

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM KIMIA
MENGUNAKAN NaOH DAN FITOREMEDIASI *Hydrilla verticillata*
UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM TEMBAGA (Cu) DAN NIKEL
(Ni)**

SKRIPSI

**Oleh:
ANGGRA LUCYAN
NIM. 15630082**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM KIMIA
MENGUNAKAN NaOH DAN FITOREMEDIASI *Hydrilla verticillata*
UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM TEMBAGA (Cu) DAN NIKEL
(Ni)**

SKRIPSI

**Oleh:
ANGGRA LUCYAN
NIM. 15630082**

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

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

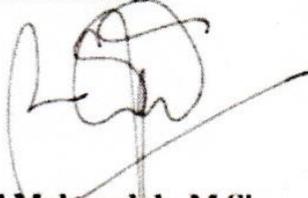
**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM KIMIA
MENGUNAKAN NaOH DAN FITOREMEDIASI *Hydrilla verticillata*
UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM TEMBAGA (Cu) DAN NIKEL
(Ni)**

SKRIPSI

Oleh:
ANGGRA LUCYAN
NIM. 15630082

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 28 Mei 2021

Pembimbing I



Rifatul Mahmudah, M.Si
NIDT. 19830125 20160801 2 068

Pembimbing II



Ahmad Hanapi, M.Sc
NIDT. 19851225 20160801 1 069

**Mengetahui,
Ketua Program Studi**



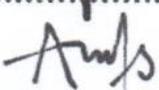
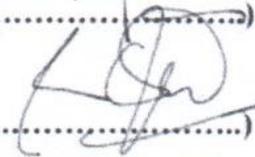
Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM KIMIA
MENGUNAKAN NaOH DAN FITOREMEDIASI *Hydrilla verticillata*
UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM TEMBAGA (Cu) DAN NIKEL
(Ni)**

SKRIPSI

Oleh:
ANGGRA LUCYAN
NIM. 15630082

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 28 Mei 2021

Penguji Utama	: Eny Yulianti, M.Si NIP. 19760611 200501 2 006	(..... )
Ketua Penguji	: Suci Amalia, M.Sc NIP. 19821101 200901 2 007	(..... )
Sekretaris Penguji	: Rif'atul Mahmudah, M.Si NIDT. 19830125 20160801 2 068	(..... )
Anggota Penguji	: Ahmad Hanapi, M.Sc NIDT. 19851225 20160801 1 069	(..... )

Mengetahui,
Ketua Program Studi


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

PERNYATAAN ORISINILITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Anggra Lucyan
NIM : 15630082
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan NaOH dan Fitoremediasi *Hydrilla verticillata* untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni)

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

Malang, 21 Juni 2021
Yang membuat pernyataan



Anggra Lucyan
15630082

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbilalamin Puji Syukur Kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karuniaNya.

Skripsi ini saya persembahkan dengan segala kerendahan hatiku ini sebagai tanda bakti dan hormat

Teruntuk orang tuaku tercinta Ayah Faisal dan Ibu Tri Anjar Winarsih terimakasih untuk ketulusanmu. Engkau telah sabar memberikan kasih sayang yang tak ada batasnya untukku. Terimakasih untuk doa yang selalu mengalir dalam setiap langkahku. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dimanapun engkau berada.

Teruntuk adikku Giswa Nurunnisa terimakasih telah memberikan dukungan, semangat dan doanya untuk keberhasilan ini.

Karya ini dipersembahkan juga untuk diriku sendiri karena telah bertahan hingga detik ini. Dengan segala lika liku perjalanan yang tidak mudah untuk mencapai sebuah gelar S.Si ini.

Dan teruntuk teman-teman yang telah berjuang bersama. Terimakasih sudah saling memotivasi, membantu dan mendoakan. Semoga kebaikan kalian semua dibalas dengan kebaikan pula oleh Allah SWT.

MOTTO

“Jika kamu berbuat baik, maka kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri. Jika kamu berbuat jahat, maka kejahatan itu bagi dirimu sendiri”

Apa yang kita tanam itulah yang kita tuai

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan NaOH dan Fitoremediasi *Hydrilla verticillata* Untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni)**”. Sholawat serta salam tetap kami curahkan kepada Nabi agung Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah ke zaman yang penuh ilmu ini.

Penulisan skripsi ini tidak luput dari bantuan semua pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan ketulusan hati penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis dan adik tercinta yang telah memberikan motivasi, do'a, semangat dan dukungan baik moril maupun materi untuk menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Dr. Sri Harini, 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 UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Ibu Rif'atul Mahmudah, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Bapak Ahmad Hanapi, M.Sc., selaku dosen pembimbing II karena atas bimbingan, pengarahan dan kesabarannya penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Ibu Suci Amalia, M.Sc., selaku konsultan yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu, pengetahuan dan pengalamannya sebagai pedoman bekal bagi penulis.
9. Semua mahasiswa Kimia Angkatan 2015 khususnya kelas C Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan informasi dan masukannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Semua rekan yang memberikan dukungan bagi penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga amal perbuatan Bapak/Ibu serta semua pihak yang membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini diridhoi oleh Allah SWT dan dicatat sebagai amal sholeh. Penulis menyadari adanya kekurangan dan keterbatasan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, laporan skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Malang, 19 Maret 2021

Anggra Lucyan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
مستخلص البحث	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Pemanfaatan <i>Hydrilla verticillata</i> dalam Perspektif Islam	9
2.2 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	11
2.2.1 Aerasi	11
2.2.2 Presipitasi	11
2.3 Limbah Laboratorium Kimia UIN Malang	12
2.4 Logam Berat Tembaga (Cu) dan Toksisitas.....	15
2.5 Logam Berat Nikel (Ni) dan Toksisitas	16
2.6 Fitoremediasi.....	17
2.6.1 Parameter Fitoremediasi.....	19
2.7 <i>Hydrilla verticillata</i>	21
2.8 Mekanisme Penyerapan oleh <i>Hydrilla verticillata</i>	23
2.9 Aklimatisasi <i>Hydrilla verticillata</i>	25
2.10 Analisis Kadar Cu dan Ni secara Spektrofotometer Serapan Atom ..	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan.....	28
3.2.1 Alat.....	28
3.2.2 Bahan.....	28
3.3 Rancangan Penelitian	29
3.4 Tahapan Penelitian	30

3.5 Pelaksanaan Penelitian	30
3.5.1 Pengambilan dan Preparasi Sampel	30
3.5.2 Aklimatisasi Sampel <i>Hydrilla verticillata</i>	31
3.5.3 Analisis COD dan BOD pada Sampel Limbah Laboratorium	31
3.5.3.1 Analisis COD	31
3.5.3.2 Analisis BOD	32
3.5.3.3 Analisis pH.....	33
3.5.4 Preparasi Sampel Limbah Laboratorium menggunakan NaOH..	33
3.5.5 Perlakuan Fitoremediasi Limbah Laboratorium dengan <i>Hydrilla</i> <i>verticillata</i>	34
3.5.6 Analisis Kadar Logam Cu dan Ni menggunakan SSA	34
3.5.7 Mekanisme Logam Cu dan Ni pada <i>Hydrilla verticillata</i>	36
3.5.8 Analisa Data Statistik	38
BAB IV PEMBAHASAN.....	40
4.1 Proses Pengambilan <i>Hydrilla verticillata</i>	40
4.2 Aklimatisasi <i>Hydrilla verticillata</i>	40
4.3 Analisis Kadar BOD, COD, pH pada Limbah Laboratorium	41
4.3.1 Analisis BOD	42
4.3.2 Analisis COD	42
4.3.3 pH.....	43
4.4 Preparasi dan Perlakuan Fitoremediasi pada Sampel Limbah Laboratorium	45
4.5 Pembuatan Kurva Standart Logam Cu dan Ni.....	46
4.6 Penentuan Kadar Logam Cu dan Ni dalam Limbah Laboratorium	47
4.7 Analisis Kadar Logam Cu dan Ni dalam Bagian <i>Hydrilla verticillata</i>	52
4.8 Penentuan BCF.....	55
4.9 Penentuan TF	57
4.10 Mekanisme Penyerapan Logam Cu dan Ni oleh <i>Hydrilla verticillata</i>	58
4.11 Kajian Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam.....	60
BAB V PENUTUP.....	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Limbah logam Cu dan Ni di Laboratorium Kimia UIN Malang	13
Tabel 4.1 Hasil analisis BOD sebelum dan sesudah perlakuan fitoemediasi hari ke-5	42
Tabel 4.2 Hasil analisis COD sebelum dan sesudah perlakuan fitoemediasi hari ke-5	43
Tabel 4.3 Hasil analisis pH sebelum dan sesudah penambahan NaOH.....	43
Tabel 4.4 Hasil uji pH pada perlakuan fitoemediasi hari ke-5, 10 dan 15.....	44
Tabel 4.5 Hasil uji statistik logam Cu.....	50
Tabel 4.6 Hasil uji statistik logam Ni.....	51
Tabel 4.7 Hasil uji BNT	52
Tabel 4.8 Konsentrasi Cu dalam <i>Hydrilla verticillata</i>	54
Tabel 4.9 Konsentrasi Ni dalam <i>Hydrilla verticillata</i>	54
Tabel 4.10 Hasil nilai TF logam Cu.....	57
Tabel 4.11 Hasil nilai TF logam Ni	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i>	22
Gambar 2.2 Struktur Fitokelatin	25
Gambar 2.3 Komponen SSA.....	26
Gambar 4.1 Hasil pengambilan <i>Hydrilla verticillata</i> dalam wadah plastik.....	40
Gambar 4.2 Proses fitoremediasi menggunakan aerator dan tanpa aerator	45
Gambar 4.3 Kurva standart logam Cu dan Ni.....	46
Gambar 4.4 Hasil kadar logam Cu pada air limbah.....	48
Gambar 4.5 Hasil kadar logam Ni pada air limbah.....	48
Gambar 4.6 Hasil destruksi	53
Gambar 4.7 Hasil BCF pada logam Cu.....	55
Gambar 4.8 Hasil BCF pada logam Ni	56
Gambar 4.9 Reaksi antara Fitokelatin dengan Logam Cu	59
Gambar 4.10 Pembentukan kompleks fitokhelatin dengan logam Cu.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan Penelitian	71
Lampiran 2 Diagram Alir	72
Lampiran 3 Perhitungan	78
Lampiran 4 Data Mentah Penelitian	84
Lampiran 5 Dokumentasi	90

ABSTRAK

Lucyan, Anggra. 2019. **Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan NaOH dan Fitoremediasi *Hydrilla verticillata* untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni)**. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Rif'atul Mahmudah, M.Si; Pembimbing II: Ahmad Hanapi, M.Sc; Konsultan: Suci Amalia, M.Sc.

Kata Kunci: *Hydrilla verticillata*, fitoremediasi, logam tembaga (Cu) dan nikel (Ni), limbah logam laboratorium

Laboratorium kimia banyak memproduksi limbah yang mengandung bahan buangan berbahaya. Pembuangan limbah merupakan salah satu bentuk pengrusakan terhadap lingkungan. Danau Ranu Grati merupakan salah satu danau alami di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Danau ini terdapat populasi *Hydrilla verticillata* yang jumlahnya lebih dari 77%. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan aerasi dan fitoremediasi *Hydrilla verticillata* serta mengidentifikasi pengaruh variasi waktu terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam Cu dan Ni. Tahapan penelitian ini meliputi: pengambilan sampel, aklimatisasi, analisis pH, kadar BOD dan COD, preparasi larutan limbah, pemaparan dengan larutan limbah. Variasi waktu menggunakan 5, 10 dan 15 hari. Analisa kadar Cu dan Ni pada *Hydrilla verticillata* dilakukan menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Hasil yang didapatkan yaitu kadar penyerapan paling besar pada air limbah laboratorium terhadap logam Cu dan Ni yaitu pada hari ke-5 menggunakan aerator sebesar 251,42 ppm dengan nilai persen serapan sebesar 92% dan 110,25 ppm dengan nilai persen serapan sebesar 63,68%. Sedangkan kadar penyerapan pada *Hydrilla verticillata* paling besar yaitu menggunakan aerator pada hari ke-10 sebesar 1607,40 ppm pada daun dan 562,14 ppm pada batang terhadap logam Cu dan logam Ni sebesar 301,71 ppm pada daun dan 104,39 ppm pada batang. *Hydrilla verticillata* bersifat hiperakumulator terhadap logam Cu dan Ni karena memiliki nilai BCF dan TF > 1.

ABSTRACT

Lucyan, Anggra. 2021. **Chemical Laboratory Wastewater Treatment Using NaOH and Phytoremediation of *Hydrilla verticillata* to Reduce Copper (Cu) and Nickel (Ni) Metal Levels**. Essay. Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor I: Rif'atul Mahampang, M.Si; Advisor II: Ahmad Hanapi, M.Sc; Consultant: Suci Amalia, M.Sc.

Keywords: *Hydrilla verticillata*, phytoremediation, copper (Cu) and nickel (Ni) metals, laboratory metal waste

Chemical laboratories produce a lot of waste that contains hazardous waste. Removal of waste is a form of damage to the environment. Ranu Grati Lake is one of the natural lakes in Pasuruan, East Java. This lake has a population of *Hydrilla verticillata* which number more than 77%. This study aims to determine the aeration and phytoremediation abilities of *Hydrilla verticillata* and to identify the effect of variations in exposure time on the ability of *Hydrilla verticillata* to remediate Cu and Ni metals. The stages of this research include: sampling, acclimatization, pH analysis, BOD and COD levels, preparation of waste solutions, exposure to waste solutions. The variations in a contact time were 5, 10 and 15 days. Analysis of Cu and Ni levels in *Hydrilla verticillata* was carried out using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) instruments.

The results obtained were the highest absorption rate in laboratory wastewater against Cu and Ni metals, namely on the 5th day using an aerator of 251.42 ppm with a percent absorption value of 92% and 110.25 ppm with a percent absorption value of 63.68 %. While the highest absorption rate in *Hydrilla verticillata* was using an aerator on the 10th day of 1607.40 ppm on the leaves and percent absorption value of 63.68 %. While the highest absorption rate in *Hydrilla verticillata* was using an aerator on the 10th day of 1607.40 ppm on the leaves and 562.14 ppm on the stem against Cu and Ni metals of 301.71 ppm on leaves and 104.39 ppm on stems. *Hydrilla verticillata* is hyperaccumulator against Cu and Ni metals because it has BCF and TF values > 1.

مستخلص البحث

لوسيان ، أنجرا. (2021). معالجة مياه الصرف الصحي المخبرية الكيميائية باستخدام هيدروكسيد الصوديوم و معالجة النبات من هيدريلا فيرتيكيلا (*Hydrilla verticillata*) لتقليل مستويات النحاس (Cu) و النيكل (Ni). البحث العلمي. قسم الكيمياء ، كلية العلوم و التكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: رفعة المحمودة الماجستير ؛ المشرف الثاني: أحمد حنفي الماجستير ؛ المستشار: سوسي أماليا الماجستير.

الكلمات المفتاحية: هيدريلا فيرتيكيلا (*Hydrilla verticillata*) ، المعالجة النباتية ، معادن النحاس (Cu) و النيكل (Ni) ، نفايات المعادن المخبرية

تنتج المعامل الكيميائية الكثير من النفايات التي تحتوي على نفايات خطرة. التخلص من النفايات هو شكل من أشكال الإضرار بالبيئة. بحيرة رانو كراتي (*Ranu Grati*) هي إحدى البحيرات الطبيعية في مقاطعة فاسوروان ، جاوة الشرقية. يبلغ عدد سكان هذه البحيرة من هيدريلا فيرتيكيلا (*Hydrilla verticillata*) أكثر من ٧٧٪. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد قدرة التهوية و الترسيب و المعالجة النباتية من هيدريلا فيرتيكيلا و تحديد تأثير تغير الوقت على قدرة هيدريلا فيرتيكيلا لمعالجة معادن النحاس و النيكل. تشمل مراحل هذا البحث: أخذ العينات ، و التأقلم ، و تحليل الأس الهيدروجيني ، و مستويات الطلب البيولوجي على الأكسجين (*BOD*) و الطلب على الأكسجين الكيميائي (*COD*) ، و إعداد حلول النفايات ، و التعرض لحلول النفايات. اختلاف الوقت باستخدام ٥ و ١٠ و ١٥ يوماً. تم إجراء تحليل لمستويات النحاس و النيكل في هيدريلا فيرتيكيلا باستخدام أدوات قياس الطيف بالامتصاص الذري (*SSA*).

النتائج التي تم الحصول عليها كانت أعلى معدل امتصاص في مياه الصرف الصحي المخبرية ضد معادن النحاس و النيكل ، و تحديداً في اليوم الخامس باستخدام جهاز تهوية ٢٥١.٤٢ جزء في المليون مع نسبة امتصاص ٩٢٪ و ١١٠.٢٥ جزء في المليون مع نسبة امتصاص ٦٣.٦٨٪. بينما كان أعلى معدل امتصاص في هيدريلا فيرتيكيلا استخدم جهاز التهوية في اليوم العاشر ١٦٠٧.٤٠ جزء في المليون على الأوراق و ٥٦٢.١٤ جزء في المليون على الساق ضد معادن النحاس و النيكل من ٣٠١.٧١ جزء في المليون على الأوراق و ١٠٤.٣٩ جزء في المليون على السيقان. هيدريلا فيرتيكيلا عبارة عن تراكم مفرط ضد معادن Cu و Ni لأنه يحتوي على قيم $BCF > 1$ و $TF > 1$.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium kimia banyak memproduksi limbah yang diperoleh dari berbagai macam praktikum maupun penelitian. Kuantitas dari limbah laboratorium kimia relatif kecil, akan tetapi dapat terjadi akumulasi jumlah residu yang menumpuk dan dapat membahayakan lingkungan. Kandungan dari hasil buangan limbah sangat bervariasi yang mengandung bahan buangan berbahaya. Berdasarkan zat yang terkandung di dalam limbah cair laboratorium secara kolektif dalam kurun waktu yang lama, apabila dibuang langsung ke lingkungan akan berdampak merusak struktur tanah dan mengganggu kesehatan manusia (Audiana, dkk., 2017). Seperti halnya limbah cair laboratorium kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Limbah cair yang berasal dari laboratorium kimia merupakan limbah yang dihasilkan dari berbagai kegiatan praktikum. Laboratorium kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang menghasilkan ± 120 L pertahunnya. Limbah logam berat diperoleh dari praktikum biokimia 1, analisis dasar, kimia dasar, kimia anorganik 2 dan penelitian yang dilakukan oleh mahasiswa. Sumber limbah laboratorium diperkirakan mengandung logam berat yang berasal dari aktivitas praktikum tersebut (Pratama, 2018).

Logam berat yang berdampak bagi manusia dan lingkungan adalah tembaga (Cu). Logam Cu dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Logam Cu dalam tubuh manusia kebanyakan berada dalam bentuk Cu^{2+} . Logam tersebut paling

banyak mencemari lingkungan manusia khususnya di perairan. Menurut PERMEN RI No. 82 (2001), ambang batas kandungan Cu dalam perairan maksimal sebesar 20 µg/L, sedangkan konsentrasi logam Cu dalam perairan yang berasal dari industri dapat mencapai 1000 mg/L (Figueira, dkk., 2000). Logam Cu termasuk logam esensial, dimana dalam kadar rendah dibutuhkan sebagai koenzim oleh organisme pada proses metabolisme tubuh, sedangkan dalam kadar tinggi akan bersifat toksik. Biota perairan sangat peka terhadap kelebihan Cu (Ahmad, 2009).

Selain logam tembaga (Cu), logam nikel (Ni) juga berdampak pada lingkungan. Pada biota perairan, logam Ni bersifat racun terhadap organisme perairan (Ahmad, 2009). Baku mutu air limbah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah menyebutkan bahwa parameter Ni pada air limbah tidak boleh melebihi 1,0 mg/L.

Pembuangan limbah sembarangan merupakan salah satu bentuk perbuatan pengrusakan terhadap lingkungan. Maka dari itu, diperlukan kesadaran dalam upaya pencegahan terhadap pembuangan limbah yang dilakukan secara tidak bertanggung jawab. Allah SWT tidak menyukai segala tindakan bersifat merusak yang telah disebutkan dalam QS. Ar-Ruum ayat 41.

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

Artinya : “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (QS. Ar-Ruum : 41).

Limbah cair yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan bahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya. Salah satu penanganan limbah dengan *treatment* (pengolahan) adalah dengan penambahan oksigen ke dalam air limbah (aerasi). Proses aerasi merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi nilai BOD, karena dapat meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air limbah dan meningkatkan kerja bakteri aerob dalam mendegradasi senyawa-senyawa organik (Kristanto, 2002). Setelah proses aerasi, dilanjutkan dengan proses fitoremediasi. Menurut (Brbooti, dkk., 2011), metode presipitasi dilakukan dengan mereaksikan limbah logam berat dengan bahan kimia pengendap. Bahan kimia yang digunakan untuk proses pengendapan adalah senyawa hidroksida, karbonat dan sulfida. Senyawa hidroksida yang sering digunakan yaitu natrium hidroksida (NaOH) (Ayres, dkk., 1994).

Upaya selanjutnya mengurangi konsentrasi logam berat/bahan pencemar yang masuk ke dalam air ialah melakukan pengolahan limbah pra pembuangan dengan memanfaatkan lingkungan dan proses alami, seperti fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar dengan menggunakan tumbuhan yang digunakan untuk menyerap dan mentransformasikan logam berat dalam sel jaringan. Metode fitoremediasi ini mempunyai banyak keunggulan diantaranya metode yang sederhana, efisien, hemat biaya dan ramah lingkungan (McCutcheon, dkk., 2003). Maka dari itu dilakukan metode fitoremediasi.

Salah satu tumbuhan yang dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediasi adalah *Hydrilla verticillata*. Allah SWT menciptakan alam beserta isinya seperti tumbuhan mempunyai hikmah yang sangat besar, semua tidak ada yang sia-sia dalam ciptaan-Nya. Hal ini memberikan kesempatan untuk mengambil manfaat

dengan sebaik-baiknya dari karunia ciptaan-Nya. Kehidupan tumbuhan hanya memerlukan makanan berupa air, udara, dan sinar matahari. Firman Allah dalam QS. Asy-Syu'ara ayat 7 adalah

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَيْفَ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾

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

Menurut Shihab (2002), ayat ini membuktikan ke-Esaan Allah SWT, karena aneka tumbuhan yang terhampar di persada bumi sedemikian beragam dan bermanfaat. Semua tidak mungkin tercipta dengan sendirinya, pasti ada Penciptanya yang Maha Esa lagi Maha Kuasa. Allah Ta'ala mengingatkan tentang kebesaran, kekuasaan dan keagungan kemampuan-Nya. Dialah yang Maha Perkasa, Maha Agung lagi Maha Kuasa yang telah menciptakan bumi dan menumbuhkan di dalamnya berupa tumbuhan, buah dan hewan. Sehingga ayat di atas menjelaskan bahwa Allah menciptakan tumbuhan yang bermacam-macam jenisnya yang dapat dimanfaatkan sebagai agen remediator kontaminan logam berat. *Hydrilla verticillata* merupakan salah satu tumbuhan air yang Allah SWT ciptakan sebagai komponen abiotik yang diciptakan di Bumi.

Hydrilla verticillata memiliki rimpang putih kekuningan yang tumbuh di sedimen bawah air sampai kedalaman 2 m. Panjang batang yang tumbuh sekitar 1-2 m (Rondonuwu, 2014). Tumbuhan air ini sering kali dianggap sebagai gulma yang berada di permukaan air. *Hydrilla verticillata* merupakan bagian dari ekosistem danau. Salah satu danau yang terdapat tumbuhan tersebut yaitu Danau Ranu Grati Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Menurut UPT Dinas Pariwisata Kabupaten Pasuruan, Danau Ranu Grati mempunyai luas sekitar 1,085 HA dan

memiliki persentase lebih dari 77% didominasi oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata*.

Kelimpahan *Hydrilla verticillata* dapat meningkatkan pH, mempengaruhi ukuran ikan dan tingkat populasinya. Selain itu dapat memperlambat saluran irigasi serta mengubah kualitas air dengan menurunkan kadar oksigen dan suhu perairan (Goltenboth, dkk., 2012). Di Indonesia masih belum banyak dimanfaatkan karena kurangnya pengetahuan terhadap tumbuhan air ini. Dalam hal ini, *Hydrilla verticillata* mampu menyerap logam dengan baik. Sehingga dapat digunakan sebagai objek remediasi kontaminan logam berat (Phukan, dkk., 2015). *Hydrilla verticillata* sebagai tumbuhan air yang efisien untuk pengelolaan air limbah secara berlebihan (Al-Ghaffar dan Al-Dhamin, 2016).

Menurut Xue, dkk. (2010), bahwa *Hydrilla verticillata* mampu mengurangi konsentrasi logam Cu dalam perairan yang tercemar limbah logam Cu hingga mencapai 99% dari konsentrasi logam Cu yang ada. Beberapa peneliti lain seperti Sumiyati, dkk. (2009), mengatakan bahwa *Hydrilla verticillata* dengan berat 250 gram dapat menurunkan kadar logam Cu dalam air limbah sebesar 0,474 mg/L. Selain itu, Elankumaran, dkk. (2003), pada penelitiannya menyimpulkan bahwa penggunaan *Hydrilla verticillata* mampu mengurangi persentase logam Cu secara efektif pada hari ke-5 untuk konsentrasi 5 ppm dan hari ke-7 untuk konsentrasi lainnya yaitu 10, 15, 20 dan 25 ppm. Variasi waktu kontaminan limbah logam berat adalah 5, 10 dan 15 hari. Lama waktu menunjukkan tumbuhan mempunyai waktu optimum untuk menyerap logam berat secara maksimal. Menurut Widaningrum, dkk. (2007), bahwa waktu kontak sangat mempengaruhi penyerapan. Semakin lama waktu kontak maka penyerapan akan meningkat

sampai waktu tertentu untuk mencapai maksimum dan akan turun kembali. Sedangkan menurut Lambers, dkk. (2010), *Hydrilla verticillata* melakukan mekanisme pertahanan tubuh dengan cara *metal accumulator* pada hari ke 15, dimana *Hydrilla verticillata* mengakumulasi konsentrasi logam yang tinggi pada bagian aerial tumbuhan, menyerap kadar kontaminan dan diendapkan dalam akar, batang, daun dan tunas. Pengukuran kadar logam Cu dan Ni pada *Hydrilla verticillata* dilakukan menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan di atas dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan pengolahan air limbah menggunakan aerasi dan fitoremediasi *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan konsentrasi logam Cu dan Ni pada limbah cair Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang?
2. Bagaimana pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam Cu dan Ni?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kemampuan pengolahan air limbah menggunakan aerasi dan fitoremediasi *Hydrilla verticillata* dalam menurunkan konsentrasi logam berat

Cu dan Ni dari limbah cair Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

2. Mengidentifikasi pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam Cu dan Ni.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya dibatasi pada:

1. Sampel *Hydrilla verticillata* berasal dari Danau Ranu Grati di Kabupaten Pasuruan Jawa Timur.
2. Sampel yang diteliti adalah limbah logam cair dari Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang kategori limbah logam berat.
3. Variasi waktu kontak limbah logam berat adalah 5, 10 dan 15 hari.
4. Analisis parameter pendukung meliputi: pH, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*).
5. Analisis sampel menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

1.5 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang:

1. Menambah pengetahuan tentang pengolahan limbah cair laboratorium kimia dengan menggunakan metode aerasi dan fitoremediasi, sehingga dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair laboratorium.

2. Mengetahui potensi tumbuhan *Hydrilla verticillata* sebagai fitoremediasi di perairan.
3. Memperkaya ilmu pengetahuan dan bahan acuan serta sebagai bahan perbandingan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemanfaatan *Hydrilla verticillata* dalam Perspektif Islam

Allah SWT menciptakan berbagai macam tumbuhan untuk dimanfaatkan oleh manusia. Allah SWT berfirman dalam QS. Thaha ayat 53 yaitu:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَسَلَكَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ
مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ أَزْوَاجًا مِّن نَّبَاتٍ شَتَّى ﴿٥٣﴾

Artinya: “(Tuhan) yang telah menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu, dan menjadikan jalan-jalan di atasnya bagimu, dan yang menurunkan air (hujan) dari langit. Kemudian Kami tumbuhkan dengannya (air hujan itu) berjenis-jenis aneka macam tumbuh-tumbuhan” (QS. Thaha : 53).

Shihab (2002) dalam tafsir Al-Misbah menjelaskan bahwa berbagai jenis tumbuhan dengan aneka variasi penciptaan yang luar biasa merupakan bentuk bukti keagungan atas kekuasaan-Nya. Allah SWT menciptakan berbagai macam tumbuhan adalah untuk kemaslahatan umat manusia, diantaranya sebagai sumber kebutuhan hidup manusia yang memberikan manfaat. Salah satunya tumbuhan *Hydrilla verticillata* digunakan sebagai adsorben untuk menyerap logam berat pada limbah laboratorium. Pemanfaatan tumbuhan ini belum diketahui oleh sebagian orang. Sehingga penelitian ini memanfaatkan tumbuhan *Hydrilla verticillata* sebagai media untuk penyerapan logam berat pada limbah laboratorium.

Manusia dianugerahi akal yang sempurna oleh Allah SWT supaya memanfaatkan akalnya untuk memikirkan ciptaan Allah SWT dan rahasia dibalik

penciptaan-Nya. Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam QS. Ali-Imran ayat 190-191:

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

﴿١٩١﴾

Artinya : “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan Kami, Tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, Maka peliharalah Kami dari siksa neraka"* (QS. Ali-Imran : 190-191).

Surat Ali-Imran ayat 190-191 dalam tafsir Ibnu Katsir bahwa *فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ*

وَالْأَرْضِ menjelaskan kekuasaan dan kebenaran Allah SWT yang telah menciptakan alam beserta isinya seperti tumbuhan. Sedangkan pada lafadz *لَآيَاتٍ* *لِّأُولِي الْأَلْبَابِ* “terdapat tanda-tanda bagi orang-orang berakal” menjelaskan bahwa akal manusia sangatlah sempurna dan memiliki kecerdasan, sehingga dapat merenungi tanda-tanda kekuasaan Allah SWT (Ad-Dymasyqy, 2000). Menurut Al-Qarni (2008), bahwa hakikatnya orang-orang yang memikirkan penciptaan Allah adalah mereka yang senantiasa berdzikir kepada-Nya dalam setiap keadaan dan waktu. Kesibukan tidak menghalangi mereka dari berdzikir dan terus merenungi ayat-ayat Allah SWT.

2.2 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah perangkat yang mengolah cairan sisa proses pengolahan limbah, sehingga cairan tersebut layak dibuang ke lingkungan. Pengolahan air limbah dapat dilakukan secara alamiah dan bantuan peralatan. Pengolahan air limbah secara alamiah dilakukan dengan kolam stabilisasi. Sedangkan pengolahan air limbah dengan bantuan peralatan biasanya dilakukan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) (Rahmawati, 2014). Tujuan pengolahan limbah adalah untuk menetralsir, menguraikan polutan yang ada di dalam limbah. Pengolahan air limbah yang lazim digunakan adalah pengolahan secara biologis, fisika maupun kimia (Soemarwoto, 1983).

2.2.1 Aerasi

Aerasi merupakan proses penambahan oksigen ke dalam air. Keberhasilan proses aerasi tergantung pada besarnya nilai suhu, kejenuhan oksigen, karakteristik air dan turbulensi air. Beberapa jenis aerator yang digunakan dalam proses aerasi adalah *diffuser aerator*, *spray aerator*, mekanik aerator dan aerator gravitasi (Abuzar, dkk., 2012). Aerator adalah alat untuk menyentuhkan oksigen dari udara dengan air agar kandungan yang terdapat di dalam limbah bereaksi dengan oksigen (Aba, dkk., 2017). Tujuan aerasi adalah mengontakkan semaksimal mungkin permukaan cairan dengan udara untuk menaikkan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air sehingga perpindahan suatu komponen dari satu medium ke medium yang lain berlangsung lebih efisien (Bitton, 2012).

2.2.2 Presipitasi

Metode presipitasi dilakukan dengan mereaksikan limbah buangan yang mengandung logam berat dengan suatu bahan kimia pengendap. Bahan kimia

yang digunakan untuk proses pengendapan beberapa logam berat adalah senyawa hidroksida, karbonat, dan sulfida (Mahmood, 2011). Bahan kimia yang sering digunakan untuk presipitasi yaitu senyawa hidroksida, karena sederhana, biaya murah dan mudah untuk mengontrol pH (Handoko, 2013). Senyawa hidroksida yang sering digunakan yaitu natrium hidroksida (NaOH) (Ayres, dkk., 1994).

2.3 Limbah Laboratorium UIN Malang

Limbah laboratorium didefinisikan sebagai limbah cair dengan kandungan logam berat yang tinggi disebabkan oleh penggunaan bahan-bahan kimia (Trisnawati, dkk., 2016). Limbah laboratorium tergolong dalam kategori limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dan memerlukan penanganan khusus. Limbah cair yang dihasilkan umumnya relatif sedikit, namun limbah tercemar oleh berbagai jenis bahan kimia toksik (Suprihatin, dkk., 2010).

Salah satu aktivitas penghasil limbah logam berat adalah berasal dari aktivitas laboratorium. Sebagai contohnya limbah cair laboratorium kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang diperkirakan mengandung logam berat Cu dan Ni yang berasal dari aktivitas praktikum (Pratama, 2018). Berdasarkan diktat praktikum di jurusan kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang diketahui bahwa sumber logam Cu dan Ni berasal dari beberapa praktikum yang telah dilakukan seperti Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jumlah limbah logam Cu dan Ni di Laboratorium Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

Praktikum / Judul	Cu (mL)	Ni (mL)
Biokimia I:		
a. Analisis Protein	105	
Biokimia II:		
a. Pemeriksaan Glukosa dan Protein pada Urine	7.249,5	
Kimia Anorganik II:		
a. Reaksi pada Unsur dan Senyawa Tembaga dan Perak	1.575	
b. Kekuatan Ligan Air dan Amonia pada Kompleks Cu(II)	5.026,5	
Kimia Analisis Dasar:		
a. Analisis Gravimetri	300	
b. Analisis Kualitatif Anorganik		3,6
Kimia Analisis Instrumen:		
a. Analisis Mineral dengan AAS	6.000	
Jumlah	20.256	3,6

Sumber : Diktat Praktikum

Parameter pengukuran kualitas limbah cair laboratorium selama proses fitoremediasi sangat dibutuhkan. Pengukuran parameter kualitas limbah cair dilakukan pada proses fitoremediasi untuk mengetahui karakteristik awal dan akhir limbah cair laboratorium. Parameter tersebut meliputi pH, COD dan BOD (Novi, 2019).

a. Derajat keasaman atau pH

pH merupakan suatu indeks kadar ion hidrogen (H^+) yang mencirikan keseimbangan asam dan basa. Angka pH dalam suatu perairan dapat dijadikan indikator dari adanya keseimbangan unsur hara dan kimia yang bermanfaat bagi kehidupan vegetasi akuatik. Tingkat pH lebih kecil dari 4,8 dan lebih besar dari 9,2 sudah dianggap tercemar (Alaerts dan Santika, 1987), sedangkan kisaran pH optimum dalam suatu perairan untuk pertumbuhan biota perairan adalah 6,5 - 9 (Soesono, 1989).

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD menunjukkan jumlah oksigen dalam ppm atau mg/L yang dibutuhkan oleh bahan oksidan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi yang terdapat di dalam air (Kristanto, 2002). Pada analisis COD, sebagian besar zat organik dioksidasi oleh larutan $K_2Cr_2O_7$ dalam keadaan asam yang mendidih (Muthawali, 2012). Nilai COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses kimiawi. Semakin tinggi nilai COD, maka semakin tinggi kadar oksigen terlarut untuk oksidasi dan oksigen yang tersedia untuk biota perairan semakin rendah. Metode pengukuran COD dilakukan dengan menggunakan peralatan khusus *reflux*, penggunaan asam pekat, pemanasan dan titrasi (Apha, 1989).

Pada prinsipnya, pengukuran COD dilakukan dengan penambahan kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel yang telah ditambahkan asam pekat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Kelebihan kalium bikromat dilakukan dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Reaksi oksidasi berakhir ditandai dengan adanya perubahan warna campuran dari kuning menjadi hijau (Alaerts, 1984). Kadar COD yang memenuhi baku mutu buangan air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 sebesar 300 mg/L.

c. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme hidup untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air (Kristanto, 2002). Analisis BOD dilakukan untuk

mengetahui kebutuhan oksigen yang menunjukkan jumlah oksigen yang digunakan dalam reaksi oksidasi oleh bakteri. Sehingga semakin banyak bahan organik dalam air, maka semakin besar nilai BOD dan DO akan semakin rendah (Solihin dan Darsati, 1993).

Prinsip pengukuran BOD yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20°C) yang sering disebut DO_5 . Selisih DO_i dan DO_5 merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam mg/L (Atima, 2015). Kadar BOD yang memenuhi baku mutu buangan air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 sebesar 150 mg/L.

2.4 Logam Berat Tembaga (Cu) dan Toksisitas

Menurut Setiawan (2013), logam berat merupakan bahan pencemar yang berbahaya karena bersifat toksik. Faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar berbahaya karena logam berat mempunyai sifat yang tidak dapat terurai (*non-degradable*) dan mudah diabsorpsi. Juniawan, dkk. (2013), bahwa logam berat merupakan unsur esensial yang dibutuhkan setiap makhluk hidup, apabila keadaan tertentu dapat bersifat racun. Logam berat beracun meliputi As, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni dan Zn (Wild, 1995).

Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546 g/mol, titik lebur 1083°C , titik didih 2310°C , jari-jari atom 1,173 Å dan jari-jari ion Cu^{2+} 0,96 Å. Tembaga adalah logam transisi (golongan 1 B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa (Kundari, dkk., 2008). Senyawa

tembaga banyak digunakan dalam industri cat sebagai katalis, antifoling, industri insektisida dan fungisida, serta pencegah pertumbuhan lumut (Indah, 2018). Logam Cu sangat berguna untuk pertumbuhan jaringan tumbuhan terutama jaringan daun dimana terdapat proses fotosintesis (Kamaruzzaman, dkk., 2008). Logam Cu juga sebagai salah satu mikronutrien yang diperlukan di dalam mitokondria dan kloroplas (MacFarlane and Burchett, 2002).

Toksisitas yang dimiliki Cu akan bekerja dan berbahaya bagi tubuh jika melebihi ambang batas. Konsumsi yang baik bagi manusia adalah 2,5 mg/kg berat tubuh/hari bagi orang dewasa dan 0,05 mg/kg berat tubuh/hari bagi anak-anak dan bayi (Palar, 2004). Logam Cu dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif dan pembentukan kompleks Cu-protein untuk pembentukan hemoglobin, kolagen, dan pembuluh darah. Adanya tembaga (Cu) dalam jumlah yang besar dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan pencernaan seperti sakit perut, mual dan gangguan sistem peredaran darah. Beberapa kasus yang parah dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian (Darmono, 1995). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, ditetapkan bahwa ambang batas logam tembaga (Cu) pada air limbah tidak boleh melebihi 0,5 mg/L.

2.5 Logam Berat Nikel (Ni) dan Toksisitas

Logam nikel (Ni) merupakan logam yang mempunyai nomor atom 28 dan massa atom 58,69. Dalam Sistem Periodik Unsur (SPU), nikel terletak pada periode IV golongan VIII B. Nikel mempunyai titik leleh pada 1455°C dan bersifat sedikit magnetis (Svehla, 1979). Nikel adalah logam yang berwarna putih

perak mengkilat, keras dan lentur. Logam ini mempunyai sifat tidak berubah jika terkena udara serta tahan terhadap oksidasi (Cotton, 1989).

Nikel (Ni) merupakan logam berat yang mencemari air tanah maupun air permukaan baik perairan laut maupun darat seperti sungai, danau dan waduk (Viobeth, dkk., 2013). Pada perairan, logam nikel dapat ditemukan dalam bentuk koloid. Di daerah muara sungai, nikel menunjukkan konsentrasi yang sangat tinggi dengan peningkatan kekeruhan. Hal ini terjadi karena proses desorpsi dari partikel-partikel yang ada di sungai. Logam nikel dalam jumlah kecil dibutuhkan oleh tubuh, namun jika jumlahnya terlalu banyak dapat menyebabkan bahaya bagi tubuh manusia, seperti kanker paru-paru, kerusakan fungsi ginjal, kehilangan keseimbangan dan merusak hati (Moore, 1991). Aplikasi logam ini dapat digunakan sebagai pelindung *stainless steel*, pelindung tembaga, bahan tekstil dan pembuatan alat-alat laboratorium seperti kawat nikrom (Gerberding, 2005). Berdasarkan *National Sediment Quality Survey US EPA* (2004), bahwa ambang batas baku mutu logam berat Ni yang ada di sedimen adalah 23,77-80,07 ppm.

2.6 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani Kuno yaitu nabati / tumbuhan, dan bahasa Latin yaitu *remedium* (perbaikan). Fitoremediasi adalah suatu metode yang menggunakan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi (Rondonuwu, 2014). Menurut Gerhardt, dkk. (2009), bahwa fitoremediasi menunjukkan hasil maksimal sebagai teknik yang murah dan efektif dalam strategi remedial.

Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri dari beberapa konsep dasar yaitu fitoekstraksi, rhizofiltrasi, fitostabilisasi, fitodegradasi dan fitovolatilisasi (Fitriya, dkk., 2013) :

- 1) *Phytoaccumulation (phytoextraction)* yaitu penyerapan logam berat oleh tumbuhan dalam mengakumulasi logam berat ke bagian-bagian tumbuhan seperti akar, batang dan daun.
- 2) *Rhizofiltration* adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam berat dari aliran limbah.
- 3) *Phytostabilization* yaitu penempelan zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat tersebut menempel erat pada akar sehingga tidak terbawa oleh aliran dalam media.
- 4) *Phytodegradation* yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang sederhana. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.
- 5) *Phytoovolatilization* yaitu terjadi ketika tumbuhan menyerap logam berat dan melepaskan ke udara lewat daun dan logam berat mengalami degradasi terlebih dahulu sebelum dilepas lewat daun.

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki

sifat hipertoleran, yaitu mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tumbuhan dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali (Chaney, 1995).

Berdasarkan data konsentrasi batang, daun dan sedimen, akumulasi logam bisa dilihat dengan cara membandingkan konsentrasi antar jaringan tumbuhan. Pada dasarnya, tumbuhan mempunyai daya toleransi dan mengakumulasi logam berat dan berkaitan dengan tujuan fitostabilisasi. *Bioconcentration factors* (BCF) dan *Translocation factors* (TF) bisa digunakan untuk menduga tumbuhan yang bisa dijadikan sebagai fitoremediasi. Kemampuan organ tubuh dalam mengakumulasi logam berat ditentukan oleh nilai indeks faktor konsentrasi (IFK).

2.6.1 Parameter Fitoremediasi

Pengelompokan suatu tumbuhan sebagai agen fitoremediator didasarkan pada beberapa parameter. Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap tiga parameter fitoremediasi, antara lain *Bioconcentration Factors* (BCF), *Translocation Factors* (TF) dan nilai Fitoremediasi (FTD).

a. Penentuan *Bioconcentration Factors* (BCF)

Bioconcentration Factors merupakan kemampuan tumbuhan untuk mengakumulasi logam berat tertentu terhadap konsentrasi logam di dalam suatu jaringan tumbuhan (Ghosh dan Singh, 2005). BCF pada daun dan akar dihitung untuk mengetahui konsentrasi logam pada daun dan akar yang berasal dari lingkungan (MacFarlane, dkk., 2007). Menurut Zayed, dkk. (1998) BCF berguna

untuk menentukan indeks akumulasi tumbuhan dalam mengakumulasi logam dan dihitung berdasarkan berat keringnya.

Semakin tinggi nilai BCF pada suatu organisme menunjukkan semakin tinggi organisme mengakumulasi logam berat. Menurut Baker (1981) bahwa tumbuhan dibagi menjadi 3 kategori yaitu akumulator, excluder dan indikator. Akumulator mempunyai nilai $BCF > 1$, excluder mempunyai nilai $BCF < 1$ dan tumbuhan indikator dengan nilai $BCF = 1$.

Pada dasarnya *Bioconcentration Factors* (BCF) adalah suatu perhitungan yang dapat digunakan untuk menduga tumbuhan bisa dijadikan sebagai fitoremediasi atau tidak. Menurut Hidayati (2005), tumbuhan mempunyai daya toleransi dan akumulasi terhadap logam berat. Pembedanya adalah tingkat toleransi tumbuhan tersebut dalam mengakumulasi logam berat.

b. Penentuan *Translocation Factors* (TF)

Translocation Factors adalah rasio konsentrasi logam pada bagian pucuk terhadap bagian akar, menunjukkan kemampuan transfer logam dari akar ke pucuk tumbuhan (Ghosh dan Singh, 2005). Nilai TF dihitung untuk mengetahui perpindahan akumulasi logam dari akar ke tunas (MacFarlane, dkk., 2007). TF juga digunakan untuk mengkategorikan suatu tumbuhan sebagai fitoremediator (Masarovicova, dkk., 2010). Dalam fitoremediasi terdapat enam proses yang terjadi. Enam proses tersebut adalah fitostimulasi, fitostabilisasi, rhizofiltrasi, fitoekstraksi, fitoovolatilisasi dan fitodegradasi. Nilai TF hanya dapat mengukur dua proses yang terjadi yaitu fitostabilisasi dan fitoekstraksi yang didapatkan dari perhitungan konsentrasi logam dari akar menuju ke bagian lainnya.

c. Penentuan Nilai Fitoremediasi (FTD)

Nilai fitoremediasi dari suatu tumbuhan didapatkan melalui selisih antara nilai BCF dan TF. Melalui FTD dapat diketahui kemampuan suatu tumbuhan dalam meremediasi suatu polutan. Menurut Yoon, dkk. (2006), suatu tumbuhan yang mempunyai potensi sebagai tumbuhan fitoremediasi yang baik apabila nilai *Bioconcentration Factors* (BCF) lebih tinggi daripada nilai *Translocation Factors* (TF). Dapat dikatakan bahwa dengan nilai FTD diatas nol, maka suatu tumbuhan berpotensi sebagai tumbuhan fitoremediasi.

2.7 *Hydrilla verticillata*

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* memiliki ciri-ciri yaitu, daun berukuran kecil dengan tepi daun bergerigi dan berbentuk lanset yang tersusun mengelilingi batang (Silalahi, 2010). Batang dari tumbuhan ini bercabang dan tumbuh mendatar sebagai stolon pada tempat tertentu membentuk akar serabut. Sedangkan akarnya berwarna kekuningan yang tumbuh didasar air dengan kedalaman sampai 2 meter (Ditomaso dan Healy, 2003).

Klasifikasi dari *Hydrilla verticillata* adalah (Hutauruk, 2014):

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

Hydrilla verticillata adalah tumbuhan air yang merupakan bagian dari ekosistem danau. Tumbuhan ini ditampilkan pada Gambar 2.1. *Hydrilla verticillata* hidup secara submersum yang terdapat pada perairan-perairan tergenang seperti danau atau waduk (Hutauruk, 2014). Syarat tumbuh *Hydrilla verticillata* yaitu dalam berbagai kondisi, termasuk cahaya rendah, air dangkal atau mendalam (Nurzaman, 2013). Tumbuhan *Hydrilla verticillata* memiliki kandungan klorofil total sebesar 4,43 mg/L dan karotenoid 0,92 mg/L (Kurniawan, dkk., 2010). Menurut Pal dan Nimse (2006) menyebutkan bahwa tumbuhan *Hydrilla verticillata* memiliki kandungan kimia seperti β -karoten, saponin, vitamin, mineral, mikro dan makronutrien.



Gambar 2.1 Tumbuhan *Hydrilla verticillata*

Tumbuhan disebut agen fitoremediator apabila mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang tercemar logam berat. Tumbuhan yang termasuk spesies hiperakumulator (*hyperaccumulator species*) adalah tumbuhan yang mampu mengakumulasi logam berat 100 kali lipat dibandingkan tumbuhan pada umumnya (*non-accumulator plants*). Tumbuhan hiperakumulator mampu mengakumulasi lebih dari 1000 ppm logam Cu dan 10000 ppm logam Ni (Sudaryono, 1999). Menurut Xue, dkk. (2010), *Hydrilla verticillata* mampu

toleran terhadap cemaran logam Cu tanpa mengalami gangguan yang signifikan. Namun, tumbuhan tersebut mulai mengalami gangguan pertumbuhan apabila konsentrasi logam Cu di perairan mencapai 128 $\mu\text{g/L}$ dengan pengurangan laju pertumbuhan sebesar 27-36% terhadap kontrol. Kemampuan tumbuhan sebagai agen remediasi juga dapat dilihat dari daya lepas logam berat ke perairan yang terbebas dari cemaran logam berat oleh tumbuhan tersebut. Semakin kecil pelepasannya maka semakin baik pula potensi fitoremediasi. *Hydrilla verticillata* masih tergolong tumbuhan yang berpotensi tinggi sebagai fitoremediator logam Cu karena rendahnya nilai daya pelepasan logam Cu ke perairan oleh tumbuhan. Tumbuhan ini hanya melepaskan 20 - 49% logam Cu ke air yang terbebas dari cemaran logam Cu (Xue, dkk., 2010).

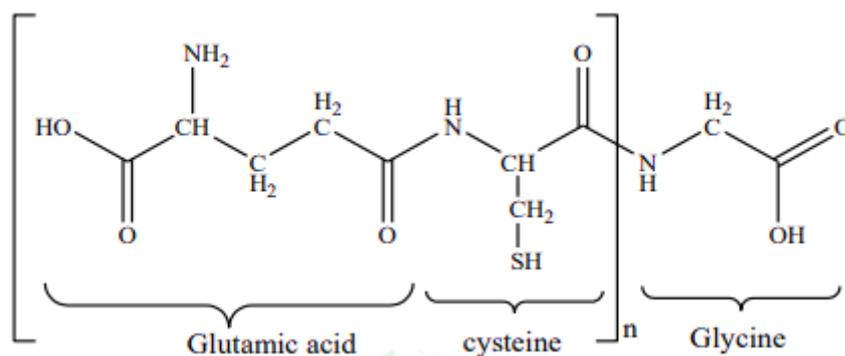
2.8 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Cu dan Ni oleh *Hydrilla verticillata*

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses, yaitu: (i) Penyerapan oleh akar melalui pembentukan zat khelat disebut fitosiderofor. Molekul fitosiderofor yang terbentuk akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transpor aktif. (ii) Translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain melalui jaringan pengangkut, yaitu xilem dan floem. (iii) Lokalisasi logam pada bagian sel tertentu agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan (Fuad, dkk., 2017). Akar tumbuhan *Hydrilla verticillata* berperan dalam proses penyerapan logam Cu dan Ni karena pada bagian akar tersebut terdapat mikroorganisme yang dapat menyerap logam Cu dan Ni. Mikroorganisme yang terdapat pada akar tumbuhan

Hydrilla verticillata adalah mikhoriza yang berperan dalam penyediaan unsur hara bagi tumbuhan (Sumiyati, dkk., 2009).

Mekanisme penyerapannya dari logam Cu oleh mikroorganisme memerlukan bantuan khelat yang digunakan untuk penyerapan dan pengangkutan unsur logam esensial. Khelat adalah suatu zat terdiri atas banyak ligan yang mengikat logam (atom yang berwarna). Khelat mampu mengikat dan menstabilkan logam beracun. Ikatan kuat dari khelat yang mampu mengubah logam menjadi non toksik (Sumiyati, dkk., 2009).

Menurut Salisbury dan Ross (1995), logam berat diserap oleh akar tumbuhan dalam bentuk ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ikut masuk bersama aliran air. Lingkungan yang banyak mengandung logam berat, membuat protein regulator dalam tumbuhan tersebut membentuk senyawa pengikat yang disebut fitokhelatin. Fitokhelatin adalah peptida yang mengandung 2-8 asam amino sistein di pusat molekul dan asam glutamat serta glisin pada ujung yang berlawanan. Struktur fitokelatin ditunjukkan pada Gambar 2.2. Fitokhelatin dibentuk di dalam nukleus yang kemudian melewati retikulum endoplasma (RE), aparatus golgi, vasikula sekretori untuk sampai ke permukaan sel. Bila bertemu dengan logam berat, fitokhelatin akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks, sehingga logam berat akan terbawa menuju jaringan tumbuhan. Senyawa ini mengikat ion logam dan membawanya ke vakuola (Suresh dan Ravinkar, 2004). Spesies tumbuhan di lingkungan tercemar logam akan mengalami stres logam dengan membentuk zat fitokelathin khususnya di bagian akar sebagai mekanisme toleransi yang penting (Lambers, dkk., 2010).



Gambar 2.2 Struktur fitokelatin
(Paramata, 2013)

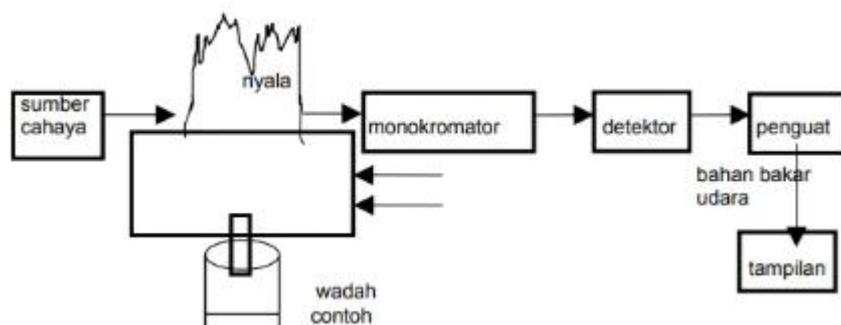
2.9 Aklimatisasi *Hydrilla verticillata*

Aklimatisasi merupakan suatu tahapan dimana tumbuhan akan diadaptasikan agar dapat hidup di lapang sehingga mampu menjadi tumbuhan yang normal (Wetherell, 1982). Teknik aklimatisasi dapat mempengaruhi hasil penelitian secara *exsitu*. Aklimatisasi berhubungan dengan respon suatu organisme terhadap lingkungan baru sekitarnya. Proses aklimatisasi tumbuhan diperlukan untuk menyesuaikan dengan kondisi laboratorium. Tujuannya agar pertumbuhan pada tumbuhan tidak terganggu secara fisiologis. Aklimatisasi diperlukan untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan saat tumbuhan hidup di lingkungan yang baru (Wu, dkk., 2015).

2.10 Analisis Kadar Cu dan Ni secara Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Analisis kadar logam berat tembaga (Cu) dan nikel (Ni) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Limbah logam berat sebelum dianalisis dengan SSA harus didestruksi terlebih dahulu menggunakan pendestruksi asam kuat. Destruksi adalah proses pemutusan ikatan unsur logam dengan komponen

lain dalam matriks sehingga unsur tersebut berada dalam keadaan bebasnya (Murtini, dkk., 2006). Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah metode analisis secara kuantitatif berdasarkan pada penyerapan cahaya oleh atom logam pada keadaan bebas dengan panjang gelombang tertentu sesuai dengan sifat unsurnya. Cahaya pada panjang gelombang tersebut mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom (Khopkar, 2002). Kelebihan dari SSA ini adalah kecepatan analisisnya, biaya analisis cukup murah, memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi (Riyanto, 2016). Kekurangan dari SSA adalah kurang sensitif untuk pengukuran sampel bukan logam dan adanya gangguan-gangguan (*interference*) (Khopkar, 2002). Skema alat spektrofotometer serapan atom dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Komponen-komponen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
(Day dan Underwood, 2002)

Prinsip kerja analisis menggunakan alat SSA yakni suatu sampel dibuat dalam bentuk larutan kemudian dikabutkan, lalu disemprotkan ke bagian burner sehingga mengalami deatomisasi. Kemudian direaksikan dengan sumber energi (radiasi) maka atom pada keadaan dasar membutuhkan energi yang besar untuk proses absorpsi. Atom tersebut didapatkan karena atom tersebut menyerap energi dari sumber cahaya (foton) yang ada pada alat SSA (Christina, 2006). Logam Cu menyerap energi pada panjang gelombang 324,7 nm. Sedangkan pada logam nikel

(Ni) dapat dianalisis pada panjang gelombang 232,10 nm (Khopkar, 2002). Penyerapan energi dalam SSA akan menyebabkan elektron atom akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited state*) (Hendayana, dkk., 1994). Hubungan serapan atom dengan konsentrasi dinyatakan dengan hukum Lambert Beer (Rohman, 2007):

$$\text{Log } I_0/I = abc \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- I_0 = Intensitas mula-mula
- I = Intensitas sinar yang ditransmisikan
- a = Intensitas molar
- b = Tinggi tungku pembakaran
- c = Konsentrasi atom

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli - Agustus 2021. Lokasi pengambilan tumbuhan *Hydrilla verticillata* di Danau Ranu Grati Kabupaten Pasuruan Jawa Timur. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Riset Kimia Analitik dan Laboratorium Layanan Instrumen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, bola hisap, botol semprot, spatula, oven, kertas saring Whatmann, aquarium kaca, neraca analitik, kertas pH, pH meter, *magnetic stirrer*, aerator, *hot plate*, mortar, aluminium foil, *microwave digestion* dan seperangkat alat instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) yang dilengkapi dengan lampu katoda tembaga (Cu) dan nikel (Ni).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tumbuhan *Hydrilla verticillata* yang diambil dari Danau Ranu Grati Pasuruan Jawa Timur, limbah logam berat dari laboratorium kimia fisik, aquades, HNO₃ 65% (Merck), NaOH (Merck) dan H₂O₂ (Merck).

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan adalah mengetahui potensi penyerapan *Hydrilla verticillata* terhadap logam Cu dan Ni pada limbah logam berat laboratorium. Sampel limbah logam berat laboratorium diukur pH, kadar logam Cu, Ni, BOD dan COD terlebih dahulu sebagai data penunjang kualitas air. Sampel limbah laboratorium ditambahkan NaOH sedikit demi sedikit sampai pH 7 (netral) dan distirer selama 30 menit. Jika sudah netral maka didiamkan selama 24 jam. Kemudian diperoleh filtrat.

Filtrat tersebut didestruksi dengan menambahkan HNO₃ 65%. Proses destruksi dilakukan menggunakan *hot plate*. Kemudian dianalisis menggunakan SSA yang digunakan sebagai data kontrol. Sebelum perlakuan fitoremediasi, dilakukan tahap aklimatisasi terhadap *Hydrilla verticillata* selama 5 hari dalam aquarium kaca dengan penambahan aquades (Urifah, 2017). Pada tahap aklimatisasi ditambahkan aerator sebagai sumber suplai oksigen dan menjaga oksigen terlarut dalam air. Limbah yang telah dipreparasi digunakan untuk perlakuan fitoremediasi pada *Hydrilla verticillata*. Perlakuan limbah pada *Hydrilla verticillata* dilakukan menggunakan aerator dan tanpa aerator. Aerator yang digunakan memiliki daya sebesar 30 V dan 5 A. Aquarium kaca yang digunakan untuk fitoremediasi berukuran 15 × 15 × 21 cm. Kemudian dilakukan perlakuan fitoremediasi dengan variasi waktu kontak pada hari ke 5, 10, dan 15. Setelah itu dilakukan destruksi sebelum dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian yang dilakukan meliputi :

1. Pengambilan dan preparasi *Hydrilla verticillata*.
2. Aklimatisasi *Hydrilla verticillata*.
3. Analisis parameter kadar BOD, COD dan pH pada limbah cair laboratorium.
4. Preparasi limbah laboratorium logam berat menggunakan NaOH untuk aplikasi *Hydrilla verticillata*.
5. Perlakuan fitoremediasi pada limbah laboratorium dengan *Hydrilla verticillata*.
6. Analisis kadar logam Cu dan Ni pada *Hydrilla verticillata*.
7. Mekanisme akumulasi logam Cu dan Ni pada *Hydrilla verticillata*
8. Analisa data statistik

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Pengambilan dan Preparasi *Hydrilla verticillata*

Sampel *Hydrilla verticillata* diambil dari Danau Ranu Grati Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. *Hydrilla verticillata* diambil sebanyak ± 2 kg pada bagian yang terlihat di permukaan air saja. Alat yang digunakan untuk mengumpulkan tumbuhan adalah perahu, cutter, plastik dan sterofoam. Sampel ditempatkan dalam plastik lalu dimasukkan ke dalam sterofoam dan ditata dengan rapi untuk menjaga morfologi tumbuhan tetap baik dan utuh. Tumbuhan dibilas dengan air terlebih dahulu sebelum dikemas dalam wadah. Wadah tersebut ditambahkan sedikit air agar tumbuhan tidak kekeringan saat dibawa dari danau.

3.5.2 Aklimatisasi *Hydrilla verticillata*

Aklimatisasi merupakan tahapan awal untuk membantu adaptasi tumbuhan terhadap lingkungan yang baru. Aklimatisasi dilakukan dengan memasukkan *Hydrilla verticillata* ke dalam bak yang berisi aquades sebanyak 10 liter dan dibiarkan selama 5 hari (Urifah, 2017). Aklimatisasi berfungsi untuk mengadaptasikan tumbuhan sebelum tumbuh ke lingkungan baru. Aerator ditambahkan sebagai sumber oksigen. *Hydrilla verticillata* ditempatkan di ruangan terbuka agar mendapatkan persediaan cahaya yang cukup pada saat siang hari.

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

3.5.3.1 Analisis COD

Langkah pertama yaitu larutan sampel dipipet sebanyak 5 mL, dan dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer 250 mL. Setelah itu ditambahkan 1 gram Hg_2SO_4 , 1 mL $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N, 3 mL reagen yang berisi campuran Ag_2SO_4 dan H_2SO_4 . Kemudian dimasukkan ke dalam tabung COD. Selanjutnya dimasukkan ke dalam reaktor COD. Setelah 2 jam, tabung COD dituangkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan indikator ferroin serta dititrasi dengan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,1 N. Selanjutnya dilakukan perhitungan kadar COD pada persamaan 3.1 (Alaerts dan Santika, 1987).

$$C = \frac{(A-B) \times N \text{ FAS} \times P}{V \text{ Sampel}} \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan :

- C : kadar COD (mg/L)
- A : mL titran blanko
- B : mL titran sampel

- N : normalitas FAS
 P : faktor pengencer

3.5.3.2 Analisis BOD

3.5.3.2.1 Persiapan Blanko

Langkah pertama yaitu air pengencer dimasukkan sebanyak 150 mL ke dalam gelas ukur 250 mL dan dilakukan duplo. Kedua, diukur nilai DO 0 hari blanko dengan menggunakan alat DO meter. Air pengencer dipindahkan ke dalam botol inkubasi secara perlahan sampai penuh. Kemudian botol inkubasi ditutup dengan hati-hati supaya tidak terjadi gelembung udara. Ketiga, botol inkubasi dimasukkan ke dalam inkubator pada suhu 20°C selama 5 hari. Setelah 5 hari, botol inkubator dibiarkan pada suhu kamar. Di ukur nilai DO 5 hari menggunakan alat DO meter.

3.5.3.2.2 Analisa BOD

Pertama, larutan sampel dipipet sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Kemudian ditambahkan 1 mL MnSO₄ dan 1 mL larutan alkali azida. Dan dibiarkan hingga terbentuk endapan setengah bagian. Selanjutnya ditambahkan 1 mL H₂SO₄ pekat, dan dikocok sampai endapan larut. Setelah itu dititrasi dengan natrium thiosulfat 0,1 N sampai warna kuning muda dan ditambahkan indikator kanji sebanyak 1-2 mL. Dilakukan hal sama dengan blanko (Alaerts dan Santika, 1987). Kadar BOD pada sampel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2 :

$$\text{DO (mg/L)} = \frac{V \text{ thiosulfat} \times N \text{ thiosulfat} \times P}{V \text{ sampel}} \dots\dots\dots 3.2$$

$$\text{BOD} = \text{DO}_0 - \text{DO}_5 \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan :

DO_0 = DO (oksigen terlarut) pada saat $t = 0$

DO_5 = DO (oksigen terlarut) pada saat $t = 5$ hari

P = derajat pengenceran

3.5.3.3 Analisis pH

Pengujian pH pada sampel limbah dilakukan menggunakan kertas pH universal, namun agar lebih akurat bisa dilakukan dengan menggunakan pH meter. Cara penggunaan pH meter yaitu pertama dilakukan kalibrasi dengan menggunakan buffer pH, kemudian dibilas elektroda dengan aquades dan dikeringkan dengan tisu. Alat pH meter dinyalakan dengan menekan tombol ON dan dicelupkan elektroda pada sampel yang diuji sambil ditunggu hingga angka pada layar tersebut konstan.

3.5.4 Preparasi Limbah Laboratorium Logam Berat menggunakan NaOH untuk Aplikasi *Hydrilla verticillata*

Preparasi limbah cair laboratorium dilakukan dengan cara mengondisikan limbah dalam pH 7 (netral). Caranya adalah dengan diambil ± 2 L limbah laboratorium logam berat, dihomogenkan dan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian diperiksa besar pH dengan kertas indikator pH. Jika pH rendah atau asam maka ditambahkan NaOH sebagai reagen basa untuk menetralkan. NaOH ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diperiksa kembali besar pH dan distirer selama ± 30 menit. Jika sudah netral penambahan NaOH dihentikan. Limbah didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan. Kemudian diambil filtratnya.

3.5.5 Perlakuan Limbah Laboratorium dengan *Hydrilla verticillata*

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* ditimbang dengan berat masing-masing sebesar 20 gram sebanyak 21 buah. Setiap tumbuhan diletakkan dalam aquarium kaca yang berukuran $15 \times 15 \times 21$ cm. Aquarium kaca yang digunakan sebanyak 21 buah. Tiga aquarium kaca sebagai kontrol berisi tumbuhan dan aquades, 9 buah berisi tumbuhan dan limbah laboratorium tanpa aerator, sedangkan 9 buah lainnya berisi tumbuhan dan limbah laboratorium menggunakan aerator. Aerator yang digunakan memiliki daya sebesar 30 V dan 5 A. *Hydrilla verticillata* tersebut dilakukan fitoremediasi dengan limbah laboratorium yang telah dipreparasi dengan waktu kontak pada hari ke 5, 10 dan 15. Limbah hasil perlakuan fitoremediasi dianalisis kadar logam Cu dan Ni, BOD dan COD.

3.5.6 Analisis Kadar Logam Cu dan Ni menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

3.5.6.1 Analisis Limbah Logam Laboratorium

Limbah laboratorium diambil sebanyak 50 mL dan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Lalu ditambahkan HNO_3 65% sebanyak 10 mL dan didestruksi menggunakan *hot plate* pada suhu 100°C . Kemudian didinginkan dan dianalisis menggunakan SSA.

3.5.6.2 Analisis *Hydrilla verticillata*

Hydrilla verticillata yang telah diberi limbah logam berat laboratorium, dipreparasi dengan metode destruksi *microwave* sebelum dianalisis menggunakan SSA. Bagian batang, daun dan akar dipisahkan dan dikeringkan dengan oven bersuhu 120°C selama 2 jam (Gallardo-William, dkk., 2002). Sampel yang telah

kering lalu ditumbuk sampai halus menggunakan mortar. Sampel yang sudah dipreparasi kemudian didestruksi.

Destruksi ini menggunakan *microwave digestion* dilakukan dengan cara menimbang 2 gram sampel tumbuhan tersebut yang sudah halus dan dimasukkan ke dalam vessel. Kemudian dimasukkan pengoksidasi sesuai dengan metode diaplikasi note *microwave* yaitu sampel tumbuhan menggunakan 7 mL HNO₃ 65% dan 1 mL H₂O₂. Tutup vessel lalu pasang suhu 180°C dalam waktu 10 menit. Klik start (tombol hijau). Tunggu hingga proses digest selesai. Setelah selesai, tunggu hingga suhu tidak panas, sekitar 60°C. Kemudian dibuka vessel dari *microwave* (Budianto, 2017).

Filtrat hasil destruksi disaring dan dipindahkan ke dalam erlenmeyer 50 mL. Kadar logam tembaga (Cu) dan nikel (Ni) pada sampel *Hydrilla verticillata* dan limbah diukur menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang dilengkapi dengan lampu katoda Cu dan Ni untuk didapatkan nilai absorbansi (Handayani, 2004). Pengukuran logam diukur dengan panjang gelombang Cu sebesar 324,8 nm dan panjang gelombang Ni sebesar 232,10 nm.

3.5.6.3 Pembuatan Kurva Standar Tembaga (Cu)

Larutan standar tembaga (Cu) diperoleh dari pengenceran larutan induk tembaga Emerck Cu(NO₃)₂ 1000 ppm. Kemudian membuat larutan tembaga 10 mg/L dengan cara dipindahkan 1 mL larutan baku 1000 ppm ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan sampai tanda batas. Larutan standar tembaga (Cu) 1, 2, 3, 4 dan 5 mg/L dibuat dengan cara dipindahkan 5, 10, 15, 20 dan 25 mL larutan baku 10 ppm ke dalam labu ukur 50 mL. Selanjutnya diencerkan sampai tanda batas.

3.5.6.4 Pembuatan Kurva Standar Nikel (Ni)

Larutan standar nikel (Ni) diperoleh dari pengenceran larutan induk nikel $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm. Kemudian membuat larutan nikel 10 mg/L dengan cara dipindahkan 1 mL larutan baku 1000 ppm ke dalam labu ukur 100 mL, lalu diencerkan sampai tanda batas. Larutan standar nikel (Ni) 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5 mg/L dibuat dengan cara dipindahkan 2,5; 5; 7,5; 10 dan 12,5 mL larutan baku 10 ppm ke dalam labu ukur 50 mL. Kemudian diencerkan sampai tanda batas.

3.5.7 Mekanisme Akumulasi Logam Cu dan Ni pada *Hydrilla verticillata*

Konsentrasi logam tembaga (Cu) dan nikel (Ni) total secara empiris dihitung dengan persamaan sesuai dengan jenis data yang diinginkan. Untuk melihat berapa persen kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam mengakumulasikan logam Cu dan Ni dari limbah laboratorium, dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.4.

$$\text{Persen Cu/Ni terserap} = \frac{(\text{Cu/Ni awal}) - (\text{Cu/Ni tersisa dalam air})}{(\text{Cu/Ni awal})} \times 100\% \dots\dots\dots 3.4$$

Kadar logam Cu dan Ni pada *Hydrilla verticillata* dalam bentuk biomassa berbeda dengan kadar logam Cu dan Ni dalam bentuk larutan. Untuk menghitung kadar logam Cu dan Ni dalam bentuk biomassa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5.

$$\text{Kadar logam Cu/Ni (mg/kg)} = \frac{b \times v (\text{L}) \times Fp}{m} \dots\dots\dots 3.5$$

Dimana :

b = konsentrasi logam Cu dan Ni yang didapatkan dari perhitungan menggunakan instrumen SSA (mg/L)

- v = volume larutan setelah destruksi (L)
 Fp = faktor pengenceran
 m = massa cuplikan biomassa yang didestruksi (g)

Selanjutnya untuk mengetahui kemampuan *Hydrilla verticillata* dalam mengakumulasi logam dapat dihitung nilai *Biological Concentration Factor* (BCF). Dalam persamaan tersebut dihitung perbandingan konsentrasi logam yang diakumulasi oleh organisme (mg/kg BS) dengan konsentrasi logam yang tersisa di air (mg/L). Seperti yang tertulis pada persamaan 3.6.

$$BCF = \frac{C_{organisme}}{C_{air}} \dots\dots\dots 3.6$$

Dimana :

C organisme = konsentrasi logam berat dalam organisme (mg/kg)

C air = konsentrasi logam berat dalam air (mg/kg)

Terdapat beberapa kategori pada perhitungan BCF menurut Remesicova dan Kiraly (2016) yaitu :

BCF > 1 : Tumbuhan akumulator

BCF = 1 : Tumbuhan indikator

BCF < 1 : Tumbuhan excluder

Kemudian *Translocation Factor* (TF) digunakan untuk menghitung kemampuan tumbuhan dalam mentranslokasikan logam dari akar ke tunas (mg/kg BS). Sesuai dengan Persamaan 3.7 (Ghosh dan Singh, 2005) :

$$TF = \frac{BCF_{daun}}{BCF_{akar}} \dots\dots\dots 3.7$$

Kategori TF menurut Majid, dkk. (2014) dibagi menjadi 2 bagian yaitu sebagai berikut :

TF > 1 : Tumbuhan dengan mekanisme fitoekstraksi

TF < 1 : Tumbuhan dengan mekanisme fitostabilisasi

Selisih antara nilai BCF dan TF selanjutnya digunakan untuk menghitung fitoremediasi (FTD). FTD dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan 3.8 sebagai berikut (Yoon, dkk., 2006):

$$FTD = BCF - TF \dots\dots\dots 3.8$$

3.5.8 Analisa Data Statistik

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan memperlihatkan pola variasi data yang didapat. Analisis data penelitian ini menggunakan Uji ANOVA Interaksi Dua Faktor (*Two Way ANOVA*) pada software SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyerapan logam berat oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata*. Dari data SPSS maka didapatkan nilai probabilitas yang menyatakan ada tidaknya pengaruh variasi waktu terhadap kandungan tembaga (Cu) dan nikel (Ni) pada limbah logam cair tersebut (Urifah, dkk., 2017). Dari hasil tersebut dapat dilihat perbedaan yang signifikan dari pengaruh variasi yang dibuat.

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 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

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengambilan *Hydrilla verticillata*

Hydrilla verticillata berasal dari Danau Ranu Grati Pasuruan Jawa Timur. Proses pengambilan tumbuhan dilakukan pada pukul 10.00 hingga 12.00 WIB. Pengambilan *Hydrilla verticillata* hanya dilakukan pada satu titik karena populasi di lingkungan tersebut tinggal sedikit disebabkan warga sekitar masih menganggapnya sebagai tumbuhan pengganggu (gulma). Pengambilan dengan menggunakan bantuan perahu. Sampel tumbuhan dipilih yang berwarna hijau, kemudian disimpan dalam wadah plastik dan ditambahkan air untuk menjaga kelembaban *Hydrilla verticillata* sehingga dapat bertahan selama perjalanan menuju laboratorium. Hasil pengambilan tumbuhan ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil pengambilan *Hydrilla verticillata* dalam wadah plastik

4.2 Aklimatisasi *Hydrilla verticillata*

Penelitian ini diawali dengan proses aklimatisasi tumbuhan *Hydrilla verticillata*. Proses aklimatisasi bertujuan untuk mengetahui apakah *Hydrilla*

verticillata dapat tumbuh dengan baik dan tidak mengalami kematian karena kondisi dari air yang telah terkontaminasi bahan pencemar. Aklimatisasi dapat membantu proses adaptasi terhadap lingkungan yang baru. Tumbuhan diaklimatisasi dengan cara dimasukkan ke dalam bak yang berisi aquades. Penggunaan aquades dalam proses aklimatisasi karena aquades bersifat netral sehingga tumbuhan yang diaklimatisasi tidak terkontaminasi dengan senyawa lainnya (Rahadian, 2017). Kemudian tumbuhan diaklimatisasi selama 5 hari dengan bantuan aerator. Aerator bertujuan untuk menjaga suplai oksigen terlarut agar air tetap seimbang. Tumbuhan ditempatkan dekat ruang terbuka agar mendapatkan sinar matahari yang cukup. Hasilnya *Hydrilla verticillata* dapat tumbuh dengan baik. Bagian daun berwarna hijau segar dan air sedikit keruh karena sisa tanah yang masih menempel pada bagian batang dan daun pada tumbuhan.

4.3 Analisis Kadar BOD, COD dan pH pada Limbah Cair Laboratorium

Sebelum diberi perlakuan dengan metode fitoremediasi, limbah laboratorium dianalisis BOD, COD dan pH untuk mengetahui kualitas dari limbah tersebut. Limbah tersebut tidak layak dibuang langsung ke perairan karena nilai BOD, COD dan pH melebihi baku mutu air limbah. Dengan demikian limbah perlu diberi perlakuan sebelum dibuang ke perairan. Pada penelitian ini perlakuan limbah laboratorium dilakukan dengan metode fitoremediasi menggunakan *Hydrilla verticillata*.

4.3.1 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Analisis BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk menguraikan logam pada limbah. Analisis dilakukan di Laboratorium Lingkungan PJT 1 Malang. Uji BOD dilakukan sebanyak 2 kali yaitu limbah sebelum dan setelah perlakuan fitoremediasi dengan *Hydrilla verticillata*. Hasil analisis BOD ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil analisis BOD sebelum dan sesudah perlakuan fitoremediasi hari ke-5 menggunakan aerator

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji
1.	Sebelum perlakuan fitoremediasi	mg/L	4001
2.	Sesudah perlakuan fitoremediasi	mg/L	60,55

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nilai BOD pada limbah laboratorium UIN Malang sebelum perlakuan fitoremediasi sebesar 4001 mg/L. Penurunan kadar BOD sesudah perlakuan fitoremediasi pada hari ke-5 menggunakan aerator yakni sebesar 60,55 mg/L. Hasil tersebut sudah sesuai dibawah ambang batas dengan nilai Baku Mutu menurut Perda Jatim Nomor 72 Tahun 2013 yakni sebesar 150 mg/L. Nilai BOD dipengaruhi oleh adanya tumbuhan yang menutupi permukaan air limbah. Keberadaan *Hydrilla verticillata* mampu menyerap zat organik yang terdapat dalam limbah laboratorium. Oksigen terlarut dalam limbah semakin banyak karena adanya suplai oksigen dari hasil fotosintesis tumbuhan. Banyaknya oksigen dapat membantu proses penguraian logam dalam limbah tersebut. Jadi semakin banyak *Hydrilla verticillata*, maka nilai BOD semakin kecil yang berarti semakin baik kualitas air limbah tersebut.

4.3.2 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Analisis COD menunjukkan kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik dalam sampel limbah. Analisis dilakukan di Laboratorium Lingkungan

PJT 1 Malang. Uji COD dilakukan sebanyak 2 kali yaitu limbah sebelum dan setelah perlakuan fitoremediasi dengan *Hydrilla verticillata*. Hasil analisis COD ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil analisis COD sebelum dan sesudah perlakuan fitoremediasi hari ke-5 menggunakan aerator

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji
1.	Sebelum perlakuan fitoremediasi	mg/L	6490
2.	Sesudah perlakuan fitoremediasi	mg/L	181,8

Berdasarkan Tabel 4.2 menunjukkan kadar COD sebelum perlakuan fitoremediasi sebesar 6490 mg/L, setelah dilakukan fitoremediasi pada hari ke-5 sebesar 181,8 mg/L. Hasil tersebut menunjukkan penurunan setelah perlakuan fitoremediasi. Nilai COD memenuhi hasil dibawah ambang batas standar baku mutu limbah menurut Perda Jatim Nomor 72 Tahun 2013 yakni sebesar 300 mg/L. Penurunan nilai COD dikarenakan bahan padatan telah mengendap sehingga bahan buangan air limbah berkurang dan juga dikarenakan suplai oksigen terlarut cukup banyak terutama dari hasil fotosintesis tumbuhan sehingga menyebabkan dekomposisi bahan organik menjadi lebih efektif.

4.3.3 pH

Nilai pH digunakan untuk mendeskripsikan sifat keasaman limbah cair. Limbah cair yang bersifat asam atau sangat basa akan merusak organisme. Hasil analisis pH ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil analisa pH sebelum dan sesudah penambahan NaOH

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji
1.	Limbah murni	mg/L	2,17
2.	Limbah + NaOH	mg/L	7,16

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.3 limbah murni dari laboratorium sebesar 2,17, dimana pH tersebut sangat asam. Setelah dilakukan penambahan NaOH ke dalam limbah cair laboratorium nilai pH didapatkan sebesar 7,16. Nilai

tersebut sesuai dengan baku mutu limbah cair menurut KEP-51/MENLH/10/1995 untuk parameter pH adalah 6,5 – 9,00. Larutan NaOH berfungsi untuk menaikkan nilai pH pada limbah, sehingga pH meningkat. Peningkatan nilai pH disebabkan oleh proses fotosintesis yang menghasilkan O₂ dan melepas ion OH⁻ ke dalam air serta mengambil ion H⁺ yang terdapat pada air (Novi, dkk., 2019).

Uji pH dilakukan juga pada hasil fitoremediasi hari ke-5, 10 dan 15. Pengujian ini menggunakan alat pH meter. Hasil ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil uji pH pada perlakuan fitoremediasi hari ke-5,10 dan 15

Sampel	Nilai pH	
	Aerator	Tanpa Aerator
Hari ke-5	8,16	8,08
Hari ke-10	7,82	7,80
Hari ke-15	8,00	7,62

Berdasarkan Tabel 4.4 bahwa nilai pH pada perlakuan fitoremediasi menunjukkan hasil hari ke-5, 10 dan 15 pada penggunaan aerator sebesar 8,16; 7,82; 8,00. Sedangkan pada penggunaan tanpa aerator sebesar 8,08; 7,80; 7,62 secara berturut-turut. Hasil tersebut sesuai dengan baku mutu limbah cair menurut KEP-51/MENLH/10/1995 untuk parameter pH adalah 6,5 – 9,0. Kenaikan nilai pH disebabkan karena berkurangnya kadar bahan organik pada air limbah akibat degradasi bahan organik. Penggunaan aerator menghasilkan nilai pH yang lebih besar dibandingkan tanpa penggunaan aerator. Hal ini disebabkan oleh adanya injeksi udara dari aerator yang mengakibatkan naiknya kandungan oksigen terlarut pada air limbah. Banyaknya kandungan oksigen di dalam air limbah membuat kadar CO₂ berkurang sehingga mampu menaikkan nilai pH (Novita, dkk., 2020).

4.4 Preparasi Limbah Laboratorium

Preparasi limbah laboratorium dilakukan dengan diambil ± 2 L limbah cair laboratorium. Selanjutnya dilakukan penambahan NaOH untuk menetralkan limbah. Sifat basa larutan NaOH juga dapat digunakan untuk menaikkan pH larutan sehingga dapat menurunkan kelarutan logam berat. pH dari limbah cair tersebut terlalu asam yaitu 2,17. Penetrulan dilakukan sebelum proses fitoremediasi. pH yang netral merupakan pH yang paling baik, karena dengan pH yang netral tersebut reaksi remediasi yang dilakukan tumbuhan terhadap kontaminan menjadi optimal (Kalsum, dkk., 2014). NaOH yang dibutuhkan sebesar ± 15 gram hingga sampai pH 7,16 (netral). Larutan NaOH dapat menjadi agen presipitasi yang baik. Sifat basa pada NaOH digunakan untuk menaikkan pH larutan sehingga dapat menurunkan kelarutan logam berat (Ariani, dkk., 2019).

Fitoremediasi *Hydrilla verticillata* dengan limbah laboratorium yang telah dipreparasi dilakukan dalam wadah kaca. *Hydrilla verticillata* yang digunakan masing-masing sebanyak 20 gram. Pada bagian akar tumbuhan tidak digunakan karena saat proses aklimatisasi hanya tumbuh sedikit saja, sehingga hanya menggunakan batang dan daun *Hydrilla verticillata*. Variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 5, 10, dan 15 hari. Proses fitoremediasi menggunakan aerator dan tanpa aerator. Proses fitoremediasi ditunjukkan pada Gambar 4.2.



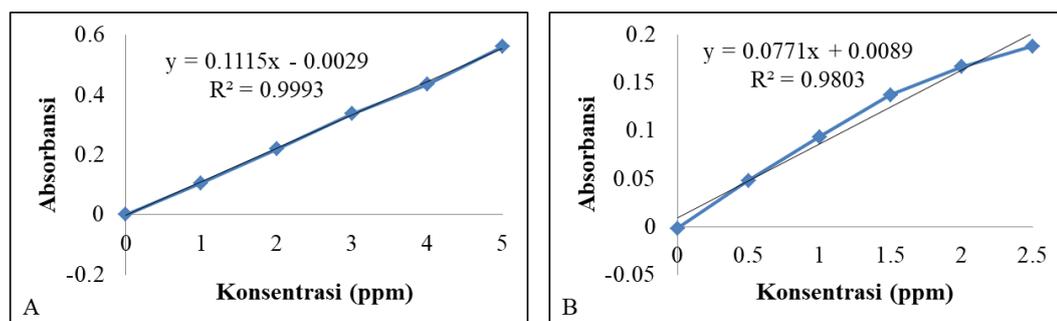
(A)

(B)

Gambar 4.2 Proses (A) menggunakan aerator dan (B) tanpa aerator

4.5 Pembuatan Kurva Standar Logam Cu dan Ni

Pembuatan kurva standar bertujuan untuk mengetahui hubungan konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya sehingga konsentrasi logam dapat diketahui. Pembuatan kurva standar dilakukan dengan membuat larutan standar logam Cu dari konsentrasi 1 hingga 5 ppm, sedangkan untuk logam Ni dari konsentrasi 0,5 hingga 2,5 ppm. Larutan tersebut diukur absorbansinya menggunakan SSA pada panjang gelombang 324,8 nm untuk Cu dan 232 nm untuk Ni. Larutan standar yang dianalisis menggunakan SSA menghasilkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.3.

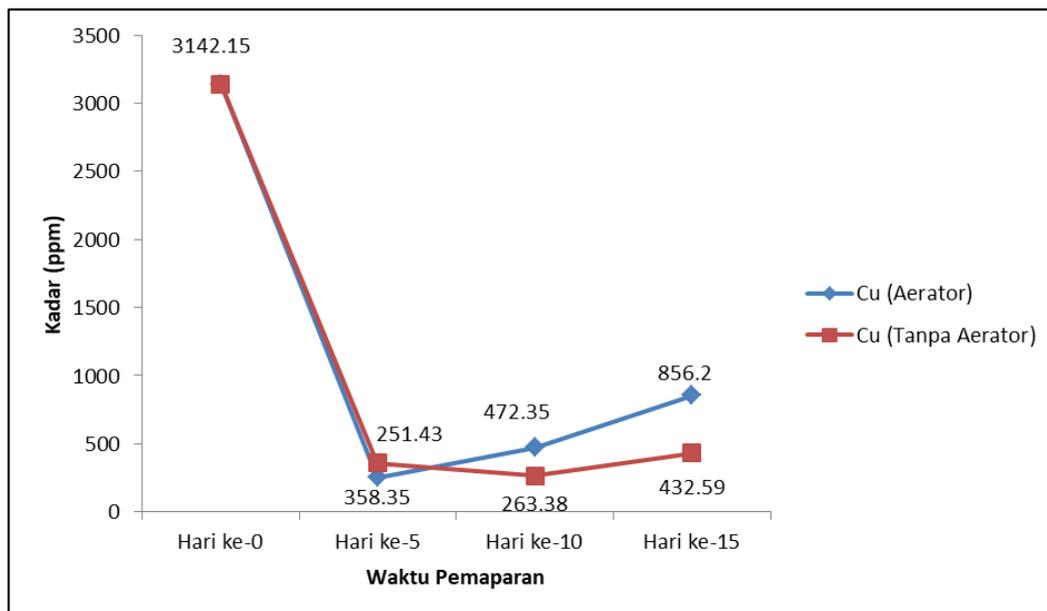


Gambar 4.3 Kurva standart (A) logam Cu dan (B) logam Ni

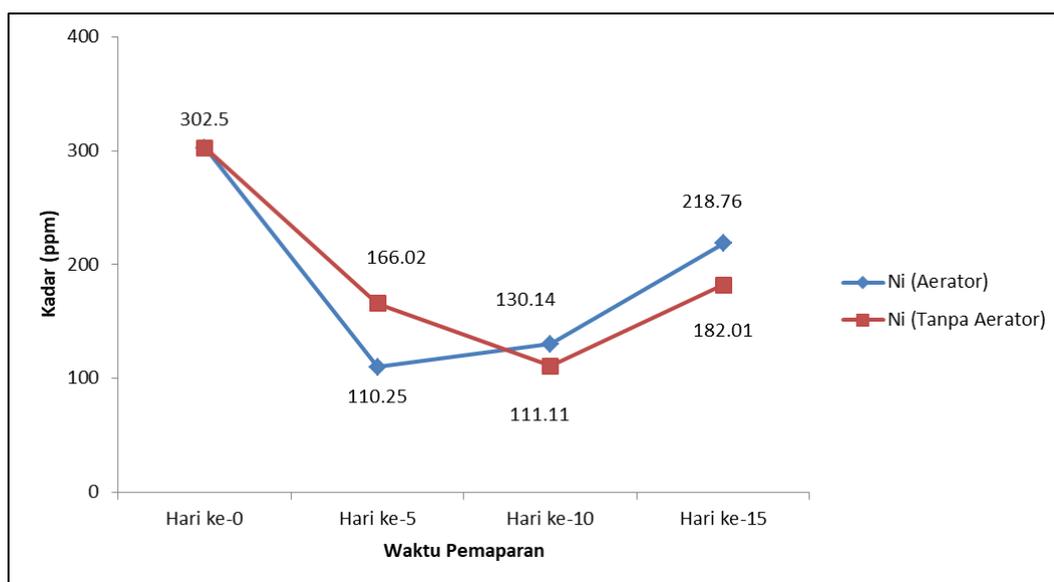
Berdasarkan grafik kurva standart pada Gambar 4.3 didapatkan persamaan regresi linier pada logam Cu diketahui $y = 0,111x - 0,002$, nilai $R^2 = 0,999$. Hal ini menunjukkan keakuratan dalam menentukan konsentrasi sebesar 99,9 %. Persamaan regresi linier pada logam Ni diketahui $y = 0,0771x + 0,0089$, nilai $R^2 = 0,9803$. Hal ini menunjukkan keakuratan dalam menentukan konsentrasi sebesar 98,03 %. Menurut Rahmawati (2015) bahwa keakuratan dikatakan sempurna jika nilai R^2 mendekati 1.

4.6 Penentuan Kadar Logam Cu dan Ni dalam Air Limbah Laboratorium

Pengukuran kadar logam Cu dan Ni dalam air limbah dilakukan menggunakan SSA sehingga didapatkan konsentrasi logam dalam sampel tersebut. Kadar limbah murni untuk logam Cu sebesar 20266 ppm dan untuk logam Ni sebesar 18542 ppm. Sedangkan kadar limbah setelah ditambah NaOH untuk logam Cu sebesar 3142,15 ppm dan logam Ni sebesar 302,50 ppm. Nilai konsentrasi penurunan kadar logam dapat dihitung dalam bentuk persen. Nilai persen ditentukan dengan menghitung konsentrasi yang teremediasi dengan konsentrasi awal dari logam dalam air. Dari data tersebut pada logam Cu menggunakan aerator hari ke-5, 10 dan 15 menghasilkan penyerapan logam sebesar 92%, 84,97% dan 72,75%. Pada hari ke-5 logam Cu menghasilkan penyerapan logam yang bagus, hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak maka organ tumbuhan ini mengalami kejenuhan dalam mengakumulasi logam berat. Kejenuhan ditandai dengan adanya batang dan daun yang rontok maka logam Cu keluar dari sitosol, sehingga terjadi kelarutan logam ke dalam air (Mutmainnah, dkk., 2015). Laju penyerapan dan akumulasi logam berat dipengaruhi oleh kejenuhan tumbuhan dalam mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya (Nurlina, dkk., 2016).



Gambar 4.4 Hasil kadar logam Cu pada air limbah



Gambar 4.5 Hasil kadar logam Ni pada air limbah

Berdasarkan Gambar 4.4 dan 4.5, dapat diketahui bahwa kadar logam Cu dan Ni pada air limbah laboratorium mengalami penurunan konsentrasi secara drastis. Air limbah laboratorium yang diaplikasikan ke *Hydrilla verticillata* yaitu diolah terlebih dahulu menggunakan NaOH. *Hydrilla verticillata* mengalami penurunan penyerapan dengan seiring bertambahnya waktu kontak. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada titik tertentu tumbuhan akan mengalami kejenuhan.

Kejenuhan tersebut diduga karena pada hari sebelumnya *Hydrilla verticillata* telah menyerap semua zat-zat yang berada dalam media, sehingga pada hari ke-10 zat-zat yang telah terserap menumpuk dalam jaringan tumbuhan yang mengakibatkan terhambatnya penyerapan. Selain itu juga, pada hari ke-10 *Hydrilla verticillata* mekanisme pertahanan yang disebut sebagai metal excluder, dimana *Hydrilla verticillata* mencegah masuknya logam dari bagian aerial atau menjaga agar konsentrasi logam tetap rendah dalam air (Lambers et al, 2010). *Hydrilla verticillata* mengalami penurunan dalam meremediasi logam Cu dan Ni diduga karena terjadi proses desorpsi. Hal ini merupakan salah satu fenomena dalam adsorpsi fisika yang menyatakan bahwa proses adsorpsi bersifat reversible.

Pada penggunaan aerator semakin hari penyerapan logam semakin meningkat, sedangkan pada penggunaan tanpa aerator menunjukkan hasil yang tidak konstan seperti pada hari ke 10 pada logam Cu dan Ni. Penggunaan aerator pada penyerapan logam memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa aerator. Hal ini disebabkan karena adanya injeksi udara yang meningkatkan kandungan oksigen terlarut pada air limbah (Hidayah, dkk., 2018).

Penggunaan aerator dilengkapi dengan supply oksigen untuk menambah jumlah oksigen terlarut di dalam air sehingga dapat membantu tumbuhan dalam menyerap logam berat cukup optimal, namun tumbuhan memiliki tingkat stress yang tinggi sehingga menyebabkan perubahan morfologi tumbuhan menjadi lebih cepat layu hingga terbakar. Keadaan ini sangat berbeda dengan metode tanpa penggunaan aerator dimana pada metode ini *Hydrilla verticillata* hanya mampu untuk menyerap logam berat pada limbah dalam jumlah yang sedikit karena tidak terjadi proses migrasi ion logam namun hanya terjadi proses penyerapan sehingga

menyebabkan proses penyerapan logam berat pada limbah tidak terjadi secara maksimal (Setianingrum, dkk., 2017). Oleh karena itu, hasil yang lebih maksimal yaitu dengan menggunakan aerator.

Penelitian ini didukung oleh data uji statistik ANOVA. Uji statistik menggunakan Two Way ANOVA dan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT). Tujuan uji statistik ini adalah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh waktu kontak dan penggunaan aerator dan tanpa aerator terhadap penyerapan logam Cu dan Ni oleh *Hydrilla verticillata*. Pengujian statistik menggunakan taraf signifikan 5%. Faktor yang digunakan yaitu faktor waktu kontak dan penggunaan aerator.

Hipotesis yang digunakan menggunakan dua aspek yaitu uji F dan uji probabilitas. Pada pengujian nilai F dinyatakan apabila nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka H_0 ditolak dan sebaliknya. Sedangkan pengujian nilai probabilitas dinyatakan apabila signifikansi (sig.) kurang dari alpha 5% maka H_0 ditolak dan sebaliknya. Hasil uji statistik two way ANOVA ditampilkan pada Tabel 4.5 untuk logam Cu dan Tabel 4.6 untuk logam Ni.

Tabel 4.5 Hasil uji statistika logam Cu

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Waktu	396.848	2	198.424	11.553	.001
Dengan_dan_T anpa_Aerator	139.946	1	139.946	8.148	.013
Error	240.459	14	17.176		
Total	133992.988	18			

Berdasarkan Tabel 4.5 menunjukkan nilai statistik uji F pada waktu pemaparan adalah sebesar 11,553 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,001. Nilai F hitung ($11,553 > F$ tabel (3,74) dan nilai probabilitas (sig.) ($0,001 < \alpha$ (5%

atau 0,05), sehingga H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh waktu kontak yang menghasilkan kadar logam Cu yang berbeda signifikan.

Nilai statistik uji F pada penggunaan aerator dan tanpa aerator adalah sebesar 8,148 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,013. Nilai F hitung (8,148) > F tabel (4,6) dan nilai probabilitas (sig.) (0,013) < alpha (5% atau 0,05), sehingga H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh penggunaan aerator dan tanpa aerator yang menghasilkan kadar logam Cu berbeda signifikan.

Tabel 4.6 Hasil uji statistika logam Ni

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Waktu	1991.636	2	995.818	13.758	.000
Aerator_Tanpa	.047	1	.047	.001	.980
Error	1013.356	14	72.383		
Total	48227.312	18			

Berdasarkan Tabel 4.6 menunjukkan nilai statistik uji F pada waktu kontak adalah sebesar 13,758 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,000. Nilai F hitung (13,758) > F tabel (3,74) dan nilai probabilitas (sig.) (0,000) < alpha (5% atau 0,05), sehingga H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh waktu kontak yang menghasilkan kadar logam Ni yang berbeda signifikan.

Nilai statistik uji F pada penggunaan aerator dan tanpa aerator adalah sebesar 0,001 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,980. Nilai F hitung (0,001) < F tabel (4,6) dan nilai probabilitas (sig.) (0,980) > alpha (5% atau 0,05), sehingga H_0 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan pengaruh penggunaan aerator dan tanpa aerator terhadap penyerapan logam Ni.

Selanjutnya dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji statistik BNT (Beda Nyata Terkecil). Hasil uji BNT ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil uji BNT pengaruh waktu kontak dan penggunaan aerator dan tanpa terhadap penyerapan logam Cu dan Ni oleh *Hydrilla verticillata*

Lama Waktu	Rata-Rata		Notasi	
	Cu	Ni	Cu	Ni
5 hari	90,3017	60,2567	B	B
10 hari	88,2933	54,4883	B	B
15 hari	79,4900	35,6250	A	A

Berdasarkan Tabel 4.7 menunjukkan nilai notasi pada setiap perlakuan. Logam Cu 15, 10, 5 hari secara berturut-turut adalah A, B, dan B, sedangkan pada logam Ni 15,10, 5 hari secara berturut-turut adalah A, B, dan B. Notasi pada hari ke 15 berbeda nyata dengan hari ke 10 dan 5, namun hari ke 10 dan 5 menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata. Rata-rata tertinggi pada logam Cu dan Ni pada hari ke 5 yaitu sebanyak 90,3017 dan 60,2567 serta rata-rata terendah pada hari ke 15 yaitu sebanyak 79,4900 dan 35,6250. Makna dari notasi tersebut untuk melihat mana perlakuan yang berbeda antara satu dengan yang lain.

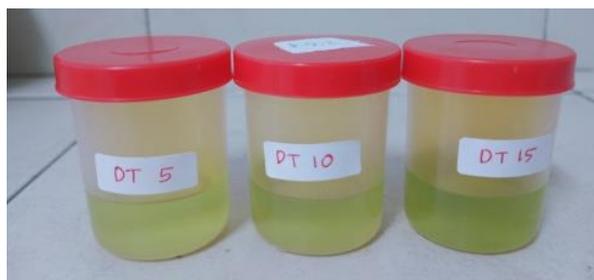
Hasil analisis COD menggunakan aerator sebesar 181,8 mg/L dan hasil analisis BOD menggunakan aerator sebesar 60,55 mg/L menunjukkan penurunan yang signifikan terhadap limbah laboratorium. Hal ini juga dibuktikan pada kadar logam Cu menggunakan aerator hari ke 5 sebesar 251,43 mg/L dan kadar logam Ni menggunakan aerator hari ke 5 sebesar 110,25 mg/L menunjukkan penurunan kadar yang signifikan juga. Hal ini menandakan bahwa kadar oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan logam pencemar secara kimiawi sesudah fitoremediasi jauh lebih kecil dibandingkan sebelum proses fitoremediasi.

4.7 Analisis Kadar Logam Cu dan Ni dalam Bagian *Hydrilla verticillata*

Fitoremediasi *Hydrilla verticillata* dilakukan pada hari ke 5, 10 dan 15. Setelah proses fitoremediasi maka dianalisis menggunakan instrumentasi SSA.

Sebelum dianalisis, *Hydrilla verticillata* dikeringkan menggunakan oven untuk mengurangi kadar air didalamnya. Selanjutnya dipisahkan antara batang dan daun. Bagian tersebut didestruksi secara terpisah.

Destruksi yang digunakan yaitu destruksi *microwave*. Destruksi dilakukan dengan ditambahkan asam nitrat dan asam peroksida. Fungsi penambahan asam nitrat yaitu sebagai pengoksidasi sampel dan katalis untuk mempercepat destruksi (Nasir, 2018). Sedangkan fungsi asam peroksida sebagai reagen pereduksi yang nantinya akan merubah larutan menjadi bening (Borolla, 2019). Hasil destruksi berupa cairan bening kehijauan. Hasil dari proses destruksi ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil destruksi

Hasil destruksi menunjukkan perbedaan warna pada hari ke-5, 10 dan 15. Hasil yang menggunakan aerator pada hari ke-5 dan 10 didapatkan cairan berwarna bening, namun pada hari ke-15 didapatkan cairan berwarna kehijauan. Semakin lama waktu fitoremediasi maka warna hasil destruksi semakin kehijauan. Hal ini dikarenakan batang dan daun mengalami pembusukan sehingga tumbuhan mengalami stress metal dan membentuk *phytochelatin*. Semakin lama waktu kontak menyebabkan akumulasi oleh *Hydrilla verticillata* semakin besar. Hal tersebut disebabkan semakin banyaknya senyawa fitokelatin dalam *Hydrilla verticillata* yang terbentuk seiring bertambahnya logam berat dalam lingkungan. Menurut Gupta, dkk. (1995) dalam *Hydrilla verticillata* dapat menyerap metal

sampai ambang batas yang ditentukan karena memiliki kemampuan meredam stress metal. Hasil destruksi kemudian dianalisis kandungan logam tembaga dan nikel menggunakan instrumentasi SSA. Hasil penentuan konsentrasi dalam bagian batang dan daun *Hydrilla verticillata* ditampilkan pada Tabel 4.8 dan 4.9.

Tabel 4.8 Konsentrasi Cu dalam *Hydrilla verticillata*

Waktu Kontak (Hari ke-)	Dengan / Tanpa Aerator	Konsentrasi Cu (ppm)	
		Daun	Batang
5	Aerator	1346,96	354,51
	Tanpa Aerator	1245,11	452,66
10	Aerator	1607,40	562,14
	Tanpa Aerator	1415,57	250,31
15	Aerator	1416,29	689,09
	Tanpa Aerator	1468,67	483,32

Tabel 4.9 Konsentrasi Ni dalam *Hydrilla verticillata*

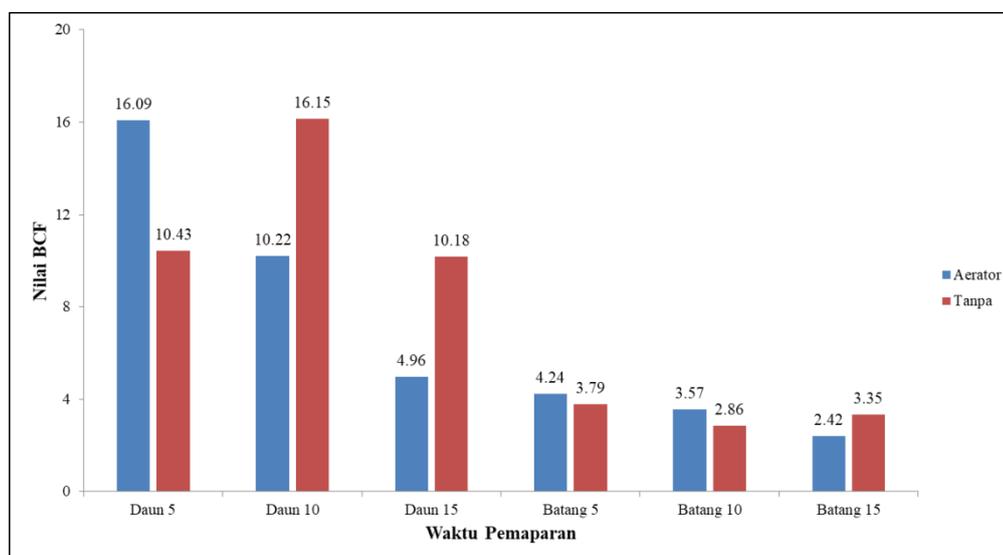
Waktu Kontak (Hari ke-)	Dengan/ Tanpa Aerator	Konsentrasi Ni (ppm)	
		Daun	Batang
5	Aerator	204,77	61,31
	Tanpa Aerator	130,16	43,17
10	Aerator	301,16	104,37
	Tanpa Aerator	235,64	70,21
15	Aerator	253,94	117,02
	Tanpa Aerator	241,85	94,09

Berdasarkan Tabel 4.8 dan 4.9 menunjukkan bahwa waktu untuk penyerapan kadar logam Cu yang paling besar menggunakan aerator diperoleh pada hari ke 10 yakni sebesar 1607,40 ppm pada daun dan 562,14 ppm pada batang. Sedangkan pada logam Ni, waktu penyerapan kadar logam Ni menggunakan aerator pada hari ke-10 yakni sebesar 301,71 ppm pada daun dan 104,39 ppm pada batang. Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa waktu penyerapan logam Cu maupun Ni yang paling baik adalah pada hari ke 10 dan menggunakan aerator. Hal sesuai menurut Hidayah (2018), bahwa pada aerator terdapat injeksi udara yang meningkatkan

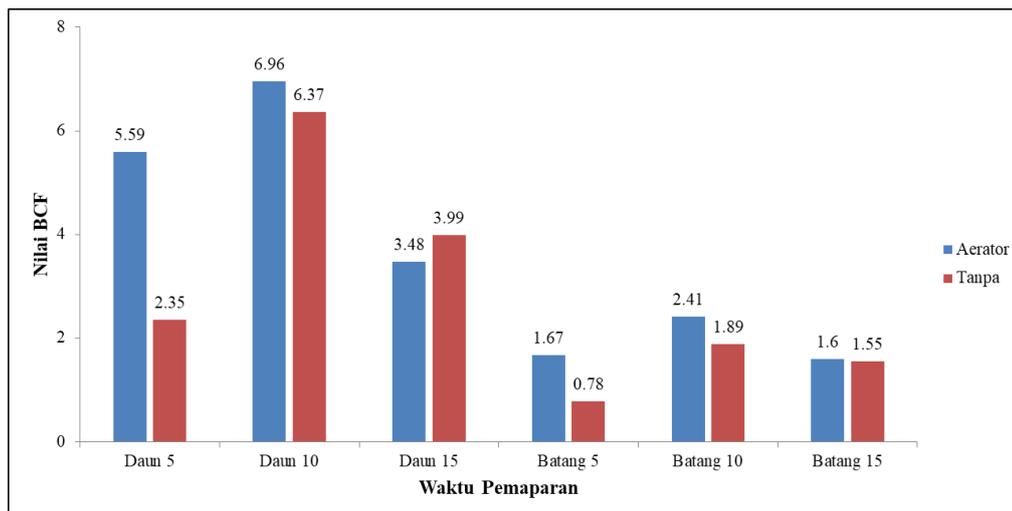
kandungan oksigen terlarut pada air limbah. Banyaknya oksigen membantu tumbuhan untuk berfotosintesis sehingga proses penyerapan lebih baik.

4.8 Penentuan *Bioconcentration Factor* (BCF)

Bioconcentration Factor (BCF) merupakan kecenderungan suatu bahan kimia yang diserap oleh organisme akuatik. BCF adalah rasio antara konsentrasi bahan kimia dalam organisme akuatik dengan konsentrasi bahan kimia di dalam air (LaGrega, dkk., 2001). Konsentrasi logam di dalam tubuh hydrilla dinyatakan dalam bentuk ppm. Tumbuhan hydrilla yang telah dilakukan fitoremediasi dengan variasi waktu kontak 5, 10 dan 15 hari kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C. Hasil perhitungan BCF dengan dan tanpa menggunakan aerator antara daun dan batang dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.7 Hasil BCF pada logam Cu



Gambar 4.8 Hasil BCF pada logam Ni

Berdasarkan Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan nilai BCF untuk bagian daun dan batang pada penggunaan aerator dan tanpa aerator. Nilai BCF pada daun lebih tinggi dibandingkan batang. Hal tersebut dikarenakan tumbuhan hydrilla lebih banyak terserap pada daun. Nilai tertinggi logam Cu yaitu pada daun hari ke 5 penggunaan aerator sebesar 16,09. Sedangkan penggunaan tanpa aerator pada daun hari ke 10 sebesar 16,15. Nilai tertinggi logam Ni penggunaan aerator yaitu pada daun hari ke 10 sebesar 6,96. Sedangkan penggunaan tanpa aerator pada daun hari ke 10 juga sebesar 6,37. Secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa *Hydrilla verticillata* memiliki nilai BCF yang sangat tinggi. Nilai BCF pada daun lebih tinggi dibandingkan dengan batang. Hal tersebut menunjukkan bahwa logam Cu dan Ni banyak terakumulasi pada daun daripada batang. Menurut Usman, dkk. (2019) bahwa nilai BCF yang lebih dari 1 diindikasikan sebagai tumbuhan hiperkumulator.

4.9 Penentuan *Translocation Factor* (TF)

Nilai Translokasi Faktor (TF) menunjukkan kemampuan tumbuhan dalam mentranslokasi logam ke seluruh bagian tumbuhan. Translokasi logam dihitung antara rasio konsentrasi logam di daun dan batang. Nilai TF untuk logam Cu terdapat pada Tabel 4.10 dan nilai TF untuk logam Ni ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Hasil nilai TF logam Cu

Hari ke-	Aerator/Tanpa Aerator	TF
5	Aerator	3,79
	Tanpa	2,75
10	Aerator	2,86
	Tanpa	5,66
15	Aerator	2,06
	Tanpa	3,04

Tabel 4.11 Hasil nilai TF logam Ni

Hari ke-	Aerator/Tanpa Aerator	TF
5	Aerator	3,34
	Tanpa	3,02
10	Aerator	2,89
	Tanpa	3,36
15	Aerator	2,17
	Tanpa	2,57

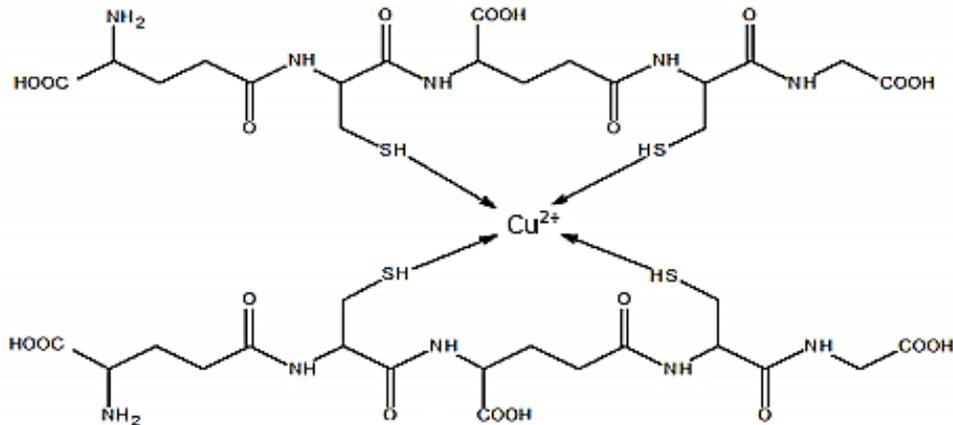
Berdasarkan Tabel 4.10 dan 4.11, menunjukkan nilai TF tertinggi pada logam Cu terdapat pada hari ke 5 dengan penggunaan aerator sebesar 3,79, sedangkan tanpa aerator pada hari ke 10 sebesar 5,66. Nilai TF tertinggi pada logam Ni terdapat pada hari ke 5 dengan penggunaan aerator sebesar 3,34, sedangkan tanpa aerator pada hari ke 10 sebesar 3,36. Pada penelitian ini menghasilkan nilai $TF > 1$ pada logam Cu maupun Ni, sehingga dapat disimpulkan bahwa *Hydrilla verticillata* dapat dikategorikan sebagai tumbuhan

hiperakumulator. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Kumar, dkk. (2012) bahwa nilai TF pada *Hydrilla verticillata* untuk logam Cu sebesar 1,66 dan logam Ni sebesar 0,75. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam Ni sangat lemah untuk translokasi ke tunas. Menurut Baker (1981) nilai $TF > 1$ maka termasuk mekanisme fitoekstraksi yakni proses penyerapan logam berat oleh akar tumbuhan yang kemudian di translokasikan menuju batang dan daun.

Parameter BCF dan TF digunakan untuk memperkirakan tumbuhan sebagai tujuan fitoremediasi. Hanya tumbuhan memiliki nilai diatas 1 yang dapat dikategorikan sebagai tumbuhan hiperakumulator. Berdasarkan analisis pada penelitian ini, *Hydrilla verticillata* dapat digunakan sebagai tumbuhan untuk proses fitoremediasi dan sebagai tumbuhan hiperakumulator.

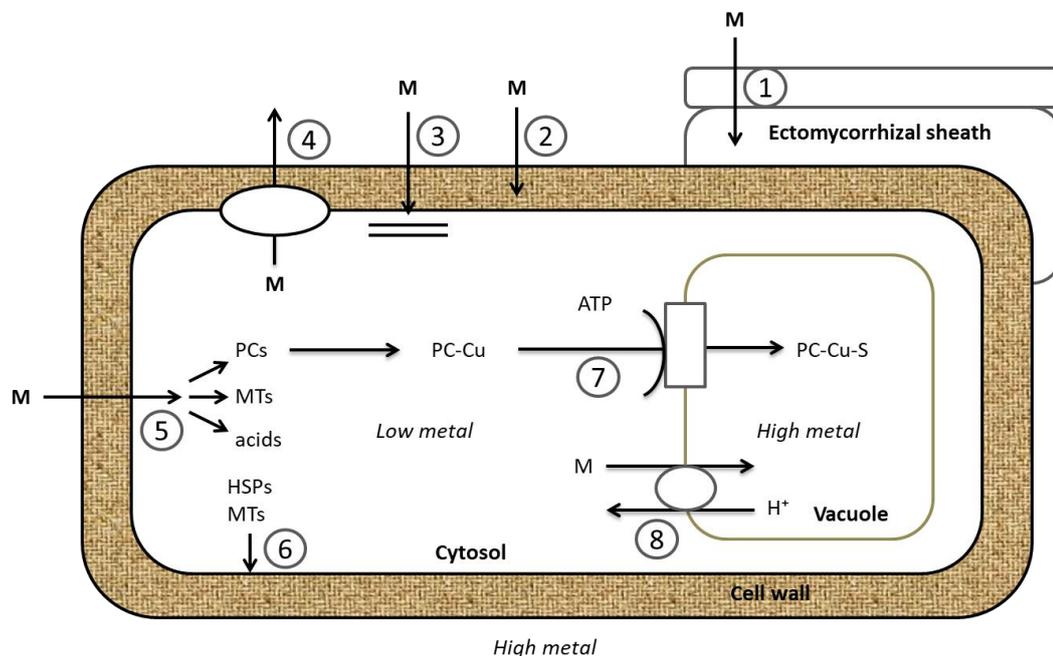
4.10 Mekanisme Penyerapan Logam Cu dan Ni oleh *Hydrilla verticillata*

Mekanisme penyerapan dari logam Cu dan Ni memerlukan bantuan khelat yang digunakan untuk penyerapan dan pengangkutan unsur logam esensial (Sumiyati, dkk., 2009). Fitokelatin berikatan dengan logam berat akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks, sehingga logam berat akan terbawa menuju jaringan tumbuhan. Senyawa ini mengikat ion logam dan membawanya ke vakuola dimana logam berat tidak menjadi toksik (Suresh dan Ravinkar, 2004). Tumbuhan yang tumbuh pada lingkungan yang tercemar logam akan mengalami stress metal dengan membentuk fitokhelatin (Lambers, dkk., 2010).



Gambar 4.9 Reaksi antara fitokelatin dengan logam Cu
(David, dkk., 2016)

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).



Gambar 4.10 Pembentukan kompleks fitokhelatin dengan logam tembaga (Cu)
(Hall, dkk., 2002)

Berdasarkan Gambar 4.10 menunjukkan pembentukan kompleks fitokhelatin dengan logam. (1) Pembatasan pergerakan logam pada akar oleh mikoriza ; (2) Berikatan dengan dinding sel; (3) Mengurangi masuknya membran plasma ; (4) Pengeluaran secara aktif melalui apoplas; (5) Pengkelatan pada sitosol oleh berbagai macam ligan; (6) Perbaikan dan perlindungan membrane plasma dalam kondisi stres ; (7) Transport kompleks PC-Cu ke dalam vakuola; (8) Transport dan akumulasi logam Cu dalam vakuola.

4.11 Kajian Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Penelitian yang telah dilakukan tentang penanganan limbah cair laboratorium yang mengandung logam berat menggunakan metode fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata*. Pemanfaatan hydrilla sebagai adsorben logam merupakan salah satu bentuk penalaran manusia terhadap ciptaan Allah SWT. Termasuk menganalisa potensi dari kandungan yang dapat diadsorp oleh tumbuhan ini. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai usaha manusia dalam proses berpikir agar dapat memanfaatkan hydrilla untuk menangani limbah cair laboratorium. Firman Allah SWT dalam QS. Al Jaatsiyah ayat 13 menjelaskan bahwa segala sesuatu yang Allah ciptakan tidak ada yang sia-sia.

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ
لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١٣﴾

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

Berdasarkan ayat tersebut dalam Tafsir Al-Maraghi memberikan penjelasan bahwa segala sesuatu Allah SWT ciptakan tidak ada yang sia-sia dan tidak berarti.

Bahwa semua ciptaanNya adalah *haq* (benar), mengandung hikmah-hikmah yang agung dan mashlahat yang besar. **إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ**

“Sesungguhnya pada yang demikian itu benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berpikir”. Segala nikmat ini merupakan bukti kekuasaan Allah SWT bagi kaum yang memikirkan ayat-ayat, mengkajinya dan melakukan penelitian ilmiah. Itulah bentuk dari bagaimana manusia dapat mengoptimalkan daya fikir yang telah diberikah oleh Allah SWT (Mahran, 2006).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis terhadap kemampuan pengolahan air limbah menggunakan aerasi dan fitoremediasi *Hydrilla verticillata* pada limbah laboratorium menunjukkan bahwa tumbuhan tersebut dapat digunakan sebagai tumbuhan hiperkumulator. Hal tersebut berdasarkan hasil yang didapatkan yakni memiliki nilai BCF > 1 dan nilai TF > 1, sehingga *Hydrilla verticillata* dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam tembaga dan nikel dalam perairan.
2. Pengaruh waktu kontak menunjukkan bahwa waktu penyerapan yang paling besar logam Cu pada hari ke-5 menggunakan aerator yaitu sebesar 251,42 ppm. Waktu kontak untuk logam Ni yang paling besar ditunjukkan pada hari ke-5 menggunakan aerator yaitu sebesar 110,25 ppm. Hasil fitoremediasi yang didapatkan penggunaan aerator lebih baik daripada tanpa menggunakan aerator.

5.2 Saran

Dilakukan pengamatan pada rentang waktu yang lebih sedikit agar diketahui hari penyerapan yang lebih spesifik. *Hydrilla verticillata* yang digunakan perlu ditambahkan lagi beratnya sehingga setelah dioven hasil yang didapatkan antara daun dan batang banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Aba, L., Bahrin dan Armid. 2017. Pengolahan Air Sumur Gali dengan Metode Aerasi Filtrasi menggunakan Aerator Gelembung dan Saringan Pasir Cepat untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn). *Jurnal Aplikasi Fisika*. Vol 13 (2): 38-47.
- Abuzar, S.S., Putra, Y.D., dan Emargi, R.E. 2012. Koefisien Transfer Gas (K_{La}) pada Proses Aerasi Menggunakan Tray Aerator Bertingkat 5. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol 9 (2): 155-163.
- Ad-Dymasyqy. 2000. *Tafsir Ibnu Kasir*. Bandung : Sinar Baru Algesindo.
- Ahmad, F. 2009. Tingkat Pencemaran Logam Berat dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Pulau Muna, Kabaena dan Buton Sulawesi Tenggara. *MAKARA SAINS*. Vol. 13 (2): 117-124.
- Alaerts, G., dan Santika, S.S. 1987. *Metode Penelitian Air*. Surabaya : Penerbit Usaha Nasional.
- Al-Ghaffar, H.N.A dan Al-Dhamin, A.S. 2016. Phytoremediation of Chromium and Copper From Aqueous Solutin Using *Hydrilla verticillata*. *Iraqi Journal of Science*. Vol 57 (1A): 78-86.
- Al Qarni, A. 2008. *Tafsir Muyasar Jilid 1*. Jakarta : Qisthi Press.
- Ariani, M.D., dan Rahayu, D. 2016. Penyisihan Logam Berat dari Limbah Cair Laboratorium Kimia. *Farmaka*. Vol 14 (4) : 89-97.
- Atima, W. 2015. BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education*. Vol 4 (1): 83-93.
- Audiana, M., Apriani, I., dan Kadaria, U. 2017. *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Koagulasi dan Adsorpsi untuk Menurunkan COD, Fe, dan Pb*. Pontianak : Universitas Tanjung Pura.
- Ayres, D.M., Davis, A.P dan Gietka, P.M. 1994. *Removing Heavy Metals From Wastewater*. University of Maryland : Engineering Research Center Report.
- Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and Excluders Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*. Vol 3 (1-4): 643-654.
- Baker, A.J.M dan Brooks, R.R. 1989. Terrestrial Higher Plants which Hyperaccumulate Metallic Elements- A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery*. Vol 1: 81-126.

- Bitton, G. 2012. *Wastewater Microbiology*. Florida : A John Willey and Sons, Inc Publication.
- Borolla, Silvia M., Mariwy, A., dan Manuhuttu, J. 2019. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Merkuri (Hg) menggunakan Tumbuhan Kersen dengan Sstem Reaktor. *MJoCE* Vol. 9 (2) : 78 – 89.
- Brbooti, M.M., Abid, B.A., dan Al-Shuwaiki, N.M. 2011. Removal of Heavy Metals Using Chemicals Precipitation. *Engineering and Technology Journal*. Vol 29 (3): 595-612.
- Budianto, A. 2017. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Tanaman Kangkung Air di Sungai Lesti Kabupaten Malang Dengan Variasi Metode Destruksi Basah Tertutup Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Malang : Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Chaney, R.L. 1995. Potential Use of Metal Hyperaccumulators. *Mining Environ Manag* .Vol 3: 9-11.
- Christina, P.M. 2006. *Instrumentasi Kimia I*. Yogyakarta : STTN-BATAN.
- Cotton, F.A., dan Wilkinson, G. 1989. *Kimia Anorganik I*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhhluk Hidup*. Jakarta : UI Press.
- Ditomaso, J.M., dan Healy, E.A. 2003. *Aquatic and Riparian Weeds*. California : University of California.
- Elankumaran, R., Raj Mohan, B., dan Madhyastha, M.N. 2003. *Biosorption of Copper from Contaminated Water by Hydrilla verticillata Casp and Salvinia sp*. India : Department of Chemical Engineering of the National Institue of Technology Kartanaka (NITK).
- Figueira, M.M., dan Volesky, B. 2000. Biosorption of Metals in Brown Seaweed Biomass. *Wat Res*. Vol 34: 196-204.
- Fitriya, A.W., Yudhi, U., dan Irma, K.K. 2013. Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya. *Jurnal (Online)*. Diakses pada 20 Oktober 2019.
- Fuad, M.T., Aunurohim., dan Nurhidayati, T. 2017. Efektivitas Kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam Remediasi Logam Cu pada Limbah Elektroplating. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Vol 2 (1): 2337-3520.
- Gallardo-William, M.T., Whalen, V.A., Benson, R.F., dan Martin, D.F. 2002. Accumulation and Retention of Lead by Cattail (*Typha domingensis*)

- Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) and Duckweed (*Lemna obscura*). *Journal of Environmental Science and Health*. Vol. 37 (8): 1399-1408.
- Gerberding, J.L. 2005. *Toxicological Profile for Nickel*. Atlanta Georgia : Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology.
- Ghosh, M., dan Singh, S.P. 2005. Comparative intake and Phytoextraction Study of Soil Induced Chromium by Accumulation in High Biomass Weed Species. *Environ Pollut* 133: 365-371.
- Goltenboth, F., Timotius, K.H., Milan, P.P., dan Margraf, J. 2012. *Ekologi Asia Tenggara*. Jakarta : Salembia Teknika.
- Gupta, M., Rai, U.N., Tripathi, R.D., dan Chandra, P. 1995. Lead Induced Changes in Glutathione and Phytochelatin in *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle. *Chemosphere*. Vol 30 (10) : 2011-2020.
- Hall, J.L. 2002. Cellular Mechanism for Heavy Metal Detoxification and Tolerance. *Journal of Experimental Botany*. Vol 53 (366) : 1-11.
- Handoko, C.T., Yanti, T.B., Syadiyah, H., dan Marwati, S. 2013. Penggunaan Metode Presipitasi untuk Menurunkan Kadar Cu dalam Limbah Cair Industri Perak di Kotagede. *Jurnal Penelitian Saintek*. Vol 18 (2): 51-58.
- Hendayana, S., Kadarohmah, A., Sumarna, A.A., dan Supriatna, A. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Semarang : IKIP Semarang Press.
- Hidayah, E.N., Djalalembah, A., Asmar, G.A, dan Cahyonugroho, O.H. 2018. Pengaruh Aerasi dalam Constructed Wetland pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol 16 (2) : 155-161.
- Hidayati, N. 2005. Phytoremediation and Potency of Hyperaccumulator Plants. *Hayati*. 12 (1): 35-40.
- Hutauruk. 2014. Pengaruh Ekstrak Segar Limut (*Hydrilla verticillata* L.) Danau Toba terhadap Kadar Kolesterol Total dan Gambaran Mikrostruktur Aorta Mencit (*Mus musculus* L). *Skripsi*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Indah, D.R. dan Safnowandi. 2018. Upaya Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) pada Limbah Kerajinan Perak di Lombok Tengah dengan Memanfaatkan Karbon Naggase Teraktivasi. *Prosiding Seminar Nasional* 149-155.
- Juniawan, A., Rumhayati, B., dan Ismuyanto, B. 2013. Karakteristik Lumpur Lapindo dan Fluktuasi Logam Berat Pb dan Cu pada Sungai Porong dan Aloo. *Sains dan Terapan Kimia*. Vol 7 (1): 50-59.

- Kalsum. 2014. Efektivitas Eceng Gondok, *Hydrilla verticillata* dan Rumput Payung dalam pengolahan Limbah Grey Water. Vol 17 (1).
- Kamaruzzaman, B.Y., Ong, M.C., Jalal, K.C.A., Shahbudin, S., dan Nor, O.M. 2008. Accumulation of Lead and Copper in *Rhizophora apiculata* from Setiu Mangrove Forest Tenggau Malaysia. *Journal of Environmental Biology* 821-824.
- Khopkar, S.M. 2002. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta : UI Press.
- Kristanto, P. 2002. *Ekologi Industri*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Kumar, N. 2012. Accumulation of Metals in Selected Macrophytes Grown in Mixture of Drain Water and Tannery Effluent and Their Phytoremediation Potential. *Journal of Environment Biology*. Vol 33 : 923-927.
- Kundari, N.A., dan Wiyuniati, S. 2008. Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta.
- Kurniawan, M., Izzati, M., dan Nurchayati, Y. 2010. Kandungan Klorofil, Karotenoid, dan Vitamin C pada Beberapa Spesies Tumbuhan Akuatik. *Buletin Anatomi dan Fisiologi* 18 (1): 32.
- LaGrega, M.D., Philip, L., Buckingham. 2001. *Hazardous Waste Managemen*. Second Edition. New York : McGraw Hill International Edition.
- Lambers, H., Chapin, F.S dan Pons, T.J. 2010. *Plant Physiological Ecology Second Edition*. Springer.
- MacFarlane, G.R and Burchett, M.D. 2002. Toxicity, Growth and Accumulation Relationships of Copper, Lead and Zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Environmental Research* 54: 65-84.
- MacFarlane, G.R., Koller, E.C., Blomberg, S.P. 2007. Accumulation and Patitioning of Heavy Metals in Mangrove: A Synthesis of Field-based Studies. *Chemosphere* 69: 1454-1462.
- Mahmood, B.M., Abid., Balasim, A., dan Al-Shuwaiki, N.M. 2011. Removal of Heavy Metals Using Chemicals Precipitation. *Eng & Tech Journal*. Vol 29 (3) : 595-612.
- Masarovicova, E., Karlova, K., dan Kummerova, M. 2010. Principle of Classification of Medicinal Plants as Hyperaccumulator or Excluders. *Acta Physiol Plants*. Vol 32: 823-829.
- McCutcheon, S.C., dan Schnoor, J.L. 2003. *Phytoremediation : Transformation and Control of Contaminants*. New Jersey : John Wiley & Sons Inc.

- Moore, J.W. 1991. *Inorganic Contaminant of Surface Water*. NewYork : Springet-Verlag.
- Murtini, R.H., dan Gunawan. 2006. Efek Destruksi Terhadap Penentuan Kadar Cu(II) dalam Air Sumur, Air Laut dan Air Limbah Pelapisan Krom menggunakan AAS. *Jurnal Riset Murty*. Hal 1-6.
- Muthawali, D.I. 2012. *Analisa COD dari Campuran Limbah Domestik dan Laboratorium di Balai Riset dan Standarisasi Industri Medan*. Hal 1-13.
- Mutmainnah, F., Arinafil dan Suheryanto. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal Pb) dengan Menggunakan *Hydrilla verticillata* dan *Najas indica*. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. Vol 12 (2) : 90-103.
- Nasir, M. Sulastris dan Hilda, M.M. 2018. Analisis Kadar Logam Timbal dan Arsenik dalam Tanah dengan SSA. *Jurnal IPA dan Pembelajaran IPA*. Vol. 2 (2) : 89-99.
- Novita, E., Hermawan, A.A.G., dan Wahyuningsih, S. 2019. “Komparasi Proses Fitoremediasi Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan 3 Jenis Tanaman Air”. *Jurnal Agroteknologi*. Vol 13 (1): 16-24.
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Jannah D.A.N., dan Pradana, H.A. 2020. Fitoremediasi Air Limbah Laboratorium Analitik Universitas Jember dengan Pemanfaatan Tanaman Eceng Gondok dan Lembang. *Bioteknologi & Biosains Indonesia*. Vol 7 (1) : 121-135.
- Nurlina, Suhandiyah, S., dan Umar, M.R. 2016. Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) pada Kiapu *Pistia statiotes* L. dari Air Sumur Sekitar Workshop Unhas. *Prosiding Seminar Nasional*. Makassar : UIN Alaudin Makassar.
- Nurzaman, J. 2013. *Laporan Tetap Praktikum Ekologi Pertanian Daur Karbon*. Indralaya : Universitas Sriwijaya.
- Pal, D.K dan Nimse, S.B. 2006. Little Known Uses of Common Aquatic Plant *Hydrilla verticillata* (Linn. F.) Royle. *Natural Product Radiance* 5 (2): 108-111.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tentang Baku Mutu Air Limbah*. 15 Oktober 2014. Lembaran Negara Republik Indonesia Thn. 2014 No. 1815. Jakarta.

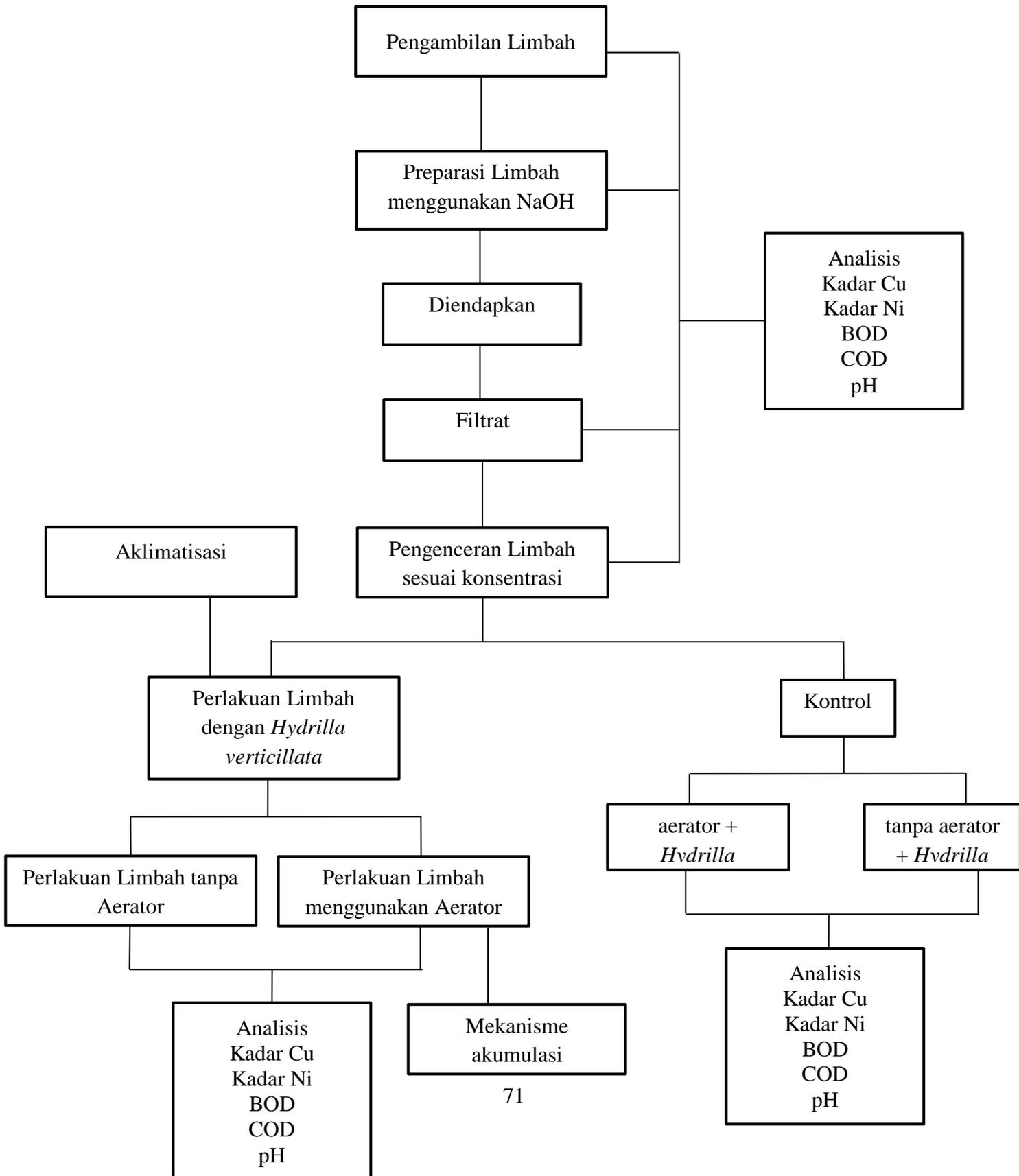
- Phukan, P., Phukan, R., dan Phukan, S.N. 2015. Heavy Metal Uptake Capacity of *Hydrilla verticillata* : A Commonly Available Aquatic Plant. *International Research Journal of Environment Sciences*. Vol 4 (3): 35-40.
- Pratama, S.A.V. 2018. Adsorpsi Logam Pb dan Ni pada Laboratorium Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang menggunakan Batang Jagung Termodifikasi NaOH dan Asam Sitrat. *Skripsi*. Malang.
- Rahadian, R., Sutrisno, E., Sumiyati, S. 2017. Efisiensi Penurunan COD dan TSS dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol 6 (3).
- Rahmawati, P. 2014. Pengelolaan Metode IPAL dalam Mengatasi Pencemaran Air Tanah dan Air Sungai. *Naskah Publikasi*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Remesicova, E., dan Kiraly, A. 2016. *Heavy Metal Contamination of Mine Area and Their Uptake by Plants (Tailing Pond Sedem Zien, Slovakia)*. Vietnam : CRC Press.
- Riyanto. 2016. *Kimia Analisis Instrumental Modern*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Rondonuwu, S.B. 2014. Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*. Vol 14 (1): 54-59.
- Salisbury, F.B., dan Ross, C.W. 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid 11*. Diterjemahkan oleh Dian R. Lukman dan Sumaryono. Bandung : Penerbit ITB.
- Setianingrum, I., Sintadani, E.D., Viani, V., Uuliyah, D., Faridani, M.F., dan Putra, R.S. 2017. Metode ERASI dengan Tanaman Akar Wangi untuk Remediasi Air Limbah Logam Fedan Cu. *Chimica et Natura acta*. Vol 5 (3) : 112-119.
- Setiawan, H. 2013. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat pada Vegetasi Mangrove di Perairan Pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. Vol VII (1): 12-24.
- Shihab, M.Q. 2002. *Tafsir al-Misbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Quran* Vol 5. Jakarta : Lentera Hati.
- Silalahi, J. 2010. Analisis Kualitas Air dan Hubungannya dengan Keragaman Vegetasi Akuatik di Perairan Balige Danau Toba. *Thesis*. Medan : Universitas Sumatera Utara.

- Soemarwoto, O. 1983. *Ekologi Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Jakarta : Penerbit Djambatan.
- Soesono. 1989. *Limnology*. Bogor : Departemen Pertanian.
- Solihin dan Darsati, S. 1993. *Air*. Bandung : IKIP.
- Sudaryono. 1999. Bioremediasi Terhadap Tanah Tercemar Minyak Bumi Parafinik dan Aspak. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah dan Pemulihan Kerusakan Lingkungan-BPPT*. Jakarta 121-132.
- Sumiyati, S., Handayani, D.S., dan Hartanto, W. 2009. Pemanfaatan Hidrilla (*Hydrilla verticillata*) untuk Menurunkan Logam Tembaga (Cu) dalam Limbah Elektroplating. *Jurnal Presipitasi*. Vol. 7 (2): 23-26.
- Suprihatin dan Indrasti, N.S. 2010. Penyisihan Logam Berat dari Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi. *Makara Sains*. Vol. 14 (1): 44-50.
- Suresh, B., dan Ravishankar, G.A. 2004. Phytoremediation Anovel and Promising Approach for Environmetal Clean-up. *Critical Reviews in Biotechnology*. 24 (2): 97-110.
- Svehla. 1979. *Buku Ajar Vogel : Analisis Anorganik Kuantitatif Makro dan Semimikro*. Jakarta : PT. Kalman Media Pusaka.
- Trisnawati, N.N., Ida, B.P.M., dan Iryanti, E.S. 2016. Fitodegradasi dengan Tanaman Pacing (*Specious cheilocostus*) untuk Menurunkan Kandungan Pb, Cd, dan Hg Limbah Cair Laboratorium. *Jurnal Cakra Kimia*. Vol 4 (1) : 77-83.
- Urifah, D., Kusriani, Zakiyah, U., Handaru, B.C., dan Rieke, Y. 2017. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) oleh Tanaman Hidrilla (*Hydrilla verticillata*). *Jurnal Riset Teknologi Industri*. Vol 11 (2): 100-108.
- Usman, K., Al-Ghouti, M.A., dan Abu-Dieyeh, M.H. 2019. The Assesment of Cadmium, Chromium, Copper, and Nickel Tolerance and Bioaccumulation by Shrub Plant *Tetraena qataranse*. *Scientific Repots*. Vol 9 (5658) : 1 – 15.
- Viobeth, B.R., Sumiyati, S., dan Sutrisno, E. 2013. *Fitoremediasi Limbah Mengandung Timbal (Pb) dan Nikel (Ni) menggunakan Tanaman Kiambang (Salvinia molesta)*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Wetherell, D.F. 1982. *Introduction to in Vitro Propagation*. New Jersey : Avery Publishing Group Inc. Wayne.

- Widaningrum, Miskiyah dan Suismono. 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*. Vol 3: 16-27.
- Wild, A. 1995. *Soils and the Environment : An Introduction*. Great Britain : Cambridge University Press.
- Wu, J., Dai, Y., Rul, S., Zhong, F., dan Cheng, S. 2015. Acclimation of *Hydrilla verticillatato* Sediment Anoxia in Vegetation Restoration in Eutrophic Waters. *Ecotoxicology*. DOI 10.1007/s10646-015-1549-y.
- Xue, P.Y., Li, G.X., Liu, W.J., dan Yan, C.X. 2010. Copper Uptake and Translocation in a Submerged Aquatic Plant *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle. *Chemosphere*. Vol. 81: 1098-1103.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., dan Ma, L.Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Science of the Total Environment* : 456-464.
- Zayed, A., Gowthaman, S., dan Terry, N. 1998. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: Duckweed. *Journal Environment Qual*. Vol 27: 715-721.

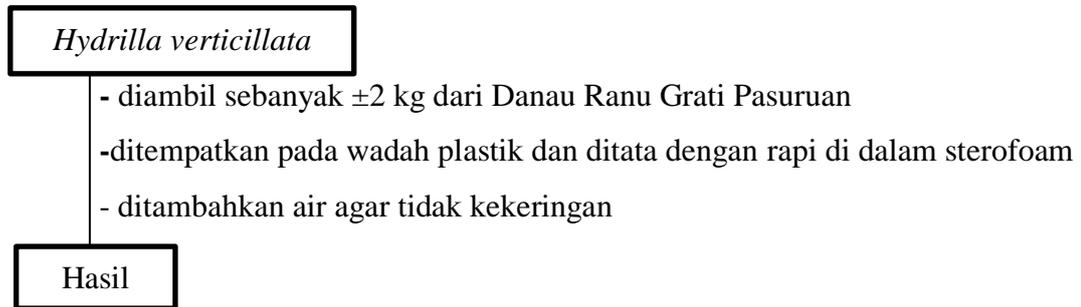
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian

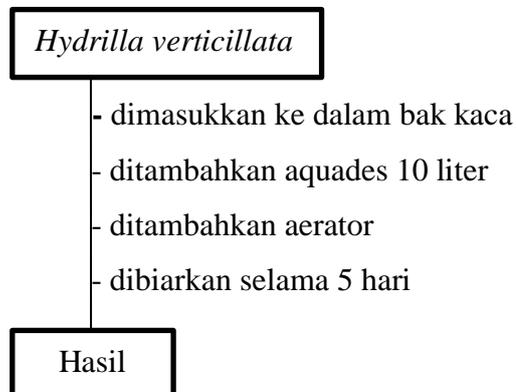


Lampiran 2. Diagram Alir

1. Pengambilan Sampel Tumbuhan

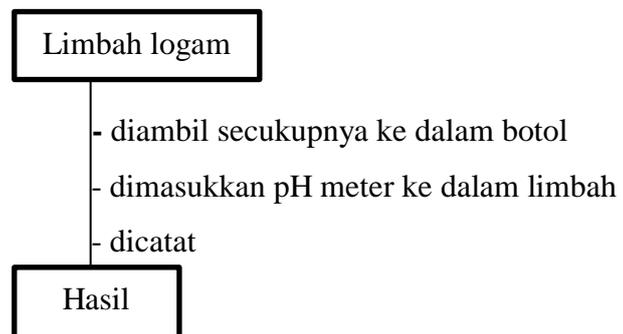


2. Aklimatisasi Sampel Tumbuhan



3. Analisis Parameter pH, Kadar BOD dan COD Limbah Cair Laboratorium pada Proses Fitoremediasi

a) Analisis pH



b) Analisis COD

Sampel limbah

- dipipet sebanyak 5 mL ke dalam tabung erlenmeyer
- ditambahkan 1 gr Hg_2SO_4 , 1 mL $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N, 3 mL reagen ($\text{Ag}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$)
- dimasukkan ke dalam tabung COD dan ditutup
- dipanaskan tabung blanko dan sampel tersebut selama 2 jam dengan menggunakan COD reactor pada suhu 105°C
- didinginkan tabung sampel dalam suhu ruangan
- ditambahkan indikator ferroin dan dititrasi dengan FAS 0,1 N

Hasil

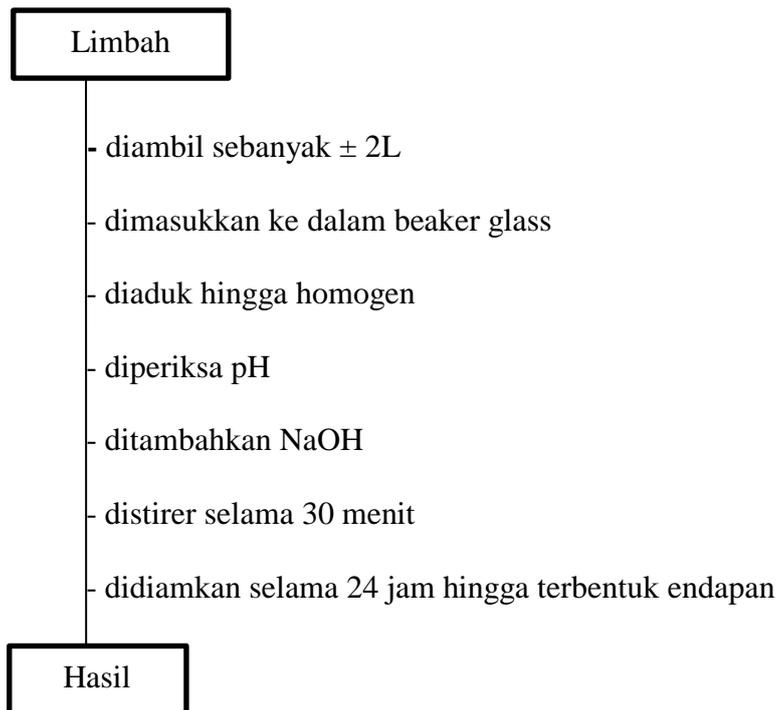
c) Analisis BOD

Limbah

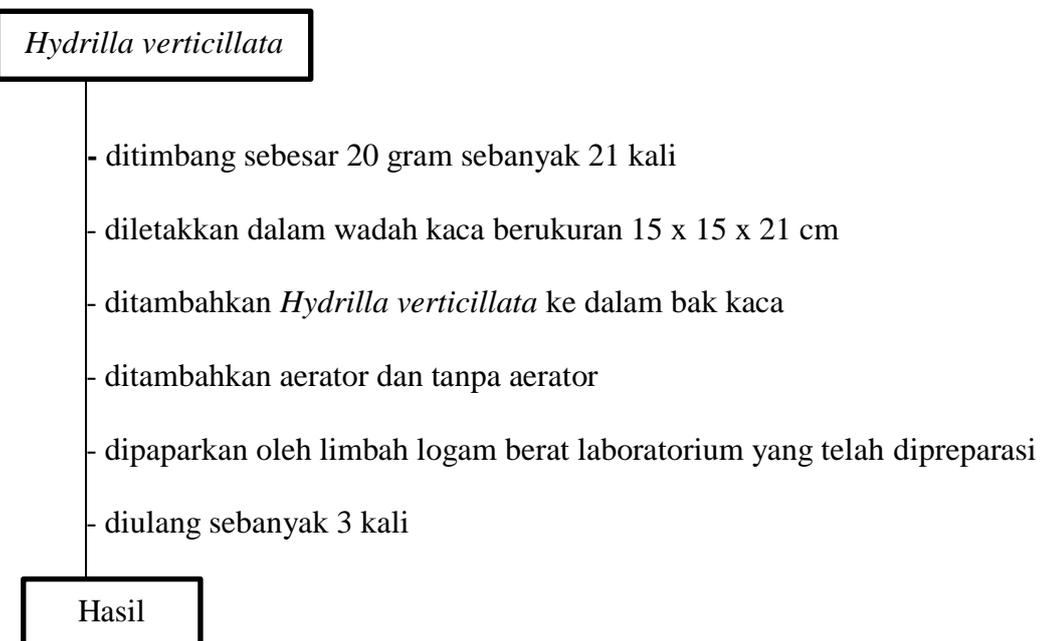
- dimasukkan pada Erlenmeyer sebanyak 5 mL
- ditambahkan 1 mL larutan MnSO_4 40% dan 1 mL larutan alkali azida
- didiamkan larutan selama beberapa menit untuk menghomogenkan
- didiamkan hingga muncul endapan berwarna coklat
- dipindahkan ke dalam gelas beaker kemudian dikocok
- ditambahkan 1 mL H_2SO_4 pekat hingga endapan larut
- dipindahkan ke dalam Erlenmeyer
- ditambah indikator amilum 1-2 mL
- dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N dan dititrasi hingga warna kuning muda

Hasil

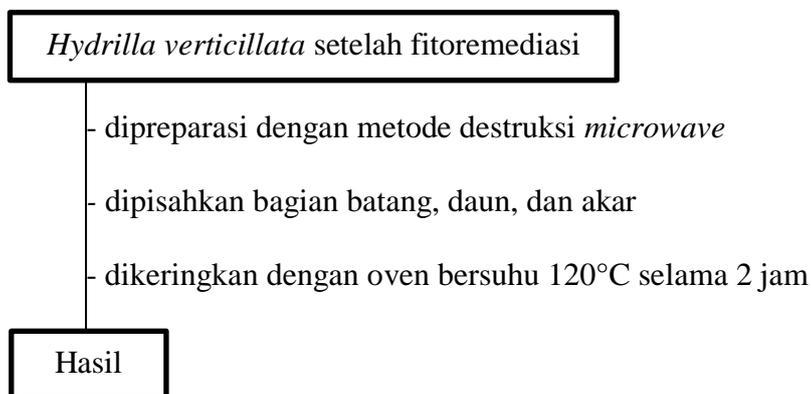
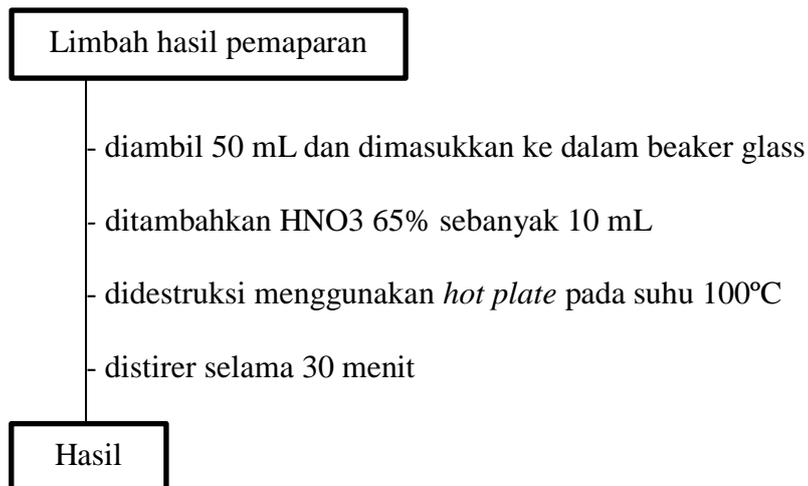
4. Preparasi Larutan Limbah Laboratorium Logam Berat



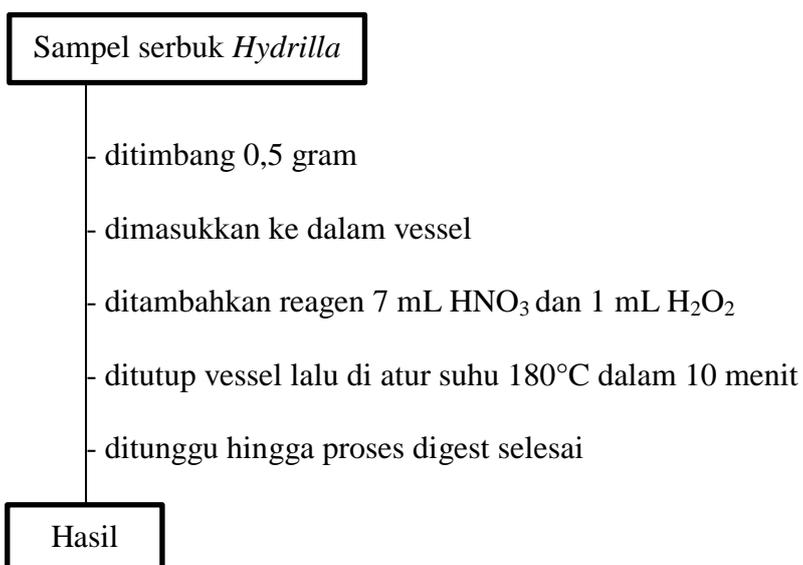
5. Pemaparan Sampel Tumbuhan dengan Larutan Limbah Logam Berat



6. Preparasi Sampel Tumbuhan dan Limbah Hasil Pemaparan



7. Destruksi



8. Pembuatan Larutan Standar Cu

Larutan Baku Cu 1000 ppm

- diambil 1 mL (untuk dibuat larutan Cu 10 ppm)
- dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- diencerkan sampai tanda batas
- dibuat larutan standar Cu 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm dengan dipindahkan 5, 10, 15, 20, dan 25 mL
- diencerkan sampai tanda batas

Hasil

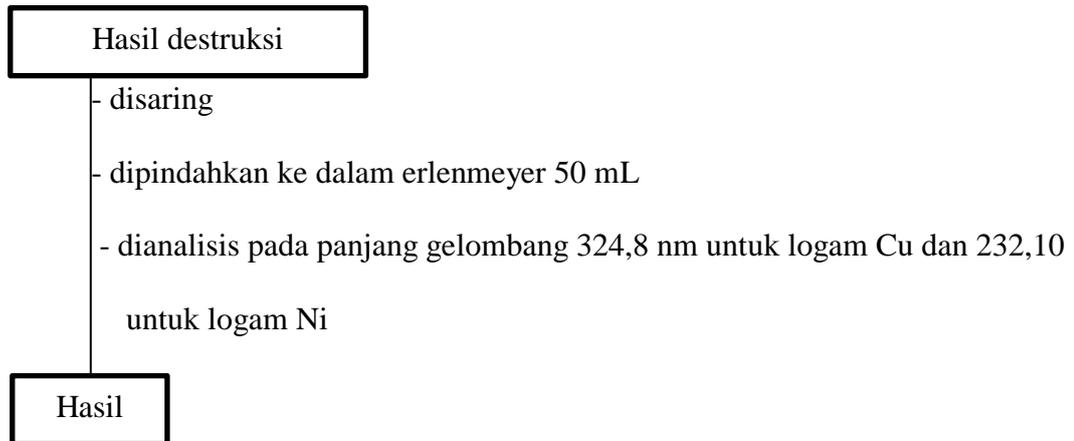
9. Pembuatan Laruan Standar Ni

Larutan Baku Ni 1000 ppm

- diambil 1 mL (untuk dibuat larutan Ni 10 ppm)
- dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- diencerkan sampai tanda batas
- dibuat larutan standar Ni 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5 ppm dengan dipindahkan 2,5; 5; 7,5; 10; dan 12,5 mL
- diencerkan sampai tanda batas

Hasil

10. Analisa Kadar Cu dan Ni menggunakan AAS



Lampiran 3. Perhitungan

1. Pembuatan larutan HNO₃ 0,5 M

$$\text{Diketahui : Berat jenis HNO}_3 = 1,39 \text{ g/cm}^3 = 1390 \text{ g/L}$$

$$\text{Mr HNO}_3 = 63,01 \text{ g/mol}$$

$$\text{Konsentrasi} = 65\%$$

$$\text{Jawab : } n = M \times V \text{ (L)}$$

$$= 0,5 \text{ mol/L} \times 0,5 \text{ L}$$

$$= 0,25 \text{ mol}$$

$$m = n \times \text{Mr}$$

$$= 0,25 \text{ mol} \times 63,01 \text{ g/mol}$$

$$= 15,75 \text{ gram}$$

$$V = \frac{\text{massa}}{\% \times \text{Bj}}$$

$$= \frac{15,75}{65\% \times 1,39 \text{ g/cm}^3}$$

$$= 17,43 \text{ mL}$$

Sehingga larutan HNO₃ 0,5 M dibuat dengan dipipet 17,43 mL HNO₃ 65% kemudian dilarutkan dengan 500 mL aquades.

2. Pembuatan Larutan Kalibrasi Standar

a. Pembuatan Larutan Cu dan Ni 10 mg/L dari larutan stok 1000 mg/L

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

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 10 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

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

Sehingga larutan Cu dan Ni 10 mg/L dibuat dengan dipipet 1 mL larutan stok 1000 mg/L kemudian dilarutkan dalam 100 mL HNO₃ 0,5 M.

b. Contoh perhitungan pembuatan larutan Standar Cu 1 mg/L

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

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

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

Sehingga larutan Cu 1 mg/L dibuat dengan dipipet 5 mL larutan stok 10 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL HNO₃ 0,5 M. Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan pada Tabel L2.1 dan L2.2.

Tabel L3.1 Hasil Perhitungan Volume Cu standar

Konsentrasi (mg/L)	Volume Dibutuhkan (mL)
1	5
2	10
3	15
4	20
5	25

Tabel L3.2 Hasil Perhitungan Volume Ni standar

Konsentrasi (mg/L)	Volume Dibutuhkan (mL)
0,5	2,5
1	5
1,5	7,5
2	10
2,5	12,5

3. Konsentrasi Tembaga dan Nikel pada Tumbuhan

Contoh perhitungan konsentrasi tembaga dan nikel pada tumbuhan sampel adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 [\text{Cu}] \text{ mg/kg} &= \frac{[\text{Cu instrument}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times V \text{ destruksi (L)} \times F_p}{\text{Berat sampel Kering (Kg)}} \\
 &= \frac{7,1015 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,006 \text{ L} \times 4,16}{0,0005 \text{ Kg}} \\
 &= 354,507 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan konsentrasi timbal pada bagian batang dan daun pada Tabel L3.3 dan L3.4.

Tabel L3.3 Konsentrasi Tembaga (Cu) pada Tumbuhan

Waktu Pemaparan (Hari ke-)	Dengan / Tanpa Aerator	Konsentrasi Cu Instrument (mg/L)		Konsentrasi Cu (mg/kg BK)	
		Daun	Batang	Daun	Batang
5	Aerator	26,982	7,102	1346,96	354,507
	Tanpa Aerator	24,942	9,068	1245,105	452,66
10	Aerator	32,199	11,261	1607,404	562,139
	Tanpa Aerator	28,357	5,014	1415,571	250,309
15	Aerator	28,371	13,804	1416,295	689,096
	Tanpa Aerator	29,421	9,682	1468,671	483,320

Tabel L3.4 Konsentrasi Nikel (Ni) pada Tumbuhan

Waktu Pemaparan (Hari ke-)	Dengan/ Tanpa Aerator	Konsentrasi Ni instrument (mg/L)		Konsentrasi Ni (mg/kg BK)	
		Daun	Batang	Daun	Batang
5	Aerator	4,102	1,228	204,772	61,307
	Tanpa Aerator	2,607	0,865	130,156	43,171
10	Aerator	6,044	2,091	301,711	104,368
	Tanpa Aerator	4,721	1,406	235,642	70,207
15	Aerator	5,087	2,344	253,938	117,022
	Tanpa Aerator	4,845	1,885	241,852	94,089

4. Persen Logam Tembaga dan Nikel Teremediasi

Contoh perhitungan logam yang teremediasi oleh *Hydilla verticillata* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Teremediasi} &= \frac{[\text{Cu}]_{\text{awal}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) - [\text{Cu}]_{\text{sisa pada air}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{[\text{Cu}]_{\text{awal}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \times 100 \% \\
 &= \frac{3,1422 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,2691 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{3,1422 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\% \\
 &= 91,44 \%
 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan persen teremediasi yang ditampilkan pada Tabel L3.5 dan L3.6.

Tabel L3.5 Persen Cu Teremediasi

Ha ri ke-	Dengan / tanpa aerator	[Cu] sisa (ppm)			Persen Teremediasi (%)			Rata- Rata
		I	II	III	I	II	III	
5	Aerator	0,2691	0,2619	0,2233	91,44	91,67	92,89	92
	Tanpa	0,3839	0,3910	0,2996	87,78	87,56	90,47	88,60
10	Aerator	0,4161	0,4610	0,5399	86,76	85,33	82,82	84,97
	Tanpa	0,2942	0,2296	0,2664	90,64	92,69	91,52	91,62
15	Aerator	0,8502	0,8682	0,8502	72,94	72,37	72,94	72,75
	Tanpa	0,4206	0,3785	0,4987	86,61	87,95	84,13	86,23

Tabel L3.6 Persen Ni Teremediasi

Hari ke-	Dengan / tanpa aerator	[Ni] sisa (ppm)			Persen Teremediasi (%)			Rata- Rata
		I	II	III	I	II	III	
5	Aerator	0,1064	0,1128	0,1115	64,96	62,82	63,25	63,68
	Tanpa	0,1608	0,1543	0,1829	47,01	49,15	39,74	45,3
10	Aerator	0,1323	0,1323	0,1258	56,41	56,41	58,55	57,12
	Tanpa	0,1115	0,1102	0,1115	63,25	63,67	63,25	63,39
15	Aerator	0,2322	0,2205	0,2036	25,42	29,17	34,58	29,72
	Tanpa	0,1518	0,1984	0,1958	51,25	36,25	37,08	41,53

5. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF)

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

$$\begin{aligned}
 \text{BCF} &= \frac{[\text{Cu}]_{\text{tumbuhan}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{[\text{Cu}]_{\text{pada air}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \\
 &= \frac{1346,96 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}}{83,67 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \\
 &= 16,09
 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh nilai BCF pada masing-masing bagian dari *Hydrilla verticillata* pada Tabel L3.7 dan L3.8.

Tabel L3.7 Hasil BCF pada logam Cu

Hari ke-	Dengan/ tanpa aerator	Kadar (ppm)		Kadar dalam air (ppm)	BCF	
		Daun	Batang		Daun	Batang
5	Dengan	1346,96	354,51	83,67	16,09	4,24
	Tanpa Aerator	1245,11	452,66	119,33	10,43	3,79
10	Dengan	1607,40	562,14	157,33	10,22	3,57
	Tanpa Aerator	1415,57	250,31	87,67	16,15	2,86
15	Dengan	1416,29	689,10	285,33	4,96	2,42
	Tanpa Aerator	1468,67	483,32	144,33	10,18	3,35

Tabel L3.8 Hasil BCF pada logam Ni

Hari ke-	Dengan / tanpa aerator	Kadar (ppm)		Kadar dalam air (ppm)	BCF	
		Daun	Batang		Daun	Batang
5	Dengan	204,77	61,31	36,67	5,59	1,67
	Tanpa Aerator	130,16	43,17	55,33	2,35	0,78
10	Dengan	301,71	104,37	43,33	6,96	2,41
	Tanpa Aerator	235,64	70,21	36,99	6,37	1,89
15	Dengan	253,94	117,02	72,99	3,48	1,60
	Tanpa Aerator	241,85	94,09	60,67	3,99	1,55

6. Penentuan Nilai *Translocation Factor* (TF)

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

$$\begin{aligned}
 \text{TF} &= \frac{[\text{Cu}]_{\text{daun}} \frac{\text{mg}}{\text{kg}}}{[\text{Cu}]_{\text{batang}} \frac{\text{mg}}{\text{kg}}} \\
 &= \frac{16,09}{4,24} \\
 &= 3,79
 \end{aligned}$$

Dengan rumus sama diperoleh hasil perhitungan nilai TF pada Tabel L3.9 dan L3.10.

Tabel L3.9 Hasil Nilai TF logam Cu

Hari ke-	Aerator/Tanpa	Daun	Batang	TF
5	Aerator	16,09	4,24	3,79
	Tanpa	10,43	3,79	2,75
10	Aerator	10,22	3,57	2,86
	Tanpa	16,15	2,86	5,66
15	Aerator	4,96	2,42	2,06
	Tanpa	10,18	3,35	3,04

Tabel L3.10 Hasil Nilai TF logam Ni

Hari ke-	Aerator/Tanpa	Daun	Batang	TF
5	Aerator	5,59	1,67	3,34
	Tanpa	2,35	0,78	3,02
10	Aerator	6,96	2,41	2,89
	Tanpa	6,37	1,89	3,36
15	Aerator	3,48	1,60	2,17
	Tanpa	3,99	1,55	2,57

Lampiran 4. Data Mentah

Data mentah hasil uji statistik

Two Way ANOVA

- Logam Ni

Between-Subjects Factors

		N
Waktu	10 hari	6
	15 hari	6
	5 hari	6
Aerator_Tanpa aerator	Aerator	9
	Tanpa	9

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kadar Ni

Waktu	Aerator_Tanpa	Mean	Std. Deviation	N
10 hari	Aerator	57.1233	1.23553	3
	Tanpa	63.3900	.24249	3
	Total	60.2567	3.52356	6
15 hari	Aerator	29.7233	4.60500	3
	Tanpa	41.5267	8.43087	3
	Total	35.6250	8.87186	6
5 hari	Aerator	63.6767	1.13200	3
	Tanpa	45.3000	4.93256	3
	Total	54.4883	10.56197	6
Total	Aerator	50.1744	15.78988	9
	Tanpa	50.0722	11.23849	9
	Total	50.1233	13.29537	18

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Kadar Ni

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1991.683 ^a	3	663.894	9.172	.001
Intercept	45222.274	1	45222.274	624.768	.000
Waktu	1991.636	2	995.818	13.758	.000
Aerator_Tanpa	.047	1	.047	.001	.980
Error	1013.356	14	72.383		
Total	48227.312	18			
Corrected Total	3005.039	17			

a. R Squared = .663 (Adjusted R Squared = .591)

Estimated Marginal Means**Grand Mean**

Dependent Variable: Kadar Ni

Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
50.123	2.005	45.822	54.424

Post Hoc Tests**Waktu****Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Kadar Ni

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	10 hari	15 hari	24.6317*	4.91198	.001	11.7756	37.4877
		5 hari	5.7683	4.91198	.487	-7.0877	18.6244
	15 hari	10 hari	-24.6317*	4.91198	.001	-37.4877	-11.7756
		5 hari	-18.8633*	4.91198	.005	-31.7194	-6.0073
LSD	5 hari	10 hari	-5.7683	4.91198	.487	-18.6244	7.0877
		15 hari	18.8633*	4.91198	.005	6.0073	31.7194
	10 hari	15 hari	24.6317*	4.91198	.000	14.0965	35.1668
		5 hari	5.7683	4.91198	.260	-4.7668	16.3035
LSD	15 hari	10 hari	-24.6317*	4.91198	.000	-35.1668	-14.0965
		5 hari	-18.8633*	4.91198	.002	-29.3985	-8.3282
	5 hari	10 hari	-5.7683	4.91198	.260	-16.3035	4.7668
		15 hari	18.8633*	4.91198	.002	8.3282	29.3985

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 72.383.

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

Homogeneous Subsets**Kadar Ni**

	Waktu	N	Subset	
			1	2
Tukey HSD ^{a,b}	15 hari	6	35.6250	
	5 hari	6		54.4883
	10 hari	6		60.2567
	Sig.		1.000	.487

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 72.383.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

- Logam Cu

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

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

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kadar Cu

Waktu	Dengan_danTanpa_Aerator	Mean	Std. Deviation	N
10 hari	Aerator	84.9700	1.99452	3
	Tanpa	91.6167	1.02841	3
	Total	88.2933	3.90740	6
15 hari	Aerator	72.7500	.32909	3
	Tanpa	86.2300	1.93814	3
	Total	79.4900	7.48726	6
5 hari	Aerator	92.0000	.77929	3
	Tanpa	88.6033	1.62032	3
	Total	90.3017	2.18043	6
Total	Aerator	83.2400	8.50514	9
	Tanpa	88.8167	2.70666	9
	Total	86.0283	6.76172	18

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Kadar Cu

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	536.795 ^a	3	178.932	10.418	.001
Intercept	133215.734	1	133215.734	7756.092	.000
Waktu	396.848	2	198.424	11.553	.001
Dengan_dan_Tanpa_Aerator	139.946	1	139.946	8.148	.013
Error	240.459	14	17.176		
Total	133992.988	18			
Corrected Total	777.254	17			

a. R Squared = .691 (Adjusted R Squared = .624)

Estimated Marginal Means

Grand Mean

Dependent Variable: Kadar

Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
86.028	.977	83.933	88.123

Post Hoc Tests

Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar Cu

LSD

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10 hari	15 hari	8.8033*	2.39274	.002	3.6714	13.9353
	5 hari	-2.0083	2.39274	.415	-7.1403	3.1236
15 hari	10 hari	-8.8033*	2.39274	.002	-13.9353	-3.6714
	5 hari	-10.8117*	2.39274	.000	-15.9436	-5.6797
5 hari	10 hari	2.0083	2.39274	.415	-3.1236	7.1403
	15 hari	10.8117*	2.39274	.000	5.6797	15.9436

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 17.176.

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

Between-Subjects Factors

		N
Waktu	10 hari	6
	15 hari	6
	5 hari	6
Dengan_dan	Aerator	9
Tanpa_Aerator	Tanpa	9

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Kadar Cu

Waktu	Dengan_dan_Tanpa_Aerator	Mean	Std. Deviation	N
10 hari	aerator	84.9700	1.99452	3
	tanpa	91.6167	1.02841	3
	Total	88.2933	3.90740	6
15 hari	aerator	72.7500	.32909	3
	tanpa	86.2300	1.93814	3
	Total	79.4900	7.48726	6
5 hari	aerator	92.0000	.77929	3
	tanpa	88.6033	1.62032	3
	Total	90.3017	2.18043	6
Total	aerator	83.2400	8.50514	9
	tanpa	88.8167	2.70666	9
	Total	86.0283	6.76172	18

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Kadar Cu

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	536.795 ^a	3	178.932	10.418	.001
Intercept	133215.734	1	133215.734	7756.092	.000
Waktu	396.848	2	198.424	11.553	.001
Dengan_dan_Tanpa_Aerator	139.946	1	139.946	8.148	.013
Error	240.459	14	17.176		
Total	133992.988	18			
Corrected Total	777.254	17			

a. R Squared = .691 (Adjusted R Squared = .624)

Estimated Marginal Means**Grand Mean**

Dependent Variable: Kadar

Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
86.028	.977	83.933	88.123

Post Hoc Tests
Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar Cu

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	10 hari	15 hari	8.8033*	2.39274	.007	2.5409	15.0658
		5 hari	-2.0083	2.39274	.686	-8.2708	4.2541
	15 hari	10 hari	-8.8033*	2.39274	.007	-15.0658	-2.5409
		5 hari	-10.8117*	2.39274	.001	-17.0741	-4.5492
LSD	10 hari	15 hari	8.8033*	2.39274	.002	3.6714	13.9353
		5 hari	-2.0083	2.39274	.415	-7.1403	3.1236
	15 hari	10 hari	-8.8033*	2.39274	.002	-13.9353	-3.6714
		5 hari	-10.8117*	2.39274	.000	-15.9436	-5.6797
	5 hari	10 hari	2.0083	2.39274	.415	-3.1236	7.1403
		15 hari	10.8117*	2.39274	.000	5.6797	15.9436

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 17.176.

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

Homogeneous Subsets

Kadar

	Waktu	N	Subset	
			1	2
Tukey HSD ^{a,b}	15 hari	6	79.4900	
	10 hari	6		88.2933
	5 hari	6		90.3017
	Sig.			1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 17.176.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

Lampiran 5. Dokumentasi



Pengambilan *Hydrilla verticillata* di Danau Ranu Grati Pasuruan



Aklimatisasi *Hydrilla verticillata*



Penimbangan *Hydrilla verticillata*



Pemaparan



Hasil pengeringan dan pemisahan antara daun dan batang

Tabung *microwave digestion*



Microwave digestion



Instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)