

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT Pb dan Fe PADA LIMBAH  
LABORATORIUM KIMIA UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA  
MALIK IBRAHIM MALANG MENGGUNAKAN *Hydrilla verticillata* DARI  
DANAU RANU GRATI PASURUAN**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**MAGHFIROTUL AULIA**  
NIM. 15630115



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

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT Pb dan Fe PADA LIMBAH  
LABORATORIUM KIMIA UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA  
MALIK IBRAHIM MALANG MENGGUNAKAN *Hydrilla verticillata* DARI  
DANAU RANU GRATI PASURUAN**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**MAGHFIROTUL AULIA**  
NIM. 15630115

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

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

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT Pb dan Fe PADA LIMBAH  
LABORATORIUM KIMIA UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA  
MALIK IBRAHIM MALANG MENGGUNAKAN *Hydrilla verticillata* DARI  
DANAU RANU GRATI PASURUAN**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**MAGHFIROTUL AULIA**  
NIM. 15630115

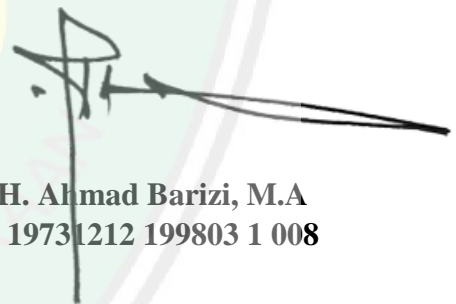
Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diuji:  
Tanggal: 17 Desember 2020

**Pembimbing I**



**Rif'atul Mahmudah, M.Si**  
NIDT. 19830125 20160801 2 068

**Pembimbing II**



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

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan**



**Elok Kamilah Hayati M.Si**  
NIP. 19790620 200604 2 00

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT Pb dan Fe PADA LIMBAH  
LABORATORIUM KIMIA UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA  
MALIK IBRAHIM MALANG MENGGUNAKAN *Hydrilla verticillata* DARI  
DANAU RANU GRATI PASURUAN**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**MAGHFIROTUL AULIA**  
NIM. 15630115

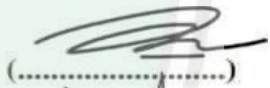
Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S. Si)  
Tanggal: 24 Desember 2020


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


**Ketua Penguji** : Suci Amalia, M. Sc  
NIP. 19821104 200901 2 007

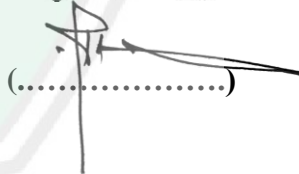
**Sekretaris Penguji** : Rif'atul Mahmudah, M. Si  
NIDT. 19830125 20160801 2 068

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

  
(.....)

  
(.....)

  
(.....)

  
(.....)

**Mengesahkan,  
Ketua Jurusan**

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

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Maghfirotul Aulia  
NIM : 15630115  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Fitoremediasi Logam Berat Pb dan Fe pada Limbah Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Menggunakan *Hydrilla verticillata* dari Danau Ranu Grati Pasuruan

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

Malang, 20 Desember 2020  
Yang membuat pernyataan



Maghfirotul Aulia  
NIM. 15630115

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan banyak kesempatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Fitoremediasi Logam Berat Pb Dan Fe Pada Limbah Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Menggunakan *Hydrilla Verticillata* Dari Danau Ranu Grati Pasuruan**”. Oleh karena-Nya, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih antara lain kepada :

1. Ayah, Ibu dan Adik tercinta yang telah dan akan tetap memberikan banyak nasihat, doa, dan dukungan baik moril maupun materil yang tak mungkin terbalaskan beserta keluarga besar penyusun.
2. Prof. Dr. Abdul Haris. M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Sri Hartini. M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Ibu Rif’atul Mahmudah, M.Si selaku dosen pembimbing atas waktu, tenaga, dan pikirannya untuk membimbing dan memberikan arahan selama penelitian dan penulisan skripsi.
6. Ibu Suci Amalia, M.Sc selaku dosen konsultan atas waktu, tenaga, dan pikirannya untuk membimbing dan memberikan arahan selama penelitian dan penulisan skripsi.
7. Dr. H. Ahmad Barizi, M.A selaku dosen pembimbing agama atas waktu, tenaga, dan pikirannya untuk membimbing dan memberikan arahan selama penelitian dan penulisan skripsi.
8. Seluruh dosen serta laboran Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu, pengetahuan, pengalaman, wacana, dan wawasannya sebagai pedoman dan bekal bagi penyusun.

9. Teman-teman Kimia C yang telah menemani selama proses belajar, memberikan motivasi, dukungan selama suka dan duka pada penulis selama proses pembelajaran.
10. Teman-teman tim penelitian analitik (khususnya tim *Hydrilla verticillata*) yang telah meluangkan waktu untuk membantu mendukung, dan menemani selama proses penelitian.
11. Sahabat-sahabat penulis khususnya Sonia, Isma, Anggra, Naras, dan Devi yang senantiasa memberi masukan yang baik dan menemani dalam suka serta duka.
12. Kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah ikut memberikan bantuan dan motivasi selama penyusunan laporan skripsi.

Penyusunan Laporan proposal penelitian ini disusun dengan sebaik-baiknya, namun masih terdapat kekurangan di dalam penyusunan skripsi ini, oleh karena itu saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak sangat diharapkan, tidak lupa harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta dapat menambah ilmu pengetahuan bagi kami.

Malang, 13 Desember 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>مستخلص البحث</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Batasan Masalah .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Manfaat <i>Hydrilla verticillata</i> dalam Perspektif Islam .....	7
2.2 Tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> .....	8
2.3 Logam Timbal (Pb).....	11
2.4 Logam Besi (Fe) .....	13
2.5 Toksisitas Logam Pb dan Fe .....	14
2.6 Limbah Laboratorium UIN Malang.....	15
2.6.1 BOD ( <i>Biochemical Oxygen Demand</i> ) .....	17
2.6.2 COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) .....	19
2.6.3 Derajat Keasaman (pH) .....	20
2.7 Fitoremediasi .....	20
2.8 Perlakuan Fitoremediasi.....	25
2.9 Pengaruh Konsentrasi terhadap Kemampuan <i>Hydrilla verticillata</i> dalam Meremediasi Logam Pb dan Fe.....	26
2.10 Aklimatisasi <i>Hydrilla verticillata</i> .....	27
2.11 Destruksi Sampel .....	28
2.12 Analisis Kadar Timbal (Pb) dan Fe Secara Atomic Absorption Spechtrophotometry (AAS) .....	28
2.13 Analisis Data .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>32</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	32
3.2 Alat dan Bahan .....	32
3.2.1 Alat.....	32
3.2.2 Bahan .....	32
3.3 Rancangan Penelitian .....	33
3.4 Tahapan Penelitian .....	34
3.5 Metode Penelitian .....	35



3.5.1 Pengambilan Limbah Laboratorium Kimia UIN Malang dan Preparasi Sampel Tumbuhan .....	35
3.5.2 Aklimatisasi Sampel Tumbuhan .....	36
3.5.3 Analisis Parameter Kadar BOD, COD dan pH pada Limbah Cair Laboratorium.....	36
3.5.3.1 BOD ( <i>Biochemical Oxygen Demand</i> ).....	36
3.5.3.2 COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) .....	36
3.5.3.3 Kadar pH.....	37
3.5.4 Preparasi Sampel Limbah Laboratorium Logam Berat Menggunakan NaOH untuk Aplikasi <i>Hydrilla verticillata</i> .....	37
3.5.5 Pemaparan Sampel Limbah Laboratorium dengan Tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> .....	38
3.5.6 Analisis Kadar Logam Pb dan Fe pada <i>Hydrilla verticillata</i> .....	39
3.5.7 Penentuan BCF dan TF .....	39
3.5.8 Analisis Data.....	40
3.5.8.1 Pembuatan Kurva Standart Timbal (Pb) .....	40
3.5.8.2 Pembuatan Kurva Standart Besi (Fe).....	40
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
4.1 Pengambilan Sampel Limbah Laboratorium dan Preparasi Sampel Tumbuhan .....	42
4.2 Aklimatisasi Sampel <i>Hydrilla verticillata</i> .....	43
4.3 Penentuan kadar BOD, COD dan Ph limbah laboratorium .....	44
4.3.1 BOD ( <i>Biologycal Oxygen Demand</i> ) .....	44
4.3.2 COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) .....	45
4.3.3 pH.....	46
4.4 Pemaparan Sampel Limbah Laboratorium dengan <i>Hydrilla verticillata</i> .....	47
4.4.1 Pembuatan Kurva Standar Logam Pb dan Fe .....	49
4.4.2 Analisis Kadar Pb dan Fe pada Air Limbah .....	50
4.5 Analisis Kadar Logam Pb dan Fe pada <i>Hydrilla verticillata</i> .....	55
4.6 Penentuan <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) .....	58
4.7 Penentuan <i>Translocation Factor</i> (TF) .....	60
4.8 Mekanisme Penyerapan Logam Pb dan Fe oleh <i>Hydrilla verticillata</i> ...	61
4.9 Pemanfaatan <i>Hydrilla verticillata</i> dalam Perspektif Islam.....	63
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>67</b>
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>68</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>76</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> .....	10
Gambar 2.2	Skema penyerapan logam oleh tumbuhan .....	22
Gambar 2.3	Reaksi antara fitokelatin dan logam Pb.....	24
Gambar 4.1	Hasil pengambilan tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> dalam wadah plastik. ....	42
Gambar 4.2	Proses pemaparan (A) menggunakan aerator dan (B) tanpa aerator	48
Gambar 4.3	Proses pemaparan hari ke-0, 5 dan 15.....	49
Gambar 4.4	Kurva Standar Logam (A) Timbal dan (B) Besi.....	50
Gambar 4.5	Hasil kadar logam timbal dalam limbah laboratorium.....	51
Gambar 4.6	Hasil Kadar logam besi dalam limbah laboratorium.....	51
Gambar 4.7	Hasil destruksi pada daun (A) menggunakan aerator dan (B) tidak menggunakan aerator.....	56
Gambar 4.8	Hasil nilai BCF pada logam Pb.....	59
Gambar 4.9	Hasil nilai BCF pada logam Fe. ....	59
Gambar 4.10	Nilai TF pada variasi waktu pemaparan logam timbal. ....	60
Gambar 4.11	Nilai TF pada variasi waktu pemaparan logam besi .....	61
Gambar 4.12	Pembentukan kompleks fitokelatin-logam timbal (Pb).....	62

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian. ....	76
Lampiran 2. Diagram Alir.....	77
Lampiran 3. Perhitungan.....	81
Lampiran 4. Data Mentah .....	91
Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....	96



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sumber limbah logam berat pb dan fe dalam praktikum.....	9
Tabel 2.2	Jenis-jenis transporter pada tumbuhan beserta fungsinya.....	24
Tabel 4.1	Hasil analisa BOD sebelum dan sesudah pemaparan hari ke-5.....	44
Tabel 4.2	Hasil analisa COD sebelum dan sesudah pemaparan hari ke-5.....	45
Tabel 4.3	Perbandingan nilai pH awal dan setelah penambahan NaOH .....	46
Tabel 4.4	Nilai uji pH pada hasil pemaparan.....	47
Tabel 4.5	Pengamatan fisik proses waktu pemaparan .....	49
Tabel 4.6	Hasil uji F dan nilai probabilitas pada logam Pb .....	52
Tabel 4.7	Hasil uji F dan nilai probabilitas pada logam Fe .....	53
Tabel 4.8	Hasil uji BNT pada logam Pb dan Fe .....	54
Tabel 4.9	Waktu pemaparan logam Pb dalam tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> ...	57
Tabel 4.10	Waktu pemaparan logam Fe dalam tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> ...	57



## ABSTRAK

Aulia, M. 2020. **Fitoremediasi Logam Berat Pb Dan Fe Pada Limbah Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Menggunakan *Hydrilla verticillata* dari Danau Ranu Grati Pasuruan. Skripsi.** Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I; Rif'atul Mahmudah, M.Si; Pembimbing II; Dr. H. Ahmad Barizi, M.A; Konsultan; Suci Amalia, M.Sc.

**Kata Kunci:** *Hydrilla verticillata*, fitoremediasi, limbah logam laboratorium, logam Pb dan Fe

Penggunaan logam berat semakin meningkat seiring dengan meningkatnya penambangan dan peleburan dari berbagai industri. Fitoremediasi merupakan suatu sistem yang melibatkan penggunaan tanaman untuk membersihkan atau menstabilkan lingkungan yang terkontaminasi logam berat. *Hydrilla verticillata* merupakan kelompok tumbuhan air yang telah diketahui mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat. Daerah perairan yang masih terdapat banyak tumbuhan *Hydrilla verticillata* adalah Danau Ranu Grati Kabupaten Pasuruan Jawa Timur.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam Pb dan Fe dengan variasi waktu pemaparan pada hari ke 5, 10, dan 15. *Hydrilla verticillata* sebelum dipaparkan, perlu dilakukan aklimatisasi. Setelah proses pemaparan limbah logam, *Hydrilla verticillata* didestruksi dengan metode destruksi basah. Analisis kandungan logam Pb dan Fe pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* dilakukan menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

Hasil yang didapatkan yakni kadar penyerapan oleh *Hydrilla verticillata* paling besar pada hari ke-15 terhadap logam Pb yakni sebesar 1,8714 mg/L pada daun dan 1,1608 mg/L pada batang baik menggunakan aerator maupun tanpa aerator. Sedangkan dalam logam Fe, waktu pemaparan *Hydrilla verticillata* dengan kadar penyerapan yang paling besar diperoleh pada hari ke-10 yakni sebesar 2,2684 mg/L pada daun dan 1,5490 pada batang menggunakan aerator dan tanpa aerator secara berturut-turut. *Hydrilla verticillata* bersifat hiperakumulator terhadap logam Pb dan Fe karena memiliki nilai BCF dan TF > 1.

## ABSTRACT

Aulia M. 2019. **Phytoremediation of Pb and Fe Heavy Metals in Chemical Laboratory Waste in State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang Using *Hydrilla verticillata* from Lake Ranu Grati Pasuruan.** Department of Chemistry. **Thesis.** Faculty of Science and Technology, The State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Rif'atul Mahmudah, M.Si; Supervisor II: Dr. H. Ahmad Barizi MA; Consultant; Suci Amalia, M.Sc.

**Keywords :** *Hydrilla verticillata*, phytoremediation, Pb and Fe metal, laboratory metal waste

---

The use of heavy metals is increasing along with increased mining and fusion from various industries. Phytoremediation is a system that involves plants to clean or stabilize heavy metal contaminated in environments. *Hydrilla verticillata* is a group of aquatic plants that have been known to have the ability to accumulate heavy metals. Water areas that still have a lot of *Hydrilla verticillata* plants are Ranu Grati Lake, Pasuruan Regency, East Java.

This research aim to examine the ability of *Hydrilla verticillata* in remediating Pb and Fe metals with various of exposure time on 5; 10; and 15 days. *Hydrilla verticillata* need to acclimatized before its exposed on metal waste. *Hydrilla verticillata* was destructed by wet destruction method. Analysis of Pb and Fe in *Hydrilla verticillata* plants was carried out using the Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) instrument.

The results obtained the content of absorption by *Hydrilla verticillata* was the greatest on the 15<sup>th</sup> day for Pb metal, which was 1.8714 mg/L on leaves and 1.1608 mg/L on stems using an aerator or without an aerator. Whereas in Fe metal, the exposure time of *Hydrilla verticillata* with the greatest absorption concentration was obtained on the 10<sup>th</sup> day, namely 2.2684 mg/L on leaves and 1.5490 on stems using aerators and without an aerator respectively. *Hydrilla verticillata* is hyperaccumulator to Pb and Fe metals because it has BCF and TF value > 1.

## مستخلص البحث

عوليا، م . 2020. المعالجة النباتية الحديد ثقيل *Pb* و *Fe* في نفايات معمل الكيمياء بجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج باستخدام *Hydrilla verticillata* من بحيرة رانو غراتي باسوروان. تقرير البحث. قسم الكيمياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفة الأولى: رفعة المحمودة ، الماجستير. المشرف الثاني: د. هـ. أحمد بريزي ، الماجستير : الماجستير . المستشار : سوجس عمليا . الماجستير.

**الكلمات المفتاحية:** *Hydrilla verticillata* ، المعالجة النباتية ، نفايات الحديد المعمل ، الحديد

*Fe* و *Pb*

يتزايد استخدام الحديد ثقيل مع زيادة التعدين والصهر من مختلف الصناعات. المعالجة النباتية هي نظام يتضمن استخدام النباتات لتنظيف أو تثبيت بيئة ملوثة بالحديد الثقيل. *Hydrilla verticillata* هي مجموعة من النباتات المائية المعروفة بقدرتها على تراكم الحديد الثقيل. المنطقة المائية التي تحتوي على الكثير من *Hydrilla verticillata* هي بحيرة رانو غراتي ، باسوروان ، جوى الشرقية.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم قدرة *Hydrilla verticillata* على معالجة الحديد *Pb* و *Fe* مع اختلافات في وقت التعرض في الأيام 5 و 10 و 15. قبل التعرض ، يكون التأقلم ضرورياً. بعد عملية التعرض للنفايات المعدنية ، تم هضم *Hydrilla verticillata* بطريقة الهضم الرطب. تم إجراء تحليل لمحتوى الحديد *Pb* و *Fe* في نباتات *Hydrilla verticillata* باستخدام أدوات مطيافية الامتصاص الذري (AAS).

كانت النتائج التي تم الحصول عليها أن تركيز الامتصاص بواسطة *Hydrilla verticillata* كان أعلى في يوم خمسة عشر الحديد *Pb* ، حيث كان 1.8714 مجم / لتر على الأوراق 1.1608 مجم / لتر على السيقان باستخدام مهوية (*Aerator*) أو بدون مهوية. بينما في الحديد *Fe* ، تم الحصول على وقت تعرض *Hydrilla verticillata* مع أعلى تركيز امتصاص في اليوم العاشر ، وهو 2.2684 مجم / لتر على الأوراق و 1.5490 على السيقان باستخدام مهوية أو بدون مهوية على التوالي. *Hydrilla verticillata* عبارة عن تراكم مفرط علي الحديد *Pb* و *Fe* لأنه يحتوي على قيم BCF و  $TF < 1$ .

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Logam berat dalam limbah industri merupakan zat pencemar lingkungan yang harus diuraikan. Salah satu usaha yang dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan cara fitoremediasi (pemanfaatan tumbuhan untuk menyerap logam dalam medium cair). Penelitian fitoremediasi sudah cukup banyak dilakukan di Indonesia untuk menurunkan konsentrasi senyawa logam berat, terutama logam timbal (Pb) dan besi (Fe) yang terkandung di dalam perairan. Daerah perairan ini didalamnya banyak digunakan sebagai tempat berkembangbiaknya makhluk hidup, salah satunya yaitu tumbuhan air *Hydrilla verticillata*. Tumbuhan ini banyak tumbuh di beberapa daerah perairan seperti danau, yang masih terdapat banyak tumbuhan *Hydrilla verticillata* adalah Danau Ranu Grati Kabupaten Pasuruan Jawa Timur.

*Hydrilla verticillata* sebagai tumbuhan air mempunyai peran yang relatif penting bagi komponen biotik, seperti untuk tempat berlindung bagi ikan-ikan dewasa. Akan tetapi, apabila jumlah *Hydrilla verticillata* terlalu banyak dapat menghambat saluran irigasi, memperlambat pengendalian banjir kanal, menciptakan air tergenang yang menjadi tempat berkembang biak nyamuk. Selain itu, hal ini dapat menyebabkan pengurangan daya tampung air pada danau tersebut, menghambat penetrasi cahaya matahari, dan mengganggu aktivitas penangkapan ikan (Suryandari, 2009).



Islam mengajarkan bahwa sesuatu yang diciptakan Allah tidaklah sia-sia. Allah SWT menciptakan alam beserta isinya seperti tumbuhan dan hewan dengan hikmah yang sangat besar atas segala karunia-Nya. Allah SWT menciptakan bermacam-macam tumbuhan untuk dimanfaatkan oleh manusia Allah SWT berfirman dalam QS. Thaha : 53, yaitu:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَسَوَّاهَا لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ أَزْوَاجًا  
مِنْ نَبَاتٍ شَتَّى

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

Ayat di atas menjelaskan bahwa dengan terbentangnya hamparan luas dibumi memudahkan manusia untuk memenuhi kebutuhannya. Air hujan diturunkan oleh Allah SWT sehingga tumbuhan dapat tumbuh, berkembang dan memberikan manfaat kepada makhluk hidup. Menurut Shihab (2002) dalam tafsir Al-Misbah beragam jenis tumbuhan dengan aneka variasi penciptaan yang luar biasa merupakan bentuk pembuktian keagungan atas kekuasaan-Nya. Allah SWT menciptakan bermacam-macam jenis tumbuhan adalah untuk kemaslahatan umat manusia, diantaranya sebagai sumber kebutuhan hidup manusia yang memberikan manfaat. *Hydrilla verticillata* merupakan salah satu tumbuhan yang diciptakan-Nya dan memberikan manfaat sebagai fitoremediasi untuk menyerap logam berat pada limbah laboratorium.

Laboratorium merupakan salah satu penghasil limbah padatan, gas (uap) dan cairan. Kandungan bahan pencemaran dari aktivitas laboratorium ini sangat bervariasi. Selain itu terdapat pula yang mengandung bahan buangan berbahaya, meskipun kuantitas dan frekuensi dari limbah laboratorium itu kecil. Salah satunya

adalah laboratorium kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang menghasilkan limbah berupa cairan  $\pm 120$  L setiap tahunnya. Hal ini dilihat dari aktivitas keseharian mahasiswa kimia. Berdasarkan aktivitas tersebut yang menyumbang limbah logam berat Pb dan Fe diperoleh pada praktikum kimia lingkungan, kimia anorganik I, kimia instrumen, biokimia I, dan penelitian mahasiswa kimia.

Logam Pb dan Fe merupakan salah satu limbah logam berat yang dihasilkan di Laboratorium Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Logam Pb dan Fe termasuk logam yang bersifat toksik yang dapat membahayakan lingkungan dan memiliki resiko tinggi jika tercemar logam tersebut serta tidak dilakukan pengolahan limbah terlebih dahulu. Keputusan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair maksimum bagi industri atau kegiatan usaha lainnya sebesar 1 mg/L. Kadar maksimum timbal (Pb) yang diperkenankan pada air adalah 0,005 mg/L (Depkes, 2002). Dampak akumulasi timbal (Pb) dalam tubuh manusia yaitu pada anak mengakibatkan gangguan pada fase awal pertumbuhan fisik dan mental pada fungsi kecerdasan (Nuraini, 2015).

Salah satu cara mengatasi masalah logam berat yaitu menggunakan tumbuhan *Hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* merupakan kelompok tumbuhan air yang telah diketahui mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat. *Hydrilla verticillata* merupakan tumbuhan air yang hidup di kolam maupun danau yang airnya relatif jernih atau tidak keruh (Handoko, 2008). Tumbuhan air dapat menurunkan kadar pencemar secara langsung yaitu dengan menyerap unsur-unsur pencemar sebagai sumber nutrisi atau secara tidak langsung dengan cara menyediakan tempat tumbuh bagi mikroorganisme yang akan mengurai bahan

pencemar serta memasok oksigen untuk proses penguraian yang bersifat aerobik. Logam berat yang bersifat toksik akan terikat pada biosolid, baik akar tumbuhan atau mikroba. Pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* didalamnya mengandung fitoklelatin. Fitoklelatin merupakan senyawa yang mengandung zat kelat berupa protein yang membantu adsorben logam. (Rodrigo, dkk., 2013).

Penelitian yang sudah dilakukan oleh Soeprbowati (2011) menunjukkan bahwa wilayah Asinan dan wilayah Dangkel yang merupakan satu wilayah Danau Rawapening, memiliki kandungan timbal di dalam air sebesar 0,155 dan 0,315 mg/L. Pada penelitian Mutmainnah dkk. (2015), *Hydrilla verticillata* mampu mengakumulasi timbal berkisar 5058,85 – 13194,77 mg/L selama 5 – 20 hari di Danau Ski Air Jakabaring Palembang. Hasil penelitian Birmansyah (2008) menunjukkan bahwa tingginya kandungan  $Pb^{2+}$  di dalam sedimen sungai Musi sebesar 1,0191– 1,2442  $\mu\text{g/g}$ . Konsentrasi dari logam Pb yang mencapai 188 mg/L dapat membunuh ikan, dan jika logam Pb terlarut terjadi pada konsentrasi 2,75 – 49 mg/L dan terpapar selama 245 jam.

Selain itu, pada penelitian yang telah dilakukan oleh Maiti & Shishir (2008) menyatakan akumulasi Pb di dalam tumbuhan air meningkat pada musim hujan. Kadar Pb di dalam tumbuhan masih dalam batas normal sebesar 0,2 – 20 mg/L. Dalam hal tersebut, pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* dan *Najas indica* mampu mengakumulasi logam Pb. Malik dan Biswas (2012) menyatakan kemampuan menyerap lebih dari 0,1% Pb dari berat kering pada daun. Sedangkan, menurut Urifah, dkk. (2017) tumbuhan *Hydrilla verticillata* dengan berat 30, 35 dan 40 gram pada hari ke-7 mampu mengadsorpsi logam Pb berturut-turut sebesar 0,37 ; 0,41 dan 0,47 mg/L. Sedangkan dengan berat yang sama pada hari ke-14 mampu

mengadsorpsi logam berturut-turut sebesar 0,41 ; 0,41 dan 0,46 mg/L. Jika semakin banyak *Hydrilla verticillata* maka semakin banyak logam Pb yang teradsorpsi.

Selain itu, logam ini juga terjadi pada konsentrasi Pb yang terlarut sebesar 3,5 – 64 mg/L dan terpapar selama 168 - 336 jam (Juhaeti dkk., 2005). Menurut Yulaipi dkk. (2013), timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dan berbahaya. Logam berat tersebut banyak ditemukan sebagai pencemar dan cenderung mengganggu kelangsungan hidup organisme perairan.

Pengukuran kadar Pb dan Fe oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* terlarut di dalam air dilakukan dengan variasi waktu pada hari ke-5, 10, dan 15. Tujuan dari variasi ini untuk mengetahui pemaparan logam berat Pb dan Fe oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata*. Prosedur analisis kandungan logam Pb dan Fe pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* dilakukan menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

## 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh waktu pemaparan terhadap kemampuan fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan konsentrasi logam berat Pb dan Fe pada limbah laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh waktu pemaparan terhadap kemampuan fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* dalam

menurunkan konsentrasi logam berat Pb dan Fe pada limbah laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### **1.4 Batasan Masalah**

1. Sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* berasal dari Danau Ranu Grati di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur.
2. Variasi waktu pemaparan logam Pb dan Fe pada *Hydrilla verticillata* adalah 5, 10, dan 15 hari.
3. Karakterisasi sampel dan air menggunakan instrumen AAS.
4. Sampel yang digunakan adalah limbah Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Analisis kadar logam Pb dan Fe menggunakan parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*).
6. Sampel limbah yang digunakan untuk pemaparan yakni sampel limbah yang telah dinetralkan dengan NaOH.

#### **1.5 Manfaat**

1. Mengetahui potensi tumbuhan *Hydrilla verticillata* sebagai fitoremediasi di perairan.
2. Mengetahui mekanisme akumulasi logam berat Pb dan Fe terhadap limbah laboratorium oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata*.
3. Memperluas ilmu pengetahuan dengan salah satu bahan acuan serta sebagai bahan perbandingan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Manfaat *Hydrilla verticillata* dalam Perspektif Islam

Umat Islam sebagai khalifah di Bumi tidak hanya berkewajiban untuk bersujud dan bertawakkal kepada Allah. Namun sebagai makhluk yang berakal juga berkewajiban untuk merenung dan memikirkan berbagai macam ciptaan Allah yang ada di Bumi. Sebagaimana petunjuk Allah dalam kitab Al-qur'an yang telah menjelaskan berbagai macam manfaat dari segala ciptaan-Nya di alam semesta, seperti tumbuhan dengan vitamin yang berfungsi untuk kesehatan tubuh manusia, tumbuhan sebagai agen produksi oksigen, serta tumbuhan sebagai agen fitoremediasi.

Fitoremediasi adalah sistem yang digunakan tumbuhan untuk menyerap logam yang terdapat di lingkungan. Sistem ini banyak digunakan oleh tumbuhan air seperti *Hydrilla verticillata* untuk mengurangi limbah logam di perairan. Hal ini, sebagai mana terdapat dalam firman Allah surat Al-Kahfi ayat 95-96 yang menjelaskan tentang unsur-unsur logam dalam kehidupan sebagai berikut :

قَالَ مَا مَكَّنِّي فِيهِ رَبِّي خَيْرٌ فَأَعِينُونِي بِقُوَّةٍ أَجْعَلْ بَيْنَكُمْ وَبَيْنَهُمْ رَدْمًا ﴿٩٥﴾ أَتُونِي زُبَرَ الْحَدِيدِ  
حَتَّىٰ إِذَا سَاوَىٰ بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ انفخُوا حَتَّىٰ إِذَا جَعَلَهُ نَارًا قَالَ آتُونِي أُفْرِغَ عَلَيْهِ قَطْرًا  
(٩٦)

Artinya: Agar aku dapat membuat dinding penghalang antara kamu dan mereka, berilah aku **potongan-potongan besi!**” Hingga ketika (potongan) besi itu telah (terpasang) sama rata dengan kedua (puncak) gunung itu, dia (Zulkarnain) berkata, “Tiuplah (api itu)! “ Ketika (besi) itu sudah menjadi (merah seperti) api, dia pun berkata, “Berilah aku tembaga (yang mendidih) agar kutuangkan ke atasnya (besi panas itu) (QS. Al-Kahfi: 95-96).

Ayat tersebut dalam Surah Al-Kahfi: 95-96 menjelaskan penggunaan logam besi dan tembaga telah berkembang luas hingga mencapai bidang industri dan kimia, sehingga jumlah limbah logam berat meningkat seperti pada limbah laboratorium. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode pengolahan limbah logam berat besi dan tembaga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Metode tersebut salah satunya adalah pemanfaatan *Hydrilla verticillata* sebagai agen fitoremediasi.

Menurut Ibnu Katsir dalam tafsirnya kata زُبْرَ الْحَدِيدِ (az-Zubar) berarti potongan-potongan besi. Potongan-potongan besi dalam ayat ini menunjukkan bahwa besi tersebut memiliki nilai yang besar setara dengan satu kuintal damaskus atau lebih (Ibnu Katsir, 2016). Namun di sisi lain, banyaknya potongan besi yang terdapat pada limbah perairan yakni limbah laboratorium dapat menimbulkan kerusakan pada lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengurangi dan menghilangkan potongan-potongan besi tersebut.

## 2.2 Tumbuhan *Hydrilla verticillata*

Tumbuhan air merupakan salah satu bagian dari ekosistem perairan yang dimanfaatkan sebagai agen fitoremediasi. Tumbuhan air dapat diklasifikasikan menjadi beberapa golongan, yaitu tumbuhan air terapung (*free floating*), mencuat (*emergent*) dan tenggelam (*submerged*) (Sculthorpe, 1967). Tumbuhan air tenggelam dapat didefinisikan sebagai tumbuhan yang seluruh bagian tubuh serta daunnya tenggelam dan akarnya menancap pada substratnya (Sainty dan Jacobs, 1988). Keberadaan tumbuhan air di perairan terbuka tidak selalu menimbulkan kerugian (Shofawie, 1990).

Salah satu jenis tumbuhan air tenggelam adalah *Hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* adalah tumbuhan air yang merupakan bagian dari ekosistem danau ataupun waduk yang berperan sebagai sumber daya baik langsung maupun tidak langsung (Tanor, 2004). Tumbuhan ini biasanya hidup secara submersum dan sering terdapat pada perairan-perairan tergenang seperti danau atau waduk (Shofawie, 1990). Tumbuhan ini merupakan tumbuhan asli Asia tropis, Australia, Afrika, dan sebagian Eropa (Basiouny dkk., 1978) dan memiliki pertumbuhan yang cepat dan liar (Xu dkk., 2013). Tumbuhan ini memiliki sisi positif sebagai agen bioremediasi (Fuad dkk., 2013; Perwitasari 2015) dan sebagai tumbuhan hias aquarium.

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (Sumber : clarylake.org)

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* memiliki ciri-ciri yaitu, daun berukuran kecil dengan tepi daun bergerigi (*serrate*) dan berbentuk lanset yang tersusun mengelilingi batang (Silalahi, 2010). Daun pada tumbuhan ini tersusun mengelilingi batang sebanyak 4-8 helai sedangkan batang dari tumbuhan ini bercabang dan tumbuh mendatar sebagai stolon yang pada tempat tertentu



membentuk akar serabut. *Hydrilla verticillata* memiliki akar berwarna kekuning-kuningan yang tumbuh di dasar air dengan kedalaman sampai 2 m. Batangnya tumbuh dengan panjang 1 sampai 2 cm dengan 2 hingga 8 helai daun yang tumbuh pada lingkaran batangnya. Tiap-tiap daun memiliki panjang 5 sampai 20 mm dan 0,7 sampai 2 mm lebarnya dengan gerigi atau duri kecil disepanjang ujung daun (Ditomaso dan Healy, 2003).

Perkembangbiakan *Hydrilla verticillata* terjadi dengan pesat dengan adanya stolon. Perbedaan yang paling tampak pada tiga spesies di atas adalah jumlah daun yang mengelilingi batang tiap buku, bentuk tepi daunnya, keberadaan rimpang, dan jumlah petal bunganya (Haramoto dan Ikusima, 1988). Adapun klasifikasi dari tumbuhan *Hydrilla verticillata* sebagai berikut (Ramesh dkk, 2014):

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

Berdasarkan penelitian terdahulu, tumbuhan *Hydrilla verticillata* mempunyai kemampuan menyerap logam Pb sebesar 24.700 mg/L pada konsentrasi 15 mg/L. Tumbuhan ini mampu mengakumulasi logam Pb menggunakan metode fitoremediasi sampai hari ke-20 (Mutmainnah, Arinafril & Suheryanto, 2015). Selain itu, menurut Urifah, dkk. (2017) tumbuhan *Hydrilla verticillata* dengan berat (A) 30; (B) 35 dan (C) 40 gram mampu mengadsorpsi logam Pb masing-masing sebesar 0,41 mg/L pada hari ke-14; 0,41 mg/L pada hari ke-7 dan 0,47 mg/L pada hari ke-7.

### 2.3 Logam Timbal (Pb)

Menurut Yulaipi, dkk. (2013), Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dan berbahaya, banyak ditemukan sebagai pencemar dan cenderung mengganggu kelangsungan hidup organisme perairan. Kadar dan toksisitas timbal dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas dan konsentrasi oksigen. Toksisitas timbal terhadap organisme akuatik berkurang dengan meningkatnya kesadahan dan kadar oksigen terlarut (Effendi, 2003). Timbal biasanya ditemukan di dalam batu-batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Logam ini 95 % bersifat anorganik dan umumnya dalam bentuk garam anorganik yang bersifat kurang larut dalam air (Riwayati & Indah Hartati, 2014).

Timbal atau timah hitam adalah sejenis logam lunak berwarna coklat dengan nomor atom 82, berat atom 207,19, titik leleh 327,5 °C, titik didih 1725 °C dan berat jenis 11,4 gr/mL. Logam ini mudah dimurnikan sehingga banyak digunakan oleh manusia pada berbagai kegiatan misalnya pertambangan, industri dan rumah tangga. Pada pertambangan timbal berbentuk senyawa sulfida (PbS) (Reilly, 1991).

Logam berat timbal termasuk pascaransisi dan juga anggota dari kelompok karbon dengan simbol Pb dan memiliki nomor atom 82 berbentuk logam lembut, stabil, memiliki densitas tinggi, lembut, tahan korosi, memiliki konduktivitas lemah dan paruh waktu sangat lama (stabil) serta terdapat bebas secara alami di Bumi dalam bentuk empat isotop, yaitu  $Pb^{204}$ ,  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$  dan  $Pb^{208}$  serta kemampuan bereaksi (Lide, 2004).

Logam yang sangat beracun ini dapat memengaruhi setiap organ dan sistem dalam tubuh manusia biasa dikenal dengan Timbal. Penyakit anemia dapat berupa

gejala awal dari keracunan kronik karena timbal menghambat sintesa *haemolyph* (Duffus, 1980). Bila keracunan logam timbal disebut *plumbism*, *colica pictorum*, *saturnism*, devon *colic*, atau penyakit mulas pelukis (*painter's colic*) adalah suatu tipe keracunan logam yang berbahaya bagi manusia dan vertebrata. Keracunan logam ini dapat mempengaruhi kinerja dari jantung, tulang, perut, ginjal, sistem reproduksi dan persarafan sentral (Duffus, 1980).

Pada perairan, yang menjadi bioremediator (yang meremediasi) umumnya adalah tumbuhan. Salah satu tumbuhan air yang sering dijumpai adalah *Hydrilla verticillata*. Tumbuhan produktif ini, dalam air dapat tumbuh dengan cepat dan dapat berkembang dalam air dari beberapa sentimeter sampai 20 meter (Rondonuwu, 2014). *Hydrilla verticillata* dapat tumbuh di berbagai habitat, biasanya ditemukan di perairan dangkal dengan kedalaman 0,5 m dan dapat tumbuh di perairan dengan kedalaman lebih dari 10 m. *Hydrilla verticillata* juga dapat tumbuh pada perairan oligotrofik dan eutrofik. Sedimen dengan kandungan organik yang tinggi dapat mempercepat pertumbuhan *Hydrilla verticillata*, meskipun ditemukan juga pada substrat berbatu (Phukan, dkk., 2015).

Kadar Pb maksimum pada tumbuhan tidak diperkenankan melebihi batas. Menurut Heriyanto & Endro (2011), kadar Pb pada tumbuhan yang masih dapat ditolerir adalah sekitar 0,1 – 10 ppm bahan kering. Adapun pada penelitian ini menggunakan kadar Pb sebesar 5 ppm, konsentrasi ini masih dalam rentang ambang batas tersebut.

## 2.4 Logam Besi (Fe)

Fe merupakan salah satu logam yang paling banyak dijumpai di kerak bumi. Kadar besi sekitar 0,5-50 mg/L dalam air tawar alami. Ion Fe di dalam air minum menimbulkan warna (kuning), pengendapan pada dinding-dinding pipa, kekruhan, dan pertumbuhan bakteri besi (Direktorat Penyehatan Air).

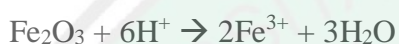
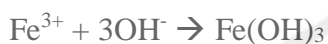
Zat besi yang terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan diabetes, penyumbatan pembuluh jantung, kerusakan hati dan lain-lain. National Academy of Science Recommended Dietary Allowance (Badan Kesehatan di Amerika Serikat) mencatat dibutuhkan besi sekitar 30 mg/hari bagi wanita hamil ataupun menyusui, 15 mg/hari bagi wanita berumur 11-50 tahun. Sementara itu, kebutuhan laki-laki dewasa dan wanita berumur lebih dari 50 tahun adalah 10 mg/hari (Rahmayani, 2009).

Unsur yang memiliki nama lain ferrum ini memiliki warna khas putih keperakan. Besi dapat bersifat tidak larut apabila berupa besi oksida dan besi sulfida, dan sangat mudah larut apabila berupa zat karbonat (Sawyer dkk., 1994). Unsur yang biasa disingkat Fe ini memiliki titik didih sebesar 2750 °C dan titik leleh sebesar 1535 °C. Selain itu, unsur yang berbentuk padatan ini memiliki berat molekul sebesar 55,847 g/mol. Besi ini memiliki densitas sebesar 7,86 pada 20 °C serta dapat larut dalam air.

Secara kimia, unsur besi ini merupakan logam yang cukup aktif. Hal ini dikarenakan besi yang memiliki sifat mudah bereaksi dengan unsur lain (Apriani, 2011). Senyawa ini dalam perairan lingkungan akan menyebabkan bekas karat pada pakaian, porselin, alat-alat rumah tangga dan akan menimbulkan rasa tidak enak pada air minum dengan konsentrasi 0,31 mg/L. Selain itu, pada air tanah dapat

memberikan warna kuning jika jumlah besi pada tanah sangat banyak. Di samping itu, unsur Fe ini dapat membentuk kompleks, bersifat redoks, serta metabolisme oleh mikroorganisme (Rukaesih, 2004).

Besi (III) akan membentuk endapan besi (III) hidroksida dalam suasana basa, reaksi yang terjadi adalah (Vogel, 1979) :



Berdasarkan penelitian yang dilakukan Abida (2010), kandungan logam berat Fe sebelum dilakukan fitoremediasi adalah 0,99 mg/L dan kandungan logam berat Fe sudah tidak ada pada air sampe dihari ke-6. Pada hari ke-3, terjadi penurunan konsentrasi logam berat Fe sebanyak 0,23 mg/L.

## 2.5 Toksisitas logam Pb dan Fe

Toksisitas logam Pb memiliki pengaruh paparan akut dan paparan kronis. Paparan akut pada inhalasi akan menimbulkan gejala mual, sakit kepala, ngilu pada persendian, dan kejang perut. Selain itu, juga terdapat efek lain seperti muntah, diare berdarah, bahkan sampai konstipasi. Sedangkan paparan kronis dapat mempengaruhi pencernaan, ginjal, darah dan jantung bahkan dapat mengganggu sistem saraf pusat. Selanjutnya, paparan timbal yang kronis dapat memicu kanker serta abrasi kromosom dari sel-sel darah putih (Palar, H., 2004). Paparan Pb secara kronis bisa mengakibatkan kelelahan, kelesuan, gangguan iritabilitas, gangguan gastrointestinal, kehilangan libido, infertilitas terhadap laki-laki, gangguan

menstruasi serta aborsi spontan pada wanita, depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi, daya ingat terganggu, dan sulit tidur.

Sedangkan logam Fe merupakan logam esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan efek racun. Toksisitas logam ini dengan tingginya kandungan logam Fe akan berdampak terhadap kesehatan manusia diantaranya bisa menyebabkan keracunan (muntah), kerusakan usus, penuaan dini hingga kematian mendadak, radang sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, sirosis ginjal, sembelit, diabetes, diare, pusing, mudah lelah, hepatitis, hipertensi, insomnia (Parulian, 2009).

## **2.6 Limbah Laboratorium UIN Malang**

Limbah merupakan buangan atau sisa yang dihasilkan dari suatu proses kegiatan, baik kegiatan industri maupun domestik atau rumah tangga. Hal ini didasarkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014. Limbah tersebut dapat berupa cairan, padatan maupun uap atau asap. Salah satu limbah yang cukup banyak dihasilkan adalah limbah laboratorium.

Limbah laboratorium dapat didefinisikan sebagai limbah cair dengan kandungan logam berat yang tinggi, dimana hal tersebut disebabkan oleh penggunaan bahan-bahan kimia (Trisnawati, dkk., 2016; Rohaeti, dkk., 2011). Bahan-bahan kimia yang sering digunakan salah satunya senyawa yang mengandung logam. Logam biasanya berada dalam bentuk ion di dalam air, baik berupa ion-ion bebas, pasangan ion organik, ion-ion kompleks dan bentuk-bentuk ion lainnya. Jika keberadaan limbah logam ini dibiarkan maka akan terjadi

pencemaran dan kerusakan lingkungan (Palar, 2004). Hal ini akan berdampak pada lingkungan jika dibuang langsung tanpa proses pengolahan limbah terlebih dahulu.

Laboratorium Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang setiap tahunnya memproduksi sekitar 120 liter limbah. Selama kurun waktu itu, limbah sebanyak itu hanya dipisahkan ke dalam wadah atau botol tertentu dan tidak ada instalasi khusus untuk memproses limbah tersebut. Dan salah satu aktivitas laboratorium itu pasti menghasilkan limbah yang mengandung logam berat yang dapat mencemari lingkungan jika tidak dilakukan tindakan yang tepat. Seperti yang telah disebutkan di atas, bahwa limbah laboratorium UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang menghasilkan logam berat antara lain dari aktivitas praktikum kimia anorganik, kimia analisis dan kimia fisik. Dan hal ini bisa dilihat di dalam modul praktikum yang digunakan mahasiswa untuk praktikum (Ma'rifah, 2018).

Tabel 2.1 Sumber limbah logam berat Pb dan Fe dalam praktikum

No.	Praktikum	Judul Praktikum	Jenis Limbah	Kategori	Hasil
1.	Biokimia I	Penentuan kadar Karbohidrat	Pb asetat	Logam	3,15 mL
2.	Kimia Analisis Dasar	Analisis kualitatif anorganik	Garam Pb (II)	Logam	-
3.	Kimia Anorganik I	Reaksi pada unsur dan beberapa senyawa halogen	PbO <sub>2</sub>	Logam	-
4.	Kimia Anorganik I	Reaksi pada unsur dan beberapa senyawa halogen	Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Logam	24 mL
5.	Kimia Anorganik I	Sintesis tawas	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Logam	180 gram
6.	Kimia Instrumen	Analisis mineral dengan AAS	Larutan standar Fe	Logam	225 mL

Sumber : Diktat praktikum kimia UIN Malang 2016-2017

Berdasarkan modul praktikum yang digunakan mahasiswa untuk praktikum, didapatkan jumlah limbah logam cair dari beberapa praktikum yang dilakukan. Diperkirakan ada beberapa praktikum yang menjadi sumber limbah logam cair yang mengandung logam berat Pb dan Fe. Praktikum tersebut antara lain kimia lingkungan, kimia anorganik I, kimia instrumen, dan biokimia I. Dan jumlah limbah logam cair yang mengandung logam berat Pb dan Fe dari praktikum tersebut digambarkan dalam Tabel 2.1.

Limbah cair dapat didefinisikan sebagai bahan-bahan pencemar yang berbentuk cairan yang berasal dari suatu usaha atau kegiatan. Limbah cair yang dihasilkan jumlahnya cukup banyak, kebanyakan berasal dari air proses pencucian, perendaman serta pembuangan cairan. Limbah cair tersebut mengandung kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi. Dampak dari limbah cair yang langsung dibuang dapat menyebabkan timbulnya bau yang menyengat dan polusi air yang dapat menyebabkan kematian ikan serta biota lainnya (Nugraha, 2011). Berdasarkan penelitian Kalsum, dkk. (2014), tumbuhan *Hydrilla verticillata* dapat menurunkan nilai *Biochemical Oxygen Demands* (BOD) dari 224 mg/L menjadi 11,59 mg/L, menurunkan nilai *Chemical Oxygen Demands* (COD) dari 101,84 mg/L menjadi 22,40 mg/L, dan menurunkan nilai pH dari 8,0 menjadi 7,0 pada limbah domestik.

#### **2.6.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)**

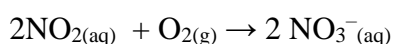
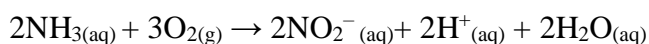
BOD merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air. Dalam hal ini, nilai BOD hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan ketika mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut. Semakin banyak



oksigen yang dikonsumsi dimana sisa oksigen terlarut semakin kecil, maka bahan-bahan buangan tersebut membutuhkan semakin banyak oksigen (Sigit, 2004). Semakin tinggi kadar BOD menunjukkan kandungan zat-zat organik dalam air limbah tinggi, sehingga semakin banyak oksigen yang dibutuhkan untuk mendegradasi zat-zat organik (bahan buangan). Sedangkan jika kadar BOD mengalami penurunan oksigen yang dibutuhkan lebih sedikit untuk mendegradasi zat-zat organik (bahan buangan).

Pengukuran BOD dilakukan untuk mengetahui banyaknya jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan buangan organik yang ada dalam air, pengukuran BOD dilakukan selama lima hari. Nilai BOD tinggi berarti jumlah buangan organik yang ada dalam air tinggi (Wardhana, 1995). Faktor-faktor yang mempengaruhi BOD adalah jumlah senyawa organik yang diuraikan, tersedianya mikroorganisme aerob dan tersedianya sejumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses penguraian tersebut (Barus, 1990 dalam Sembiring, 2008).

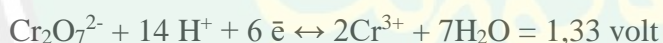
Kesepakatan umum dalam penentuan BOD dilakukan dalam lima hari inkubasi. Penentuan waktu inkubasi adalah 5 hari, dapat mengurangi kemungkinan hasil oksidasi ammonia ( $\text{NH}_3$ ) yang cukup tinggi (Sawyer dan Carty, 1978). Sebagaimana diketahui bahwa, ammonia sebagai hasil sampingan ini dapat dioksidasi menjadi nitrit dan nitrat, sehingga dapat mempengaruhi hasil penentuan BOD. Reaksi kimia yang dapat terjadi adalah :



### 2.6.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi atau menguraikan bahan organik secara kimiawi di suatu perairan dalam satuan ppm atau mg/L. Uji COD dapat menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dari pada uji BOD. Hal tersebut dikarenakan pada uji COD bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi (Mundiyatun, 2015). Kadar COD dalam baku mutu buangan air limbah menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan No.3 Tahun 2010 sebesar 100 mg/L. Semakin tinggi kadar COD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan akan semakin banyak.

Prinsip penetapan COD didasarkan pada kebanyakan senyawa organik yang dapat dioksidasi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dengan oksidator kuat pada kondisi asam. Oksidator kuat yang biasa digunakan adalah Kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ). Kalium dikromat dalam keadaan asam mengalami reduksi menjadi  $\text{Cr}^{3+}$ , reaksinya :



Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi daripada uji BOD karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologis dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dengan uji COD (Fardiaz, 2000). COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia.

Faktor- faktor yang mempengaruhi COD yaitu oksigen terlarut, zat organik dan sumber pencemar lainnya. Kelarutan oksigen di dalam air, tergantung pada suhu, tekanan oksigen dalam atmosfer, serta kandungan garam dalam air. Kadar COD dalam air limbah akan berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah (Boyd, 1990).

### 2.6.3 Derajat Keasaman (pH)

pH adalah suatu parameter penunjuk keaktifan ion H dalam suatu larutan yang berkeselimbangan dengan H tidak terdisosiasi dari senyawa-senyawa dapat larut dan tidak larut yang ada dalam sistem (Poerwowidodo,1991). Nilai pH suatu perairan mencirikan keseimbangan antara asam dan basa dalam air dan merupakan pengukuran konsentrasi ion Hidrogen dalam air. Pengukuran pH dapat dilakukan secara potensiometri dengan menggunakan pH meter atau dengan perbandingan warna dengan menggunakan pH Universal.

### 2.7 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan suatu sistem yang melibatkan penggunaan tumbuhan untuk membersihkan atau menstabilkan lingkungan yang terkontaminasi menurut (Vivekanandam dkk., 2014). Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan menerapkan sistem fitoremediasi pada pemeliharaan dengan memanfaatkan keberadaan tumbuhan air. Sistem fitoremediasi tersebut dapat meminimalisir biaya produksi dan ramah lingkungan. Salah satu tumbuhan yang dapat digunakan sebagai fitoremediator adalah tumbuhan *Hydrilla verticillata*. Tumbuhan *Hydrilla verticillata* merupakan tumbuhan yang melayang di air, sehingga dapat menurunkan bahan pencemar perairan lebih efektif karena bagian daun, batang dan akar terendam di dalam air (Artiyani, 2011).

Tumbuhan untuk fitoremediasi memiliki persyaratan, tetapi tidak semua tumbuhan dapat digunakan dikarenakan semua tumbuhan tidak dapat melakukan metabolisme, volatilisasi dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama. Penyerapan logam berat oleh tumbuhan dalam proses fitoremediasi

dipengaruhi oleh jenis tumbuhan, kelembaban tanah, interaksi yang kompleks antara tanah, tumbuhan dan logam yang dikendalikan oleh iklim (Priyambada, 2008). Penentuan tumbuhan yang dapat digunakan pada penelitian fitoremediasi dipilih tumbuhan yang mempunyai sifat (Youngman, 1999):

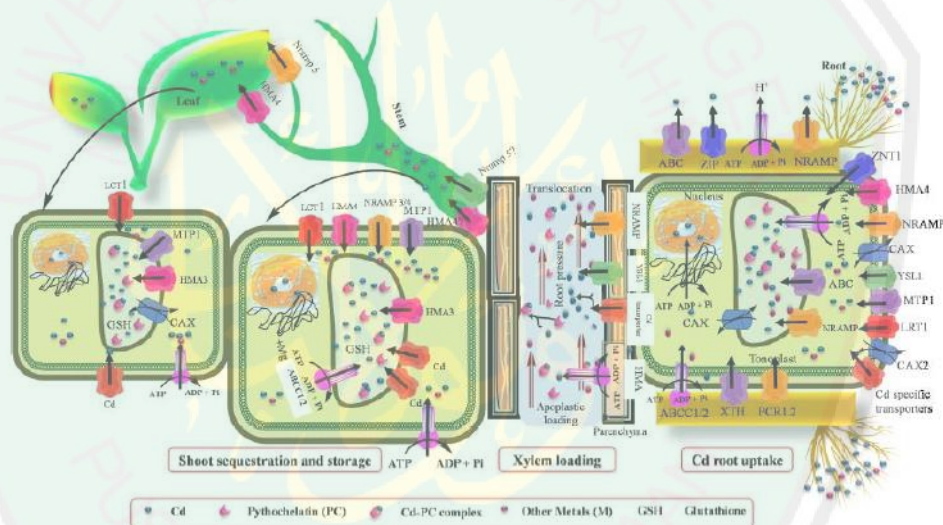
1. Cepat tumbuh.
2. Dapat mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat.
3. Mampu meremediasi lebih dari satu polutan.
4. Toleransi yang tinggi terhadap polutan.

Fitoremediasi didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan atau tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, menghilangkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar khususnya logam berat maupun senyawa organik lainnya. Pada penelitian fitoremediasi di lapangan ada beberapa persyaratan bagi tumbuhan yang akan digunakan dalam penelitian tersebut. Tidak semua jenis tumbuhan dapat digunakan karena tidak semua tumbuhan dapat melakukan metabolisme, volatilisasi dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama (Santriyana, dkk., 2013).

Mekanisme kerja fitoremediasi mencakup proses fitoekstraksi, rhizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi dan fitovolatilisasi (Fitriya, dkk., 2013).

1. Fitoekstraksi adalah penyerapan logam berat oleh akar tumbuhan dan mengakumulasi logam berat tersebut ke bagian-bagian tumbuhan seperti akar, batang dan daun.
2. Rhizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, mengakumulasi logam berat dari aliran limbah.

3. Fitodegradasi adalah metabolisme logam berat di dalam jaringan tumbuhan oleh enzim seperti dehalogenase dan oksigenase.
4. Fitostabilisasi adalah kemampuan tumbuhan dalam mengekskresikan (mengeluarkan) suatu senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi logam berat di daerah rizosfer (perakaran).
5. Fitovolatilisasi terjadi ketika tumbuhan menyerap logam berat dan melepaskannya ke udara lewat daun dan ada kalanya logam berat mengalami degradasi terlebih dahulu sebelum dilepas lewat daun.

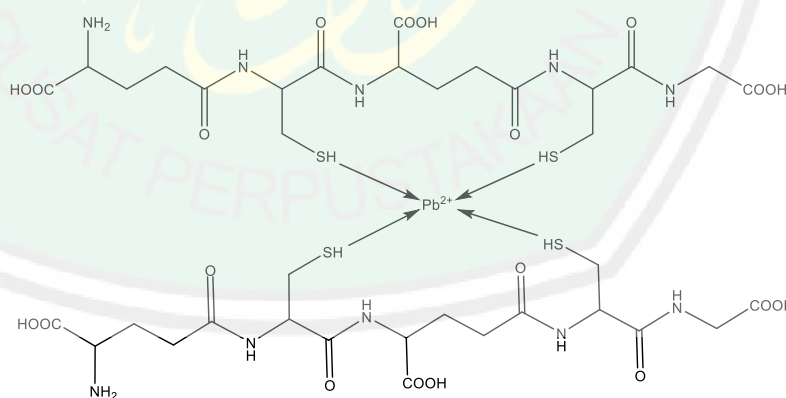


Gambar 2.2 Skema penyerapan logam oleh tumbuhan (Raza, dkk., 2020)

Mekanisme penyerapan logam oleh tumbuhan seperti *Hydrilla verticillata* dapat terjadi dengan berbagai cara seperti yang dipaparkan oleh Raza dkk (2020) yakni pada Gambar 2.2 mengenai contoh skema mekanisme penyerapan logam Cd oleh tumbuhan. Saat ion logam non essential seperti Pb terdapat pada air, maka  $\text{H}_2\text{CO}_3$  pada membran plasma akar akan terionisasi menjadi  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{H}^+$  melalui respirasi akar sehingga  $\text{H}^+$  yang terserap cepat bertukar dengan ion logam. Kemudian ion logam diserap pada permukaan sel epidermis akar, dan

pertukarannya terjadi melalui jalur apoplastik. Rambut akar memberikan luas permukaan yang besar untuk penyerapan ion logam dari tanah atau air melalui difusi.

Akar tanaman juga mengeluarkan senyawa organik tertentu, seperti kelat, yang membentuk kompleks dengan ion logam-ligan, memungkinkan masuknya logam ke dalam epidermis akar. Setelah logam diambil oleh akar, logam tersebut kemudian diangkut ke dalam batang dan bagian pucuk lainnya. Perbedaan transpor Pb dan Fe pada batang dan pucuk disebabkan oleh variasi genetik. Ion Pb tersebut diangkut dari akar ke jaringan lain melalui system transport seperti transporter kalsium (Ca). Sedangkan ion Fe diangkut oleh transporter Fe seperti yellow-strip (YS1/YSL1) dalam bentuk kelat. Glutathione (GSH) dan turunannya, phytochelatins (PCs), menunjukkan ikatan kelat yang kekuatan ikatannya berbeda-beda bergantung dengan jenis logam yang diikat. Ikatan kelat antara fitokelatin dengan logam seperti ion  $Pb^{2+}$ . Reaksi antara fitokelatin dengan logam Pb ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Reaksi fitokelatin dengan logam Pb (David, 2016)

Transporter lain seperti NRAMP mengangkut berbagai logam divalen, seperti Zn, Mn, Fe, dan Cd. NRAMP3 dan NRAMP4 terletak di tonoplast dan

memainkan peran penting dalam perpindahan logam esensial dari vakuola ke sitosol. Transporter CDF juga terlibat dalam sekuestrasi dan penyimpanan ion logam dalam vakuola serta transportasi ion logam. Jenis-jenis transporter pada tumbuhan beserta fungsinya ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis-jenis transporter pada tumbuhan beserta fungsinya

Transporter	Tempat		Fungsi/substrat
	Plasma membran		
SnYSL3	Sel vascular dan epidermis pada akar dan batang		Transport nicotianamin kompleks yang mengandung Fe (II), Cu, Zn dan Cd
	Tonoplast		
AtABCC1/2	Akar dan pucuk		Penyerapan PCs
	Lainnya		
AtNRAMP3	Mesofil vakuola		Penembusan Cd, Fe dan Mn

Keuntungan dari fitoremediasi yaitu dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara insitu dan eksitu, mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar (Santriyana, dkk., 2013). Selain itu, fitoremediasi ini membutuhkan biaya operasional yang lebih murah apabila dibandingkan dengan pengolahan konvensional lain (Terry, dkk., 2010). Sedangkan kerugian fitoremediasi ini adalah prosesnya memerlukan waktu lama, bergantung kepada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomasa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Santriyana, dkk., 2013).

Metode fitoremediasi ini sering digunakan untuk mengakumulasi logam berat, beberapa diantaranya adalah sebagai berikut. Menurut Putri (2018) kandungan logam berat merkuri (Hg) pada tumbuhan *hydrilla* pada hari ke-0 adalah 0,25 mg/L. Setelah dilakukan percobaan fitoremediasi kandungan logam berat merkuri (Hg) pada variasi massa 30 gram, 50 gram, dan 70 gram berturut-turut adalah 5,10 mg/L, 4,17 mg/L, dan 4,42 mg/L. Mutmainnah, Arinafril dan Suheryanto (2015) menjelaskan bahwa tumbuhan *Najas indica* mampu menyerap logam Pb sebesar 25.267 mg/L pada konsentrasi 15 mg/L. Tumbuhan ini mampu mengakumulasi logam Pb menggunakan metode fitoremediasi sampai hari ke-15. Selain itu, Caroline dan Guido (2015) melakukan penelitian tentang fitoremediasi menggunakan tumbuhan melati air untuk mengakumulasi logam Pb sebanyak 4,87 mg/L pada hari ke-18 dalam konsentrasi < 0,0764 mg/L. Sedangkan penelitian Zulsusyanto (2015) menyatakan bahwa fitoremediasi menggunakan *Hydrilla verticillata* sebesar 75 gram pada ikan nila ukuran 4-5 cm dengan kepadatan 3 ekor/liter memberikan nilai laju pertumbuhan harian sebesar 3,08%.

## 2.8 Perlakuan Fitoremediasi

Fitoremediasi yang dilakukan pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* adalah fitoremediasi statis (air yang difitoremediasi dalam keadaan diam dan tidak bergerak) dengan variasi waktu selama 15 hari pengamatan pada hari ke 5, 10 dan 15. Proses analisis kandungan logam timbal (Pb) dan besi (Fe) pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* dengan prosedur analisis kandungan logam berat Pb menggunakan acuan SNI 06-6992.3-2004 menggunakan instrumen AAS. Sedangkan proses analisis kandungan logam berat Pb dan Fe terlarut pada air.



Prosedur yang digunakan proses ini pada air berdasarkan prosedur SNI 6989.8.2009 menggunakan instrument AAS.

Fitoremediasi dapat diukur menggunakan beberapa parameter, diantaranya BCF (*Bio-Concentration Factor*) dan TF (*Translocation Factors*). BCF merupakan perhitungan yang digunakan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan sebagai tumbuhan fitoremediasi (Wahwaksi, 2017). Dalam hal ini, BCF dapat menunjukkan kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi logam berat. Nilai BCF diperoleh dari perhitungan rasio antara konsentrasi logam berat pada tumbuhan terhadap konsentrasi logam berat sedimen (Aryani, 2015). TF merupakan perhitungan yang didapatkan dari konsentrasi logam berat pada daun terhadap konsentrasi logam berat yang terdapat pada akar (Majid, dkk., 2014).

## **2.9 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam Meremediasi Timbal (Pb) Dan Besi (Fe)**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan konsentrasi berpengaruh terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi timbal. Marthana, dkk (2014) menyatakan kemampuan *Hydrilla verticillata* berkorelasi positif dengan kadar logam berat di dalam sedimen. Sebaliknya hasil penelitian Xing, dkk (2013) bahwa kadar logam berat di dalam jaringan *Hydrilla verticillata* berkorelasi positif dengan kadar logam berat di dalam air. Hasil Analisis Sidik Ragam menunjukkan bahwa konsentrasi timbal pada hari ke 5, 10, 15 dan 20 setelah diberi perlakuan berpengaruh nyata terhadap kadar Pb didalam tumbuhan (taraf  $\alpha = 5\%$ ).

Lamanya perlakuan menunjukkan tumbuhan mempunyai kontak optimum untuk menyerap logam berat Pb dan Fe secara maksimal. *Hydrilla verticillata* mengalami penurunan dalam meremediasi timbal diduga karena terjadi proses desorpsi. Hal ini merupakan salah satu fenomena dalam adsorpsi fisika yang menyatakan bahwa proses adsorpsi bersifat reversibel (Lelifajri, 2010). Menurut Widaningrum dkk (2007) bahwa waktu kontak sangat mempengaruhi daya serap. Semakin lama waktu kontak maka penyerapan juga akan meningkat sampai pada waktu tertentu akan mencapai maksimum dan setelah itu akan turun kembali. *Hydrilla verticillata* mengkonsentrat konsentrasi logam yang tinggi pada bagian areal tumbuhan, dan menyerap kadar kontaminan yang tinggi dan diendapkan dalam akar, batang, daun atau tunas (Lambers, 2010).

#### **2.10 Aklimatisasi *Hydrilla verticillata***

Pada dasarnya aklimatisasi merupakan proses penyesuaian suatu organisme untuk beradaptasi pada lingkungan yang baru. Dalam aklimatisasi lingkungan pada tumbuhan terutama kelembaban berangsur-angsur disesuaikan dengan kondisi pada lapangan (Anna, 2013). Teknik aklimatisasi berpengaruh pada hasil penelitian secara eks situ. Teknik aklimatisasi ini berhubungan dengan respon jangka panjang suatu organisme terhadap lingkungan baru yang ada disekitarnya. Proses dari aklimatisasi dengan uji tumbuhan yang diperlukan untuk menyesuaikan dengan kondisi laboratorium tujuan dari proses ini agar pertumbuhan tumbuhan *Hydrilla* tidak terganggu secara fisiologis. Proses aklimatisasi *Hydrilla verticillata* diperlukan untuk mengetahui dampak yang mungkin ditimbulkan saat tumbuhan *Hydrilla verticillata* tumbuh di lingkungan yang baru (Wu, dkk., 2015).

### **2.11 Destruksi Sampel**

Dekstruksi basah pada prinsipnya adalah penggunaan asam nitrat untuk mendekstruksi zat organik pada suhu rendah dengan maksud mengurangi kehilangan mineral akibat penguapan. Pada tahap selanjutnya, proses seringkali berlangsung sangat cepat akibat pengaruh asam perklorat atau hidrat peroksida. Pada umumnya destruksi basah digunakan untuk menganalisa arsen, tembaga, timah hitam, timah putih, dan seng.

Sumardi (1981) menyatakan bahwa metode destruksi basah lebih baik dari pada cara kering karena tidak banyak bahan yang hilang dengan suhu pengabuan yang sangat tinggi. Metode ini merupakan salah satu faktor mengapa cara basah lebih sering digunakan oleh para peneliti. Selain itu destruksi dengan cara basah biasanya dilakukan untuk memperbaiki cara kering yang biasanya memerlukan waktu yang lama.

### **2.12 Analisis Kadar Timbal (Pb) Dan Besi (Fe) Secara Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)**

Analisis kadar logam berat Pb dapat dilakukan dengan instrument AAS. Pemilihan metode spektrometri serapan atom karena mempunyai sensitifitas tinggi, mudah, murah, sederhana, cepat, dan cuplikan yang dibutuhkan sedikit (Supriyanto, dkk., 2007).

AAS merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya. Digunakan untuk analisis senyawa anorganik, atau logam (golongan alkali tanah unsur transisi). Spektrum yang diukur adalah pada daerah UV-Vis. Sampel yang diukur harus dalam bentuk

larutan jernih. Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom ini akan menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya.

Berdasarkan cara kerja dari AAS adalah penguapan larutan sampel. Setelah itu logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda (*hollow cathode lamp*) mengandung unsur yang ditemukan. Banyaknya penyerapan radiasi tersebut kemudian dapat diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya (Darmono, 1995)

Keunggulan dari AAS yaitu memiliki selektifitas yang tinggi karena dapat menentukan beberapa unsur sekaligus dalam suatu larutan sampel tanpa perlu pemisahan, memiliki kepekaan yang tinggi karena dapat mengukur kadar logam hingga konsentrasi yang sangat kecil dan ketepatan AAS cukup baik memiliki isyarat yang diperlukan sederhana akan tetapi hasil pengukuran yang diperoleh cukup teleti sehingga dapat menjadi dasar pembuatan kurva kalibrasi (Day, 1996). Sedangkan kelemahannya yaitu ditemukan adanya gangguan kimia, gangguan fisika, gangguan efek matriks dan gangguan spektral serta dibutuhkan suatu lampu katoda berongga yang berbeda sebagai sumber nyala untuk setiap unsur yang berbeda pula (Cahyady, 2009). Adapun bagian-bagian yang ada dalam instrumentasi AAS yaitu :

a) **Sumber Radiasi**

Sumber radiasi yang digunakan adalah lampu katoda berongga. Lampu ini terdiri atas tabung kaca tertutup yang mengandung suatu katoda dan anoda. Katoda berbentuk silinder berongga yang dilapisi dengan logam tertentu (Rohman, 2007).

b) Tempat sampel

Dalam analisis dengan spektrofotometer serapan atom, sampel yang akan dianalisis harus diuraikan menjadi atom-atom netral yang masih dalam keadaan azas. Ada berbagai macam alat yang digunakan untuk mengubah sampel menjadi uap atom-atomnya, yaitu:

1. Dengan nyala (Flame)

Nyala digunakan untuk mengubah sampel yang berupa cairan menjadi uap atomnya dan untuk proses atomisasi. Suhu yang dapat dicapai oleh nyala tergantung pada gas yang digunakan, misalnya untuk gas asetilen-udara suhunya sebesar 2200°C. Sumber nyala asetilen-udara ini merupakan sumber nyala yang paling banyak digunakan. Pada sumber nyala ini asetilen sebagai bahan pembakar sedangkan udara sebagai bahan pengoksidasi (Rohman, 2007).

2. Tanpa nyala (Flameless)

Pengatoman dilakukan dalam tungku dari grafit. Sejumlah sampel diambil sedikit (hanya beberapa  $\mu\text{L}$ ), lalu diletakkan dalam tabung grafit, kemudian tabung tersebut dipanaskan dengan sistem listrik dengan cara melewatkan arus listrik pada grafit. Akibat pemanasan ini, maka zat yang akan dianalisis berubah menjadi atom-atom netral dan pada fraksi atom ini dilewatkan suatu sinar yang berasal dari lampu katoda berongga sehingga terjadilah proses penyerapan energi sinar yang memenuhi kaidah analisis kuantitatif (Rohman, 2007).

c) Monokromator

Monokromator merupakan alat untuk memisahkan dan memilih spektrum sesuai dengan panjang gelombang yang digunakan dalam analisis dari sekian banyak spektrum yang dihasilkan lampu katoda berongga (Rohman, 2007).

## d) Detektor

Detektor digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melalui tempat pengamatan (Rohman, 2007).

## e) Amplifier

Amplifier merupakan alat untuk memperkuat signal yang diterima dari detektor sehingga dapat dibaca alat pencatat hasil (Rohman, 2007).

## f) Readout

Readout merupakan suatu alat penunjuk atau dapat juga diartikan sebagai pencatat hasil. Hasil pembacaan dapat berupa angka atau berupa kurva yang menggambarkan absorbansi atau intensitas emisi (Rohman, 2007).

### 2.13 Analisis Data

Data konsentrasi Pb dan Fe di dalam *Hydrilla verticillata* dan data konsentrasi air di dalam perlakuan dilakukan Analisis Varian (ANOVA), jika berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5%. Perhitungan kecepatan absorpsi dalam penelitian ini didasarkan pada berdasarkan pada konsentrasi Pb awal dan konsentrasi timbal (Pb) yang tertinggal yang diserap tumbuhan selama waktu pengamatan. Rumus 2.1 yang digunakan adalah (Mutmainnah, 2015) :

$$\text{Kecepatan penyerapan (mg/L)} = \frac{\text{Pb awal di dalam air} - \text{Pb yang tersisa di air}}{\text{waktu}} \dots\dots\dots 2.1$$

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli - Agustus 2020 di Laboratorium Riset Kimia Analitik dan Laboratorium Layanan dan Instrumen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain gelas beaker, corong gelas, bola hisap, pipet volume, pipet ukur, labu ukur, mortar, *magnetic stirrer*, pengaduk gelas, gunting, spatula, aluminium foil, oven, lemari asam, botol kaca, kertas saring Whatmann, neraca analitik, pH meter, *hot plate*, *microwave digestion*, seperangkat instrumentasi *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) yang dilengkapi dengan lampu katoda timbal (Pb) dan Besi (Fe).

##### 3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tumbuhan hidup *Hydrilla verticillata* yang diambil dari Danau Ranu Grati Pasuruan Jawa Timur, limbah yang mengandung logam berat Pb dan Fe dari Laboratorium Kimia Fisik dan Organik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, NaOH, HNO<sub>3</sub> 65%, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, dan aquades.

### 3.3 Rancangan Penelitian

#### 1. Uji Awal

Uji awal dilakukan terhadap sampel limbah logam laboratorium yakni kadar pH, logam berat Pb dan Fe, serta pengukuran BOD dan COD. Sampel limbah tersebut kemudian dilakukan penetralan pH dengan NaOH. Penelitian ini terdapat 3 tahapan yang perlu dilakukan, yakni aklimatisasi, destruksi, dan pemaparan. Setelah pemaparan diamati secara fisik kondisi sampel selama waktu pemaparan. Kemudian dianalisis menggunakan instrumen AAS serta uji statistik.

#### 2. Rancangan Percobaan

Model rancangan percobaan yang dipakai dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri dari 2 faktor yakni faktor waktu pemaparan dan faktor penggunaan aerator. Faktor waktu pemaparan terdiri dari 3 variasi yaitu:

$t_1 = 5$  hari

$t_2 = 10$  hari

$t_3 = 15$  hari

Sedangkan faktor penggunaan aerator terdiri dari 2 variasi:

$a_1 =$  menggunakan aerator

$a_2 =$  tanpa aerator

Analisis yang digunakan menggunakan *Two Ways Anova* dengan alpha atau taraf signifikan sebesar 5 % dengan hipotesis sebagai berikut :

Hipotesis 1 :

$H_0 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \mu\alpha_3 = 0$

Tidak ada perbedaan pengaruh waktu pemaparan terhadap kadar logam berat

$H_1 : \mu\alpha_1 \neq \mu\alpha_2 \neq \mu\alpha_3 \neq 0$



Minimal terdapat satu pasang waktu pemaparan yang menghasilkan kadar logam berat yang berbeda

Hipotesis 2 :

$$H_0 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \mu\alpha_3 = 0$$

Tidak ada perbedaan pengaruh menggunakan dan tanpa aerator terhadap kadar logam berat

$$H_1 : \mu\alpha_1 \neq \mu\alpha_2 \neq \mu\alpha_3 \neq 0$$

Minimal terdapat satu pasang menggunakan dan tanpa aerator yang menghasilkan kadar logam berat yang berbeda

Berdasarkan rancangan percobaan diatas, maka dibuat analisis variasi (ANOVA) untuk mendapatkan kesimpulan mengenai pengaruh perlakuan. Selanjutnya dapat diketahui hasil penolakan hipotesis. Apabila terdapat pengaruh perbedaan perlakuan yang signifikan maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji BNT atau LSD Tukey untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan. Berikut ini kesimpulan penolakan hipotesis yaitu :

- a.  $H_0$  diterima, jika  $F$  hitung  $<$   $F$  tabel pada taraf 5% yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan
- b.  $H_0$  ditolak, jika  $F$  hitung  $>$   $F$  tabel pada taraf 5% yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan

### 3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Pengambilan Sampel limbah laboratorium Kimia UIN Malang dan preparasi sampel tumbuhan
2. Aklimatisasi sampel tumbuhan.
3. Analisis parameter kadar BOD, COD dan pH limbah cair laboratorium

4. Preparasi sampel limbah cair laboratorium menggunakan NaOH untuk aplikasi *Hydrilla verticillata*.
5. Pemaparan sampel limbah cair laboratorium dengan tumbuhan *Hydrilla verticillata*.
6. Analisis kadar logam Pb dan Fe pada tumbuhan *Hydrilla verticillata*.
7. Mekanisme akumulasi logam Pb dan Fe tumbuhan *Hydrilla verticillata*.
8. Analisa data

### 3.5 Metode Penelitian

#### 3.5.1 Pengambilan Limbah Laboratorium Kimia UIN Malang dan Preparasi Sampel Tumbuhan

Sampel limbah laboratorium diambil  $\pm$  500 mL dan dimasukkan kedalam wadah jurigen kemudian ditutup rapat dan disimpan dalam suhu ruang. Sampel limbah laboratorium diambil sebanyak 50 mL dimasukkan dalam beaker gelas, kemudian ditambah dengan 10 mL HNO<sub>3</sub> 65% dan didestruksi pada suhu 100 °C hingga larutan jernih. Proses pendestruksi dilakukan menggunakan *hot plate*. selanjutnya larutan tersebut disaring dan dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) (Darawan, 2017).

Sampel *Hydrilla verticillata* dan air diambil dari Danau Ranu Grati Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Tumbuhan *Hydrilla verticillata* dewasa diambil sebanyak 1 kg pada bagian yang terlihat di permukaan air saja. Sampel ditempatkan dalam wadah plastik dan ditata dengan rapi. Tumbuhan *Hydrilla verticillata* dibilas dengan air terlebih dahulu sebelum dikemas dalam wadah. Kemudian ditambahkan air dalam wadah. Sampel air diambil sebanyak  $\pm$  1,5 L dan diasamkan dengan

HNO<sub>3</sub> 65% (SNI 6989.59:2008). Penggunaan pH optimum dalam tumbuhan pada proses fitoremediasi yaitu 7 (Siregar, 2010).

### **3.5.2 Aklimatisasi Sampel Tumbuhan**

Aklimatisasi merupakan suatu proses tahapan awal yang digunakan untuk membantu tumbuhan agar dapat beradaptasi pada lingkungan baru. Tahap aklimatisasi ini dilakukan dengan cara dimasukkan aquades sebanyak 30 L ke dalam bak kaca. Kemudian, dimasukkan tumbuhan *Hydrilla verticillata* dan dibiarkan selama 5 hari (Mutmainnah, dkk, 2015). Selanjutnya, tumbuhan tersebut dipindahkan ke botol atau akuarium kaca yang berbeda.

### **3.5.3 Analisis Parameter Kadar BOD, COD dan pH pada Limbah Cair Laboratorium**

#### **3.5.3.1 BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)**

Sampel limbah cair dimasukkan hingga penuh pada botol winkler tanpa udara. Larutan MnSO<sub>4</sub> 40% ditambahkan ke dalam botol tersebut sebanyak 2 mL, dan didiamkan selama beberapa menit. Setelah itu, ditambahkan 2 mL alkali iodida azida, selanjutnya didiamkan hingga muncul endapan berwarna coklat. Larutan tersebut dipindahkan ke dalam gelas kimia dan dikocok. Kemudian ditambahkan 2 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat hingga endapan larut, lalu mengambil 100 mL dan larutan dipindahkan ke dalam erlenmeyer. Larutan tersebut dititrasi dengan larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025 N. Indikator amilum ditambahkan dan dilanjutkan kembali dengan titrasi hingga warna biru hilang, sehingga diperoleh volume titrasi.

#### **3.5.3.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)**

Uji COD ini dilakukan dengan cara aquades sebanyak 2 mL dimasukkan ke dalam tabung reagent HR (*Hard Range*), ditutup rapat dan dikocok. Larutan ini

digunakan sebagai blanko. Selain blanko juga perlu dibuat larutan sampel dengan cara menambahkan 2 mL limbah cair ke dalam tabung reagent HR (*Hard Range*) kemudian ditutup rapat dan dikocok. Tabung blanko dan sampel tersebut dipanaskan selama 2 jam dengan menggunakan COD reaktor pada suhu 105°C. Setelah pemanasan selesai, tabung sampel tersebut didinginkan dalam suhu ruang. Sampel tersebut dituangkan ke dalam kuvet dan dilakukan pembacaan dengan spektrofotometri (Faturachman, 2012).

### 3.5.3.3 Kadar pH

Pengujian sampel limbah dilakukan menggunakan kertas pH universal dilakukan sampai pH 7 (netral). Kemudian agar akurat dilakukan dengan pH meter. Pertama dilakukan kalibrasi pH meter dengan menggunakan buffer pH yang dibilas elektroda dengan aquades dan dikeringkan dengan tisu. Kemudian dinyalakan alat pH meter dengan menekan tombol ON dan dicelupkan elektroda pada buffer pH 7. Selanjutnya ditunggu hingga angka pada layar menunjukkan angka konstan dan dicatat hasilnya.

Pengujian Sampel air limbah diawali dengan dibilas elektroda dengan aquades dan dikeringkan dengan tisu. Kemudian dinyalakan alat pH meter dengan menekan tombol ON dan dicelupkan elektroda pada sampel yang akan diuji sambil ditunggu hingga angka pada layar menunjukkan angka konstan. Selanjutnya dicatat hasilnya.

### 3.5.4 Preparasi Sampel Limbah Laboratorium Logam Berat Menggunakan NaOH untuk Aplikasi *Hydrilla verticillata*

Sampel limbah laboratorium diambil sebanyak 50 mL dimasukkan dalam beaker gelas, kemudian ditambah dengan 10 mL HNO<sub>3</sub> 65% dan didestruksi pada

suhu 100 °C hingga larutan jernih. Proses pendestruksi dilakukan menggunakan *hot plate*. Selanjutnya larutan tersebut disaring dan dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

### **3.5.5 Pemaparan Sampel Limbah Laboratorium dengan Tumbuhan *Hydrilla verticillata***

Tahap pemaparan dilakukan pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* dengan menggunakan aerator dan tanpa aerator dalam botol kaca, dimana sampel limbah tersebut didalamnya terdapat kadungan logam berat Pb dan Fe. Dalam hal tersebut, botol kaca yang digunakan adalah sebanyak 21 buah. Pada tahap ini, 3 buah botol kaca yang berisi *Hydrilla verticillata* dan *aquades* digunakan sebagai kontrol. Pemaparan *Hydrilla verticillata* terhadap sampel limbah dilakukan pada 9 buah botol dengan menggunakan aerator, dan pada 9 buah botol sisanya dengan tidak menggunakan aerator. Dalam hal ini, aerator yang digunakan dalam penelitian ini yakni aerator dengan daya sebesar 30V dan 5A. Selain itu, *Hydrilla verticillata* yang digunakan adalah sebanyak 20 gram pada masing-masing botol kaca. Botol kaca kemudian ditutup menggunakan *plastic wrap* yang telah diberi lubang untuk memudahkan sirkulasi udara dalam botol. *Hydrilla verticillata* tersebut dilakukan pemaparan dengan variasi waktu 5, 10, dan 15 hari dengan pengulangan sebanyak tiga kali atau triplo.

Sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* yang telah dilakukan pemaparan. Selanjutnya tumbuhan tersebut dibilas dengan *aquades* dan dikeringkan pada suhu ruang (Kusmiyati, 2015). Bagian batang, daun, dan akar *Hydrilla verticillata* yang telah kering dijadikan satu lalu dihaluskan.

### 3.5.6 Analisis Kadar Logam Pb dan Fe pada *Hydrilla verticillata*

Sampel *Hydrilla verticillata* yang telah dihaluskan kemudian didestruksi. Metode destruksi yang digunakan adalah metode destruksi basah menggunakan *microwave digestion*. Tahap pertama yang dilakukan adalah menimbang 0,5 gram sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* dan dimasukkan ke dalam *vessel*. Kemudian dimasukkan pengoksidasi sesuai dengan metode di aplikasi *note microwave* yaitu untuk sampel tumbuhan menggunakan reagen 7 mL HNO<sub>3</sub> 65% dan 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Tutup *vessel* lalu pasang suhu 180 °C dan waktu 10 menit (Dewi, 2013). Klik start (tombol hijau). Tunggu hingga proses digesti selesai. Setelah selesai, tunggu hingga suhu menurun, sekitar 60° C. Kemudian dibuka *vessel* dari *microwave* (Budianto, 2017). Diperoleh larutan hasil destruksi.

Analisis dilakukan setelah pengambilan dan pendinginan sampel hasil destruksi. Selanjutnya, dihaluskan filtrat. Kadar timbal (Pb) dan besi (Fe) pada sampel dan limbah diukur menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang dilengkapi dengan lampu katoda Pb dan Fe untuk didapatkan nilai absorbansi sampel (Handayani, 2004). Atom unsur Pb dan Fe dapat diukur pada panjang gelombang sebesar 217,0 dan 248,3 nm dimana sesuai dengan panjang gelombang sinar yang dapat diserap.

### 3.5.7 Penentuan BCF dan TF

Beberapa parameter yang digunakan untuk fitoremediasi mencakup BCF (*Bio-Concentration Factor*), dan TF (*Translocation Factors*). Faktor Biokonsentrasi (BCF) digunakan untuk menghitung kemampuan daun dalam mengakumulasi logam berat, Ghosh dan Singh (2005) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BCF = \frac{[\text{logam berat pada tumbuhan}]}{[\text{logam berat pada sedimen atau air}]} \dots\dots\dots 3.2$$

Faktor Translokasi (TF) logam berat digunakan untuk menghitung proses translokasi logam berat dari akar ke daun, dihitung dengan rumus:

$$TF = \frac{\text{logam berat pada daun}}{\text{logam berat pada batang}} \dots\dots\dots 3.3$$

### 3.5.8 Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil tahap awal pengukuran kadar BOD, COD dan pH pada sampel limbah laboratorium. Pada tahap selanjutnya data diperoleh konsentrasi logam berat dapat diukur menggunakan instrument AAS yang menghasilkan panjang gelombang dan nilai absorbansi. Dilakukan pula uji statistik untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak antara berbagai variasi percobaan dilakukan analisis ANOVA (Sudiro, 2013).

#### 3.5.8.1 Pembuatan kurva standart Timbal (Pb)

Larutan standar Pb dibuat dari larutan standar  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  10 ppm. Kemudian membuat larutan Pb 1 ppm dengan cara memindahkan 5 mL larutan baku 10 ppm ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian diencerkan sampai tanda batas. Larutan standar timbal (Pb) 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 dan 1,0 mg/L dibuat dengan cara memindahkan 1 mL; 2 mL; 4 mL; 8 mL dan 10 mL larutan baku 1 ppm ke dalam labu ukur 10 mL, kemudian diencerkan dengan  $\text{HNO}_3$  sampai tanda batas (Yusniyyah, 2017).

#### 3.5.8.2 Pembuatan kurva standart Besi (Fe)

Larutan standar Fe dibuat dari larutan standar  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  10 ppm. Kemudian membuat larutan Fe 1 ppm dengan cara memindahkan 5 mL larutan baku 10 ppm ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian diencerkan sampai tanda batas. Larutan standar Besi (Fe) 0,06; 0,11; 0,16; 0,21 dan 0,26 mg/L dengan cara memindahkan

0,6 mL; 1,1 mL; 1,6 mL; 2,1 mL dan 2,6 mL larutan baku 1 ppm ke dalam labu ukur 10 mL, kemudian diencerkan dengan  $\text{HNO}_3$  sampai tanda batas (Yusniyiah, 2017).





## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengambilan Sampel Limbah Laboratorium dan Preparasi Sampel

##### Tumbuhan

Penelitian ini menggunakan sampel limbah laboratorium kimia UIN Malang dan sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* diambil secara langsung dari Danau Ranu Grati, Kabupaten Pasuruan. Pengambilan sampel limbah laboratorium diambil sebanyak  $\pm 500$  mL. Dalam hal ini limbah yang digunakan yakni limbah logam berat dimana limbah ini berwarna cokelat pekat keruh. Limbah logam tersebut memiliki kadar toksisitas yang tinggi sebelum diolah melalui IPAL.

Sampel limbah logam didestruksi dengan  $\text{HNO}_3$  65% yang dilakukan secara terbuka menggunakan pemanasan *hotplate*.  $\text{HNO}_3$  65% tersebut berperan untuk merombak senyawa-senyawa organik dalam sampel serta mengetahui konsentrasi logam yang akan dianalisis. Proses destruksi dengan pemanasan dilakukan untuk mengubah senyawa menjadi atom-atom yang lebih kecil sebelum dianalisis menggunakan instrument AAS. Setelah didestruksi dilakukan preparasi limbah sebanyak 200 ml yang ditambahkan dengan NaOH sebanyak  $\pm 3$  gram hingga pH netral. Penambahan NaOH ini berfungsi untuk menetralkan limbah. Limbah tersebut diendapkan selama 24 jam, kemudian diambil filtrat dan dipaparkan.

Pengambilan tumbuhan tersebut dilakukan pada satu titik agar karakterisasi saat pemaparan sampel tidak jauh beda. Waktu pengambilan tumbuhan hydrilla beserta air danau dilakukan pada siang hari pukul 10.00 hingga 12.00 WIB. Sampel tumbuhan disimpan dalam wadah plastik dengan ditambahkan air danau Ranu Grati

untuk menjaga kondisi hydrilla. Tumbuhan dibilas sebelum dimasukkan ke dalam wadah plastik, dimana berfungsi untuk membersihkan pengotor lain yang dapat mengganggu pengamatan dan mencegah pembusukan sehingga tumbuhan dapat bertahan selama dalam perjalanan menuju laboratorium kimia. Adapun hasil pengambilan tumbuhan hydrilla dalam ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil pengambilan tumbuhan *Hydrilla verticillata* dalam wadah plastik.

#### 4.2 Aklimatisasi Sampel Tumbuhan

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* ditempatkan dalam wadah bak besar di laboratorium. Proses aklimatisasi ini dilakukan agar tumbuhan hydrilla mampu bertahan hidup pada lingkungan yang baru. Dalam proses aklimatisasi dilakukan selama 5 hari dalam wadah bak besar yang berisi aquades dan tumbuhan hydrilla. Penambahan aerator di dalam wadah digunakan sebagai sumber oksigen untuk menjaga jumlah oksigen terlarut dalam air agar tetap seimbang. Tumbuhan hydrilla diletakkan dekat ruang terbuka agar mendapatkan cahaya yang cukup saat pagi hingga siang hari agar tumbuhan hydrilla bertumbuh dengan baik. Nurmalinda (2018), juga melakukan aklimatisasi terhadap tanaman *Lemna minor* dan *Azolla microphylla* selama 15 hari. Aklimatisasi dapat berlangsung dalam waktu yang

bervariasi tergantung berapa banyak perubahan faktor lingkungan eksternal yang mempengaruhinya. Aklimatisasi ini dapat berlangsung selama beberapa hari sampai beberapa minggu.

### 4.3 Penentuan Kadar BOD, COD dan pH Limbah Cair Laboratorium

Limbah laboratorium setelah dilakukan preparasi perlu diuji terlebih dahulu sifat kimianya sesuai parameter yang dibutuhkan. Parameter yang di analisis diantaranya yakni BOD, COD dan pH. Pengujian ini dilakukan untuk dapat dibandingkan dengan hasil limbah yang nantinya sudah dilakukan fitoremediasi.

#### 4.3.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Pengukuran BOD merupakan tahap yang digunakan untuk mengetahui kadar oksigen terlarut yang digunakan oleh makhluk hidup untuk mengurai logam pada limbah. Tahap ini dilakukan uji sebanyak 2 kali, yaitu pada saat limbah sebelum dipaparkan dan setelah dipaparkan. Hasil uji tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil analisa BOD sebelum dan sesudah pemaparan hari ke-5

Proses	Hasil (mg/L)
Sebelum pemaparan	4001
Sesudah pemaparan	60,55

Uji awal BOD dianalisis di laboratorium lingkungan PJT 1 Malang dengan sampel berupa limbah laboratorium murni. Berdasarkan Tabel 4.1, hasil analisa BOD sebelum dilakukan pemaparan terhadap limbah laboratorium yakni sebesar 4001 mg/L. Sedangkan, pada uji akhir BOD dianalisis pada waktu pemaparan hari ke-5 dengan hasil sebesar 60,55 mg/L. Hal ini menandakan bahwa kadar oksigen

yang dibutuhkan oleh tumbuhan hydrilla sesudah pemaparan limbah hasil fitoremediasi jauh lebih kecil dibandingkan sebelum proses fitoremediasi. Hal ini sesuai dengan tujuan karena mengindikasikan proses fitoremediasi berhasil sebab pencemaran logam pada limbah berkurang. Selain itu, dalam penelitian Hidayah (2018) menyatakan adanya injeksi udara dari aerator dapat meningkatkan kandungan oksigen terlarut pada air limbah. Banyaknya oksigen membantu proses penguraian logam lebih mudah. Hasil BOD sesudah pemaparan dibawah ambang batas maksimal nilai BOD menurut Perda Jatim Nomor 72 Tahun 2013 mengenai Baku Mutu untuk Industri Lain yakni sebesar 150 ppm.

#### 4.3.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pengukuran COD dilakukan untuk mengetahui banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi logam pencemar dalam limbah secara kimiawi. Uji ini dilakukan sebanyak 2 kali, yaitu pada saat limbah sebelum dipaparkan dan setelah dipaparkan. Berikut ini Tabel 4.2 hasil analisa COD.

Tabel 4.2 Hasil analisa COD sebelum dan sesudah pemaparan hari ke-5

Proses	Hasil (mg/L)
Sebelum pemaparan	6490
Sesudah pemaparan	181,8

Uji awal COD dianalisis di laboratorium lingkungan PJT 1 Malang dengan limbah laboratorium murni hasil Analisa COD sebesar 6490 mg/L. Pada uji akhir COD dianalisis pada waktu pemaparan hari ke-5 dengan fitoremediasi menggunakan aerator. Hasil nilai COD sebesar 181,8 mg/L. Hal ini menandakan bahwa kadar oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan logam pencemar secara kimiawi sesudah pemaparan jauh lebih kecil dibandingkan sebelum proses

fitoremediasi. Hal ini sesuai dengan tujuan karena mengindikasikan proses fotoremediasi berhasil sebab pencemaran logam pada limbah berkurang. Hal tersebut disebabkan oleh adanya bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologis dan mikroorganisme yang teroksidasi. Hasil COD sesudah pemaparan dibawah ambang batas maksimal nilai COD menurut Perda Jatim Nomor 72 Tahun 2013 mengenai Baku Mutu untuk Industri Lain yakni sebesar 300 ppm.

### 4.3.3 pH

Analisa pada limbah awal ini memiliki pH sebesar 2,17 yang berarti bersifat asam. Sedangkan limbah memiliki pH 7,16 (netral) setelah ditambahkan NaOH sebanyak  $\pm 3$  gram. Perbandingan hasil pH limbah tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan nilai pH awal dan setelah penambahan NaOH

Sampel	pH
Limbah awal	2,17
Limbah + NaOH	7,16

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa pada pH limbah awal dan setelah penambahan NaOH terdapat selisih yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan pH larutan sampel asam ketika ditambahkan dengan senyawa yang bersifat basa akan menghasilkan pH netral yakni sekitar 7. Penetralan ini dilakukan karena pH optimum dalam penggunaan tumbuhan pada proses fitoremediasi yaitu pada pH 7 (Siregar, 2010). Selain itu, menurut Ariani dan Rahayu (2016) bahwa larutan NaOH berperan untuk menaikkan pH pada air limbah. Di samping itu, uji pH ini juga dilakukan pada hasil pemaparan pada hari ke-5, 10 dan 15, yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai uji pH pada hasil pemaparan

Pemaparan sampel	pH		
	Hari ke-5	Hari ke-10	Hari ke-15
Aerator 1	8,21	7,55	7,80
Aerator 2	8,11	7,77	8,00
Aerator 3	8,17	7,83	8,21
Tanpa Aerator 1	8,10	7,90	7,75
Tanpa Aerator 2	8,12	7,71	7,52
Tanpa Aerator 3	8,03	7,80	7,58

Berdasarkan Tabel 4.4 hasil pengukuran pH pada air limbah menggunakan aerator berkisar antara 8,11-8,21 pada hari ke-5; 7,5-7,83 pada hari ke-10; dan 7,80-8,21 pada hari ke-15. Sedangkan hasil pengukuran pH pada pemaparan tanpa aerator berkisar antara 8,03-8,12; 7,71-7,90 pada hari ke-10; dan 7,52-7,75 pada hari ke-15. Hasil uji pH tersebut berada di dalam rentang baku mutu Air Kelas II Pergub Jatim No.72 Tahun yakni sebesar 6-9. Dalam hal ini, terjadi penurunan nilai pH yang menurut Felani dan Hamzah (2007) disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan organik di dalam limbah cair.

Selain itu, hasil uji pH pada pemaparan menggunakan aerator dan tanpa aerator dapat dibandingkan bahwa hasil pH menggunakan aerator lebih besar daripada tanpa menggunakan aerator. Selain itu, pH pada pemaparan diperoleh nilai yang lebih besar daripada pH limbah yang dinetralkan. Menurut Rahardian (2017), peningkatan nilai pH dapat disebabkan oleh proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan melepaskan ion  $\text{OH}^-$  ke dalam air serta mengambil ion  $\text{H}^+$  pada air.

#### 4.4 Pemaparan Sampel Limbah Laboratorium dengan Tumbuhan *Hydrilla verticillata*

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* dipaparkan dengan limbah laboratorium dan aquades, dengan dimasukkan dalam wadah kaca untuk dilakukan pengamatan

fisik seperti perubahan warna tumbuhan dan kekeruhan air yang dilakukan setiap 5 hari. Proses ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan hydrilla dalam mengurangi konsentrasi logam yang terlarut dalam air limbah dan pada bagian tumbuhan tersebut. Pada bagian akar tumbuhan tidak digunakan karena pada proses aklimatisasi tumbuh sedikit atau pada beberapa tumbuhan saja. Beragam variasi waktu dilakukan dalam pemaparan logam timbal dan besi. Variasi waktu yang digunakan 5, 10, dan 15 hari. Proses pemaparan air limbah menggunakan aerator dan tanpa aerator. Adapun proses pemaparan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.2.



(A) (B)  
Gambar 4.2 Proses pemaparan (A) menggunakan aerator dan (B) tidak menggunakan aerator

Berdasarkan Gambar 4.2, setelah proses pemaparan selama 5 hari, tumbuhan *Hydrilla verticillata* dapat diamati pada bagian ujung tumbuh daun baru. Sedangkan pada bagian ujung batang mengalami perubahan warna terlihat menguning kecoklatan. Semakin lama proses pemaparan tumbuhan akan terlihat perubahan warna daun dan batang menjadi kecoklatan. Hasil pemaparan dilakukan pengamatan fisik yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pengamatan fisik proses waktu pemaparan

Pengamatan Fisik	Hari ke-		
	5	10	15
Warna daun	Hijau tua	Hijau sedikit kecokelatan	Hijau kecokelatan
Warna batang	Hijau muda	Hijau kekuningan	Hijau kecokelatan
Kekeruhan air	Sedikit jernih	Sedikit keruh	Keruh (kecokelatan)

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa warna daun dan batang semakin lama waktu pemaparan akan semakin mengalami perubahan warna menjadi hijau kecokelatan. Sedangkan pada kekeruhan air, semakin lama waktu pemaparan air akan semakin keruh (kecokelatan) dan menurut Urifah (2017) hal ini berpengaruh pada kerontokan daun. Setelah dilakukan pengamatan fisik selama proses pemaparan, air limbah kemudian dianalisis menggunakan instrumen AAS. Gambar hasil perbandingan pada variasi waktu pemaparan ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



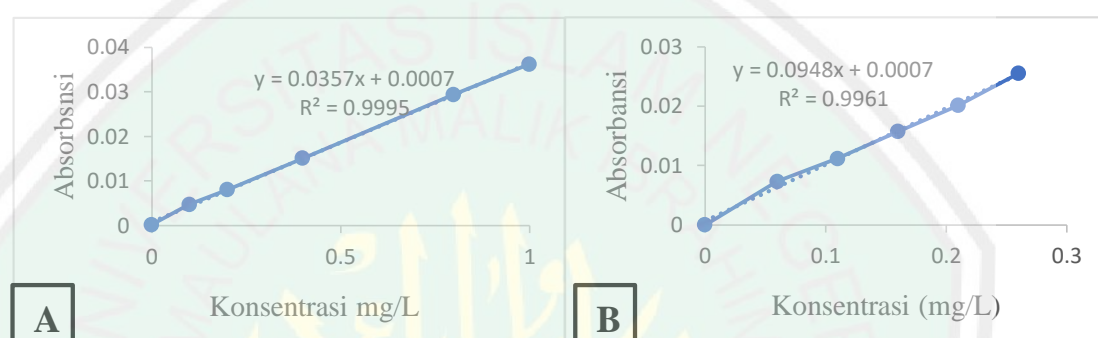
Gambar 4.3 Proses pemaparan hari ke-5, 10 dan 15

#### 4.4.1 Pembuatan Kurva Standar Logam Pb dan Fe

Pengukuran kadar logam Pb dan Fe dimulai dengan pengukuran absorbansi larutan standar Pb dan Fe dengan Spektrofotometri Serapan Atom pada panjang



gelombang sebesar 217,0 dan 248,3 nm. Data hasil pengukuran absorbansi larutan standar diplotkan sebagai kurva terhadap konsentrasi larutan. Pembuatan kurva standar bertujuan untuk mengetahui hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi larutan sehingga, konsentrasi logam yang ingin diketahui dapat diperoleh. Berikut ini grafik kurva standar logam Pb dan Fe terdapat pada Gambar 4.4.

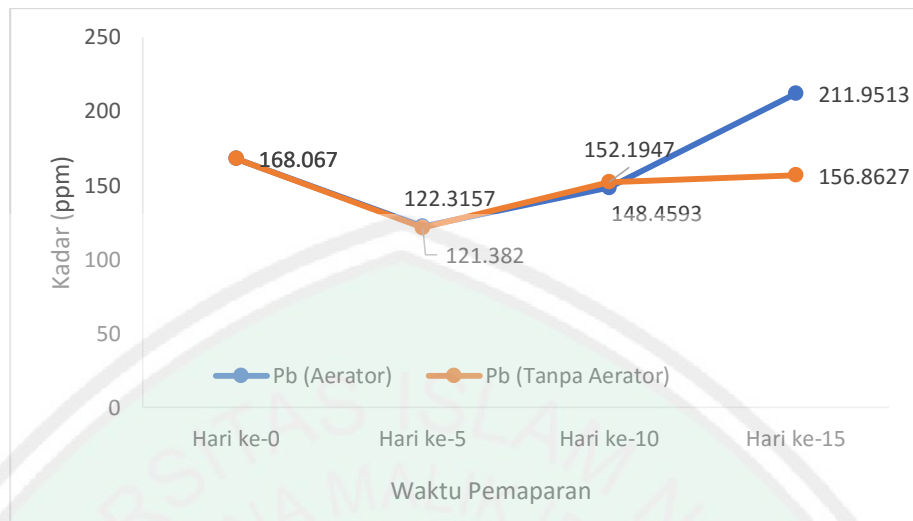


Gambar 4.4 Kurva standar (A) logam Timbal dan (B) Besi

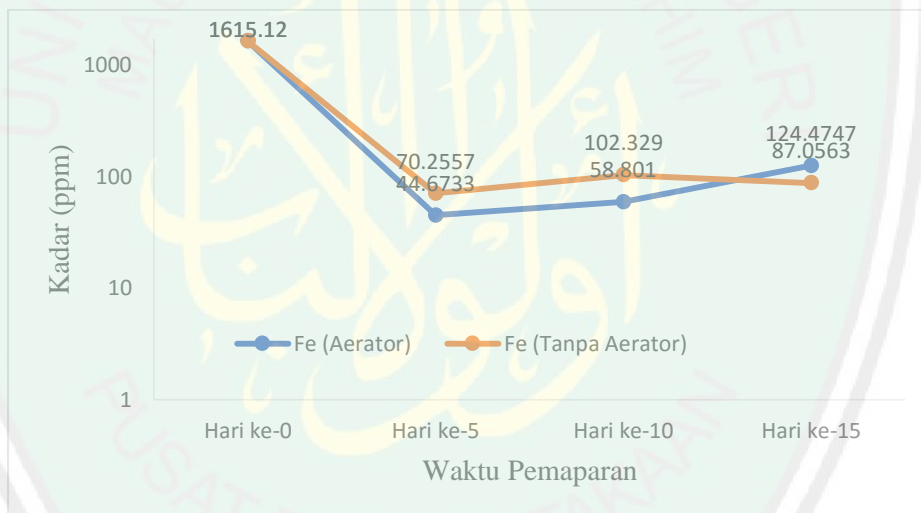
Berdasarkan persamaan regresi linier pada logam Pb diketahui  $y = 0,0357x + 0,0007$  nilai (koefisien kolerasi)  $R = 0,9995$ . Hal ini menunjukkan keakuratan dalam menentukan konsentrasi sebesar 99,95%. Sedangkan, pada logam Fe diketahui  $y = 0,0873x + 0,0021$  nilai (koefisien kolerasi)  $R = 0,9965$ . Hal ini menunjukkan keakuratan dalam menentukan konsentrasi sebesar 99,65%.

#### 4.4.2 Analisis Kadar Pb dan Fe pada Air Limbah

Pengukuran dengan AAS dilakukan untuk mendapatkan nilai konsentrasi logam pada sampel air limbah, sehingga dapat diukur kadar logam dalam limbah tersebut. Kadar logam Pb pada limbah setelah ditambah NaOH yakni sebesar 168,067 mg/L. Sedangkan kadar logam Fe setelah ditambah NaOH yakni sebesar 1615,12 mg/L.



Gambar 4.5 Hasil kadar logam timbal dalam limbah selama waktu pemaparan



Gambar 4.6 Hasil kadar logam besi dalam limbah selama waktu pemaparan

Berdasarkan Gambar 4.5 dan 4.6 dapat diketahui bahwa kadar logam Pb pada air limbah (dengan dan tanpa aerator) setelah ditambah dengan NaOH konsentrasinya mengalami penurunan karena dengan adanya NaOH akan terbentuk hidroksida atau oksidanya yang bersifat mengendap. Kadar logam Pb pada air limbah mengalami kenaikan pada hari ke-10 dan hari ke-15. Peningkatan kadar

logam Pb pada air limbah dapat terjadi karena tanaman dapat melepas kembali logam berat yang telah diserap setelah melewati waktu titik jenuh (Rosmiati, dkk., 2014). Hal ini pun juga terjadi pada kadar logam Fe (dengan aerator). Sedangkan, pada logam Fe (tanpa aerator) mengalami kenaikan pada hari ke-10 dan mengalami penurunan pada hari ke-15.

Selain pengukuran konsentrasi menggunakan instrumentasi AAS, dilakukan pula analisis secara statistik pada SPSS dengan jenis *Two Ways* ANOVA (Rancangan Acak Kelompok) dengan menggunakan *alpha* atau taraf signifikan sebesar 5%. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu pemaparan terhadap kadar logam berat yakni Pb dan Fe serta pengaruh penggunaan aerator dan tanpa aerator terhadap kadar logam yang dihasilkan. Faktor yang digunakan pada penelitian ini yakni faktor waktu pemaparan dan faktor penggunaan aerator. Faktor waktu pemaparan terdiri dari 3 variasi (5, 10, dan 15 hari), sedangkan faktor penggunaan aerator terdiri dari 2 variasi (dengan dan tanpa aerator).

Tabel 4.6 Hasil uji F dan nilai probabilitas pada logam Pb

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1006.694 <sup>a</sup>	3	335.565	24.838	.000
Intercept	7742.242	1	7742.242	573.071	.000
Waktu	967.178	2	483.589	35.795	.000
Dengan_dan_tanpa_aerator	39.516	1	39.516	2.925	.109
Error	189.141	14	13.510		
Total	8938.078	18			
Corrected Total	1195.836	17			

Berdasarkan pengujian statistik logam Pb didapatkan nilai uji F terhadap waktu pemaparan adalah sebesar 35,795 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,000.

Nilai F hitung (35,795) > F tabel (3,740), atau sig. (0,000) <  $\alpha$  (0,050) sehingga  $H_0$  ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh waktu pemaparan yang menghasilkan kadar logam Pb yang berbeda signifikan. Sedangkan berdasarkan nilai statistik uji F pada pemaparan dengan dan tanpa aerator sebesar 2,925 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,109. Nilai F hitung (2,925) < F tabel (4,50), atau sig. (0,109) >  $\alpha$  (0,050) sehingga  $H_0$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh penggunaan aerator dan tanpa aerator yang menghasilkan kadar logam Pb yang berbeda signifikan.

Tabel 4.7 Hasil uji F dan nilai probabilitas pada logam Fe

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	49.476 <sup>a</sup>	5	9.895	6.008	.005
Intercept	162345.517	1	162345.517	98570.441	.000
Waktu	26.808	2	13.404	8.138	.006
Dengan_dan_tanpa_aerator	1.927	1	1.927	1.170	.301
Error	19.764	12	1.647		
Total	162414.757	18			
Corrected Total	69.240	17			

Pengujian statistik logam Fe didapatkan nilai uji F terhadap waktu pemaparan adalah sebesar 8,138 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,006. Nilai F hitung (8,138) > F tabel (3,89), atau nilai probabilitas atau sig. (0,006) <  $\alpha$  (0,050) sehingga  $H_0$  ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh waktu pemaparan yang menghasilkan kadar logam Fe yang berbeda signifikan. Kemudian berdasarkan nilai statistik uji F pada pemaparan dengan dan tanpa aerator adalah sebesar 1,170 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,301. Jadi nilai F itu (1,170) < F

tabel (4,75), atau nilai probabilitas atau sig. (0,301) >  $\alpha$  (0,050). Sehingga  $H_0$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh penggunaan aerator dan tanpa aerator yang menghasilkan kadar logam Fe yang berbeda signifikan.

Berdasarkan hasil uji ANOVA yang menunjukkan terdapat pengaruh waktu pemaparan terhadap kadar logam berat, maka selanjutnya dilakukan uji lanjut berupa uji BNT (Beda Nyata Terkecil). Uji BNT ini dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi waktu pemaparan terhadap kadar logam Pb dan Fe. Berikut ini hasil uji BNT terdapat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil uji BNT pada logam Pb dan Fe

Waktu pemaparan	Rata-rata		Notasi	
	Pb	Fe	Pb	Fe
15 hari	24,1650	93,4533	a	a
10 hari	10,5533	95,0133	a	ab
5 hari	27,5000	96,4417	b	b

Berdasarkan hasil Tabel 4.8, dapat diketahui bahwa kadar logam Pb pada air limbah pada hari ke-5 berbeda nyata dengan kadar logam pada hari ke-10, yang diketahui dari perbedaan huruf pada notasi hasil uji BNT. Akan tetapi, kadar logam Pb pada air limbah pada hari ke-5 tidak berbeda nyata dengan hari ke-15, yang ditandai dengan adanya kesamaan huruf pada notasi hasil uji BNT. Hal ini dikarenakan kadar logam Pb pada hari ke-10 mengalami penurunan akibat terserap oleh *Hydrilla verticillata*, kemudian dilepaskan kembali sehingga kadar logam Pb meningkat pada hari ke-15. Hal ini juga menunjukkan bahwa penyerapan logam Pb oleh *Hydrilla verticillata* terjadi secara maksimum pada hari ke-10 sampai kemungkinan hari ke-14. Kadar logam Fe dalam air limbah pada hari ke-5 dengan hari ke-15 dari hasil uji BNT berbeda nyata akibat mengalami penurunan kadar,

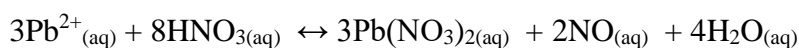
yang diketahui dari perbedaan huruf pada notasi hasil uji BNT. Sedangkan kadar logam Fe pada hari ke-15 tidak berbeda nyata dengan kadar logam Fe pada hari ke-10 meskipun mengalami penurunan kadar logam pada air limbah, yang ditandai dengan adanya kesamaan huruf pada notasi hasil uji BNT. Hal ini dikarenakan perbedaan yang terjadi memiliki jumlah yang tidak jauh berbeda. Penyerapan logam Fe oleh *Hydrilla verticillata* terjadi secara maksimum pada hari ke-15.

#### 4.5 Analisis Kadar Logam Pb dan Fe pada *Hydrilla verticillata*

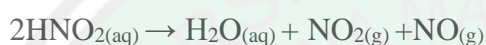
*Hydrilla* hasil pemaparan dikeringkan menggunakan oven untuk mengurangi kadar air. Setelah kering, tumbuhan tersebut dipisahkan antara daun dan batang, kemudian masing-masing dilakukan destruksi. Sampel ditambahkan asam kuat dalam sistem tertutup sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan suhu dan tekanan. Peningkatan suhu dan tekanan serta kondisi dalam pH rendah (Amin,2015). Destruksi yang digunakan yakni *microwave digestion*, dimana proses destruksi akan menjadi lebih cepat dengan adanya tekanan dan suhu.

Destruksi yang digunakan yaitu destruksi basah yang berfungsi untuk memutuskan ikatan senyawa organik dengan logam yang akan dianalisis. Dalam penelitian ini digunakan destruksi basah karena destruksi ini dapat digunakan untuk menentukan unsur-unsur dengan konsentrasi rendah, selain itu destruksi kering dapat merusak jaringan tanaman (Patandungan, 2014). Proses destruksi ini dilakukan dengan penambahan asam nitrat dan asam peroksida. Fungsi penambahan asam nitrat berfungsi sebagai pengoksidasi sampel dan katalis untuk mempercepat destruksi (Nasir, 2018). Dengan penambahan oksidator akan menurunkan suhu destruksi sampel, sehingga komponen yang terdekomposisi pada

suhu tinggi dapat dipertahankan. Berikut ini reaksi destruksi logam Pb dengan asam nitrat.



Sedangkan fungsi asam peroksida sebagai reagen pereduksi yang nantinya akan merubah larutan menjadi bening (Borolla, 2019). Adapun hasil destruksi ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil destruksi pada daun (a) menggunakan aerator dan (b) tidak menggunakan aerator

Berdasarkan Gambar 4.7, diperoleh hasil destruksi berupa cairan bening kehijauan. Hasil yang menggunakan aerator pada hari ke-5 didapatkan cairan berwarna kehijauan, hari ke-10 dan 15 didapatkan cairan berwarna bening. Hasil destruksi kemudian dianalisis kandungan timbal dan besi menggunakan instrument AAS. Konsentrasi logam timbal dan besi setelah proses fitoremediasi dalam bagian daun dan batang *Hydrilla verticillata*.

Tabel 4.9 Waktu pemaparan logam Pb dalam tumbuhan *Hydrilla verticillata*

Waktu pemaparan (Hari ke-)	Dengan /tanpa aerator	Kadar (mg/L)		
		Daun	Batang	Total
5	Dengan	47,4938	6,6044	54,0982
	Tanpa	30,7407	25,5037	56,2444
10	Dengan	22,0896	7,3382	29,4278
	Tanpa	45,3573	4,1982	49,5555
15	Dengan	93,4202	57,9471	151,3673
	Tanpa	74,0812	20,6269	94,7081

Tabel 4.10 Waktu pemaparan logam Fe dalam tumbuhan *Hydrilla verticillata*

Waktu pemaparan (Hari ke-)	Dengan /tanpa aerator	Kadar (mg/L)		
		Daun	Batang	Total
5	Dengan	73,7917	36,1420	109,9337
	Tanpa	90,3202	28,7089	119,0291
10	Dengan	113,2385	77,3260	190,5645
	Tanpa	76,0631	37,6945	113,7576
15	Dengan	88,3084	56,1849	144,4933
	Tanpa	83,7208	49,7253	133,4461

Berdasarkan Tabel 4.9 dan 4.10 menunjukkan bahwa waktu pemaparan untuk penyerapan kadar logam Pb menggunakan aerator yang paling besar diperoleh pada hari ke-15 yakni total sebesar 151,3673 mg/L dengan masing-masing nilai 93,4202 mg/L untuk daun dan 57,9471 mg/L untuk batang. Sedangkan dalam logam Fe, waktu pemaparan untuk penyerapan kadar logam Fe menggunakan aerator yang paling besar diperoleh pada hari ke-10 yakni total sebesar 190,5645 mg/L dengan masing-masing nilai 113,2385 mg/L untuk daun dan 77,3260 mg/L untuk batang. Dalam hal ini, hasil kadar logam baik Pb maupun Fe pada daun lebih tinggi daripada batang. Menurut Fitter (2010), sel-sel pada tumbuhan memiliki kandungan konsentrasi ion yang paling besar yaitu terdapat pada akar, kemudian akan mentransfernya ke daun dan batang. Selain itu, kadar logam yang didapat selama pemaparan dengan menggunakan aerator lebih besar

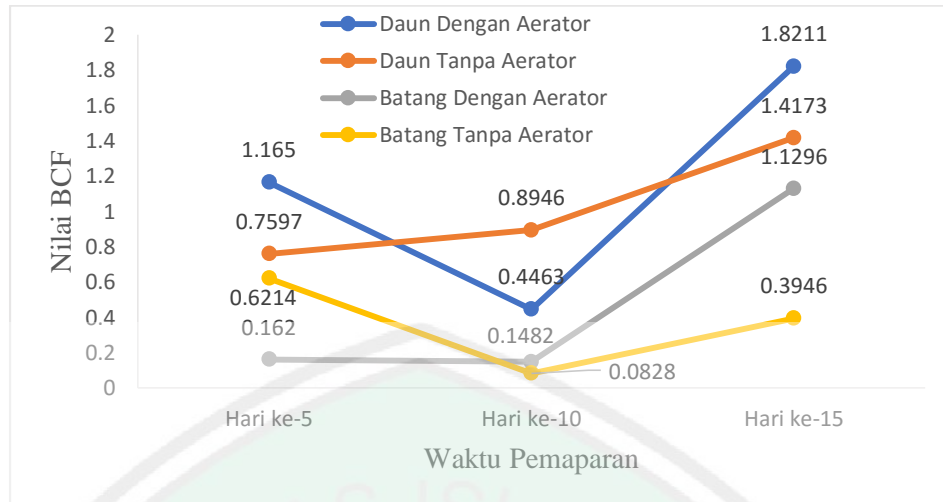


daripada tanpa menggunakan aerator. Hal ini disebabkan karena menurut Hidayah (2018) pada aerator terdapat injeksi udara yang meningkatkan kandungan oksigen terlarut pada air limbah. Banyaknya oksigen membantu tumbuhan untuk berfotosintesis sehingga proses penyerapan lebih baik.

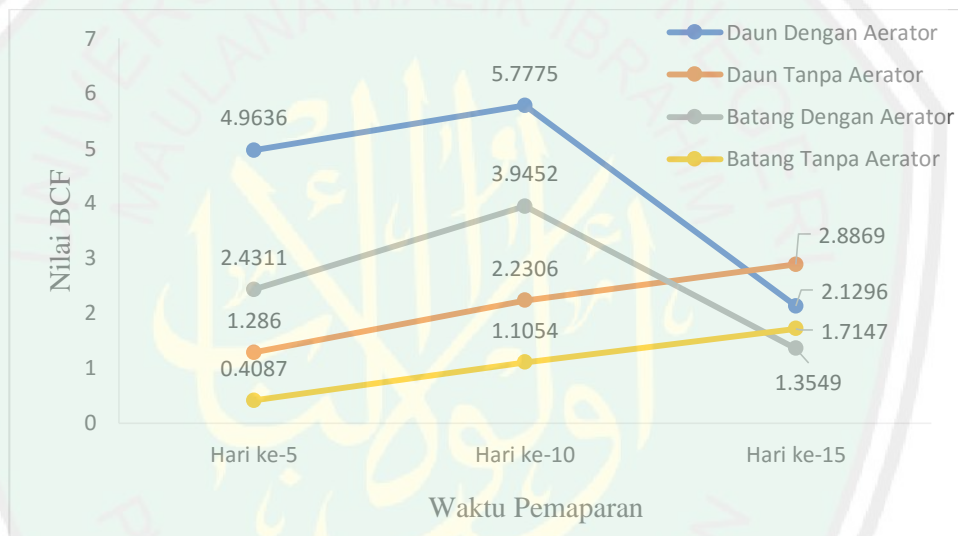
#### 4.6 Penentuan *Bioconcentration Factor* (BCF)

Faktor biokonsentrasi (BCF) digunakan untuk menilai kemampuan *Hydrilla verticillata* untuk mengakumulasi logam Pb dan Fe di bagian daun dan batang dengan kandungan logam Pb dan Fe di dalam air limbah (Puspita, 2013). Dalam hal ini, untuk menghitung nilai BCF digunakan nilai kadar logam Pb dan Fe yang terserap pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* baik dalam daun maupun batang. Nilai BCF dihitung dari berat kering sampel tumbuhan setelah proses aklimatisasi selama 5 hari dan proses pemaparan pada logam berat timbal dan besi menggunakan variasi waktu 5, 10 dan 15 hari.

Sampel tumbuhan pada bagian daun dan batang dikeringkan kemudian didestruksi menggunakan metode *microwave* digestion. Dalam setiap bagian tumbuhan mempunyai nilai BCF yang berbeda sehingga kita dapat mengetahui bagian yang memiliki kemampuan lebih baik sebagai tumbuhan fitoremediasi. Hasil perhitungan BCF dengan dan tanpa menggunakan aerator antara daun dan batang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9



Gambar 4.8 Hasil nilai BCF pada logam timbal



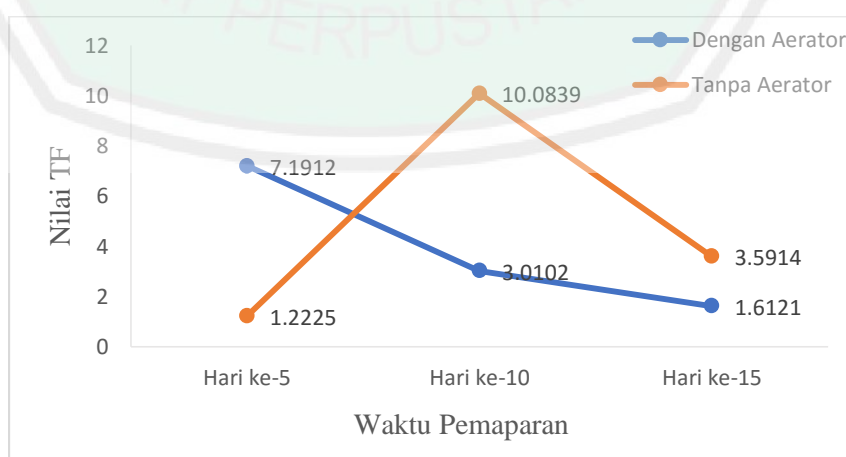
Gambar 4.9 Hasil nilai BCF logam besi

Berdasarkan Gambar 4.8 dan 4.9, menunjukkan nilai BCF yang paling besar diperoleh pada hari ke-15 dengan menggunakan aerator dalam logam Pb yakni sebesar 1,8211 mg/L untuk daun dan 1,1296 mg/L untuk batang. Hal ini menandakan bahwa *Hydrilla verticillata* memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam Pb pada hari ke-15 secara maksimal sebab nilai BCF yang dihasilkan paling tinggi. Hasil tertinggi nilai BCF pada logam Fe diperoleh pada hari ke-10 yakni sebesar 5,7775 mg/L untuk daun dan 3,9452 mg/L untuk batang.

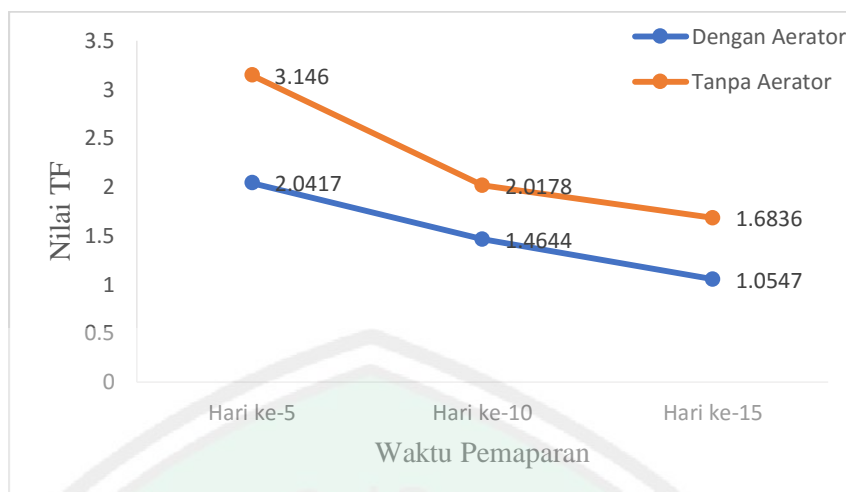
Hal ini menandakan bahwa *Hydrilla verticillata* memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam Fe secara maksimal pada hari ke-10. Nilai BCF pada daun lebih tinggi daripada pada bagian batang, hal ini menunjukkan bahwa pada logam Pb dan Fe lebih banyak terakumulasi pada bagian daun dibandingkan dengan bagian batang. Nilai BCF pada logam Pb dan Fe memiliki perbedaan dimana nilai BCF logam Fe lebih besar daripada logam Pb. Akan tetapi, nilai dari BCF kedua logam tersebut lebih dari 1. Hal ini menandakan bahwa *Hydrilla verticillata* dapat digunakan sebagai hiperakumulator (Rachmawati, 2018).

#### 4.7 Penentuan *Translocation Factor* (TF)

*Translocation Factor* (TF) adalah besarnya translokasi logam Pb dan Fe dari tanah ke bagian tertentu pada tanaman. TF ini berfungsi untuk menduga potensial tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai fitoremediasi (Hamzah dan Agus, 2010). Nilai TF *Hydrilla verticillata* dihitung untuk mengetahui besarnya perbandingan translokasi penyerapan logam pada batang dan daun. Nilai TF untuk logam Pb dapat ditunjukkan pada Gambar 4.10. dan Nilai TF untuk logam Fe dapat ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Nilai TF pada variasi waktu pemaparan logam Pb

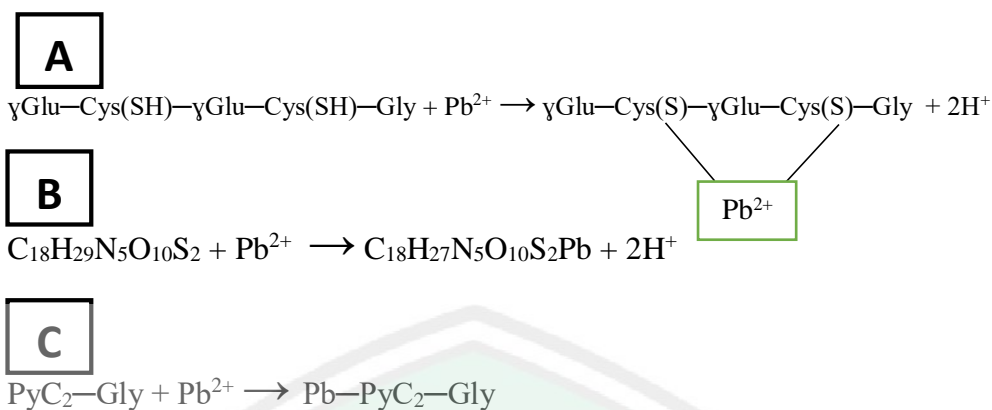


Gambar 4.11 Nilai TF pada variasi waktu pemaparan logam Fe

Berdasarkan Gambar 4.10 dan 4.11, menunjukkan nilai TF tertinggi untuk logam Pb dan Fe tanpa menggunakan aerator masing-masing didapatkan pada waktu pemaparan hari ke-10 sebesar 10,0839 dan hari ke-5 sebesar 3,1460. Borolla (2019) menyatakan bahwa apabila nilai BCF dan TF >1 maka tumbuhan tersebut termasuk ke dalam hiperakumulator terhadap logam berat. Sehingga dalam hal ini tumbuhan *Hydrilla verticillata* bersifat hiperakumulator terhadap logam Pb dan Fe. Nilai TF yang lebih besar daripada 1 menunjukkan bahwa *Hydrilla verticillata* bersifat sebagai fitoekstraksi terhadap logam Pb dan Fe (Rachmawati, 2018).

#### 4.8 Mekanisme Penyerapan Logam Pb dan Fe oleh *Hydrilla verticillata*

Ion logam transisi seperti timbal dan besi dapat dengan mudah menjadi racun bagi sel. Salah satu strategi perlindungan terhadap kelebihan logam adalah pengikatan untuk menekan pengikatan ion logam yang tidak terkontrol ke gugus fungsi yang penting secara fisiologis. Sintesis fitokelatin, turunan peptida glutation pengikat logam, merupakan mekanisme detoksifikasi utama untuk logam berat pada tumbuhan (Clemens, 2006).



Gambar 4.12 Pembentukan kompleks fitokelatin-logam timbal (Pb) (Dennis, dkk., 2019)

(A) Fitokelatin membentuk kompleks dengan ligan logam Pb. Ligan logam Pb dalam keadaan oksidasi  $2^+$  akan berikatan dengan atom sulfur pada gugus thiol dalam residu sistein (Cys). Reaksi ini melepaskan 2 ion hidrogen atau proton. (B) Contoh rumus kimia dalam PyCDB (*Phytochelatin Database*) untuk dasar fitokelatin, (Pyc<sub>2</sub>-Gly) dalam bentuk terikat maupun tidak terikat logam, (C) Motif pengikat logam yang dikenal dalam protein sering kali dikodekan dengan nama singkatan relatif pendek membentuk rantai asam amino berturut-turut. Gambar C merupakan contoh nama singkatan untuk bentuk fitokelatin dasar, jumlah unit peptida berulang dan logam (jika terikat). Bentuk ikatan kompleks fitokelatin dapat berupa PyC<sub>4</sub> dan dalam bentuk yang lebih besar seperti, PyC<sub>6</sub>, PyC<sub>8</sub> bergantung pada jumlah disulfida.

Setelah proses pengikatan logam oleh fitokelatin terjadi, kompleks logam akan ditransportasikan oleh transporter menuju organ tertentu seperti daun, batang dan akar. Kompleks tersebut disimpan dalam vakuola sehingga tanaman masih bisa bertahan hidup serta kemampuan dalam melakukan penyerapan kembali meningkat (Patandangan dkk., 2016). Selain itu, logam juga diambil secara non-selektif oleh

saluran kation, transporter yang diatur Zn/Fe dan MTPI (*Metal Tolerance Proteins I*) melintasi membran plasma akar. Transporter logam ATPase (HMAs) juga mengambil bagian dalam transportasi logam melintasi membran, yaitu diperlukan untuk homeostasis logam.

#### 4.9 Pemanfaatan *Hydrilla verticillata* dalam Perspektif Islam

Akhir-akhir ini telah banyak kerusakan alam yang diakibatkan oleh perbuatan manusia. Salah satu diantaranya yakni limbah laboratorium. Limbah laboratorium jika tidak diolah akan semakin banyak jumlahnya dan akan merusak lingkungan. Dalam hal ini Allah SWT telah berfirman pada surat Ar-Rum ayat 41:

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

**Artinya :** “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”.

Ayat di atas menerangkan tentang kerusakan yang disebabkan oleh ulah tangan manusia sendiri dan suatu saat manusia akan merasakan sendiri akibat dari ulah yang telah mereka perbuat. Pada ayat tersebut terdapat kata (ظهر) “tampak”. Maksudnya adalah pada mulanya menjadi Nampak dan terang serta diketahui dengan jelas. Diperjelas dengan adanya kata (الفساد) menurut al-Ashfahani adalah keluarnya sesuatu dari keseimbangan baik sedikit maupun banyak. Hal ini merupakan penegasan Allah bahwa berbagai kerusakan yang ada di daratan dan di lautan adalah akibat perbuatan manusia.

Berdasarkan ayat diatas kita dapat memanfaatkan sumberdaya alam yang ada di bumi, selain itu kita juga harus melestarikannya. Jika kita tidak menjaga

maka akan timbul kerusakan di bumi sebagai mana yang telah Allah SWT tegaskan kepada kita. Kita sebagai umat manusia memang selalu memiliki rasa kurang terhadap sesuatu, oleh karena itu hendaknya kita selalu menjaga bumi ini dari kerusakan alam. Agar sumberdaya alam yang ada pada saat ini akan terus ada.

Menurut Shihab (2003), dalam buku tafsir Al- Misbah menyatakan bahwa ayat ini mengisyaratkan bahwa tidak ada penciptaan Allah SWT yang rusak, tercemar atau hilang keseimbangannya sebagaimana penciptaan awalnya. Akan tetapi datangnya kerusakan, pencemaran dan hilangnya keseimbangan lingkungan adalah hasil perbuatan manusia yang secara sengaja berusaha untuk mengubah Fitrah Allah SWT pada lingkungan yang telah diciptakan secara sempurna dan seimbang.

Pemanfaatan segala macam ciptaan Allah yang ada di bumi bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia dan saling melengkapi agar tidak ada yang sia-sia. Tumbuhan *Hydrilla verticillata* sendiri disebut sebagai hama bagi warga sekitar akan tetapi, tumbuhan tersebut menyimpan banyak sekali manfaat. Keanekaragaman tumbuhan dengan beraneka ragam manfaatnya ini merupakan bukti kebesaran Allah SWT. Allah SWT berfirman dalam surat As-syu'ara ayat 7-8.

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

**Artinya :** “Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam (tumbuh-tumbuhan) yang baik? Sungguh, pada yang demikian itu terdapat tanda (kebesaran Allah), tetapi kebanyakan mereka tidak beriman”.

Tafsir Al-Mishbah menjelaskan pada lafadz زَوْجٌ yang artinya tumbuh-tumbuhan. Tumbuh-tumbuhan yang baik adalah tumbuhan yang membawa manfaat bagi manusia dan makhluk lain yang ada di bumi. Keanekaragaman tumbuhan yang

ada membawa beragam manfaat bagi makhluk lain termasuk manusia. Salah satu contoh tumbuhan tersebut adalah hydrilla. Meski demikian, manusia tetap diberi peringatan untuk tidak merusak lingkungan oleh Allah SWT. Bukan berarti Allah menciptakan solusi agar manusia dapat semena-mena terhadap lingkungan.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa sebenarnya jika kita bersedia merenungi dan mengamati hal-hal yang ada berada di muka bumi, maka kita akan mendapat kemanfaatan. Karena Allah SWT telah menumbuhkan beraneka ragam tumbuhan-tumbuhan yang mendatangkan manfaat. Tumbuhan yang baik adalah tumbuhan yang mendatangkan banyak manfaat. Penelitian ini menjelaskan tentang salah satu tumbuhan yang mempunyai manfaat yang besar bagi manusia. Tumbuhan ini dapat mengakumulasi logam berat yang ada di lingkungan sekitar. Berdasarkan kandungan dari tumbuhan ini dapat mengakumulasi kandungan logam timbal dan besi di perairan. Sehingga untuk meningkatkan nilai manfaat *Hydrilla verticillata* salah satu upaya pengolahannya yaitu digunakan sebagai fotoremediasi logam berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) pada limbah cair logam berat yang dihasilkan dari Laboratorium Kimia UIN Malang.

Ayat diatas menerangkan bahwa Allah SWT mengingatkan kita bahwa Dia telah menciptakan berbagai macam tumbuhan yang baik dan yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, dimana tumbuhan yang Allah SWT ciptakan semuanya dapat kita manfaatkan didalam berbagai aspek kehidupan. Salah satu contoh tumbuhannya adalah *Hydrilla verticillata*. Tumbuhan dalam Al-Qur'an sendiri terdapat ayat-ayat yang menyebutkan nama-nama tumbuhan dan buah-buahan secara eksplisit. Penyebutan tersebut tentu bertujuan agar umat manusia bisa memanfaatkan berbagai macam tumbuhan yang mempunyai kandungan yang



beragam untuk makhluk hidup lainnya, juga merenungi dan mengambil pelajaran dari ciptaan Allah sehingga manusia selalu mengagungkan ciptaan Allah SWT (Munnirotul, 2019).



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pengaruh variasi waktu pemaparan mengenai akumulasi *Hydrilla verticillata* terhadap logam Pb diperoleh kadar penyerapan paling besar pada hari ke-15 menggunakan aerator yakni total sebesar 151,3673 mg/L. Sedangkan dalam logam Fe, waktu pemaparan mengenai akumulasi *Hydrilla verticillata* terhadap logam Fe diperoleh kadar penyerapan paling besar pada hari ke-10 menggunakan aerator yakni total sebesar 190,5645 mg/L. Berdasarkan hasil yang didapat penggunaan aerator lebih baik daripada tanpa aerator. *Hydrilla verticillata* bersifat hiperakumulator terhadap logam Pb dan Fe karena memiliki nilai BCF dan TF > 1.

#### **5.2 Saran**

Perlu dilakukan pula pengamatan pada rentang waktu yang lebih sedikit seperti hari ke-3; 6; 9; 12; 15; 18 agar diketahui hari maksimum penyerapan logam oleh tumbuhan yang lebih spesifik. Dapat dilakukan variasi akumulasi dengan tumbuhan air lain terhadap logam berat lainnya agar dapat dibandingkan dengan *Hydrilla verticillata*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. 2015. Penentuan Kadar Logam Timbal (Pb) Dalam Minuman Ringan Berkarbonasi Menggunakan Destruksi Basah Secara Spektroskopi Serapan Atom. *Skripsi*. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Apriani, S. 2001. Analisa Kandungan Logam Berat Besi (Fe) dan Kromium (Cr) Pada Sumur Artesis dan Sumur Penduduk (Cincin) dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) di Kelurahan Rejo Sari Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru. *Skripsi*. Pekanbaru.
- Artiyani, A. 2011. Penurunan Kadar N-Total dan P-Total pada Limbah Cair Tahu dengan Metode Fitoremediasi Aliran *Batch* dan Kontinyu Menggunakan Tanaman *Hydrilla verticillata*. *Jurnal Spectra*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional. Malang. 9(18): 9-14.
- Aryani, D. 2015. Pemanfaatan Rumput Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*, L.) dalam Proses Remediasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu). *Tesis*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Birmansyah. 2008. Sebaran Unsur Timbal (Pb<sup>2+</sup>) dan Krom Heksavalen (Cr<sup>6+</sup>) dalam Fraksi Sedimen Sub DAS Musi Bagian Hilir Propinsi Sumatera Selatan. *Tesis*. Program Studi Pengelolaan Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
- Budianto, A. 2017. Analisis Kandungan Timbal (Pb pada Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatic Forrsk*) di Sungai Lesti Kabupaten Malang Dengan Variasi Metode Destruksi Basah Tertutup Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Malang : Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Borolla, Silvia M., A Mariwy, dan J. Manuhuttu. 2019. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Merkuri (Hg) Menggunakan tumbuhan Kersen (*Muntingia calabua L*) dengan Sistem Reaktor. *MJoCE* 9(2): 78-89. ISSN : 20879024.
- Cahyady, B. 2009. Studi Tentang Kesensitifan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Teknik *Vapour Hydride Generation Accessories* (VHGA) Dibandingkan dengan SSA Nyala pada Analisis Unsur Arsen (As) yang Terdapat dalam Air Minum. *Tesis*. Universitas Sumatera Utara.
- Caroline, Jenny, & Guido Arron Moa. (2015). *Fitoremediasi logam timbal (pb) menggunakan tanaman melati air (Pchinodorus palaefolius) pada limbah industri peleburan tembaga dan kuning*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, ISBN: 978-602-98569-1-0.
- Clemens, S. 2006. Evolution and function of phytochelatin synthases. *Journal of plant physiology*, 163(3), 319-332.

- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- David, M., Liong, Syarifuddin dan Halla, Yusafir. 2016. Fitoakumulasi Cd dan Zn dalam Tumbuhan Bakau *Rhizophora mucronata* Di Sungai Tallo Makassar. *Jurnal Kimia Universitas Hasanuddin Makassar*.
- Day, R.A. dan Underwood, A.L. 1996. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Kelima*. Jakarta : Erlangga.
- Dennis, K. K., Uppal, K., Liu, K. H., Ma, C., Liang, B., Go, Y. M., & Jones, D. P. 2019. Phytochelatin database: a resource for phytochelatin complexes of nutritional and environmental metals. *Database, 2019*.
- Depkes RI. 2002. Kepmenkes RI No. 907/Menkes/VII/2002 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum. Jakarta : Depkes RI.
- Dewi DC, Fauziyah B, Suryadinata A, Annisa D, Afifah N. 2013. Optimasi metode penentuan kadar logam tembaga dan timbal dalam gula pasir secara spektrofotometri serapan atom dengan destruksi *microwave digestion*. *Alchemy*. 2(2) : 118–125.
- Ditomaso, J.M. dan E.A. Healy. 2003. *Aquatic and Riparian Weeds of the West California*: University of California, Agriculture and Natural Resources. 96-105.
- Duffus, J. H. 1980. *Environmental Toxicology*. New York: John Wiley and Sons.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan, edisi ke-1*. Yogyakarta : Penerbit kanisius.
- Faturochman, I. 2012. Aplikasi Tumbuhan Air Mayaca Fluviatilis Dengan Sistem Kanal Dalam Bioremediasi Limbah Organic Dari Waduk Cirata. *Skripsi*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Felani, M. dan Hamzah, A. 2007. Fitoremediasi Limbah Cair Industri Tapioka dengan Tanaman Enceng Gondok. *Buana Sains*. Vol 7 No 1:11-20.
- Fitriyah, A.W, Yudhi, U., dan Irma K.K. 2013. Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya. *Jurnal [Online]*. Diakses pada 16 Mei 2015.
- Fuad, M.T., Aunurohim., Nurhidayati, T. 2013. Efektivitas Kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam Remediasi Logam Cu pada Limbah Elektroplating. *Jurnal Sains dan Semi Pomits*. 2(1). 2337-3520.

- Giesen, W dan Sukotjo. 1991. Conservation and Management Of The Ogan Komerling and Lebaks South Sumatra. *Survey Report PHPA AWB Sumatra Wetland Project Report No.8*. Asian Wetland Bureau Indonesia.
- Ghosh, M., dan Singh, S.P. 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of its Byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research 3 (1): 1 -18*.
- Handayani, 2009. *Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit*. Tangerang : Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI.
- Handoko, P, dan Y. Fajariyanti. 2008. Pengaruh Spektrum Cahaya Tampak Terhadap Laju Fotosintesis Tanaman Air Hydrilla Verticillata. *Jurnal Prodi Pendidikan Biologi FKIP*. Kediri : Universitas Nusantara PGRI.
- Heriyanto, N, dan Endro, S. 2011. Penyerapan Polutan Logam Berat (Hg, Pb dan Cu) oleh Jenis-Jenis Mangrove. 8(2) : 181–192.
- Hidayah, E. N., Andryzah., Gina, A. A., dan Okik, H. C. 2018. Pengaruh Aerasi Dalam Constructed Wetland Pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal*
- Juhaeti, T., Syarif, F dan Hidayati, N. 2005. Inventarisasi Tumbuhan Potensial Untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas. *Biodiversitas*. 6(1) : 31-33. ISSN 1412-033X.
- Kalsum SU, Napoleon A dan Yudono B. 2014. Efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) dan Rumput Payung (*Cyperus alternifolius*) dalam pengolahan limbah grey water. *Jurnal Penelitian Sains*. 17(1): Hal 20-25.
- Lambers, H., Chapin, F.S dan Pons, T.J. 2010. *Plant Physiological Ecology Second Edition*. Springer.
- Lelifajri, L. 2010. Adsorpsi Ion Logam Cu (II) menggunakan Lignin dari Limbah Serbuk Kayu Gergaji. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan* 7(3).
- Lide, D. R. 2004. *Handbook of Chemistry and Physics*.CRC Press, Boston.
- Ma'rifah, A. 2018. Adsorpsi Logam Ni dan Pb pada Limbah Laboratorium Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang Menggunakan Biosorben Batang Jagung Termodifikasi Asam Sitrat. *Skripsi*. Malang : Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Maiti, S.K & Shishir,J. 2008. Bioaccumulation and Trans-location of Metal in Natural Vegetation Growing on Fly Ash Lagoons: A Field Study From Santaldih Thermal Power Plants, West Bengal India. *Environmental Monitoring and Assessment* 136: 355 –370.

- Majid, S.N., Khwakaram, A.I., Rasul, G.A.M., dan Ahmed, Z.H. 2014. Bioaccumulation, Enrichment and Translocation Factors of some Heavy Metals in *Typha Angustifolia* and *Phragmites Australis* Species Growing along Qalyasan Stream in Sulaimani City. *Journal of Zankoy Sulaimani-Part A*. 16 : 93-109.
- Malik, N & Biswas, A.K. 2012. Role Of Higher Plants In Remediation Of Metal Contaminated Sites. *Scientific Reviews & Chemical Communications*. 2(2) : 141 – 146.
- Marthana, W.S.M., Soeprobowati, T.R., dan Izzati, M. 2014. Bioakumulasi Timbal (Pb) oleh *Hydrilla verticillata* L.f. Royle di Danau Rawapening, Ambarawa Semarang. *Jurnal Sains dan Matematika*. 22(2) : 52-59.
- Mundiyatun, D. 2015. *Pengelolaan kesehatan lingkungan*. Yogyakarta: Gava Media.
- Mutmainnah, Arinafril, F. dan Suheryanto. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Dengan Menggunakan *Hydrilla Verticillata* Dan *Najas Indica*, *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 12 (2) : 90-103.
- Nasir, M. Sulastri dan Michelia Mutiara Hilda. 2018. Analisis Kadar Logam Timbal Dan Arsenik Dalam Tanah Dengan Spektrofotometri Atom. *Jurnal IPA dan Pembelajaran IPA*. Vol 2(2): 89-99.
- Nugraha, Happy, dan Hari, S. 2011. Pengukuran Produktivitas dan Waste Reduction dengan Pendekatan Productivity. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nuraini, I, dan Sabhan. 2015. Analisis Logam Berat Dalam Air Minum Isi Ulang (AMIU) Dengan Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Fis. Gravitasi*. 14(1) : 37.
- Palar. H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : Rineka cipta.
- Patandungan, A. 2014. Fitoremediasi tanaman akar wangi (*Vetiver zizanioides*) terhadap tanah tercemar logam cadmium (Cd) pada lahan TPA tamang apa antang makasar. *Skripsi: UIN Alauddin Makassar*.
- Parulian, A. 2009. Monitoring dan Analisis Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) pada Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal. *Tesis*. Medan : Pascasarjana Universitas Sumatera Utara (USU).
- Peraturan Gubernur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.

- 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.
- Putri, A.S. 2018. Studi Penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg) dan Seng (Zn) dengan Menggunakan Metode Fitoremediasi pada Tanaman *Hydrilla verticillate*. *Skripsi*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.
- Rahardian, R, Emdro, S, Sri S. 2017. Efisiensi penurunan COD dan TSS dengan fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L*). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6(3) : 1-8.
- Rahmayani, F. 2009. *Analisis Kadar Besi (Fe) dan Tembaga (Cu) dalam air Zam-zam Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*.
- Ramesh, S., Rajan, R., dan Santhanam, R. 2014. *Freshwater phytopharmaceutical compounds*. US : CRC Press.
- Raza, A., Habib, M., Kakavand, S. N., Zahid, Z., Zahra, N., Sharif, R., & Hasanuzzaman, M. 2020. Phytoremediation of cadmium: physiological, biochemical, and molecular mechanisms. *Biology*, 9(7), 177.
- Reilly, C. 1991. *Metal Contamination Food Second Edition*. *Elsivier Science Publisher Ltd* : London.
- Riwayati, Indah H, H.P., 2014. Adsorpsi Logam Berat Timbal dan Kadmium Pada Limbah Batik Menggunakan Biosorbent Pulpa Kopi. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi*. pp.0–8.
- Rohaeti Eti., Nenny, F.T., dan Imadia, B. 2011. Pengolahan Limbah Cair Dari Kegiatan Praktikum Analisis Spot Test Dengan Koagulasi Menggunakan Polialuminium Klorida. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah* 9. ISSN 1410-6086.
- Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Rondonuwu, S.B. 2014. Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. *Ilmiah Sains*. 14(1), pp.52–60.
- Rosmiati, Arsyad, A., & Zubair, A. (2014). *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dan Kayu Apu (Pistia Stratiotes) Dengan Aliran Batch*.
- Rukaesih, A., 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: Andi.
- Sainty, G.R., dan Jacobs S.W.L. 1988. *Water plants in Australia*. Royal Botanic Gardens. Sydney : Australian Water Resources Council. Hal 144.

- Santriyana, D., D. 2013. Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang ditumbuhkan pada Limbah Ipa Pdam Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. Jurnal [Online].Diakses pada 16 Mei 2015.
- Sawyer, C. N. 1994. *Chemistry for Enviromental Engineering*. New York : McGraw-Hill.
- Shihab, M. Q. 2002. *Tafsir Al- Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Quran*. Jakarta : Lentera Hati.
- Sigit, H. 2004. BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Makalah Individu Pengantar Falsafah Sains Sekolah Pasca Sarjana (S3)*. 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.
- Siregar, Ulfah J, Chairil AS. 2010. *Fitoremediasi Prinsip dan Prakteknya dalam Restorasi Lahan Paska Tambang di Indonesia*. Seameo Biotrop: Jakarta.
- Soeprbowati, T.R. 2011. Kajian Perubahan Ekosistem Danau Rawapening Menggunkan Diatom sebagai Bioindikator. *Prosiding*, Semarang : Simposium Nasional Penelitian Perubahan Iklim. Kementerian Lingkungan Hidup berkerjasama dengan UNDIP.
- Sudiro. 2013. Kajian Efektifitas Tanaman Air *Lemna minor* dan *Hydrilla verticillata* dalam Mereduksi BOD dan COD Sebagai Upaya Perbaikan Kualitas Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal spectra*. 21(12): 1-8.
- Sumardi. 1981. Metode Destruksi Contoh Secara Kering dalam Analisa Unsur-Unsur Fe, Cu, Mn, dan Zn dalam Contoh-Contoh Biologis. *Prosiding Seminar Nasional Metode Analisis*. Lembaga Kimia Nasional. Jakarta : LIPI.
- Supriyanto, Samin dan Zainul Kamal. 2007. Analisis Cemar Logam Berat Pb, Cu dan Cd Pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). *Prosiding Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta.
- Suratno, E.W. 2013. Validasi Metode Analisis Pb dengan Menggunakan Flame Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Untuk Studi Biogeokimia dan Toksisitas Logam Timbal (Pb) Pada Tanaman Tomat (*Lycopersicum Esculentum*). *Skripsi*. Universitas Lampung : Lampung.
- Suryandari, A. 2009. Tumbuhan Air di Danau Limboto Gorontalo :Manfaat dan Permasalahannya. *Jurnal Bawal*. 2(4) : 151-154.



- Tanor, M. N. 2004. *Hydrilla verticillata* sebagai Sumber Hara pada Sistem Budidaya Kacang Tanah. *Eugenia*. 10(1): 92-101.
- Terry N dan Banuelos G.S. 2010. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Oxford : Taylor and Francis.
- Trisnawati, N. N., Ida .B. P. M., dan Iryanti E S. 2016. Fitodegradasi dengan Tanaman Pacing (*Speciosus cheilocostus*) untuk Menurunkan Kandungan Pb, Cd, dan Hg Limbah Cair Laboratorium. *Jurnal Cakra Kimia*. 4(1). 77-83.
- Urifah D, Zakiyah U, Kusriani, B.C. H, Y. R. 2017. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) oleh Tanaman *Hydrilla* (*Hydrilla verticillata*). *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 11(2): 100–108.
- Vivekanandam S, Mahalingam S, Muthunarayanan V, Arumungam K dan Ganesan S. 2014. Inquisition of the potential of *Hydrilla verticillate* to remediate nitrate encompassing aqueous solutions. *J. Chem. Biol. Physic*. 49(3):2265-2274.
- Vogel. 1979. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Edisi Kelima*. Jakarta : PT Kalman Media Pustaka.
- Wahwakhi, S. 2017. Potensi *Acanthus ilicifolius* Sebagai Agen Fitoremediasi dan Fitomining Pada Logam Cu di Kelurahan Wonorejo Kota Surabaya. *Skripsi*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Widaningrum, Miskiyah, Suismono, 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian. *Buletin Teknologi Pasca Panen Pertanian*. 3 : 16-27.
- Xing, W., Wu, H., Hao, B., Liu, G. 2013. Metal accumulation by submerge macrophytes in eutrophic lakes at the watershed scale. *Environmental Science Pollution Res* (20). 6999-7008.
- Xu. G., R. Luo., dan Yinan Yao. 2013. *Paclobutrazol Improved the Reproductive Growth and the Quality of Seed Oil of Jatropha curcas*. *J Plant Growth Regul* (32) :875–883.
- Yulaipi, S., dan Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal ( Pb ) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*), *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(2), pp.1–5. 166-170.
- Youngman, L. 1999. *Physiological respon Of Switchgrass (Panicum Virgatum L) to Organic And Inorganic Amened Heavy-Metal Contaminated Chat Tailings*. *Phytoremediation of Soil and Water Contaminants*, American Chemical society Symposium. Washington, D.C.

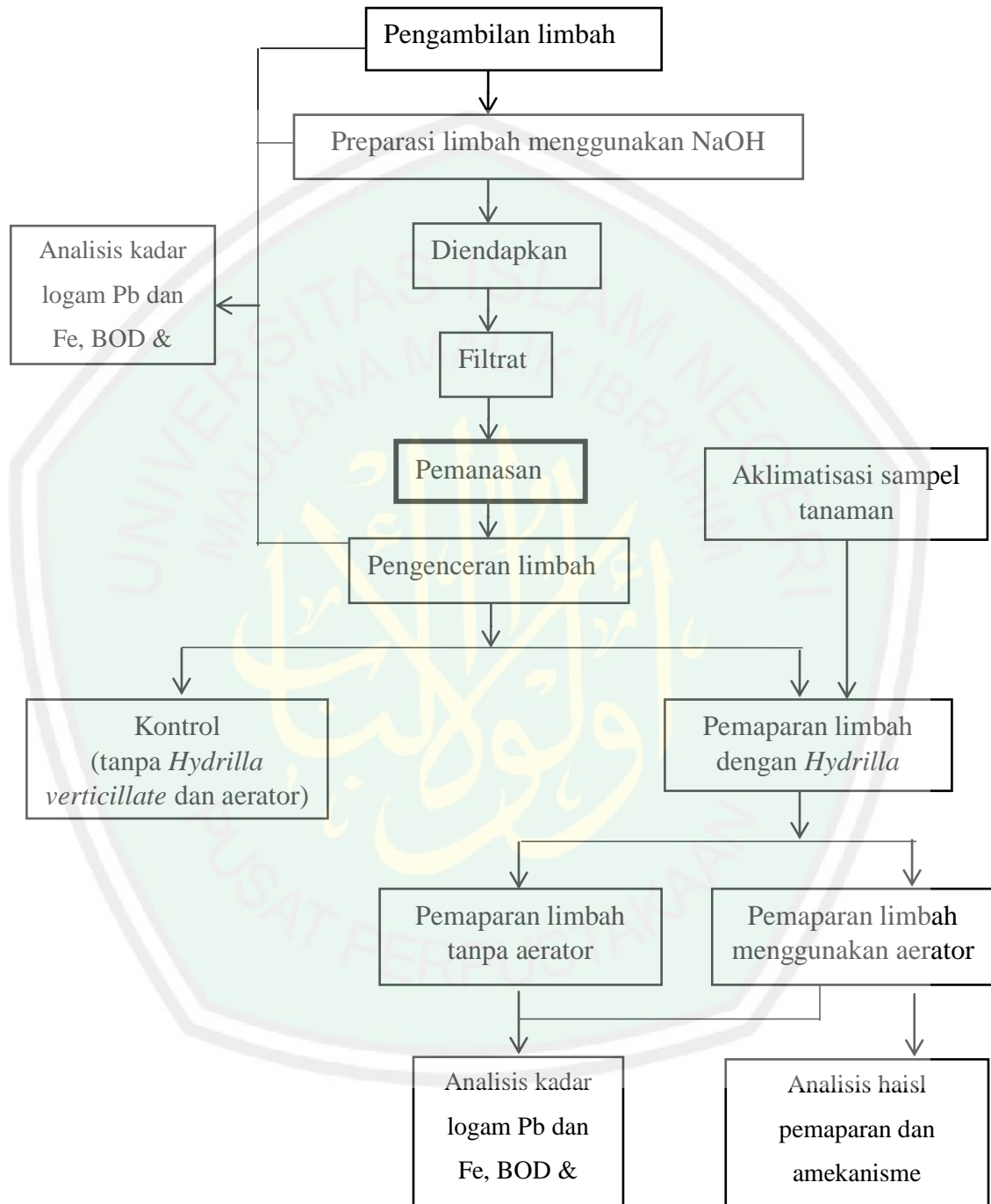
Yusyuniyah, Siti Irma. 2017. Adsorpsi Logam Cu, Fe, dan Pb pada Limbah Laboratorium Kimia UIN Malang Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dengan Variasi Konsentrasi. Malang: Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Zulsusyanto. 2015. Kinerja Produksi Benih Ikan Nila *Oreochromis niloticus* Ukuran 4-5 cm dengan *Hydrilla verticillata* sebagai Fitoremediator. *Skripsi* (Tidak dipublikasikan). Bogor : Departemen Budidaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.



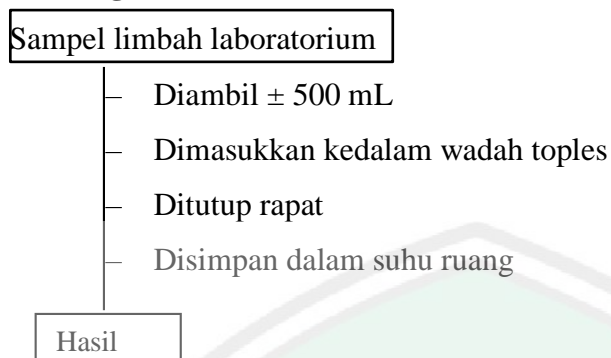
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Rancangan Penelitian

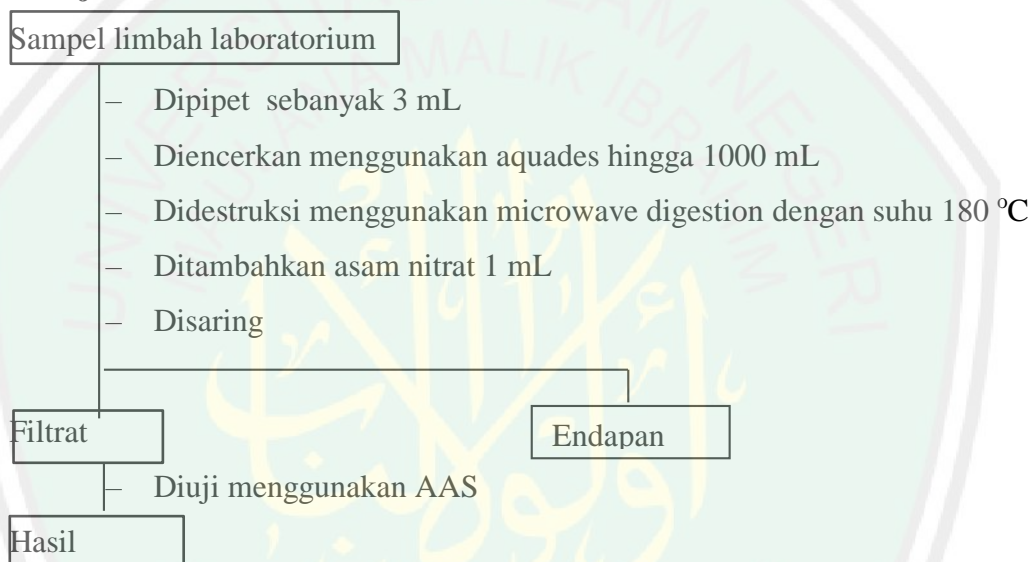


## Lampiran 2. Diagram Alir

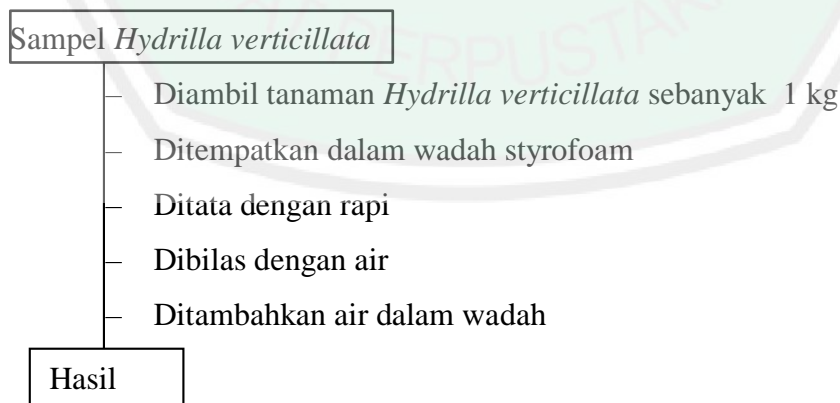
### 1. Pengambilan limbah laboratorium Kimia UIN Malang



### 2. Uji Pendahuluan



### 3. Pengambilan sampel tanaman dan air



#### 4. Aklimatisasi Sampel

Aquades

- Dimasukkan sebanyak 30 liter kedalam bak plastik
- Dimasukkan tanaman *Hydrilla verticillata*
- Dibiarkan selama 5 hari

Hasil

#### 5. Preparasi limbah laboratorium untuk aplikasi *Hydrilla verticillata*

Limbah laboratorium

- Dimasukkan limbah logam masing-masing 3 ml
- Dilarutkan dengan aquades hingga 1000 mL
- Disiapkan botol kaca ± 500 mL sebanyak 21 buah
- Diambil sebanyak 250 mL larutan stok limbah logam
- Dimasukkan dalam botol kaca
- Disiapkan untuk pemaparan dengan variasi waktu 5, 10, dan 15 hari

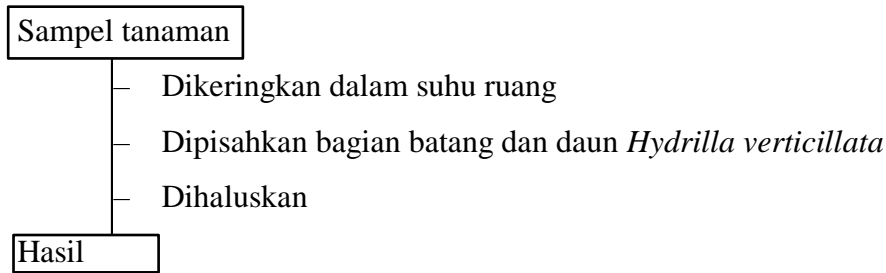
Hasil

#### 6. Pemaparan sampel dengan logam berat Pb dan Fe

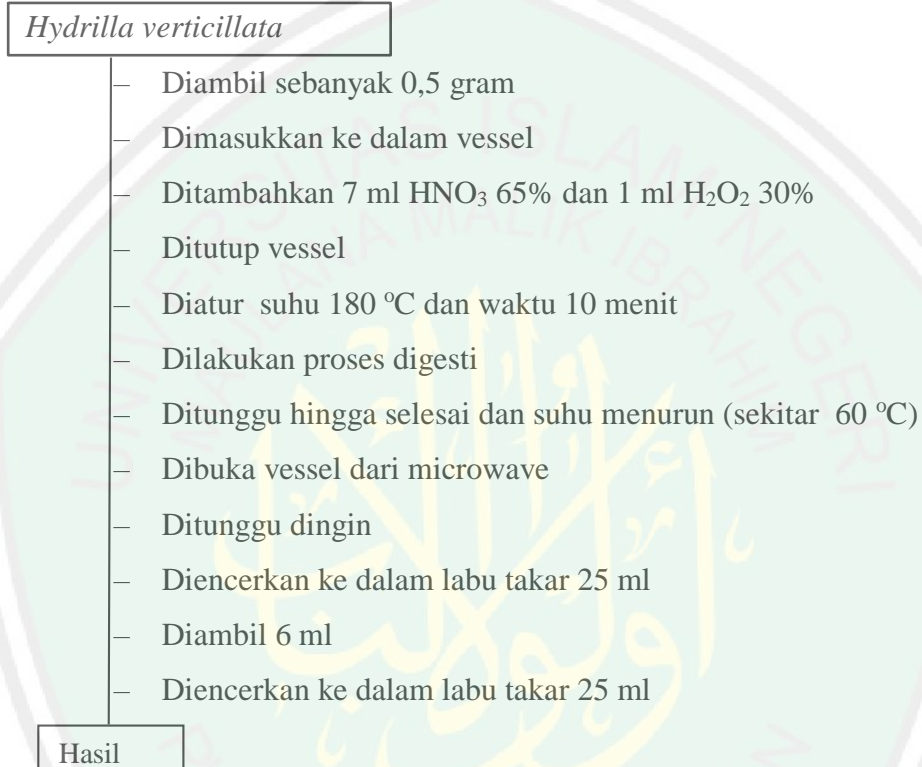
*Hydrilla verticillata*

- Ditimbang masing-masing seberat 20 gram
- Dimasukkan tiap tanaman ke dalam botol kaca/akuarium
- Dibuat sebagai kontrol sebanyak 3 buah tanaman pada botol kaca/akuarium
- Dipaparkan oleh logam Pb dan Fe menggunakan variasi waktu hari ke 5, 10, dan 15 dengan penggulungan sebanyak 3 kali pada 18 buah tanaman
- Ditutup dengan alumunium foil yang telah diberi lubang

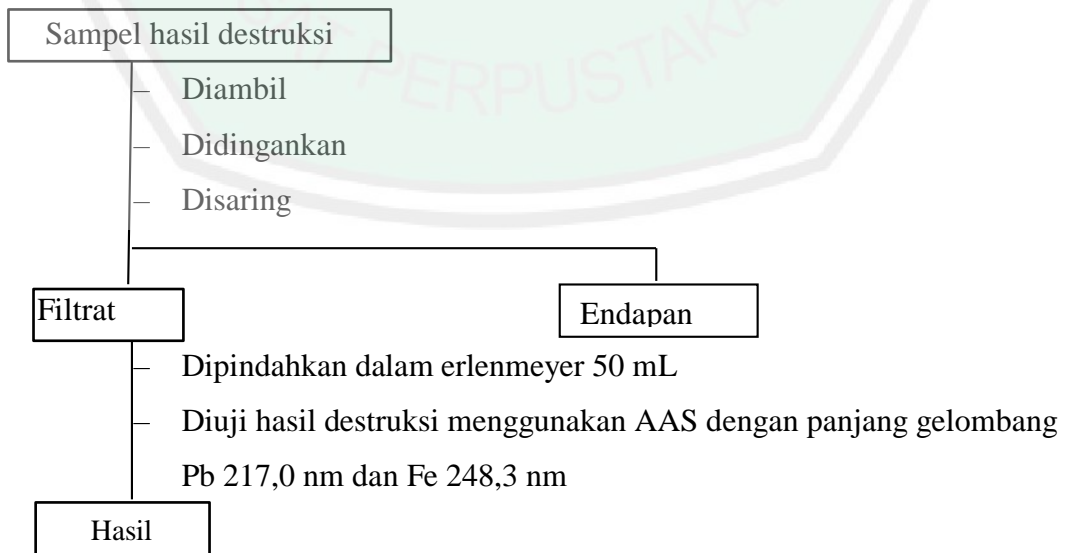
Hasil



## 7. Destruksi Sampel



## 8. Analisa kadar Pb dan Fe menggunakan AAS



### 9. Pembuatan Larutan Standart Timbal (Pb)

Larutan baku Pb 10 ppm

- Diambil 1 mL (untuk dibuat larutan standar Pb 10 ppm)
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL
- Diencerkan sampai tandai batas
- Dibuat larutan standar Pb 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 dan 1,0 ppm
- Diencerkan sampai tanda batas

Hasil

### 10. Pembuatan Larutan Standart Besi (Fe)

Larutan baku Fe 10 ppm

- Diambil 1 mL (untuk dibuat larutan standar Fe 10 ppm)
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL
- Diencerkan sampai tandai batas
- Dibuat larutan standar Fe 0,06; 0,11; 0,16; 0,21 dan 0,26 ppm
- Diencerkan sampai tanda batas

Hasil

### Lampiran 3. Perhitungan

#### Pembuatan Larutan Standart Timbal (Pb)

Membuat larutan standart 1 mg/L dari larutan stok 10 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V1 = 1 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

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

Jadi cara pembuatan larutan 10 mg/L dibuat dari 5 mL larutan stok 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 50 mL.

a. Pembuatan cara pembuatan larutan 0,1 mg/L dalam 10 mL

$$M1 \times V1 = M1 \times V1$$

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,2 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 2 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 0,1 mg/L dibuat dari 2 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

b. Pembuatan larutan standart 0,2 mg/L dalam 10 mL

$$M1 \times V1 = M1 \times V1$$

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,2 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 2 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 0,2 mg/L dibuat dari 2 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

c. Pembuatan larutan standart 0,4 mg/L dalam 10 mL

$$M1 \times V1 = M1 \times V1$$

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,4 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 4 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 0,4 mg/L dibuat dari 4 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

d. Pembuatan larutan standart 0,8 mg/L dalam 10 mL

$$M1 \times V1 = M1 \times V1$$

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,8 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 8 \text{ mL}$$



Jadi, cara pembuatan larutan 0,8 mg/L dibuat dari 8 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

e. Pembuatan larutan standart 1,0 mg/L dalam 10 mL

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

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 10 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 10 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 1 mg/L dibuat dari 10 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

### Pembuatan Larutan Standart Besi (Fe)

Membuat larutan standart 1 mg/L dari larutan stok 10 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V1 = 1 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

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

Jadi cara pembuatan larutan 1 mg/L dibuat dari 5 mL larutan stok 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 50 mL.

a. Pembuatan larutan standart 0,06 mg/L dalam 10 mL

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

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,06 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{0,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 0,6 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 0,06 mg/L dibuat dari 0,6 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

b. Pembuatan larutan standart 0,11 mg/L dalam 10 mL

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

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,11 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{1,1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 1,1 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 0,11 mg/L dibuat dari 1,1 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

c. Pembuatan larutan standart 0,16 mg/L dalam 10 mL

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

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,16 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{1,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 1,6 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 0,16 mg/L dibuat dari 1,6 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

d. Pembuatan larutan standart 0,21 mg/L dalam 10 mL

$$M1 \times V1 = M1 \times V1$$

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,21 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{2,1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 2,1 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 0,21 mg/L dibuat dari 2,1 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL.

e. Pembuatan larutan standart 0,26 mg/L dalam 10 mL

$$M1 \times V1 = M1 \times V1$$

$$1 \text{ mg/L} \times V1 = 0,26 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{2,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mL}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V1 = 2,6 \text{ mL}$$

Jadi, cara pembuatan larutan 0,26 mg/L dibuat dari 2,6 mL larutan 10 mg/L yang diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M dalam labu ukur 10 mL

#### Pembuatan Larutan HNO<sub>3</sub> 0,5 M

Diketahui: Mr HNO<sub>3</sub> = 63,01 g/mol  
Konsentrasi HNO<sub>3</sub> p.a = 65%  
Bj HNO<sub>3</sub> = 1,41 g/mL

Ditanya: Volume HNO<sub>3</sub> yang diambil ?

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{Mol HNO}_3(n) &= M \times V \text{ (L)} \\ &= 0,5 \text{ mol/L} \times 0,1 \text{ L} \\ &= 0,05 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa HNO}_3 &= n \times \text{Mr} \\ &= 0,05 \text{ mol} \times 63,1 \text{ g/mol;} \\ &= 3,15 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume HNO}_3 &= \frac{\text{massa}}{\% \times \text{Bj}} \\ &= \frac{3,15 \text{ g}}{65 \% \times 1,41 \text{ g/mL}} \\ &= \frac{3,15 \text{ g}}{0,91 \text{ g/mL}} \\ &= 3,46 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi cara pembuatannya dipipet HNO<sub>3</sub> p.a sebanyak 3,46 mL kemudian ditanda bataskan dengan aquades dalam labu ukur 100 mL.

Tabel L.3.1 Hasil Kadar Logam Dalam Limbah Laboratorium

Sampel logam	Hari ke-	Konsentrasi Kadar			Rata-rata
		1	2	3	
Logam Pb (aerator)	5	117,647	117,647	131,653	122,316
	10	145,658	137,255	162,465	148,459
	15	193,277	128,852	313,725	211,951
Logam Pb (tanpa aerator)	5	123,249	128,852	112,045	121,382
	10	151,261	154,062	151,261	152,195
	15	168,067	126,050	176,471	156,863
Logam Fe (aerator)	5	41,237	43,528	49,255	44,673
	10	63,001	51,546	61,856	58,801
	15	139,748	116,838	116,838	124,475
Logam Fe (tanpa aerator)	5	67,583	97,365	45,819	70,256
	10	123,711	103,093	80,183	102,329
	15	98,511	48,110	114,548	87,056

Tabel L3.2 Hasil BCF Pada Logam Pb

Waktu pemaparan Hari ke-	Dengan /tanpa aerator	Kadar (mg/kg)		BCF	
		Daun	Batang	Daun	Batang
5	Dengan	47,4938	6,6044	388,3385	54,0016
	Tanpa	30,7407	25,1447	253,2182	207,1227
10	Dengan	22,0896	7,3382	148,7515	49,4154
	Tanpa	45,3573	4,1982	298,2017	27,6015
15	Dengan	93,4202	57,9471	607,0188	376,5243
	Tanpa	74,0812	20,6269	472,4566	131,5491

Tabel L.3.3 Hasil BCF Pada Logam Fe

Waktu pemaparan Hari ke-	Dengan /tanpa aerator	Kadar (mg/kg)		BCF	
		Daun	Batang	Daun	Batang
5	Dengan	73,7917	36,1420	1654,5224	810,3587
	Tanpa	90,3202	28,7089	428,6672	136,2548
10	Dengan	113,2385	77,3260	1925,8248	1315,0680
	Tanpa	76,0631	37,6945	743,5298	368,4701
15	Dengan	88,3084	56,1849	709,8745	451,6471
	Tanpa	83,7208	49,7253	962,3080	571,5551

Tabel L.3.4 Nilai TF Pada Variasi Waktu Pemaparan Logam Pb

Waktu pemaparan hari ke-	Dengan/ tanpa aerator	TF
5	Dengan	7,1912
	Tanpa	1,2225
10	Dengan	3,0102
	Tanpa	10,0839
15	Dengan	1,6121
	Tanpa	3,5914

Tabel L.3.5 Nilai TF Pada Variasi Waktu Pemaparan Logam Fe

Waktu pemaparan hari ke-	Dengan/ tanpa aerator	TF
5	Dengan	2,0417
	Tanpa	3,1460
10	Dengan	1,4644
	Tanpa	2,0178
15	Dengan	1,0547
	Tanpa	1,6836

**Kadar Logam Pb**

= 22,0896 mg/kg

Hari ke-5

BT

BA

$$\text{Kadar} = \frac{0,0841 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{0,1323 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

=  $\frac{20,9913}{5}$

=  $\frac{33,0220}{5}$

= 4,1982 mg/kg

= 6,6044 mg/kg

DT

DA

$$\text{Kadar} = \frac{0,9086 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{0,9514 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

=  $\frac{226,7865}{5}$

=  $\frac{237,4694}{5}$

= 45,3573 mg/kg

= 47,4938 mg/kg

Hari ke-15

BT

BA

$$\text{Kadar} = \frac{0,5037 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{1,1608 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

=  $\frac{125,7235}{5}$

=  $\frac{289,7356}{5}$

= 25,5037 mg/kg

= 57,9471, mg/kg

DT

DA

$$\text{Kadar} = \frac{0,6158 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{1,8714 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

=  $\frac{153,7036}{5}$

=  $\frac{467,1014}{5}$

= 30,7407 mg/kg

= 103, mg/kg

Hari ke-10

BT

BA

$$\text{Kadar} = \frac{0,1470 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{0,4132 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

=  $\frac{36,6912}{5}$

=  $\frac{103,1347}{5}$

= 7,3382 mg/kg

= 20,6269 mg/kg

DA

DT

$$\text{Kadar} = \frac{0,4425 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{1,4840 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

=  $\frac{110,448}{5}$

=  $\frac{370,6064}{5}$

= 74,0812 mg/kg

**Perhitungan BCF**

Hari ke-5

BA

$$\text{BCF} = \frac{6,6044 \text{ ppm}}{40,7667 \text{ ppm}} = 0,1620$$

DA

$$\text{BCF} = \frac{47,4938 \text{ ppm}}{40,7667 \text{ ppm}} = 1,1650$$

BT

$$\text{BCF} = \frac{25,1447 \text{ ppm}}{40,4667 \text{ ppm}} = 0,6214$$

DT

$$\text{BCF} = \frac{47,4938 \text{ ppm}}{40,4667 \text{ ppm}} = 0,7597$$

Hari ke-10

BA

$$\text{BCF} = \frac{7,3382 \text{ ppm}}{49,4999 \text{ ppm}} = 0,1482$$

DA

$$\text{BCF} = \frac{22,0896 \text{ ppm}}{49,4999 \text{ ppm}} = 0,4463$$

BT

$$\text{BCF} = \frac{4,1982 \text{ ppm}}{50,6999 \text{ ppm}} = 0,0828$$

DT

$$\text{BCF} = \frac{45,3573 \text{ ppm}}{50,6999 \text{ ppm}} = 0,8946$$

Hari ke-15

BA

$$\text{BCF} = \frac{57,9471 \text{ ppm}}{51,2999 \text{ ppm}} = 1,1296$$

DA

$$\text{BCF} = \frac{93,4202 \text{ ppm}}{51,2999 \text{ ppm}} = 1,8211$$

BT

$$\text{BCF} = \frac{20,6269 \text{ ppm}}{52,2666 \text{ ppm}} = 0,3946$$

DT

$$\text{BCF} = \frac{74,0812 \text{ ppm}}{52,2666 \text{ ppm}} = 1,4173$$

**Kadar Logam Fe**

= 113,2385 mg/kg

Hari ke-5

BT

BA

$$\text{Kadar} = \frac{0,7551 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{0,7240 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$= \frac{188,4729}{5}$$

$$= \frac{180,7104}{5}$$

= 37,6945 mg/kg

= 36,1420 mg/kg

DT

DA

$$\text{Kadar} = \frac{1,5237 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{1,4782 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$= \frac{380,3155}{5}$$

$$= \frac{368,9587}{5}$$

= 76,0631 mg/kg

= 73,7917 mg/kg

Hari ke-15

BT

BA

$$\text{Kadar} = \frac{0,5751 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{1,1255 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$= \frac{143,5449}{5}$$

$$= \frac{280,9248}{5}$$

= 28,7089 mg/kg

= 56,1849 mg/kg

DT

DA

$$\text{Kadar} = \frac{1,8093 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{1,7690 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$= \frac{451,6012}{5}$$

$$= \frac{441,5424}{5}$$

= 90,3202 mg/kg

= 88,3084 mg/kg

Hari ke-10

BT

BA

$$\text{Kadar} = \frac{1,5490 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{0,9961 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$= \frac{386,6304}{5}$$

$$= \frac{248,6265}{5}$$

= 77,3260 mg/kg

= 49,7253 mg/kg

DA

DT

$$\text{Kadar} = \frac{2,2684 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$\text{Kadar} = \frac{1,6771 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ kg}}$$

$$= \frac{566,1926}{5}$$

$$= \frac{418,6041}{5}$$

= 83,7208 mg/kg

**Perhitungan BCF**

Hari ke-5

BA

$$\text{BCF} = \frac{36,1420 \text{ ppm}}{14,8666 \text{ ppm}} = 2,4311$$

DA

$$\text{BCF} = \frac{73,7917 \text{ ppm}}{14,866 \text{ ppm}} = 4,9636$$

BT

$$\text{BCF} = \frac{28,7089 \text{ ppm}}{70,2333 \text{ ppm}} = 0,4087$$

DT

$$\text{BCF} = \frac{90,3202 \text{ ppm}}{70,2333 \text{ ppm}} = 1,2860$$

Hari ke-10

BA

$$\text{BCF} = \frac{77,3260 \text{ ppm}}{19,5999 \text{ ppm}} = 3,9452$$

DA

$$\text{BCF} = \frac{113,2385 \text{ ppm}}{19,5999 \text{ ppm}} = 5,7775$$

BT

$$\text{BCF} = \frac{37,6945 \text{ ppm}}{34,0999 \text{ ppm}} = 1,1054$$

DT

$$\text{BCF} = \frac{76,0631 \text{ ppm}}{34,0999 \text{ ppm}} = 2,2306$$

Hari ke-15

BA

$$\text{BCF} = \frac{56,1849 \text{ ppm}}{41,4667 \text{ ppm}} = 1,3549$$

DA

$$\text{BCF} = \frac{88,3084 \text{ ppm}}{41,4667 \text{ ppm}} = 2,1296$$

BT

$$\text{BCF} = \frac{49,7253 \text{ ppm}}{28,9999 \text{ ppm}} = 1,7147$$

DT

$$\text{BCF} = \frac{83,7208 \text{ ppm}}{28,9999 \text{ ppm}} = 2,8869$$



**Perhitungan TF**

Logam Pb

Hari ke-5

$$\text{Dengan aerator, TF} = \frac{47,4938}{6,6044} = 7,1912$$

$$\text{Tanpa aerator, TF} = \frac{30,7407}{25,1447} = 1,2225$$

Hari ke-10

$$\text{Dengan aerator, TF} = \frac{22,0896}{7,3382} = 3,0102$$

$$\text{Tanpa aerator, TF} = \frac{45,3573}{4,1982} = 10,8039$$

Hari ke-15

$$\text{Dengan aerator, TF} = \frac{93,4202}{57,9471} = 1,6121$$

$$\text{Tanpa aerator, TF} = \frac{74,0812}{20,6269} = ,5914$$

Logam Fe

Hari ke-5

$$\text{Dengan aerator, TF} = \frac{73,7917}{36,1420} = 2,0417$$

$$\text{Tanpa aerator, TF} = \frac{90,3202}{28,7089} = 3,1460$$

Hari ke-10

$$\text{Dengan aerator, TF} = \frac{113,2385}{77,3260} = 1,4644$$

$$\text{Tanpa aerator, TF} = \frac{76,0631}{37,6945} = 2,0178$$

Hari ke-15

$$\text{Dengan aerator, TF} = \frac{88,3084}{83,7208} = 1,0547$$

$$\text{Tanpa aerator, TF} = \frac{83,7208}{49,7253} = 1,6836$$

**Lampiran 4. Data Mentah**

**Data mentah hasil uji statistik**

**Logam Timbal (Pb)**

**Between-Subjects Factors**

		N
Waktu	10 hari	6
	15 hari	6
	5 hari	6
Dengan_dan_tanpa_aerator	Aerator	9
	Tanpa	9

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: Kadar

Waktu	Dengan_dan_tanpa_aerator	Mean	Std. Deviation	N
10 hari	Aerator	13.8867	4.19281	3
	Tanpa	7.2200	3.47078	3
	Total	10.5533	5.01834	6
15 hari	Aerator	23.8867	.96417	3
	Tanpa	24.4433	.96417	3
	Total	24.1650	.91470	6
5 hari	Aerator	28.8900	1.92258	3
	Tanpa	26.1100	6.30755	3
	Total	27.5000	4.43972	6
Total	Aerator	22.2211	7.02268	9
	Tanpa	19.2578	9.75817	9
	Total	20.7394	8.38709	18

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Kadar

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1006.694 <sup>a</sup>	3	335.565	24.838	.000
Intercept	7742.242	1	7742.242	573.071	.000
Waktu	967.178	2	483.589	35.795	.000
Dengan_dan_tanpa_aerator	39.516	1	39.516	2.925	.109
Error	189.141	14	13.510		
Total	8938.078	18			
Corrected Total	1195.836	17			

a. R Squared = .842 (Adjusted R Squared = .808)

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
						Lower Bound
Tukey HSD	10 hari	15 hari	-13.6117*	2.12211	.000	-19.1658
		5 hari	-16.9467*	2.12211	.000	-22.5008
	15 hari	10 hari	13.6117*	2.12211	.000	8.0575
		5 hari	-3.3350	2.12211	.290	-8.8892
	5 hari	10 hari	16.9467*	2.12211	.000	11.3925
		15 hari	3.3350	2.12211	.290	-2.2192
LSD	10 hari	15 hari	-13.6117*	2.12211	.000	-18.1631
		5 hari	-16.9467*	2.12211	.000	-21.4981
	15 hari	10 hari	13.6117*	2.12211	.000	9.0602
		5 hari	-3.3350	2.12211	.138	-7.8865
	5 hari	10 hari	16.9467*	2.12211	.000	12.3952
		15 hari	3.3350	2.12211	.138	-1.2165

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar

	(I) Waktu	(J) Waktu	95% Confidence Interval
			Upper Bound
Tukey HSD	10 hari	15 hari	-8.0575
		5 hari	-11.3925
	15 hari	10 hari	19.1658
		5 hari	2.2192
	5 hari	10 hari	22.5008
		15 hari	8.8892
LSD	10 hari	15 hari	-9.0602
		5 hari	-12.3952
	15 hari	10 hari	18.1631
		5 hari	1.2165
	5 hari	10 hari	21.4981
		15 hari	7.8865

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 13.510.

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

### Kadar

Waktu	N	Subset	
		1	2
Tukey HSD <sup>a,b</sup>			
10 hari	6	10.5533	
15 hari	6		24.1650
5 hari	6		27.5000
Sig.		1.000	.290

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 13.510.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.
- b. Alpha = .05.

### Logam Besi (Fe)

Between-Subjects Factors

		N
Waktu	10 hari	6
	15 hari	6
	5 hari	6
Dengan_dan_tanpa_aerator	aerator	9
	tanpa	9

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kadar

Waktu	Dengan_dan_tanpa_aerator	Mean	Std. Deviation	N
10 hari	aerator	96.3600	.39128	3
	tanpa	93.6667	1.35060	3
	Total	95.0133	1.72253	6
15 hari	aerator	92.2967	.81984	3
	tanpa	94.6100	2.14502	3
	Total	93.4533	1.92737	6
5 hari	aerator	97.2333	.25658	3
	tanpa	95.6500	1.60178	3
	Total	96.4417	1.34339	6
Total	aerator	95.2967	2.32987	9
	tanpa	94.6422	1.72797	9
	Total	94.9694	2.01816	18

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Kadar

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	49.476 <sup>a</sup>	5	9.895	6.008	.005
Intercept	162345.517	1	162345.517	98570.441	.000
Waktu	26.808	2	13.404	8.138	.006
Dengan_dan_tanpa_aerator	1.927	1	1.927	1.170	.301
Waktu * Dengan_dan_tanpa_aerator	20.741	2	10.371	6.297	.013
Error	19.764	12	1.647		
Total	162414.757	18			
Corrected Total	69.240	17			

a. R Squared = .715 (Adjusted R Squared = .596)

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	10 hari	15 hari	1.5600	.74095	.130	-.4167	3.5367
		5 hari	-1.4283	.74095	.173	-3.4051	.5484
	15 hari	10 hari	-1.5600	.74095	.130	-3.5367	.4167
		5 hari	-2.9883*	.74095	.004	-4.9651	-1.0116
	5 hari	10 hari	1.4283	.74095	.173	-.5484	3.4051
		15 hari	2.9883*	.74095	.004	1.0116	4.9651
LSD	10 hari	15 hari	1.5600	.74095	.057	-.0544	3.1744
		5 hari	-1.4283	.74095	.078	-3.0427	.1860
	15 hari	10 hari	-1.5600	.74095	.057	-3.1744	.0544
		5 hari	-2.9883*	.74095	.002	-4.6027	-1.3740
	5 hari	10 hari	1.4283	.74095	.078	-.1860	3.0427
		15 hari	2.9883*	.74095	.002	1.3740	4.6027

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.647.

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

Kadar				
	Waktu	N	Subset	
			1	2
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	15 hari	6	93.4533	
	10 hari	6	95.0133	95.0133
	5 hari	6		96.4417
	Sig.		.130	.173

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.647.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.



## Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian



Pengambilan sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* Danau Ranu Grati Pasuruan



Proses aklimatisasi



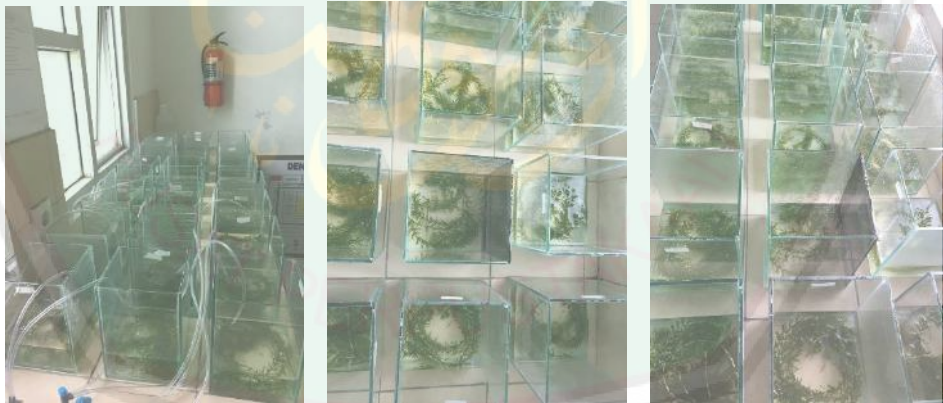
Limbah Laboratorium



Pengendapan limbah dan diperoleh filtrat



Proses Pemanasan menggunakan *hot plate*



Proses pemaparan dengan berbagai variasi waktu pemaparan





Hari ke-5 dengan dan tanpa aerator



Hari ke-10 dengan dan tanpa aerator



Hari ke-15 dengan dan tanpa aerator



Proses pengeringan sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata*



Proses destruksi menggunakan *microwave digestion*



Hasil setelah destruksi



Analisis kadar logam Pb dan Fe dalam air limbah dan tumbuhan

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT Pb dan Fe PADA LIMBAH  
LABORATORIUM KIMIA UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA  
MALIK IBRAHIM MALANG MENGGUNAKAN *Hydrilla verticillata* DARI  
DANAU RANU GRATI PASURUAN**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
MAGHFIROTUL AULIA  
NIM. 15630115**

**Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diuji:  
Tanggal: 17 Desember 2020**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Rif'atul Mahmudah, M.Si  
NIDT. 19830125 20160801 2 068**

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

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan**

**Elok Kamilah Hayati M.Si  
NIP. 19790620 200604 2 00**