masyarakat sekitar danau menggunakan air danau untuk keperluan mandi dan mencuci, sehingga air danau tersebut berada di atas ambang batas yang telah ditetapkan.

Pencemaran tersebut tidak lain adalah juga disebabkan oleh manusia sendiri. Seringnya membuang sampah tidak pada tempatnya membuat pencemaran lingkungan menjadi tidak terhindarkan. Penggunaan barang-barang yang

mengandung logam timbal seperti halnya baterai dan cat rumah menyebabkan meningkatnya kandungan timbal dalam lingkungan. Allah SWT berfirman dalam surat asy-Syu'ara ayat 183.

وَلَا تَبْخَسُوا النَّاسَ أَشْيَاءَهُمْ وَلَا تَعْتُوا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ ۚ ۱۸۳

Artinya:

“Dan janganlah kamu merugikan manusia pada hak-haknya dan janganlah kamu merajalela di muka bumi dengan membuat kerusakan”(Q.S. asy-Syu'ara: 183).

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 pencemaran atau merusak lingkungan. Manusia dan makhluk lain yang tidak melakukan kerusakan menjadi terkena dampaknya akibat ulah yang tidak bertanggungjawab tersebut. Sebagai makhluk Allah SWT manusia harus melakukan hal yang baik dan menahan nafsu untuk melakukan hal-hal yang buruk.

Hasil penelitian terhadap tumbuhan *Hydrilla verticillata* terbukti dapat mengurangi kandungan logam timbal dalam perairan. Variasi konsentrasi pemapar yang digunakan 15, 20, 25, 30, dan 35 mg/L menunjukkan hasil yang bagus, 99% lebih logam timbal yang berada pada air berhasil teremediasi oleh *Hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* pada perairan aslinya dapat berguna untuk mengurangi logam pencemar yang berada di perairan Ranu Grati. Masyarakat dapat memanfaatkannya dengan cara menanam *Hydrilla verticillata* pada bagian pinggir danau, namun berdasarkan hasil survei pada bulan Maret 2019 banyak *Hydrilla verticillata* yang ditebang karena dianggap mengganggu. Nabi Muhammad SAW bersabda dalam hadistnya yang diriwayatkan oleh Abu Daud.

عَنْ عَبْدِ اللَّهِ بْنِ حُبَيْبٍ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ مَنْ قَطَعَ سِدْرَةَ صَوَّبَ اللَّهُ رَأْسَهُ فِي النَّارِ سُئِلَ أَبُو دَاوُدَ عَنْ مَعْنَى هَذَا الْحَدِيثِ فَقَالَ هَذَا الْحَدِيثُ مُخْتَصَرٌ يَعْنِي مَنْ قَطَعَ سِدْرَةَ فِي فَلَاةٍ يَسْتَتِلُ بِهَا ابْنُ السَّبِيلِ وَالْبَهَائِمُ عَبَثًا وَظُلْمًا بَغَيْرِ حَقٍّ يَكُونُ لَهُ فِيهَا صَوَّبَ اللَّهُ رَأْسَهُ فِي النَّارِ

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 hadits ini. Abu Dawud berkata, "Hadits ini singkat. Artinya, barangsiapa yang menebang pohon sidr yang biasa dipakai berteduh musafir atau binatang di padang pasir, tanpa alasan yang jelas atau secara aniaya, Allah akan menundukkan kepalanya di neraka." (HR. Abu Dawud).

Hadist tersebut menjelaskan bahwa secara umum manusia yang merusak pepohonan akan masuk neraka. Hal tersebut merupakan larangan Allah kepada hambanya agar tidak melakukan penebangan terhadap pohon, terlebih utama pohon atau tumbuhan yang memiliki manfaat besar seperti *Hydrilla verticillata*. Ketidaktahuan masyarakat masih menganggap *Hydrilla verticillata* sebagai tumbuhan pengganggu, sehingga banyak ditebang sampai habis. Perlu adanya edukasi terhadap masyarakat sekitar danau Ranu Grati untuk jangan menebang *Hydrilla verticillata* sampai habis, karena dalam jumlah tertentu sangat bermanfaat terhadap ekosistem perairan.

BAB V

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam timbal dalam air menunjukkan bahwa *Hydrilla verticillata* merupakan tumbuhan hiperakumulator terhadap logam timbal. Hal tersebut berdasarkan analisis terhadap parameter nilai BCF yang memiliki nilai >1 dan nilai $TF > 1$, sehingga *Hydrilla verticillata* danau Ranu Grati Pasuruan dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam timbal dalam perairan.
2. Pengaruh variasi konsentrasi timbal pemapar menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi timbal di perairan semakin tinggi pula timbal yang teremediasi oleh *Hydrilla verticillata*. Pada setiap variasi konsentrasi, *Hydrilla verticillata* dapat meremediasi $>90\%$ lebih konsentrasi awal dalam perairan.

4.2 Saran

Analisis kemampuan fitoremediasi terhadap timbal perlu dilakukan dengan variasi waktu yang lebih lama lagi untuk memaksimalkan remediasi. Perlu dilakukan analisis terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* danau Ranu Grati Pasuruan dalam meremediasi logam kadmium, raksa, kromium, dan logam-logam berat lainnya pada konsentrasi yang lebih tinggi. Perlu juga analisa mekanisme lebih lanjut dalam penyerapan logam oleh *Hydrilla verticillata*. Masyarakat juga perlu diedukasi agar tidak berlebihan dalam menebang *Hydrilla verticillata* yang ada di pinggir danau.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 5*. Jakarta: Pustaka Imam asy-Syafi'i.
- Abu Dawud. *Sunan Abu Dawud*. Beirut: Maktabah al-'Isriyah.
- Achmad, Rukaesih. 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: Andi.
- Alaerts, G. 1987. *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Aldabe, J., C. Santamaría, D. Elustondo, E. Lasheras, dan J. M. Santamaria. 2013. Application of Microwave Digestion and ICP-MS to Simultaneous Analysis of Major and Trace Elements in Aerosol Samples Collected on Quartz Filters. *Analytical Methods*. 5: 554-559.
- Alluri, H.K., dkk. 2007. Biosorption: an Eco-Friendly Alternative for Heavy Metal Removal. *African Journal of Biotechnology*. 6(25): 2924-2931.
- Al Qarni, A. 2007. *Tafsir Muyassar*. Jakarta: Qisthi Press.
- Anderson, K. 1999. *Analytical Technique for Inorganic Contaminants*. Gaithersburg: AOAC International.
- Astrini, Yessica. 2014. Analisis Pengaruh Pemberian Logam Berat Pb, Cd, Cu terhadap Pertumbuhan *Melastoma malabathricum* L. *Skripsi*. Depok: Jurusan Biologi Universitas Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 6989.59:2008 tentang Air dan Air Limbah*. Jakarta: BSN.
- Baker A.J.M. dan Brooks R.R. 1989. Terrestrial Higher Plants which Hyperaccumulate Metallic Elements—a Review of their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery* (1): 81–126.
- Basset, J., dkk. 1994. *Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: EGC.
- Bellinger, D.C. 2004. Lead. *Pediatrics*. 113(4): 1016-1022.
- Brent J.A. 2006. Review of: "Medical Toxicology". *Clinical Toxicology*. 44: 355–355.
- Budianto, A. 2017. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea Aquatic Forrsk*) di Sungai Lesti Kabupaten Malang dengan Variasi Metode Destruksi Basah Tertutup menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Malang: Jurusan Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim.

- Caroline, J. dan Moa, G.A. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) menggunakan Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. Makalah disajikan dalam *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan ITATS. 13 Oktober.
- Carvalho, K.M. dan Martin D.F. 2001. Removal of Aqueous Selenium by Four Aquatic Plants. *Journal of Aquatic Plant Management*. (39): 33-36.
- Chasten, T.G. 2000. *Atomic Absorption Spectroscopy*. Texas: Sam Houston State University.
- Cleveland, L.M., Minter, M.L., Cobb, K.A., Scott, A.A., dan German, V.F. 2008. Lead Hazards for Pregnant Women and Children: Part 1: Immigrants and the Poor Shoulder Most of the Burden of Lead Exposure in this Country. Part 1 of a Two-Part Article Details how Exposure Happens, whom it Affects, and the Harm it Can Do. *American Journal of Nursing*. 108(10): 40-49.
- Cobb, C., dan Goldsbrough, P. 2002. Phytochelatins and Metallothioneins: Roles in Heavy Metal Detoxification and Homeostasis. *Annual Review of Plant Biology*. 53: 159-182.
- Cory-Slechta, D.A. 1996. Legacy of Lead Exposure: Consequences for the Central Nervous System. *Otolaryngol Head Neck Surgery*. 114(2): 224-226.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam Edisi I*. Jakarta: UI Press.
- Day dan Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Kesehatan. 2010. *PERMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta: DEPKES RI.
- Departemen Kesehatan. 2001. *Kerangka Acuan Uji Petik Kadar Timbal (Pb) pada Spesimen Darah Kelompok Masyarakat Berisiko Tinggi Pencemaran Timbal*. Jakarta: Ditjen PPM dan PLP Departemen Kesehatan RI.
- 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.
- Donlan, D.L. dan Bauder, J.W. 2006. *a General Essay on Bioremediation Contaminated Soil*. (Online), (<http://waterquality.montana.edu/energy/cbm/lit-reviews/bioremed-soil.html>), diakses tanggal 01 Nopember 2018.
- Enders, A. dan Lehmann, J. 2012. Comparison of Wet-Digestion and Dry-Ashing Methods for Total Elemental Analysis of Biochar. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 43: 1042-1052.

- Fitter, A.H. dan R.K May. 1991. *Fisiologi Lingkungan Tumbuhan*. Terjemahan Sri Andayani dan E.D. Purbayanti. 2012. Yogyakarta: Gajahmada University Press.
- Flora, G., Gupta., dan Tiwari, A. 2012. Toxicity of Lead: a Review with Recent Updates. *Interdiscip Toxicol.* 5(2): 47-58.
- Flora, S.J.S. dan Agrawal S. 2017. Arsenic, Cadmium, and Lead. Dalam R.C. Gupta (Ed.), *Reproductive and Developmental Toxicology 2nd Edition* (hlm. 537-566). Cambridge: Academic Press.
- Gallardo-William, M.T., dkk. 2002. Accumulation and Retention of Lead by Cattail (*Typha domingensis*), Hydrilla (*Hydrilla verticillata*), and Duckweed (*Lemna obscura*). *Journal of Enviromental Science and Health.* 37(8): 1399-1408.
- Gandjar, I.G. dan Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: UGM Press.
- Gupta, M., Rai, U.N., Tripathi, R.D., dan Chandra, P. 1995. Lead Induced Changes in Glutathione and Phytochelatin in *Hydrilla verticillata* (l. f.) Royle. *Chemosphere.* 30(10): 2011-2020.
- Gupta, S., Nayek, S., Saha, R. N., and S. Satpati (2008). Assessment of Heavy Metal Accumulation in Macrophyte, Agricultural Soil and Crop Plants Adjacent to Discharge Zone of Sponge Iron Factory. *Environmental Geology.* 55: 731–739.
- Grant, L.D. 2008. Lead and Coumponds. Dalam Morton Lippmann (Ed.), *Environmental Toxicants* (hlm. 757-809). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- 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 Ecosystems* (hlm. 1-27). Berlin: Spinger-verlag.
- Hadi, Sudharto P. 1998. *Reformasi Pembangunan Lingkungan Hidup*. Semarang: PPLH Undip.
- Hamzah, F. dan Setiawan, A. 2010. Akumulasi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn di Hutan Mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis.* 2(2): 41-52.
- Handoko, P. dan Fajariyanti Y. 2013. Pengaruh Spektrum Cahaya Tampak terhadap Laju Fotosintesis Tumbuhan Air *Hydrilla verticillata*. Makalah disajikan dalam *Seminar Nasional X Pendidikan Biologi FKIP UNS*. Solo: Jurusan Biologi FKIP UNS. 6 Juli.

- Hardiani, H., Kardiansyah, T., dan Sugesty, S. 2011. Bioremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah Terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas Proses *Deinking*. *Jurnal Selulosa*. 1(1): 31-41.
- Hassan, N.A. dan Al-Kubaisi A.A. 2016. Phytoremediation of Lead by *Hydrilla verticellata* Lab. Work. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 5(6): 271-278.
- Indrasti, N.S., Subroto, M.A., dan Gunawan, G.G. 2005. Adsorpsi Logam Berat Seng (Zn) dengan menggunakan Akar Rambut *Solanum nigrum* L Galur A₄ Kering Terimobilisasi dalam Na-alginat. *Journal of Agroindustrial Technology*. 15(1): 1-9.
- Jamaluddin, A. dan Adiantoro, D. 2012. Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF). *Pengelolaan Instalasi Nuklir*. 9-10(5): 19-28.
- Jaswiah, Syarifuddin, S.H., dan Novianti, I. 2016. Fitoremediasi Logam Kadmium pada Asap Rokok menggunakan Tumbuhan Lidah Mertua Jenis *Sansevieria hyacinthoides* dan *Sansevieria trifasciata*. *Chimica et Natura Acta*. 4(2): 88-92.
- Kabata-Pendias, A. 2011. *Trace Elements in Soils and Plants: Third Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Kalia, K. dan Flora, S.J.S. 2005. Strategies for Safe and Effective Therapeutic Measures for Chronic Arsenic and Lead Poisoning. *Journal of Occupational Health*. 47(1): 1-21.
- Kameswaran, S. dan Vatsala, T.M. 2017. Efficacy of Bioaccumulation of Heavy Metals by Aquatic Plant *Hydrilla verticillata* Royle. *International Journal of Science and Research*. 6(9): 535-538.
- Kementerian Kesehatan. 2017. *PERMENKES RI No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*. Jakarta: KEMENKES RI.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik Edisi Kedua*. Jakarta: UI Press.
- Kristianingrum, S. 2012. Kajian Berbagai Proses Destruksi Sampel dan Efeknya. Makalah disajikan dalam *Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*. Jurusan Kimia UNY. 2 Juni.
- Kumar, N., dkk. 2012. Accumulation of Metals in Selected Macrophytes Grown in Mixture of Drain Water and Tannery Effluent and their Phytoremediation Potential. *Journal of Environmental Biology*. 33: 923-927

- LaGrega, M.D., Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans and Environmental Resources Management. 2001. *Hazardous Waste Management. Second Edition*. New York: McGraw Hill International Edition.
- Mangkoedihardjo, S. dan Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Marthana, dkk. 2014. Bioakumulasi Timbal (Pb) oleh *Hydrilla verticillata* L.f Royle di Danau Rawapening, Ambarawa Semarang. *Jurnal Sains dan Matematika*. 22(2): 52-59.
- Masarovicova, E., Kralova, K., dan Kummerova, M. 2010. Principles of Classification of Medicinal Plants as Hyperaccumulators or Excluders. *Acta Physiol Plant*. 32: 823–829
- Matusiewicz, H. 2003. *Wet Digestion Methods. Comprehensive Analytical Luges, Soils, and Oils*. Enviromental Protection Agency U.S.A.
- Mehra, R.K., Kodati, R., dan Abdullah, R. 1995. Chain Length-dependent Pb(II)-Coordination in Phytochelatins. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 215(2): 730-736.
- Mench, M., dkk. 2009. Assessment of Successful Experiments and Limitations of Phytotechnologies: Contaminant Uptake, Detoxification and Sequestration, and Consequences for Food Safety. *Environmental Science and Pollution Research*. 16(7): 876-900.
- Mendez, M.O. dan Maier R.M. 2008. Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments—an Emerging Remediation Technology. *Environmental Health Perspectives*. 116(3): 278–283.
- Mishra, T., dan Pandey, V.C. 2019. Phytoremediation of Red Mud Deposits Through Natural Succession. *Phytomanagement of Polluted Sites*. Springer.
- Moon, D.H., dkk. 2016. Assesment of Soil Washing for Simultaneous Removal of Heavy Metals and Low-Level Petroleum Hydrocarbons using Various Washing Solution. *Enviromental Earth Science*. 75(10): 884
- Morgan, T.J., dkk. 2015. Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis of Biomass (Switchgrass, Corn Stover, Eucalyptus, Beech, and Pine Wood) with a Typical Commercial Multi Element Method on a WD-XRF Spectrometer. *Energy & Fuels*. 1-57.
- Mulyono. 2007. *Kamus Kimia*. Jakarta: Bina Aksara.
- Muthusarayanan, S., dkk. 2018. Phytoremediation of Heavy Metals: Mechanisms, Methods, and Enhancements. *Enviromental Chemistry Letters*.

- Mutmainnah, F., Arinafril, dan Suheryanto. 2015. Fitoremediasi Logam Berat Timbal(Pb) dengan menggunakan *Hydrilla verticillata* dan *Najas indica*. *Jurnal Penelitian Sains*. 17(3): 111-120.
- Muttaqinah, Nurul. 2008. Keanekaragaman dan Kelimpahan Jenis Mikroalga Planktonik di Ranu Grati Kabupaten Pasuruan. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Needleman, H. 2004. Lead Poisoning. *Annual Review of Medicine*. 55: 209-222.
- Nirola, R., dkk. 2015. Evaluation of Metal Uptake Factors of Native Trees Colonizing an Abandoned Copper Mine a Quest for Phytostabilization. *Journal of Sustainable Mining*. 14: 115-123.
- Pal, D.K. dan Nimse S.B. 2006. Screening of the Antioxidant Activity of *Hydrilla verticillata* Plant. *Asian Journal of Chemistry*. 18(4): 3004-3008.
- Patnistik, Egidius. 2010. 400 Anak Tewas karena Timbal. (Online), (<https://megapolitan.kompas.com/read/2010/10/06/09380379/400.anak.tewa.s.karena.keracunan.timbal>), diakses tanggal 20 Oktober 2018.
- Phukan, P., Phukan, R., dan Phukan S.N. 2015. Heavy Metal Uptake Capacity of *Hydrilla verticillata*: a Commonly Available Aquatic Plant. *International Research Journal of Environment Sciences*. 4(3): 35-40.
- Pinto, A.P., de Varennes, A., Fonseca, R., dan Teixeira D.M. 2015. Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals: Techniques and Strategies. Dalam A. A. Ansari, dkk. (Ed.), *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 1* (hlm. 133-155). Switzerland: Springer International Publishing.
- Prasad, M.N.V dan Freitas H.M.O. 2003. Metal Hyperaccumulation in Plants - Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology*. 6(3): 109-145.
- Puspita, U.R., Siregar, A.S., dan Hidayati, N.V. 2011. Kemampuan Tumbuhan Air sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) yang terdapat pada Limbah Cair Industri Batik. *Berkala Perikanan Terubuk*. 39(1): 58-64.
- Qihang, W., Wang, S., Thangavel, P., Qingfei, L., Zheng, H., Jun, B., et al., 2011. Phytostabilization of *Jatropha curcas* L. in polymetallic acid mine tailings. *International Journal of Phytoremediation*. (13) 788804
- Radulescu, C. dkk. 2014. Determination of Heavy Metal Levels in Water and Therapeutic Mud by Atomic Absorption Spectrometry. *Romanian Journal of Physics*. 59(9-10): 1057-1066.

- Raimon. 1993. *Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Kering secara Spektrofotometri Serapan Atom*. Yogyakarta: Santika.
- Ramesh, S., Rajan, R., dan Santhanam, R. 2014. *Freshwater Phytopharmaceutical Coumpounds*. New York: CRC Press.
- Rastogi, S.K. 2008. Renal Effect of Environmental and Occupational Lead Exposure. *Indian Journal of Occupational & Environmental Medicine*. 12(3): 103-106.
- Rodiana, Y., Maulana, H., Masitoh, S., dan Nurhasni. 2013. Pengkajian Metode untuk Analisis Total Logam Berat dalam Sedimen menggunakan *Microwave Digestion*. *Ecolab*. 7(2): 49-108.
- Rodrigo, M.A.M., dkk. 2013. Ion Exchange Chromatography and Mass Spectrometric Methods for Analysis of Cadmium-Phytochelatin(II) Complexes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10: 1304-1311.
- Saleh, H.A., El-Aziz, G.A., El-Fark, M.M., dan El-Gohary, M. 2009. Effect of Maternal Lead Exposure on Craniofacial Ossification in Rat Fetuses and the Role of Antioxidant Therapy. *Anatomia Histologia Embryologia*. 38(5): 392–399.
- Santa Maria, G.E. dan Cogliatti, D.H. 1988. Bidirectional Zn-Fluxes and Compartmentation in Wheat Seedling Roots. *Journal of Plant Physiology*. 132(3): 312-315.
- Santriyana, D.D., Hayati, R., dan Apriani, I. 2013. Eksplorasi Tumbuhan Fitoremediator Aluminium (Al) yang Ditumbuhkan pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 1(1): 1-11.
- Sherameti, I. Dan Varma, A. 2011. *Detoxification of Heavy Metal*. London: Springer.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Vol.8*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shofawie, A.T. 1990. Studi tentang Kemampuan Konsumsi Harian Ikan Koan (*Ctenopharyngodon idella*) terhadap Ganggang (*Hydrilla verticillata*). *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Silalahi, J. 2010. Analisis Kualitas Air dan Hubungannya dengan Keanekaragaman Vegetasi Akuatik di Perairan Balige Danau Toba. *Tesis*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Simunek, J. dan Hopmans, J.W. 2009. Modeling Compensated Root Water and Nutrient Uptake. *Ecological Modelling*. 220(4): 505–521.

- Singh, D., Tiwari, A., dan Gupta, R. 2012. Phytoremediation of Lead From Wastewater using Aquatic Plants. *Journal of Agricultural Technology*. 8(10): 1-11.
- Singh, A., Kumar, C.S., dan Agarwal, A. 2011. Phytotoxicity of Cadmium and Lead in *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. *Journal of Phylology*. 3(8): 1-4.
- Song, Y., dkk. 2018. High-potential Accumulation and Tolerance in the Submerged Hydrophyte *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle for Nickel-contaminated Water. *Ecotoxicology and Enviromental Safety*. 161: 553-562.
- Souri, Z., Karimi, N., dan Sandalio, L.M. 2017. Arsenic Hyperaccumulation Strategies: an Overview. *Frontiers in Cell and Developkental Biology*. 5(67):1-8.
- Stowel, R.R., J.C. Ludwig, and G. Thobanouglos. 2000. *Toward the Rational Design of Aquatic Treatmens of Wastewater*. Department of Civil Engineering and Land, Air, and Wastewater Resources. California: University of California.
- Sudiro. 2013. Kajian Efektifitas Tumbuhan Air *Lemna minor* dan *Hydrilla verticillata* dalam mereduksi BOD dan COD sebagai Upaya Perbaikan Kualitas Limbah Cair Industri Tahu. *Spectra*. 21(9): 53-67.
- Sugiyanto, R.A.N., dkk. 2016. Analisis Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Lamun *Enhalus acoroides* sebagai Agen Fitoremediasi di Pantai Paciran, Lamongan. *Prosiding Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan IV*. Malang: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya.
- Sumardi. 1981. Metode Destruksi Contoh Secara Kering Dalam Analisis Unsur-Unsur Fe-Cu-Mn dan Zn Dalam Contoh-Contoh Biologis. *Proseding Seminar Nasional Metode Analisis*. Jakarta: Lembaga Kimia Nasional LIPI.
- Sumiyati, S., Handayani, D.S., dan Hartanto, W. 2009. Pemanfaatan *Hydrilla* (*Hydrilla verticillata*) untuk Menurunkan Logam Tembaga (Cu) dalam Limbah Elektroplating Studi Kasus: Industri Kerajinan Perak Kelurahan Citran, Kotagede. *Jurnal PRESIPITASI*. 7(2): 23-26.
- Supriyantini, E. dan Soenardjo N. 2015. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Akar dan Buah Mangrove *Avicennia marina* di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*. 18(2): 98-106.
- Supriyanto, C. dan Samin, Z.K. 2007. Analisis Cemaran Logam Berat Pb, Cu, dan Cd pada Ikan Air Tawar Dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). Makalah disajikan dalam *Seminar Nasional III, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan*. Yogyakarta: BATAN.

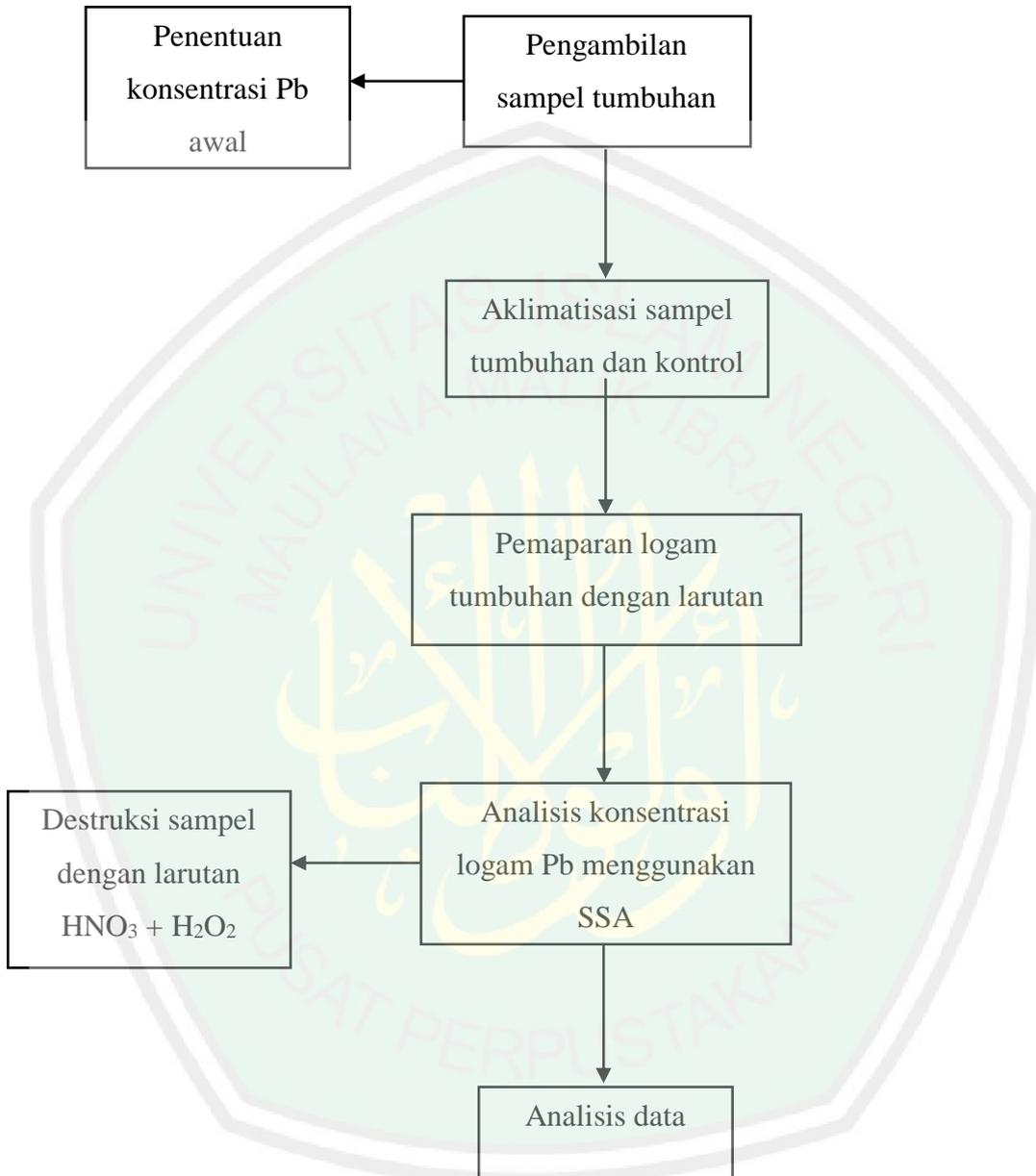
- Suter, G.W., Efroymson, R.A., Sample, B.E., dan Jones, D.S. 2000. *Ecological Risk Assessment for Contaminated Sites*. Boca Raton: CRC/Lewis Press.
- Svehla, G. 1979. *Vogel: Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Terjemahan Setiono dan Hadyana P. 1990. Jakarta: Kalman Media Pusaka.
- Tanor, M. N. 2004. *Hydrilla verticillata* sebagai Sumber Hara pada Sistem Budidaya Kacang Tanah. *Eugenia*. 10(1): 92.
- Trakal, L., dkk. 2015. Phytoextraction of Metals: Modeling Root Metal Uptake and Associated Processes. Dalam A. A. Ansari, dkk. (Ed.), *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 1* (hlm. 69-83). Switzerland: Springer International Publishing.
- Upadhyay, A.R. dan Tripathi, B.D. 2007. Principle and Process of Biofiltration of Cd, Cr, Co, Ni & Pb from Tropical Opencast Coalmine Effluent. *Water Air Soil Pollut.* 180(1-4): 213-223.
- 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): 100-108.
- Usman, K., Al-Ghouti, M.A., dan Abu-Dieyeh, M.H. 2019. The Assesment of Cadmium, Chromium, Copper, and Nickel Tolerance and Bioaccumulation by Shrub Plant *Tetraena qataranse*. *Scientific Reports*. 9(5658): 1-15.
- Yasmin, Z.F., Aisyah, S.I., dan Sukma, D. 2018. Pembibitan (Kultur Jaringan hingga Pembesaran) Anggrek *Phalaenopsis* di Hasanudin Orchids, Jawa Timur. *Buletin Agrohorti*. 6(3): 430-439.
- Youngman, A.L. 1998. Physiological Responses Of Switchgrass (*Panicum Virgatum* L.) To Organic And Inorganic Amended Heavy-Metal Contaminated Chat Tailings. *Journal of Hazardous Substance Research*. 1(7): 1-9.
- Yulaipi S. dan Aunurrohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains dan Seni POMITS*. 2(2): 2337-3520.
- Wahwakhi, S. 2017. Potensi *Acanthus Ilicifolius* sebagai Agen Fitoremediasi dan Fitomining pada Logam Cu di Kelurahan Wonorejo, Kota Surabaya. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Win, D.T., Than, M.M., dan Tun, S. 2003. Lead Removal from Industrial Waters by Water Hyacinth. *Assumption University Journal of Technology*. 6(4): 187-192.

- Wulandari, E. A. dan Sukesi. 2013. Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb, Cd, dan Cu dalam Nugget Ayam Rumput Laut Merah (*Eucheuma cottonii*). *Jurnal Sains dan Seni POMITS*. 2(2): 2337-3520.
- Zayed, A., Gowthaman, S., dan Terry N. 1998. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Enviromental Quality*. 27(3): 715-721.
- Zhang, X., Xia, H., Li, Z., Zhuang,P., dan Gao, B. 2010. Potential Of Four Grasses In Remediation Of Cd and Zn Contaminated Soils. *Bioresource Technology*. 101: 2063-2066.
- Zhao, F.J., Lombi, E., dan McGrath, S. P. 2003. Assessing the Potential for Zinc and Cadmium Phytoremediation with the Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant and Soil*. 240: 37-43.



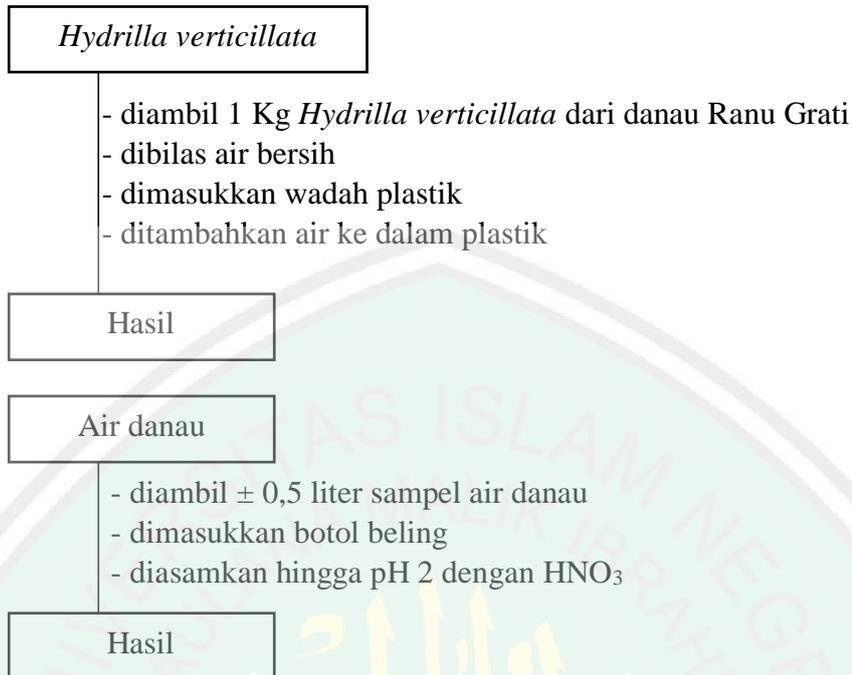
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian



Lampiran 2. Diagram Alir

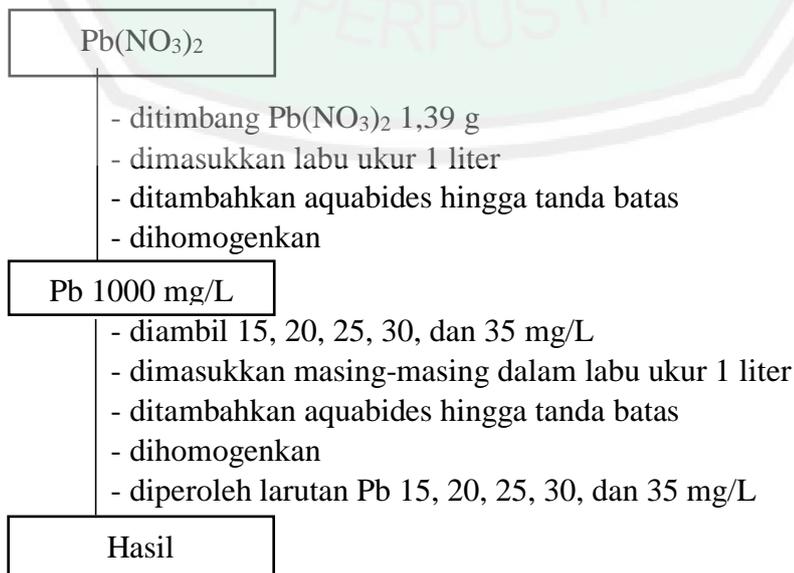
1. Pengambilan Sampel



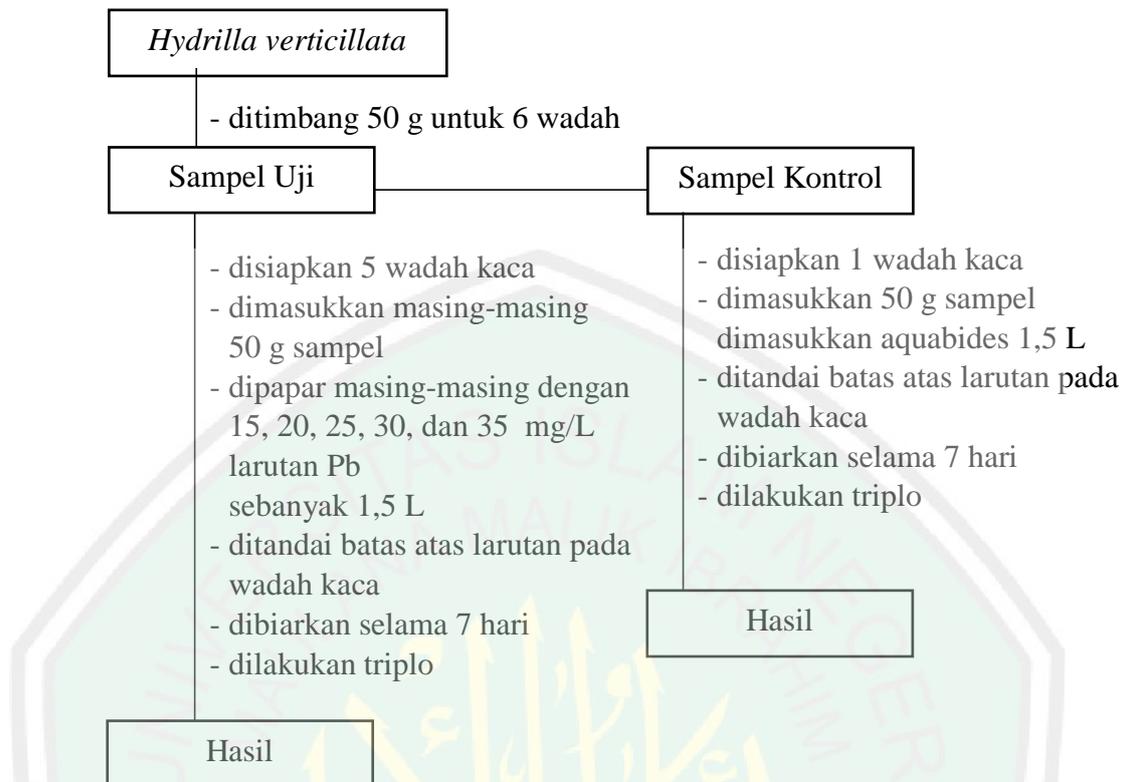
2. Aklimatisasi Sampel



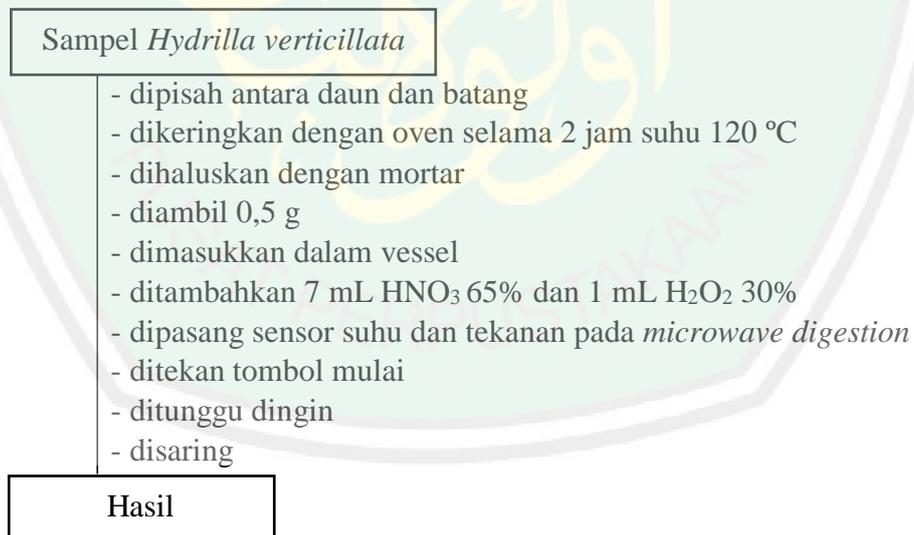
3. Preparasi Larutan Pb untuk Pemaparan



4. Pemaparan Sampel

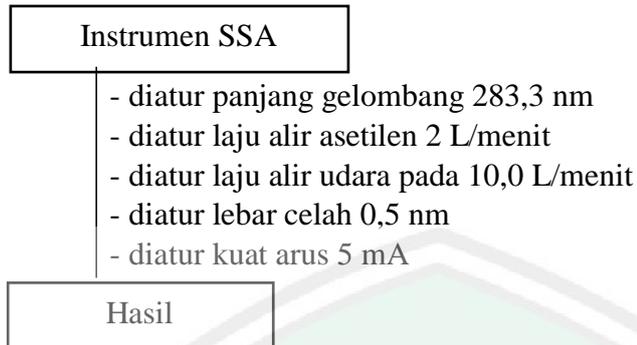


5. Destruksi Sampel

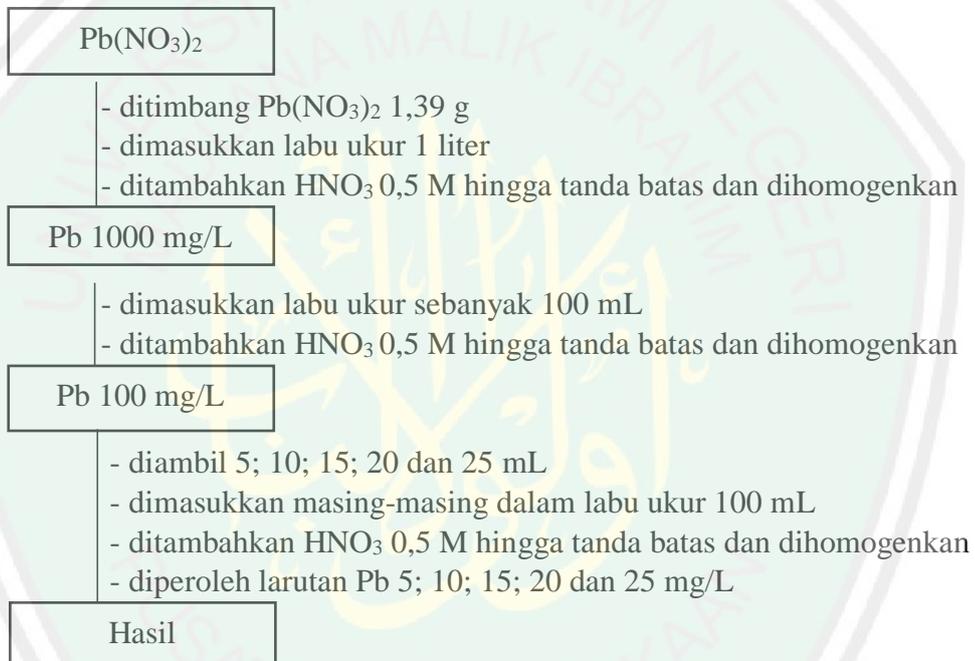


6. Analisis Sampel dengan SSA

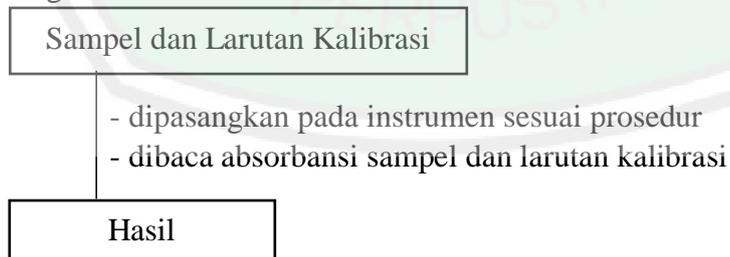
a. Pengaturan Instrumen



b. Pembuatan Larutan Kalibrasi Standar



c. Pengukuran Absorbansi



Lampiran 3. Perhitungan

1. Pembuatan Larutan Pb Pemapar

a. Pembuatan Larutan Pb 1000 mg/L

Larutan stok Pb 1000 mg/L dibuat dengan melarutkan 1,59 g $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ke dalam 1000 mL aquabides.

$$\begin{aligned} \text{Massa Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ dibutuhkan} &= \frac{\text{BM Pb}(\text{NO}_3)_2}{\text{BA Pb}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= \frac{331 \text{ g/mol}}{207 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg} \\ &= 1590 \text{ mg} \\ &= 1,59 \text{ g} \end{aligned}$$

b. Contoh perhitungan pembuatan Larutan Pb 15 mg/L adalah sebagai berikut:

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

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 15 \text{ mg/L} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{15 \text{ mg/L} \times 1000 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 15 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Pb 15 mg/L dibuat dengan dipipet 15 mL larutan Pb stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1000 mL aquabides. Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan pada Tabel L2.1.

Tabel L2.1 Hasil perhitungan volume timbal pemapar

Konsentrasi (g/mL)	Volume Dibutuhkan (mL)
15	15
20	20
25	25
30	30
35	35

2. Pembuatan Larutan HNO₃ 0,5 M

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Pembuatan Larutan Kalibrasi Standar

a. Pembuatan Larutan Stok Pb 1000 mg/L

Larutan stok Pb 1000 mg/L dibuat dengan melarutkan 1,59 g Pb(NO₃)₂ ke dalam 1000 mL HNO₃ 0,5 M.

$$\text{Massa Pb(NO}_3)_2 \text{ dibutuhkan} = \frac{\text{BM Pb(NO}_3)_2}{\text{BA Pb}} \times 1000 \text{ mg}$$

$$= \frac{331 \text{ g/mol}}{207 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg}$$

$$= 1590 \text{ mg}$$

$$= 1,59 \text{ g}$$

b. Pengenceran 1000 mg/L menjadi 100 mg/L

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

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

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

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

Sehingga larutan Pb 100 mg/L dibuat dengan dipipet 10 mL larutan Pb stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 100 mL HNO₃ 0,5 M.

c. Contoh perhitungan pembuatan Larutan 0,5 mg/L sebagai berikut:

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

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

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

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

Sehingga larutan Pb 5 mg/L dibuat dengan dipipet 5 mL larutan Pb stok 100 mg/L kemudian dilarutkan dalam 100 mL HNO₃ 0,5 M. . Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan pada Tabel L2.2.

Tabel L2.2 Hasil perhitungan volume timbal standar

Konsentrasi (g/mL)	Volume Dibutuhkan (mL)
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25

4. Pembuatan Larutan HCl 1 M

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: berat jenis HCl 37\%} &= 1,19 \text{ g/cm}^3 \\ &= 1190 \text{ g/L} \\ \text{Mr HCl} &= 36,5 \text{ g/mol} \\ \text{HCl 37\%} &= \frac{37 \text{ g HCl}}{100 \text{ g larutan}} \\ \frac{1190 \text{ g}}{1 \text{ L}} &= \frac{100 \text{ g}}{V} \\ V &= 0,0840 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ HCl} &= \frac{37 \text{ g}}{36,5 \text{ g/mol}} \\ n \text{ HCl} &= 1,0137 \text{ mol} \\ M \text{ HCl} &= \frac{1,0137 \text{ mol}}{0,0840 \text{ L}} \\ M \text{ HCl} &= 12,0679 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 12,0679 \text{ M} \times V_1 &= 1 \text{ M} \times 500 \text{ mL} \\ V_1 &= \frac{1 \text{ M} \times 500 \text{ mL}}{12,0679 \text{ M}} \\ V_1 &= 41,43 \text{ mL} \end{aligned}$$

Sehingga larutan HCl 1 M dibuat dengan dipipet 41,43 mL HCl 37% kemudian dilarutkan dalam 500 mL aquades.

5. Konsentrasi Timbal pada Air

Contoh perhitungan konsentrasi timbal pada air danau adalah sebagai berikut:

Persamaan regresi linear: $\text{Abs} = 0,02673 \times C - 0,00020$

$$0,0007 = 0,02673 \times C - 0,00020$$

$$0,02673 C = 0,0007 + 0,00020$$

$$0,02673 C = 0,0009$$

$$C = \frac{0,0009}{0,02673}$$

$$C = 0,032 \text{ mg/L}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh konsentrasi timbal pada berbagai titik danau Ranu Grati pada Tabel L2.3.

Tabel L2.3 Hasil perhitungan konsentrasi timbal

Absorbansi	Konsentrasi Timbal (mg/L)
0,0007	0,032
0,0022	0,092
0,0028	0,028

6. Konsentrasi Timbal pada Tumbuhan Awal dan setelah Aklimatisasi

Contoh perhitungan konsentrasi timbal pada tumbuhan sampel adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 [\text{Pb}] \text{ mg/Kg} &= \frac{[\text{Pb instrument}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times V \text{ destruksi (L)} \times \text{FP}}{\text{Berat Sampel Kering (Kg)}} \\
 &= \frac{0,04 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,008 \text{ L} \times 50}{0,0005 \text{ Kg}} \\
 &= 32 \text{ mg/Kg BK}
 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan konsentrasi timbal pada bagian batang dan daun pada Tabel L2.4.

Tabel L2.4 Hasil perhitungan konsentrasi timbal

	Nilai Instrumen (mg/L)		Konsentrasi Sesungguhnya (mg/Kg)	
	Daun	Batang	Daun	Batang
Awal	0,04	0,04	32	32
Aklimatisasi	0,07	0,06	56	48

7. Konsentrasi Timbal pada Tumbuhan

Contoh perhitungan konsentrasi timbal pada tumbuhan sampel adalah sebagai berikut:

$$[\text{Pb}] \text{ mg/Kg} = \frac{[\text{Pb instrument}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times V \text{ destruksi (L)} \times \text{FP}}{\text{Berat Sampel Kering (Kg)}}$$

$$= \frac{0,21 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,008 \text{ L} \times 50}{0,0005 \text{ Kg}}$$

$$= 168 \text{ mg/Kg BK}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan konsentrasi timbal pada bagian batang dan daun pada Tabel L2.5.

Tabel L2.5 Konsentrasi timbal pada tumbuhan sampel

Variasi Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi Pb Instrumen (mg/L)		Konsentrasi Pb (mg/Kg BK)	
	Daun	Batang	Daun	Batang
15	12,10	3,59	9512	2864
20	15,58	4,46	12296	3560
25	17,26	4,74	13640	3784
30	17,67	6,79	13968	5424
35	19,88	7,59	15736	6064

8. Persen Logam Timbal Teremediasi

Contoh perhitungan timbal yang teremediasi oleh *Hydrilla verticillata* sebagai berikut:

$$\% \text{ Teremediasi} = \frac{[\text{Pb}]_{\text{awal}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - [\text{Pb}]_{\text{sisa pada air}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{[\text{Pb}]_{\text{awal}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \times 100 \%$$

$$= \frac{15 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,13 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{15 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100 \%$$

$$= 99,13 \%$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan persen teremediasi yang ditampilkan pada Tabel L2.6.

Tabel L2.6 Persen teremediasi

[Pb] _{awal} (mg/L)	[Pb] _{sisa} (mg/L)			Persen Teremediasi (%)			Rata-rata (%)
	I	II	III	I	II	III	
15	0,13	0,15	0,09	99,13	99,00	99,40	99,18
20	0,17	0,67	0,06	99,15	96,65	99,70	98,50
25	0,21	0,67	0,30	99,16	97,32	98,80	98,43
30	0,30	0,19	0,11	99,00	99,37	99,63	99,33
35	0,25	0,14	0,21	99,29	99,60	99,40	99,43

9. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF)

Contoh perhitungan nilai BCF pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BCF} &= \frac{[\text{Pb}]_{\text{tumbuhan}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{[\text{Pb}]_{\text{awal pada air}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \\ &= \frac{9512 \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{15 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \\ &= 634,13 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh nilai BCF pada masing-masing bagian dari *Hydrilla verticillata* pada Tabel L2.7.

Tabel L2.7 Nilai BCF *Hydrilla verticillata*

Variasi Konsentrasi (mg/L)	[Pb]tumbuhan (mg/Kg)		[Pb]sisa air (mg/L)	BCF	
	Daun	Batang		Daun	Batang
15	9512	2864	0,13	634,13	190,93
20	12296	3560	0,17	614,80	178,00
25	13640	3784	0,21	545,60	151,36
30	13968	5424	0,30	465,60	180,80
35	15736	6064	0,25	449,60	173,26

10. Nilai *Translocation Factor* (TF)

Contoh perhitungan nilai TF dari batang ke daun adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{TF} &= \frac{[\text{Pb}]_{\text{daun}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{[\text{Pb}]_{\text{batang}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)} \\ &= \frac{9512 \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)}{2864 \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)} \\ &= 3,32 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan nilai TF pada Tabel L2.8.

Tabel L2.8 Nilai TF

Variasi Konsentrasi (mg/L)	[Pb] (mg/Kg)		TF
	Daun	Batang	
15	9512	2864	3,32
20	12296	3560	3,45
25	13640	3784	3,60
30	13968	5424	2,58
35	15736	6064	2,59

Lampiran 4. Data Mentah

1. Data SPSS

Descriptives

TimbalTerserap

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					15.00	3		
20.00	3	19.7000	.32512	.18771	18.8924	20.5076	19.33	19.94
25.00	3	24.6067	.24379	.14075	24.0011	25.2123	24.33	24.79
30.00	3	29.8000	.09539	.05508	29.5630	30.0370	29.70	29.89
35.00	3	34.8000	.05568	.03215	34.6617	34.9383	34.75	34.86
Total	15	24.7567	7.31382	1.88842	20.7064	28.8069	14.85	34.86

ANOVA

TimbalTerserap

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	748.532	4	187.133	5248.679	.000
Within Groups	.357	10	.036		
Total	748.888	14			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: TimbalTerserap

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	15.00	20.00	-4.82333*	.15417	.000	-5.3307	-4.3159
		25.00	-9.73000*	.15417	.000	-10.2374	-9.2226
		30.00	-14.92333*	.15417	.000	-15.4307	-14.4159
		35.00	-19.92333*	.15417	.000	-20.4307	-19.4159
	20.00	15.00	4.82333*	.15417	.000	4.3159	5.3307
		25.00	-4.90667*	.15417	.000	-5.4141	-4.3993
		30.00	-10.10000*	.15417	.000	-10.6074	-9.5926
		35.00	-15.10000*	.15417	.000	-15.6074	-14.5926
	25.00	15.00	9.73000*	.15417	.000	9.2226	10.2374
		20.00	4.90667*	.15417	.000	4.3993	5.4141

		30.00	-5.19333*	.15417	.000	-5.7007	-4.6859
		35.00	-10.19333*	.15417	.000	-10.7007	-9.6859
	30.00	15.00	14.92333*	.15417	.000	14.4159	15.4307
		20.00	10.10000*	.15417	.000	9.5926	10.6074
		25.00	5.19333*	.15417	.000	4.6859	5.7007
		35.00	-5.00000*	.15417	.000	-5.5074	-4.4926
	35.00	15.00	19.92333*	.15417	.000	19.4159	20.4307
		20.00	15.10000*	.15417	.000	14.5926	15.6074
		25.00	10.19333*	.15417	.000	9.6859	10.7007
		30.00	5.00000*	.15417	.000	4.4926	5.5074
LSD	15.00	20.00	-4.82333*	.15417	.000	-5.1668	-4.4798
		25.00	-9.73000*	.15417	.000	-10.0735	-9.3865
		30.00	-14.92333*	.15417	.000	-15.2668	-14.5798
		35.00	-19.92333*	.15417	.000	-20.2668	-19.5798
	20.00	15.00	4.82333*	.15417	.000	4.4798	5.1668
		25.00	-4.90667*	.15417	.000	-5.2502	-4.5632
		30.00	-10.10000*	.15417	.000	-10.4435	-9.7565
		35.00	-15.10000*	.15417	.000	-15.4435	-14.7565
	25.00	15.00	9.73000*	.15417	.000	9.3865	10.0735
		20.00	4.90667*	.15417	.000	4.5632	5.2502
		30.00	-5.19333*	.15417	.000	-5.5368	-4.8498
		35.00	-10.19333*	.15417	.000	-10.5368	-9.8498
	30.00	15.00	14.92333*	.15417	.000	14.5798	15.2668
		20.00	10.10000*	.15417	.000	9.7565	10.4435
		25.00	5.19333*	.15417	.000	4.8498	5.5368
		35.00	-5.00000*	.15417	.000	-5.3435	-4.6565
	35.00	15.00	19.92333*	.15417	.000	19.5798	20.2668
		20.00	15.10000*	.15417	.000	14.7565	15.4435
		25.00	10.19333*	.15417	.000	9.8498	10.5368
		30.00	5.00000*	.15417	.000	4.6565	5.3435

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

TimbalTerserap

		Subset for alpha = 0.05					
	VariasiTimbal	N	1	2	3	4	5
Tukey HSD ^a	15.00	3	14.8767				
	20.00	3		19.7000			
	25.00	3			24.6067		
	30.00	3				29.8000	
	35.00	3					34.8000
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

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



Lampiran 5. Dokumentasi



Gambar L5.1 Pengambilan sampel



Gambar L5.2 Proses aklimatisasi



Gambar L5.3 Proses pemaparan



Gambar L5.4 Setelah 7 hari



Gambar L5.5 Hasil oven



Gambar L5.6 Hasil pemisahan



Gambar L5.7 *Microwave Digestion*



Gambar L5.8 Proses destruksi



Gambar L5.9 Hasil destruksi



Gambar L5.10 Larutan kalibrasi



Gambar L5.11 Proses SSA



