

**BIOREMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) DENGAN PEMANFAATAN
TANAMAN AIR GENJER (*Limnocharis flava*) KANGKUNG (*Ipomoea
aquatica*) DAN SELADA AIR (*Nasturtium officinale*)**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN

JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN

OLEH :

YOSEV MARSAL

NIM. 115080107111003



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2015

**BIOREMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) DENGAN PEMANFAATAN
TANAMAN AIR GENJER (*Limnocharis flava*) KANGKUNG (*Ipomoea
aquatica*) DAN SELADA AIR (*Nasturtium officinale*)**

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan
Di Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya

Oleh :

**YOSEV MARSAL
NIM. 115080107111003**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

BIOREMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) DENGAN PEMANFAATAN TANAMAN AIR GENJER (*Limnocharis flava*) KANGKUNG (*Ipomoea aquatica*) DAN SELADA AIR (*Nasturtium officinale*)

Oleh :

YOSEV MARSAL
NIM. 115080107111003

Telah dipertahankan di depan penguji
Pada tanggal 3 November 2015
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat
SK Dekan No :
Tanggal :

Menyetujui,

Dosen Penguji I

Dosen Pembimbing I

Andi Kurniawan, S.Pi, M.Eng, D.Sc
NIP. 19790331 200501 1 003
Tanggal :

Ir. Putut Widjanarko, MP
NIP. 19540101 198303 1 006
Tanggal :

Dosen Penguji II

Dosen Pembimbing II

Ir. Herwati Umi S., MS
NIP. 19520402 198003 2 001
Tanggal :

Dr. Uun Yanuar, S.Pi, M.Si
NIP. 19730404 200212 2 001
Tanggal :

Mengetahui,
Ketua Jurusan MSP

Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS
NIP. 19620805 198603 2 001
Tanggal :



PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini disebutkan dalam daftar pustaka.

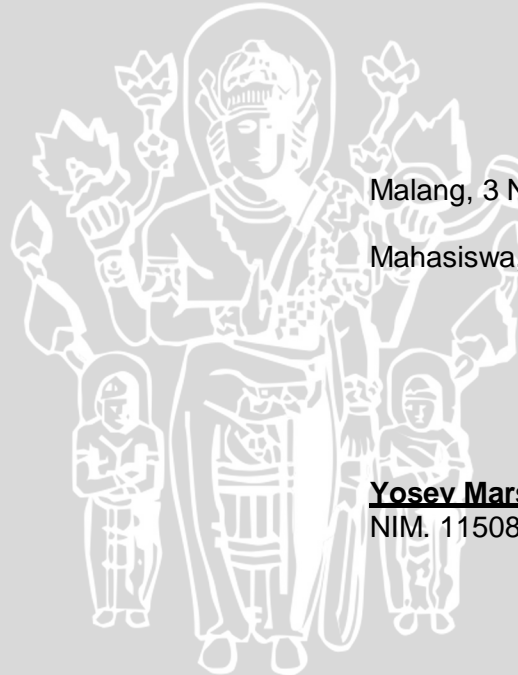
Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Skripsi ini hasil penjiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 3 November 2015

Mahasiswa,

Yosev Marsal

NIM. 115080107111003



RINGKASAN

YOSEV MARSAL. Bioremediasi Logam Berat Tembaga (Cu) Dengan Pemanfaatan Tanaman Air Genjer (*Limnocharis flava*) Kangkung (*Ipomoea aquatica*) Dan Selada Air (*Nasturtium officinale*) (dibawah bimbingan Ir. Putut Widjanarko, MP dan Dr. Uun Yanuar, S.Pi, M.Si).

Salah satu permasalahan terpenting yang ada pada saat ini adalah pencemaran lingkungan perairan. Penyebab terjadinya pencemaran lingkungan ini adalah adanya logam berat diperairan. Oleh sebab itu perlu diadakannya upaya penurunan kadar logam berat diperairan. Salah satunya dengan cara bioremediasi dengan menggunakan tanaman air. Namun untuk memaksimalkan penggunaannya maka dilakukanlah penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perbedaan efektifitas penurunan logam berat Cu oleh tanaman air genjer, kangkung, dan selada air. Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2015 di Laboratorium Reproduksi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan menggunakan 2 faktor perlakuan. Faktor pertama adalah dengan 3 jenis tanaman air yaitu genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*). Sedangkan pada faktor kedua menggunakan tingkat kerapatan yaitu sebanyak 0 tanaman, 5 tanaman, dan 10 tanaman. Kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan RAL Faktorial.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi perbedaan penurunan kadar logam berat Cu dengan menggunakan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*) kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan selada air (*Nasturtium officinale*). Penurunan kadar logam berat terbesar terjadi pada tanaman air genjer dengan rata-rata prosentase penurunan sebesar 54,16%, kemudian kangkung dengan prosentase sebesar 45,21%, dan sedangkan penurunan logam berat terendah terjadi pada tanaman air selada air dengan prosentase rata-rata penurunan sebesar 35,76%. Untuk jumlah penyerapan kandungan logam berat yang terjadi pada tanaman diperoleh hasil rata-ratanya untuk genjer sebesar 1,62 mg/l, untuk kangkung sebesar 1,35 mg/l, dan untuk selada air sebesar 1,162 mg/l. Hal ini terjadi dikarenakan perbedaan faktor fisik dan fisiologis pada setiap tanaman sehingga penyerapan logam berat pada setiap tanaman memiliki nilai yang berbeda-beda.

Sedangkan untuk hasil analisa parameter kualitas air pada semua aquarium berkisar antara : Suhu 23,5 – 24 ,75°C, pH 6,93 – 7,54, oksigen terlarut 4,12 – 6,93 mg/l, karbondioksida 2,01 – 2,68 mg/l, nitrat 1,198 – 2,656 mg/l dan fosfat 0,202 – 0,262 mg/l.

Saran dalam penelitian ini perlu juga diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui seberapa lama masing-masing tanaman air ini dapat menyerap logam berat sampai batas maksimum. Sehingga tanaman tidak mati karena terlalu lama di dalam perairan yang terkena cemar logam berat Cu.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Esa atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul “**Bioremediasi Logam Berat Tembaga (Cu) Dengan Pemanfaatan Tanaman Air Genjer (*Limnocharis flava*) Kangkung (*Ipomoea aquatica*) Dan Selada Air (*Nasturtium officinale*)**”. Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari sebagai manusia mempunyai keterbatasan kemampuan, maka laporan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu berbagai saran dan kritik sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berharap semoga laporan skripsi ini bermanfaat dan dapat memberikan informasi bagi semua pihak yang memerlukan.

Malang, November 2015

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya dalam penyelesaian laporan skripsi ini.
2. Terima kasih yang sedalam dalamnya kepada keluarga tercinta dan tersayang ayah, ibu beserta adik atas segala dorongan, fasilitas, dan finansial serta doa yang telah diberikan.
3. Prof. Dr. Ir. Diana Arfiati, MS selaku Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang, yang telah memberikan fasilitas dalam menunjang laporan skripsi.
4. Bapak Ir. Putut Widjanarko, MP, selaku dosen pembimbing I skripsi atas ketersediaan waktunya dan kesabarannya untuk membimbing penulis hingga terselesaikannya proposal skripsi ini.
5. Ibu Dr. Uun Yanuhar S.Pi, M.Si, selaku dosen pembimbing II skripsi atas ketersediaan waktunya dan kesabarannya untuk membimbing penulis hingga terselesaikannya proposal skripsi ini.
6. Bapak Andi Kurniawan, S.Pi, M.eng., D.Sc dan Ibu Ir. Herwati Umi S, MS selaku penguji skripsi atas masukan dan saran yang diberikan dan sangat bermanfaat.
7. Drs. Hasbullah Nur Yasin, MM beserta istri selaku bapak dan ibu kost yang sudah sangat baik dalam menuntut, mengarahkan, dan memberikan pelajaran moril dikehidupan sehari-hari, serta sudah menjadi orangtua di kota pelajar ini.
8. Shera Destiana selaku translator, penyemangat, motivasi, dan pendorong dalam pengerjaan skripsi. Dibalik pria yang sukses, terdapat wanita yang hebat dibelakangnya.
9. Teman terdekat Gabut Gangster, Geng Gawls, dan Keluarga Cemara yang telah banyak menghabiskan waktu bersama.
10. Serta kepada teman – teman ARM11 dan seluruh teman – teman Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang yang mendukung penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
11. Pihak - pihak lain yang telah membantu kelancaran proses penyelesaian tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
RINGKASAN	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Kegunaan Penelitian	2
1.5 Hipotesis	3
1.6 Waktu dan Tempat	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Bioremediasi	4
2.2 Tanaman Air	4
2.2.1 Genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	4
2.2.2 Kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>)	6
2.2.3 Selada Air (<i>Nasturtium officinale</i>)	8
2.3 Mekanisme Penyerapan Logam Berat	9
2.4 Pencemaran	11
2.4.1 Logam Berat	12
2.4.2 Logam Berat Tembaga (Cu)	13
2.5 Parameter Kualitas Air	14
2.5.1 Suhu	14
2.5.2 pH	15
2.5.3 DO (Oksigen Terlarut)	15
2.5.4 CO ₂ (Karbon dioksida)	16
2.5.5 Nitrat	16
2.5.6 Fosfat	17
3. MATERI DAN METODE PENELITIAN	18
3.1 Materi Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Metode Penelitian	19
3.4 Prosedur Penelitian	19
3.4.1 Penelitian Pendahuluan	20
3.4.2 Penelitian Utama	20
3.5 Analisa Logam Berat Tembaga (Cu)	20
3.6 Analisa Pengukuran Kualitas Air	21
3.6.1 Suhu	21
3.6.2 pH	21
3.6.3 DO (Oksigen Terlarut)	22
3.6.4 CO ₂ (Karbon dioksida)	23

3.6.5 Nitrat (NO ₃)	23
3.6.6 Phospat (PO ₄)	24
3.7 Efektifitas Penurunan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Tanaman Air	24
3.8 Rancangan Penelitian	24
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Konsentrasi Logam Berat Cu dalam air	27
4.2 Efektifitas Bioremediasi Logam Berat Cu Oleh Tanaman Air	34
4.3 Parameter Kualitas Air	35
4.3.1 Suhu	35
4.3.2 pH	37
4.3.3 DO (Oksigen Terlarut)	38
4.3.4 CO ₂ (Karbondioksida)	39
4.3.5 Nitrat (NO ₃)	40
4.3.6 Phospat (PO ₄)	42
5. KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	50



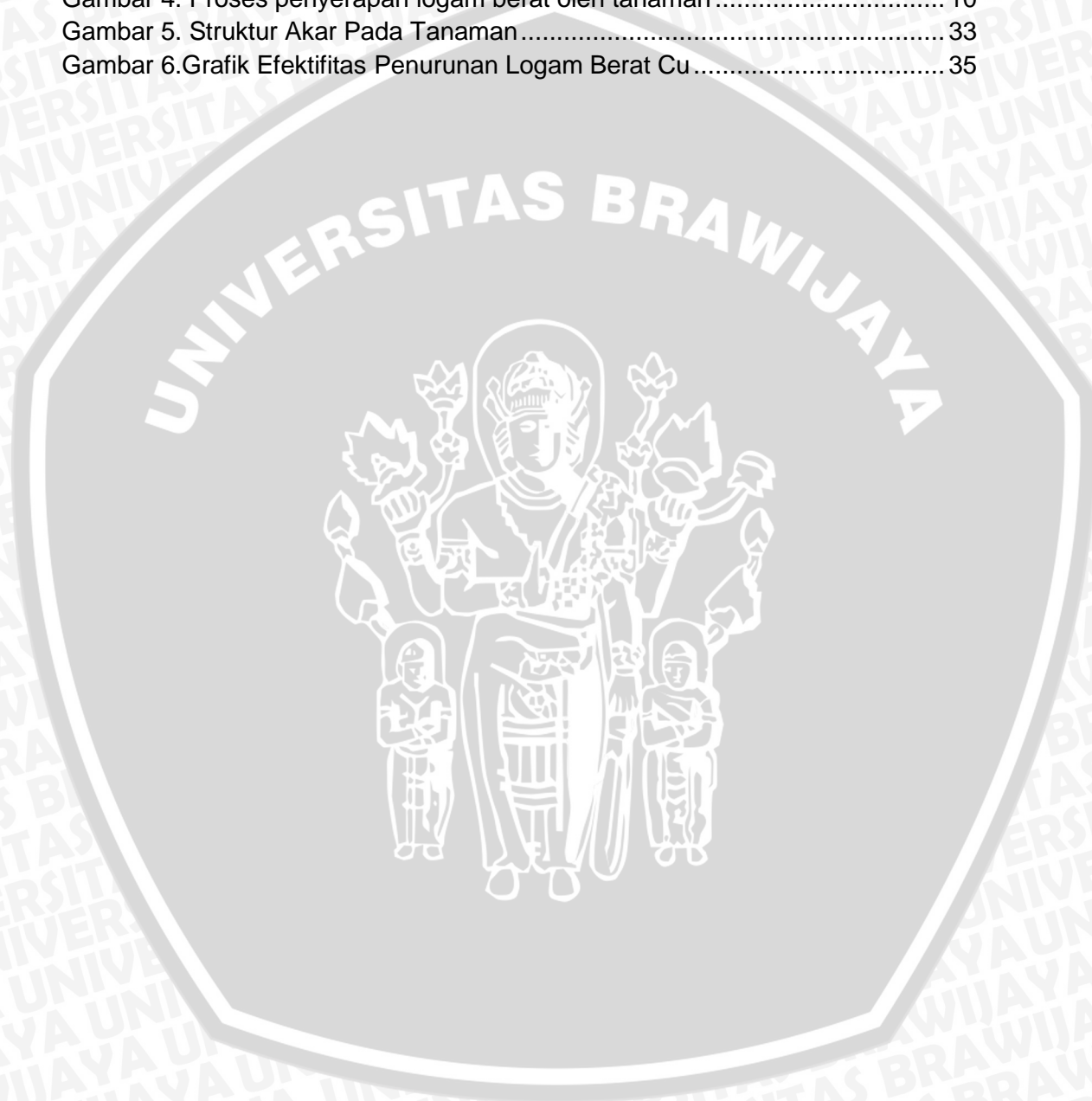
DAFTAR TABEL

Tabel 1. Bentuk - bentuk Cu (tembaga)	14
Tabel 2. Alat yang digunakan pada penelitian.....	18
Tabel 3. Bahan yang digunakan pada penelitian	19
Tabel 4. Sampel yang akan diambil	25
Tabel 5. Rumus Perhitungan	26
Tabel 6. Data kandungan logam berat Cu di dalam aquarium	27
Tabel 7. Penurunan logam berat Cu dalam aquarium.....	28
Tabel 8. Sidik ragam penurunan logam berat Cu dalam aquarium.....	28
Tabel 9. Tabel uji BNT rata-rata hasil penyerapan logam berat Cu.....	30
Tabel 10. Hasil kadar Cu pada tanaman air setelah proses Bioremediasi.....	34
Tabel 11. Tabel Perbandingan Penurunan Logam Berat Cu.....	34
Tabel 12. Pengukuran suhu di masing-masing aquarium penelitian.....	36
Tabel 13. Pengukuran pH di masing-masing aquarium penelitian.....	37
Tabel 14. Pengukuran DO di masing-masing aquarium penelitian.....	38
Tabel 15. Pengukuran CO ₂ di masing-masing aquarium penelitian.....	40
Tabel 16. Pengukuran nitrat di masing-masing aquarium penelitian	41
Tabel 17. Pengukuran phospat di masing-masing aquarium penelitian.....	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tanaman Genjer	5
Gambar 2. Tanaman Kangkung Air.....	6
Gambar 3. Tanaman Selada Air	8
Gambar 4. Proses penyerapan logam berat oleh tanaman	10
Gambar 5. Struktur Akar Pada Tanaman.....	33
Gambar 6. Grafik Efektifitas Penurunan Logam Berat Cu.....	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja	50
Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Larutan Logam Cu	51
Lampiran 3. Perhitungan Penurunan Logam Berat Cu Oleh Tanaman Air	51
Lampiran 4. Gambar Penelitian	55



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu permasalahan terpenting yang ada pada saat ini adalah pencemaran lingkungan perairan, hal ini dapat dilihat dari peranan air yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup khususnya manusia. Manusia memanfaatkan air untuk berbagai macam kebutuhan diantaranya untuk minum, mandi, mengairi sawah, ladang, industri, dan keperluan sehari-hari lainnya. Untuk sebagian makhluk hidup lainnya, air menjadi media utama mereka untuk hidup (Wardhana, 2004).

Belakangan ini masalah kebutuhan air bersih dan air layak minum semakin terlihat jelas. Hal ini dikarenakan aktivitas manusia seperti transportasi, pertambangan, kegiatan pabrik industri, dan kegiatan rumah tangga dapat membawa dampak negatif bagi lingkungan perairan. Untuk menetralkan atau menurunkan kadar logam berat pada pencemaran lingkungan dapat dilakukan Bioremediasi dengan memanfaatkan tanaman yang hiperakumulator terhadap logam berat. Bioremediasi merupakan salah satu teknologi yang bersifat biologi, yaitu pemanfaatan jasa tumbuhan hijau ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk mengurangi polutan lingkungan, baik pada air, tanah, atau udara, baik disebabkan polutan metal maupun organik (Firdaus dalam Santriyana, 2012).

Salah satu dampak negatif untuk lingkungan perairan adalah pencemaran lingkungan akuatik oleh logam berat. Keadaan logam berat diperairan dapat membahayakan keberlangsungan lingkungan. Efek yang timbul dari terakumulasinya logam berat dapat mengakibatkan organisme di dalam perairan menjadi terganggu. Sementara itu organisme di dalam perairan sering dimanfaatkan oleh manusia salah satunya untuk dikonsumsi (Ghifari, 2011). Oleh

sebab itu perlu diadakan upaya penurunan kadar logam berat diperairan. Salah satu dengan menggunakan bioremediasi tanaman air.

Pada penelitian ini tanaman air yang digunakan adalah tanaman yang hiperakumulator terhadap logam berat contohnya adalah tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) (Wulandari, 2014). Selain kangkung, tanaman genjer (*Limnocharis flava*) juga dapat menurunkan kadar logam berat di perairan. Proses Bioremediasi menggunakan tanaman genjer sudah pernah diujicobakan oleh beberapa peneliti. Hasilnya menunjukkan bahwa tanaman genjer mampu secara efektif menurunkan kadar logam berat timbal (Pb) di perairan yang tercemar limbah (Priyanti, 2013). Selada air juga merupakan salah satu tanaman yang dapat menurunkan kadar logam berat (Widowati, 2009).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya maka dapat dirumuskan permasalahan yang menjadi fokus penelitian ini yaitu apakah ada perbedaan dalam penurunan logam berat Cu oleh tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*) yang digunakan sebagai proses Bioremediasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa perbedaan efektifitas penurunan logam berat Cu oleh tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*).

1.4 Kegunaan Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dengan mengetahui cara Bioremediasi menggunakan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*), masyarakat dapat

memanfaatkan ketiga tanaman air ini tidak hanya sebagai sayuran konsumsi saja. Namun juga dapat dimanfaatkan sebagai organisme untuk menurunkan kadar logam berat di perairan.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah :

H0 : Diduga bahwa tidak ada perbedaan efektifitas penurunan Bioremediasi oleh tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*).

H1 : Diduga bahwa ada perbedaan efektifitas penurunan Bioremediasi oleh tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*).

1.6 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Reproduksi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan kegiatan ini dimulai pada bulan Agustus 2015.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan salah satu teknologi yang bersifat biologi, yaitu pemanfaatan jasa tumbuhan hijau ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk mengurangi polutan lingkungan, baik pada air, tanah, atau udara, baik disebabkan polutan metal maupun organik (Firdaus *dalam* Santriyana, 2012). Metode Bioremediasi sangat berkembang pesat karena metode ini mempunyai beberapa keunggulan diantaranya, metodenya sederhana, efisien, hemat biaya, murah, dan ramah lingkungan (Rismawati, 2012).

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Setyaningsih *dalam* Handayani, 2013).

2.2 Tanaman Air

2.2.1 Genjer (*Limnocharis flava*)

Berikut ini adalah klasifikasi dari tanaman air Genjer beserta gambarnya yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Kingdome	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Class	: Liliopsida
Ordo	: Alismatales
Famili	: Limnocharitaceae
Genus	: Limnocharis
Spesies	: <i>Limnocharis flava</i> (Wardana, 2012)



Gambar 1. Tanaman Genjer
(sumber: Wardana, 2012)

Genjer adalah salah satu tanaman jenis gulma yang tumbuh dengan cepat di air dan mempunyai daya beradaptasi dengan lingkungan baru yang sangat besar. Tumbuhan air ini melalui proses fotosintesis dan membantu peredaran udara di dalam perairan serta menyerap zat hara yang dapat mengakibatkan pencemaran air. Genjer merupakan salah satu tanaman yang dapat menurunkan toksisitas air limbah di perairan dan sampai sekarang masih sering digunakan serta dikembangkan (Hermawati, 2005). Pada umumnya tumbuhan akan menyerap unsur-unsur hara yang larut dalam air dan dari tanah melalui akarnya. Semua tumbuhan mempunyai kemampuan menyerap yang memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel, mulai dari unsur yang berlimpah sampai dengan unsur yang sangat kecil dibutuhkan tanaman dan ternyata dapat diakumulasi oleh tanaman (Hermawati, 2005).

Menurut Juhaeti (2005), Genjer merupakan salah satu tanaman air yang dapat berpotensi sebagai bioremediator. Hal ini karena genjer dapat menyerap logam berat Pb dengan baik. Selain itu menurut Dwiyanti (2006), genjer merupakan tanaman yang memiliki nilai efektifitas paling tinggi dalam penurunan NH_3 dibandingkan jenis tanaman air lainnya dalam retensi waktu 8 hari. Oleh

sebab itu genjer sering digunakan sebagai organisme untuk menurunkan kadar logam berat di perairan.

Tanaman juga membutuhkan unsur hara mikro yang bersifat esensial penting bagi pertumbuhan tanaman seperti, Zn^{2+} dan Cu^{2+} . Akan tetapi jumlah yang dibutuhkan oleh tanaman tidak terlalu banyak. Apabila kadarnya yang diserap oleh tanaman melebihi dari konsentrasi yang diperlukan maka ion tersebut akan berubah menjadi toksik (Andani, 1991).

2.2.2 Kangkung (*Ipomoea aquatica*)

Berikut ini adalah klasifikasi dari tanaman Kangkung Air beserta gambarnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Class : Asteridae
Famili : Convolvulaceae
Genus : *Ipomoea*
Spesies : *Ipomoea aquatica* Forsk (Rubatzky, 1999)



Gambar 2. Tanaman Kangkung Air
(sumber: Rubatzky, 1999)

Kangkung adalah tanaman tahunan akuatik atau semiakuatik yang ditemukan di banyak wilayah tropika dan subtropika. Tanaman yang mudah ditanam, produktif, dan bergizi tinggi ini biasanya diproduksi sepanjang tahun. Kangkung air ini biasanya di budidayakan dilingkungan dengan keadaan air yang tergenang (Rubatzky, 1999).

Tanaman air secara umum memiliki kemampuan untuk menetralkan kandungan-kandungan logam berat di dalam perairan. Logam berat masuk kedalam tumbuhan bersama-sama logam esensial yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Namun pada logam non esensial yang tidak dibutuhkan oleh tumbuhan akan terakumulasi didalam tumbuhan tersebut. Sehingga kangkung air menjadi salah satu tanaman yang dapat melakukan Bioremediasi. Kangkung merupakan tanaman yang dapat beradaptasi di kondisi perairan yang tercemar dalam proses hidupnya (Rosita *et al.*, 2013).

Tanaman bekerjasama dengan mikroorganismenya dalam media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna bagi tanaman tersebut. Proses yang terjadi saat penyerapan adalah zat kontamin diserap oleh akar dan diadsorpsi atau diendapkan oleh akar. Kemudian zat-zat kontamin tertentu yang tidak bisa diserap oleh batang akan menempel diakar. Selanjutnya terjadi proses rhyzodegradation yaitu proses penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada disekitar akar tumbuhan, misalnya ragi, fungi, dan bakteri (Nuruddin, 2011).

2.2.3 Selada Air (*Nasturtium officinale*)

Berikut ini adalah klasifikasi dari tanaman Selada Air beserta gambarnya yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Kingdom : Plantae
Filum : Magnoliophyta
Class : Brassicales
Familli : Brassicaceae
Genus : Nasturtium
Spesies : *Nasturtium officinale* (Rubatzky, 1999)



Gambar 3. Tanaman Selada Air
(sumber: Rubatzky, 1999)

Selada air adalah tanaman yang berasal dari wilayah timur Mediterania dan wilayah yang berbatasan dengan Asia, dan mungkin juga Etiopia. Selada air adalah tanaman tahunan musim dingin. Diperlukan air yang dingin bersih dan mengalir untuk memproduksinya. Sebagian besar sumber air mengandung hara mineral yang mencukupi untuk pertumbuhan. Tanaman ini juga ditanam pada tanah lembap dan basah (Rubatzky, 1999).

Selada adalah salah satu sayuran yang dapat dikonsumsi secara mentah dengan kandungan gizi yang cukup tinggi. Oleh sebab itu metode pembudidayaannya selalu ditingkatkan untuk mencapai hasil yang maksimal, salah satunya dengan cara hidroponik. Budidaya selada secara hidroponik harus mendapatkan hara melalui larutan nutrisi yang diberikan. Karena tanaman selada memerlukan unsur hara makro terdiri atas C,H,O,N,P,K,Ca, Mg, dan S dan unsur hara mikro yaitu Mn, Cu, Fe, Mo, Zn, B sesuai kebutuhan yang telah tersedia didalam larutan nutrisi dan jumlahnya tidak terlalu banyak (Wasonowati, 2013).

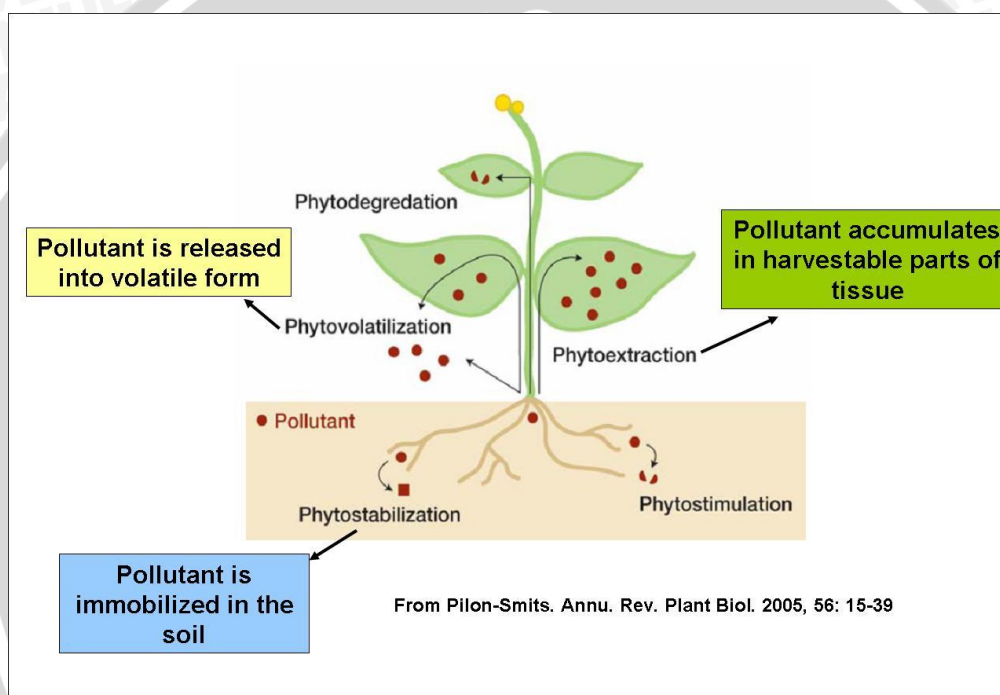
Pada tanaman logam berat seperti Mn, Cu, Fe, Mo, Zn, dan B diserap oleh akar namun kadarnya tidak terlalu banyak. Pada tembaga (Cu) dibutuhkan oleh tanaman sebagai suatu mikro-elemen yang mempunyai peranan dalam prose-proses oksidasi-reduksi. Apabila kekurangan unsur Cu tanaman akan mengisut dan merananya ujung daun, serta bisa mengakibatkan gugurnya seluruh daun (Dwidjoseputro, 1988).

2.3 Mekanisme Penyerapan Logam Berat

Nuruddin (2011), menyatakan bahwa mekanisme penyerapan kadar logam berat memiliki berbagai tahap yaitu:

1. Phytoaccumuation, yaitu proses menariknya zat kontaminan (pencemar/polutan) oleh tanaman dari media sehingga berakumulasi diakar.
2. Rizofiltration/Phytostimulation, yaitu proses adsorpsi/pengendapan zat kontaminan oleh akar.
3. Phytostabilization, yaitu menempelnya zat-zat tertentu pada akar yang tidak terserap oleh batang.
4. Rhyzodegraedation, yaitu proses penguraian zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang ada disekitar akar misalnya ragi, fungi, bakteri.

5. Phytodegradation, yaitu penguraian zat-zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul sederhana. Proses ini berlangsung pada daun, akar, dan batang dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan.
6. Phytovolatilization, yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan yang sudah terurai dan tidak berbahaya lagi yang kemudian akan diuapkan ke atmosfer oleh daun.



Gambar 4. Proses penyerapan logam berat oleh tanaman (sumber: Plant Biol, 2005)

Hal ini dapat dikaitkan dengan pernyataan Hardiani (2009), bahwa mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan yaitu:

1. Penyerapan oleh akar. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tanaman. Senyawa-senyawa yang larut dalam air

biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrolik diserap oleh permukaan akar.

2. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya seperti batang dan daun.
3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

2.4 Pencemaran

Pencemaran adalah masuknya zat-zat dan energi ke dalam lingkungan oleh manusia secara langsung atau tidak langsung, mengakibatkan pengaruh – pengaruh yang merugikan yang sedemikian rupa sehingga membahayakan kesehatan manusia, merusak sumber hayati, dan ekosistem dan mempengaruhi atau menghalangi kenyamanan dan penggunaan – penggunaan lain yang semestinya di lingkungan. Pencemaran merupakan gejala pengotoran dan penambahan pada air dengan organisme atau zat lain sehingga mencapai tingkat yang mengganggu pemanfaatan dan kelestarian perairan (Sanusi, 2009).

Suatu tatanan lingkungan hidup dapat tercemar atau menjadi rusak disebabkan oleh banyak hal. Namun yang paling utama dari sekian banyak penyebab tercemarnya suatu tatanan lingkungan adalah limbah. Berdasarkan sifat yang dibawanya limbah dikelompokkan atas limbah organik dan limbah an-organik. Limbah organik adalah semua jenis bahan sisa buangan yang merupakan bentuk-bentuk organik atau dapat terurai dan habis dalam tatanan

lingkungan dengan adanya organisme-organisme pengurai (*dekomoser*). Sedangkan limbah an-organik semua jenis bahan sisa atau bahan buangan yang tidak dapat terurai dan habis dalam tatanan lingkungan (Palar, 2012). Salah satu contoh limbah an-organik adalah logam berat.

2.4.1 Logam Berat

Unsur logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas lebih dari 5 gr/cm³. Unsur logam juga merupakan salah satu dari jenis Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah setiap bahan yang karena sifat atau konsentrasi, jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, kesehatan kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (Pasal 1(17) UU No. 23 1997) (Sudarmaji, 2006).

Karakteristik logam berat sebagai berikut, diantaranya: (1) memiliki spesifikasi graffiti yang sangat besar (lebih dari 4) ; (2) memiliki nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktinida ; (3) mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup. Terdapat 80 jenis dari sejumlah 109 unsur kimia yang telah teridentifikasi di muka bumi ini termasuk ke dalam jenis logam berat. Dengan demikian sifat kimiawi logam berat dapat dikatakan mewakili sebagian besar golongan kimia anorganik (Prastyawati, 2007). Diantaranya, (1) tidak mudah terbakar ; (2) umumnya bersifat elektrolit (konduktor listrik dalam larutannya) ; (3) reaksi berlangsung cepat ; (4) titik didih dan titik lebur tinggi. Selain itu logam berat juga dapat menghalangi kerja enzim dan merusak selaput dinding sel serta bersifat akumulatif (Prastyawati, 2007).

Keberadaan logam berat juga merupakan salah satu parameter menurunnya kualitas lingkungan. Hal ini dapat berdampak pada banyak hal, salah satunya terkontaminasinya sayuran konsumsi terhadap logam berat. Sifat

logam berat yang tidak dapat dihancurkan atau bersifat akumulasi ini menjadi ancaman bagi kesehatan manusia. Banyak efek buruk yang ditimbulkan saat manusia mengonsumsi sayuran yang memiliki kandungan logam berat. Salah satu contoh logam berat yang dapat mencemari sayuran konsumsi adalah logam Cu (tembaga) (Widaningrum, 2007).

2.4.2 Logam Berat Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) adalah logam merah muda dan liat yang melebur pada 1038°C . Potensial elektoda standarnya positif (+0,34 V), logam ini tidak larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer (Sony, 2009). Logam ini banyak digunakan pada pabrik yang memproduksi alat-alat listrik, gelas dan zat warna yang biasanya bercampur dengan logam lain seperti aloi dengan perak, kadmium, timah putih, dan seng (Merian, 1994 dalam Panjaitan, 2009).

Unsur tembaga (Cu) dapat ditemukan di berbagai jenis makanan, air dan udara sehingga manusia dapat terpapar Tembaga (Cu) melalui jalur makanan, minuman dan pernafasan. Apabila jumlahnya melewati batas, Tembaga (Cu) akan muncul toksisitas. Keracunan logam berat bersifat kronis dan dampaknya baru terlihat setelah beberapa tahun mendatang. Logam berat bersifat akumulatif didalam tubuh organisme dan konsentrasinya meningkat dalam rantai makanan. Keracunan kronis Tembaga (Cu) dapat mengurangi umur, menimbulkan berbagai masalah reproduksi dan menurunkan fertilitas (Sony, 2009).

Pada batuan mineral atau lapisan tanah, tembaga dapat ditemukan dalam bentuk – bentuk seperti, kalkopirit (CuFeS_2), kalkosit (Cu_2S), bornit (Cu_5FeS_4), kovelit (CuS), dan enargit (Cu_3AsS_4). Sedangkan pada mineral tembaga utama dalam bentuk deposit oksida adalah krisokola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), malasit ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), dan azurite ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$). Deposit oksida merupakan senyawa kimia

yang sedikitnya mengandung sebuah atom oksigen serta sedikitnya sebuah unsur lain. Serta masih ada lagi bentuk - bentuk Cu lainnya seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk - bentuk Cu (tembaga)

Tembaga(II)	Nama	Tembaga(I)	Nama
CuO	tembaga(II) oksida	Cu ₂ O	tembaga(I) oksida
Cu(OH) ₂	tembaga(II) hidroksida	CuCl	tembaga(I) klorida
CuCl ₂	tembaga(II) klorida	CuI	tembaga(I) iodida
CuF ₂	tembaga(II) fluorida		
CuS	tembaga(II) sulfida		
CuSO ₄ .5H ₂ O	tembaga(II) sulfat pentahidrat atau vitriol biru		
Cu(NO ₃) ₂ .3H ₂ O	tembaga(II) nitrat trihidrat		

2.5 Parameter Kualitas Air

2.5.1 Suhu

Suhu adalah salah satu faktor penting bagi kehidupan organisme, karena suhu mempengaruhi baik aktifitas metabolisme maupun perkembangbiakan dari organisme-organisme tersebut (Hutabarat dan Evans, 1985). Nilai suhu suatu perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah waktu dalam hari, penutupan awan, musim, sirkulasi udara dan ketinggian dari permukaan laut. Suhu disuatu perairan memiliki pengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi perairan tersebut. Suhu juga sangat berperan dalam mengendalikan ekosistem perairan, sehingga organisme disuatu perairan memiliki kisaran suhu tertentu untuk hidup (Effendi, 2003).

Suhu air dapat berpengaruh terhadap beberapa fungsi fisiologis seperti respirasi, pertumbuhan, fotosintesis, metabolisme, dan reproduksi. Suhu yang terlalu tinggi sangat berpengaruh terhadap proses metabolisme. Sedangkan

suhu yang optimal berada pada rentang 26°C-33°C (Amalia, 2013). Sehingga suhu berpengaruh pada proses bioremediasi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu suatu perairan maka logam berat akan semakin mudah larut dan menyebabkan mudahnya logam berat diserap oleh tanaman.

2.5.2 pH

pH adalah nilai yang menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam air (dalam kadar molar) yang dinyatakan sebagai:

$$\text{pH} = \log [1/\text{H}^+] \text{ atau } \text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

Nilai pH digunakan untuk mengukur sifat asam dan basa suatu larutan (solution). Makin rendah pH suatu larutan makin besar sifat asamnya, dan sebaliknya makin tinggi pH suatu larutan makin besar sifat basanya. Dengan kata lain, larutan asam adalah dimana kadar ion H^+ lebih besar daripada kadar ion OH^- , dan sebaliknya (Sanusi, 2009).

Menurut Hutagalung (1991) dalam Panjaitan (2009), penurunan pH serta naiknya suhu menyebabkan tingkat bioakumulasi semakin besar karena ketersediaan logam berat tersebut semakin meningkat. Dalam lingkungan perairan, bentuk logam antara lain berupa ion-ion bebas, pasangan ion organik, dan ion kompleks. Kelarutan logam berat dalam air dikontrol oleh pH air. Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam berat dalam air. Kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada perairan, sehingga akan mengendap membentuk lumpur (Palar, 2004).

2.5.3 DO (Oksigen Terlarut)

Oksigen (O_2) merupakan unsur yang sangat vital dan sangat diperlukan dalam proses respirasi dan metabolisme semua organisme perairan. Oksigen yang diperlukan organisme air adalah dalam bentuk oksigen terlarut, unsur ini

juga dibutuhkan oleh bakteri untuk proses dekomposisi bahan organik. Sumber oksigen di dalam air berasal dari udara yang masuk ke dalam air secara difusi, hasil fotosintesis dan karena adanya gerakan air (Subarijanti, 2000).

Kadar oksigen terlarut dapat dijadikan ukuran untuk menentukan kualitas air. Kehidupan di air dapat bertahan jika terdapat oksigen terlarut minimal sebanyak 5 ppm (5 *part per million* atau 5 mg oksigen untuk setiap liter air). Selebihnya bergantung kepada ketahanan organisme, derajat keaktifannya, kehadiran bahan pencemar, suhu air, dan sebagainya. Oksigen terlarut dapat berasal dari proses fotosintesis tanaman air dan dari atmosfer (udara) yang masuk ke dalam air dengan kecepatan tertentu. Konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh bervariasi tergantung dari suhu dan tekanan atmosfer. Semakin tinggi suhu air, semakin rendah tingkat kejenuhan (Kristanto, 2002).

2.5.4 CO₂ (Karbon dioksida)

Karbon dioksida merupakan gas yang sangat diperlukan dalam proses fotosintesis, di udara sangat sedikit $\pm 0,033\%$ dan di dalam air melimpah mencapai 12 mg/L. Sumber CO₂ dalam air adalah difusi dari udara, proses dekomposisi bahan organik, air hujan dan air bawah tanah maupun hasil respirasi organisme (Arfiati, 2001).

Keberadaan karbon dioksida berpengaruh terhadap organisme perairan. Hariyadi *et al.* (1992), berpendapat kandungan CO₂ sebesar 10 mg/L atau lebih masih dapat ditolerir oleh ikan. Kebanyakan spesies dari biota akuatik masih dapat hidup pada perairan yang memiliki kandungan CO₂ bebas 60 mg/L.

2.5.5 Nitrat

Nitrat (NO₃) adalah bentuk nitrogen yang paling banyak diperairan. Nitrat nitrogen dibutuhkan untuk proses pertumbuhan pada tumbuhan air serta unsur hara anorganik yang nantinya disintesa oleh fitoplankton menjadi bahan organik

yang dapat disimpan dalam biomass tubuhnya. Menurut Effendi (2003), senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen diperairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob.

Beberapa alga dapat menggunakan NO_3^- , NO_2^- , atau NH_4^+ sebagai sumber nitrogen. Nitrat dan amonium adalah sumber utama nitrogen diperairan. Namun, amonium lebih disukai oleh tumbuhan. Amonium biasanya diikuti dengan nitrat yang besar pula karena konsentrasi NH_4^+ diatas 0,5-1,0 mg/l akan menghambat pengambilan NO_3^- . Keseimbangan antara amonium dan amonia di dalam air sangat dipengaruhi oleh nilai pH air (Febrianti, 2011).

2.5.6 Phospat

Keberadaan phospat di dalam perairan sangat kecil dibandingkan dengan nitrogen karena sumber ortophospat lebih sedikit. Phospat terjadi secara alami dalam batuan dan deposit mineral lainnya. Selama proses alami pelapukan, batuan secara bertahap mengurai sebagian ion phospat yang larut dalam air. Phospat memiliki tiga bentuk utama yaitu ortophospat, metaphospat, dan phospat organik terikat. Masing – masing senyawa mengandung fosfor dalam formula kimia yang berbeda. Bentuk orto yang diproduksi oleh proses alam dan ditemukan di limbah, sedangkan bentuk poli digunakan dalam deterjen. Dalam air bentuk poli berubah menjadi orto (Dini, 2011).

Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Fosfor juga merupakan unsur yang essensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan alga serta sangat mempengaruhi produktifitas perairan (Erlina, 2006).

3. MATERI DAN METODE PENELITIAN

3.1 Materi Penelitian

Materi penelitian ini adalah tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), selada air (*Nasturtium officinale*), dan logam berat tembaga (Cu) sebagai sampel yang diturunkan jumlah kandungan logam beratnya sehingga dapat meminimalisir pencemaran lingkungan perairan untuk pemanfaatan sumberdaya perikanan yang berkelanjutan.

Logam berat Cu yang digunakan sebanyak 3 ppm. Hal ini dikarenakan pada baku mutu air limbah tahun 2004 yg dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup batas toleransi Cu diperairan sebesar 2 ppm. Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan 3 ppm untuk mengetahui apakah logam Cu bisa diturunkan sampai batas toleransi yg sudah ditentukan. Dari materi penelitian tersebut diperlukan analisis beberapa faktor pendukung diantaranya suhu, pH, DO, CO₂, nitrat dan ortophospat.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel

Tabel 2. Alat yang digunakan pada penelitian

No	Alat	Fungsi
1	Thermometer	Mengukur suhu
2	pH pen	Sebagai alat untuk mengukur pH
3	Aquarium 40 x 60	Sebagai wadah air sampel
4	Gelas ukur	Untuk membuat larutan logam berat
5	Beaker glass	Untuk tempat menghomogenkan larutan
6	Spatula	Untuk membantu menghomogenkan larutan

Tabel 3. Bahan yang digunakan pada penelitian

No	Bahan	Fungsi
1	Logam Berat Cu	Sebagai obyek pengamatan
2	Tanaman Genjer	Sebagai obyek pengamatan
3	Tanaman Kangkung	Sebagai obyek pengamatan
4	Tanaman Selada Air	Sebagai obyek pengamatan
5	Tissue	Membersihkan alat
6	Kertas label	Memberi tanda pada setiap perlakuan

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimental dengan menggunakan 2 faktor perlakuan. Faktor pertama adalah dengan 3 jenis tanaman air yaitu genjer, kangkung, dan selada air. Sedangkan pada faktor kedua menggunakan tingkat kerapatan yaitu sebanyak 0 tanaman, 5 tanaman, dan 10 tanaman. Hal ini dikarenakan menurut Rohmah (2009), jarak optimum penanaman adalah 20x20 cm dengan tujuan dapat memanfaatkan lingkungan tumbuh secara efisien. Eksperimen atau percobaan adalah suatu tindakan coba-coba (*trial*) yang dirancang untuk menguji keabsahan (*validity*) dari hipotesis yang diajukan. Percobaan merupakan suatu alat penelitian yang digunakan untuk menyelidiki sesuatu yang belum diketahui atau untuk menguji suatu teori (*principle*) atau hipotesis (Hanafiah, 2008).

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, untuk tahap pertama dilakukan penelitian pendahuluan yaitu untuk mengetahui konsentrasi logam berat yang akan diberikan. Tahap kedua penelitian ini adalah mengukur kadar logam berat yang telah diberi perlakuan.

3.4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui berapakah konsentrasi logam berat yang dapat diserap oleh tanaman air yang diujikan.

Prosedur yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan konsentrasi larutan logam berat yang berbeda
2. Pengukuran kandungan logam berat setelah air sampel diberikan tanaman air selama waktu yang ditentukan

3.4.2 Penelitian Utama

1. Pertama yang dilakukan adalah menyiapkan aquarium percobaan sejumlah 18 buah. Di dalam aquarium tersebut diisi air sebanyak 48 liter dan diberi larutan logam berat Cu yang sudah ditimbang dengan konsentrasi 3 ppm.
2. Lalu menyiapkan organisme tanaman air genjer, kangkung, dan selada air yang sudah diaklimatisasi terlebih dahulu selama 2 hari. Kemudian dimasukkan kedalam aquarium yang sudah berisikan air sampel dengan kerapatan yang sudah ditentukan yaitu 0 tanaman, 5 tanaman, dan 10 tanaman. Dan dibiarkan tumbuh selama 6 hari.
3. Selanjutnya pengukuran logam berat pada air akan diukur pada hari ke 6. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana penyerapan logam Cu oleh tanaman air.
4. Dan terakhir dapat dilihat hasilnya

3.5 Analisa Logam Berat Tembaga (Cu)

Pengukuran logam berat tembaga dilakukan di Laboratorium Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang oleh Laboran. Adapun prosedur pengukuran logam berat tembaga (Cu) menurut Fernanda (2012), sebagai berikut:

1. Sampel air diambil sebanyak 10 ml.
2. Kemudian didestruksikan dengan penambahan 5 ml HNO₃.
3. Kemudian diuapkan diatas pemanas listrik sampai larutannya jernih.
4. Filtrat contoh uji ditempatkan pada labu ukur 25 ml dan ditambahkan HNO₃ 1N sampai tanda tera.
5. Filtrat contoh uji siap diukur ke dalam spektrofotometer serapan atom atau Atomic Absorption Spectrometry (AAS).

3.6 Analisa Pengukuran Kualitas Air

3.6.1 Suhu

Prosedur pengukuran suhu menurut Subarijanti (1990), sebagai berikut:

- Menyiapkan Termometer Hg.
- Memasukkan termometer ke dalam perairan dengan membelakangi matahari dan termometer tidak menyentuh tangan.
- Menunggu selama ± 2 menit.
- Membaca skala termometer pada saat termometer masih diperairan.
- Mencatat hasil pengukuran dalam skala $^{\circ}\text{C}$

3.6.2 pH

Menurut Hariyadi, *et al.* (1992), derajat keasaman (pH) perairan dapat diukur dengan menggunakan pH paper. Pengukuran pH dengan menggunakan pH paper meliputi:

- Mencilupkan pH paper ke dalam perairan.
- Mendinginkan selama kurang lebih 2 menit.
- Mengangkat dan mengibaskan sampai setengah kering.
- Mencocokkan dengan skala 1-14 yang tertera pada kotak pH.
- Mencatat hasil pengukurannya.

3.6.3 DO (Oksigen Terlarut)

Menurut Hariyadi, *et al* .(1992), kadar oksigen terlarut (DO) suatu perairan dapat diukur dengan menggunakan botol DO. Pengukuran kadar oksigen terlarut (DO) dengan menggunakan botol DO dilakukan dengan cara:

- Mengukur dan mencatat volume botol DO yang akan digunakan.
- Memasukkan botol DO yang dibuka tutupnya ke dalam “kammerer water sampler” tutup “kammerer” tersebut, lalu masukkan ke dalam air, bila botol telah penuh (diketahui dari bunyi selang) kemudian diangkat dari air, tutup botol DO ketika masih di dalam “kammerer” tersebut dan keluarkan dari “kammerer”.
- Membuka tutup botol yang berisi sampel dan menambahkan 2 ml $MnSO_4$ dan 2 ml $NaOH+KI$ lalu bolak-balik sampai terjadi endapan kecoklatan. Biarkan selama 30 menit.
- Membuang filtrat (air bening diatas endapan) dengan hati-hati, kemudian endapan yang tersisa diberi 1-2 ml H_2SO_4 pekat dan kocok sampai endapan larut.
- Memberi 3-4 tetes amylum, dititiasi dengan Na-thiosulfat ($N_2S_2O_3$) 0,025 N sampai jernih atau tidak berwarna untuk pertama kali.
- Mencatat ml Na-thiosulfat yang terpakai (ml titran).
- Menghitung kadar DO dengan rumus:

$$DO \text{ (mg/L)} = \frac{V_{titran} \times N_{titran} \times 8 \times 1000}{V_{botolDO-4}}$$

Keterangan :

V (titran) : ml titrasi Na-thiosulfat

N (titran) : normalitas Na-thiosulfat (0,025)

3.6.4 CO₂ (Karbonioksida)

Menurut Suprpto (2011), pengukuran karbondioksida bebas di perairan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Memasukkan 25 ml sampel kedalam Erlenmeyer.
- Menambahkan 1-2 tetes indikator PP.
- Bila air berwarna merah muda berarti tidak mengandung CO₂.
- Bila air tetap tidak berwarna, cepat titrasi dengan Na₂CO₃ 0,0454 N sampai warna menjadi merah muda pertama kali.
- Menghitung kadar CO₂ dengan rumus :

$$\text{CO}_2 \text{ bebas (mg/l)} = \frac{\text{mL (titran)} \times \text{N (titran)} \times 22 \times 1000}{\text{mL air sampel}}$$

3.6.5 Nitrat (NO₃)

Menurut SNI (1990), alat yang digunakan adalah Spektrofotometer. Prosedur pengukuran nilai Nitrat sebagai berikut:

- Menyaring 100 ml air sampel dan menuangkan kedalam cawan porselen.
- Menguapkan di atas pemanas sampai kering.
- Menambahkan 2 ml asam fenol disulfonik, diaduk dengan pengaduk gelas dan diencerkan dengan 10 ml aquades.
- Menambahkan NH₄OH 1:1 (merupakan perbandingan antarakonsentrasi NH₃ dan aquades masing-masing 1 ml) sampai terbentuk warna kuning. Diencerkan dengan aquades sampai 100 ml, kemudian dimasukkan kedalam cuvet.
- Menghitung nilai nitrat menggunakan spektrometer dengan panjang gelombang 410 nm.

3.6.6 Phospat (PO4)

Menurut SNI (1990), alat yang digunakan adalah Spektrofotometer.

Prosedur pengukuran nilai Orthofosfat sebagai berikut:

- Mengukur dan menuangkan 50 ml sampel ke dalam Erlenmeyer .
- Menambahkan 2 ml ammonium molybdat dan dikocok.
- Menambahkan 5 tetes SnCl₂ dan dikocok.
- Menghitung nilai orthofosfat menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 690 nm.

3.7 Efektivitas Penurunan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Tanaman Air

Efektivitas pemanfaatan tanaman air genjer, kangkung, dan selada air sebagai Bioremediasi terhadap logam berat tembaga (Cu) dilakukan dengan menentukan kandungan logam berat Cu awal pada air sampel. Kemudian tanaman air dimasukkan kedalam air sampel dan ditunggu dalam jangka waktu 6 hari untuk mengetahui pengurangan logam berat (Cu) pada air sampel.

Efektivitas penurunan kadar logam berat diukur dengan:

$$\frac{\text{kandungan logam berat Cu awal} - \text{kandungan logam berat Cu akhir}}{\text{kandungan logam berat Cu awal}} \times 100\%$$

3.8 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini memiliki 2 faktor yaitu, faktor pertama adalah jenis tanaman air genjer, kangkung, dan selada air. Serta faktor kedua adalah tingkat kerapatan yaitu sebanyak 0, 5, dan 10 tanaman. Sehingga didapatkan 9 kombinasi dan dilakukan dengan ulangan sebanyak 2 kali pengulangan. Rancangan penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial. Rancangan acak lengkap (RAL) pola faktorial digunakan untuk percobaan yang dilakukan sudah menyangkut lebih dari 1 faktor. Tiap faktor

sudah mempunyai taraf (tingkat atau level) lebih dari satu (Sastrosupadi, 2000).

Berikut ini adalah metode analisis Rancangan Acak Lengkap (RAL):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan:

i : 1, 2, 3, ..., t

j : 1, 2, 3, ..., r

k : 1, 2, 3,

Y_{ijk} : Pengamatan pada perlakuan ke- i dan perlakuan ke- j dengan ulangan ke- k

μ : Rataan Umum

α_i : Pengaruh perlakuan ke- i

β_j : Pengaruh perlakuan ke- j

$(\alpha\beta)_{ij}$: Pengaruh perlakuan ke- i dan ke- j

ε_{ijk} : Pengaruh galat pada perlakuan ke- i dan ke- j pada satuan percobaan ke- k

Jadi pada penelitian ini akan diambil beberapa sampel dari air maupun dari tanamannya secara langsung.

Tabel 4. Sampel yang akan diambil

Faktor A (Tanaman Air)	r	Faktor B (Tingkat Kerapatan)		
		0	5	10
Genjer (A)	1	A.0.1	A.5.1	A.10.1
	2	A.0.2	A.5.2	A.10.2
Kangkung (B)	1	B.0.1	B.5.1	B.10.1
	2	B.0.2	B.5.2	B.10.2
Selada air (C)	1	C.0.1	C.5.1	C.10.1
	2	C.0.2	C.5.2	C.10.2

Adapun setiap ulangan pada penelitian ini menggunakan 0 tanaman, 5 tanaman, dan 10 tanaman dikarenakan pada kondisi aquarium yang terbatas sehingga hanya bisa menampung tanaman sampai dengan 10 tanaman saja.

Selain itu juga untuk memaksimalkan lingkungan tumbuh yang efisien yang memiliki jarak tanam kurang lebih 20x20 cm/tanaman.

Faktor Koreksi pada penelitian ini dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$FK = \frac{y_{ij}^2}{abr}$$

Dimana : y_{ij} = jumlah total dari semua perlakuan

a = banyaknya faktor a

b = banyaknya faktor b

r = banyaknya ulangan

Sementara untuk mencari sumber keragaman maka dapat dicari dengan perhitungan dibawah ini :

Tabel 5. Rumus Perhitungan

Sumber Keragaman	Derajat bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	Frekuensi Hitung (F-Hit)
Perlakuan	$ab - 1$	$\frac{\sum(\sum y_j)^2}{r} - FK$	JKP/dbp	KTP/KTG
A	$a - 1$	$\frac{\sum(\sum y_i)^2}{rb} - FK$	JKA/dba	KTA/KTG
B	$b - 1$	$\frac{\sum(\sum y_j)^2}{ra} - FK$	JKB/dbb	KTB/KTG
AB	$(a-1)(b-1)$	$JKP - JKA - JKB$	$JKA*B/dba*b$	$KTA*B/KTG$
Galat	$ab(r-1)$	$JKT - JKP$	JKG/dbg	
Total	$a \times b \times r$	$\sum(Y_{ijk})^2 - FK$		

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsentrasi Logam Berat Cu dalam air

Konsentrasi logam Cu dalam perairan mengalami penurunan dari hari ke-0 sampai di hari ke-6. Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang telah diberikan logam berat Cu sebesar 3 ppm secara keseluruhan. Namun pada hari ke-6 kandungan logam beratnya mengalami penurunan yang berbeda-beda disetiap aquariumnya. Berikut ini adalah data kandungan logam berat Cu didalam perairan yang diujikan pada hari ke-0 dan hari ke-6 yang disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Data kandungan logam berat Cu di dalam aquarium

Tanaman Air	Tingkat Kerapatan (tanaman/ 0,24m ²)	Hari 0 (mg/l)		Hari 6 (mg/l)	
		1	2	1	2
Genjer (A)	0	3,000	3,000	3,000	3,000
	5	3,000	3,000	1,612	1,582
	10	3,000	3,000	1,241	1,288
Kangkung (B)	0	3,000	3,000	3,000	3,000
	5	3,000	3,000	1,823	1,826
	10	3,000	3,000	1,559	1,548
Selada Air (C)	0	3,000	3,000	3,000	3,000
	5	3,000	3,000	2,140	2,124
	10	3,000	3,000	1,876	1,863

Dari hasil diatas, data kandungan Cu (tembaga) pada hari ke-0 secara keseluruhan aquarium percobaan memiliki kadar sebesar 3 ppm. Pengukuran tersebut dilakukan pada saat setelah logam berat di larutkan ke dalam masing-masing aquarium. Oleh sebab itulah kadar logam berat Cu pada seluruh aquarium memiliki konsentrasi sebesar 3 ppm.

Namun pada hari ke – 6 sudah mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan kandungan logam berat telah diserap oleh masing - masing tanaman air. Akan tetapi daya serap masing-masing tanaman air berbeda-beda. Data penurunan logam berat Cu dalam aquarium disajikan dalam bentuk tabel 7.

Tabel 7. Penurunan logam berat Cu dalam aquarium

Tanaman Air	Tingkat Kerapatan (tanaman/0,24m ²)	Penurunan logam berat Cu (mg/l)		Rata-Rata	Prosentase penurunan logam berat
		1	2		
		0	0		
Genjer (A)	5	1,388	1,418	1,403	46,77%
	10	1,759	1,712	1,736	57,85%
	0	0	0	0	0%
Kangkung (B)	5	1,177	1,174	1,176	39,18%
	10	1,441	1,452	1,447	48,22%
	0	0	0	0	0%
Selada Air (C)	5	0,860	0,876	0,868	28,93%
	10	1,124	1,137	1,131	37,68%

Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan pengaruh penurunan logam berat Cu oleh masing masing tanaman air maka perlu dilakukan uji F yang disajikan pada tabel 8.

Tabel 8. Sidik ragam penurunan logam berat Cu dalam aquarium

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F Hit	F-Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	8	7,594	0,949216	5181,313	3,07	4,85
A (tanaman air)	2	0,434	0,217236	1185,786	4,10	7,56
B (tingkat kerapatan)	2	6,939	3,469553	18938,61	4,10	7,56
A*B (tanaman air dan tingkat kerapatan)	4	0,220	0,055039	300,4288	3,48	5,99
G	10	0,002	0,000183			
Total	18	7,596				

Hasil perhitungan tabel sidik ragam (Tabel 7) menunjukkan bahwa nilai F hitung pada perlakuan oleh adanya kombinasi antara tanaman air dan tingkat kerapatan lebih besar dari F tabel 0,05 sehingga penurunan logam berat oleh tanaman air pada tingkat kerapatan yang berbeda berpengaruh sangat nyata . Hal ini sesuai dengan pernyataan Sastrosupadi (2000), bahwa apabila nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka hipotesis H_1 diterima. Dalam hal ini berarti hipotesis (H_1) yang diterima yaitu perbedaan efektifitas penurunan bioremediasi oleh tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*). Selanjutnya jika ingin mengetahui perbedaan perlakuan oleh adanya kombinasi antara tanaman air dengan tingkat kerapatan maka perlu dilakukan uji BNT. Pada uji BNT 5% dan uji BNT 1% disajikan pada Tabel 8.

$$\begin{aligned}
 \text{BNT 5\%} &= t_{0,05(\text{db galat})} \times \sqrt{\frac{2 \text{KT galat}}{\text{ulangan}}} \\
 &= t_{0,05(10)} \times \sqrt{\frac{2 \times 0,000183}{2}} \\
 &= 2,228 \times \sqrt{0,000183} \\
 &= 2,228 \times 0,01352775 \\
 &= 0,0270555
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BNT 1\%} &= t_{0,01(\text{db galat})} \times \sqrt{\frac{2 \text{KT galat}}{\text{ulangan}}} \\
 &= 3,169 \times 0,01352775 \\
 &= 0,04286944
 \end{aligned}$$

Tabel 9. Tabel uji BNT rata-rata hasil penyerapan logam berat Cu

Tanaman Air	Rata-Rata	Prosentase	Standar Deviasi	Notasi
A.0	0	0%	0	a
B.0	0	0%	0	a
C.0	0	0%	0	a
C.5	0,868	28,93%	0,011314	b
C.10	1,131	37,68%	0,009192	c
B.5	1,176	39,18%	0,002121	d
A.5	1,403	46,77%	0,021213	e
B.10	1,447	48,22%	0,007778	f
A.10	1,736	57,85%	0,033234	g

Pada Tabel 9 uji BNT diatas menunjukkan bahwa adanya perbedaan dalam penurunan logam berat Cu dengan setiap perlakuan tanaman air yang berbeda. Hasil rata-rata penurunan logam berat Cu tertinggi didapatkan pada tanaman genjer dengan 10 tanaman yang memiliki rata-rata penurunan sebesar 1,736 mg/l dengan prosentase 57,85%. Sedangkan penurunan logam berat Cu terendah terjadi pada seluruh aquarium percobaan dengan 0 tanaman yang memiliki penurunan sebesar 0 mg/l. Hal ini dikarenakan pada aquarium percobaan tersebut tidak terdapat tanaman air sebagai organisme yang melakukan proses penurunan logam berat / bioremediator.

Apabila diperhatikan secara seksama, maka rata-rata hasil penurunan terbesar terjadi pada tanaman genjer, kemudian kangkung, dan yang terendah adalah selada air. Perbedaan penurunan kadar logam berat ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan aktivitas tanaman dan faktor fisiologis tanaman itu sendiri. Menurut Dwidjoseputro (1988), tubuh tanaman sebagian besar terdiri dari tiga unsur yaitu C, O dan H. Namun tanaman tidak mungkin hidup hanya dengan tiga unsur itu saja. Tanaman juga membutuhkan unsur-unsur yang lain seperti N, S, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, dan lain sebagainya. Unsur-unsur ini dibagi menjadi 2 yaitu makro-elemen dan mikro-elemen.

Makro-elemen adalah unsur-unsur yang memiliki jumlah besar didalam tanaman, sedangkan mikro-elemen hanya memiliki sedikit unsur. Banyaknya jumlah masing-masing unsur disetiap tanaman memiliki jumlah yang berbeda-beda. Sama halnya seperti jumlah air pada tanaman. Untuk tanaman air jumlah air didalamnya bisa mencapai 98% sedangkan untuk kayu-kayuan umumnya hanya 50% air. Hal itu juga terjadi pada kadar Cu yang diserap oleh tanaman air yang diujikan.

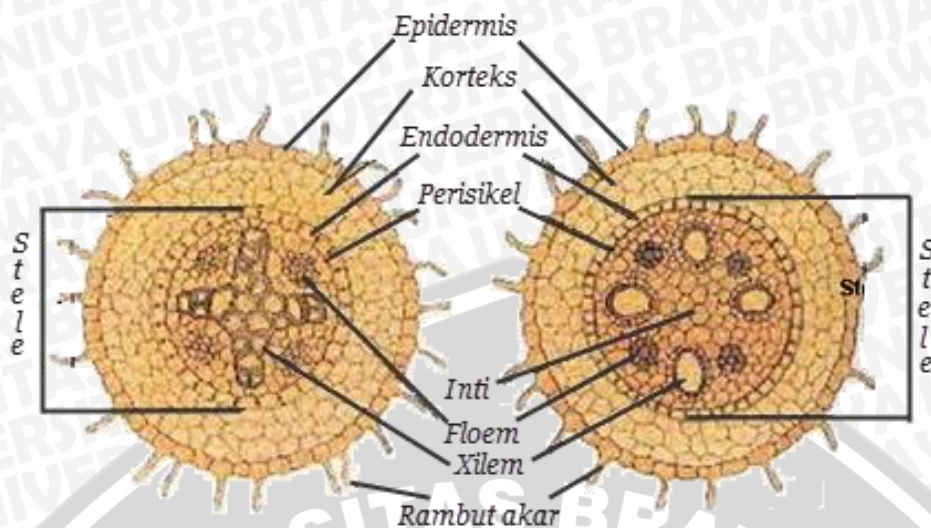
Dwidjoseputro (1988), menyatakan tembaga (Cu) merupakan suatu mikro elemen yang mempunyai peranan penting dalam proses pertumbuhan. Terlalu banyak Cu dapat bersifat racun, sedangkan akibat kekurangan Cu dapat mengakibatkan tanaman menjadi kecil dan daun pun juga mengisut. Bahkan bisa menyebabkan daun menjadi gugur. Apabila dilihat dari kondisi fisik tanaman, dari ketiga tanaman tersebut yang memiliki daun terbesar adalah genjer, kemudian kangkung, dan yang terakhir adalah selada. Hal ini sesuai dengan pernyataan Alfa (2003), genjer memiliki pertumbuhan luas merumpun dengan tinggi sekitar 30-80 cm dan daunnya berkisar 7,5 – 27 cm. Pada kangkung air memiliki ciri bentuk daun yang panjangnya 5 – 15 cm dan lebar 2 – 10 cm. Sedangkan pada selada air memiliki daun yang lebih kecil dikarenakan tanaman ini memiliki daun majemuk 1 – 15 anak daun. Maka penyerapan logam berat terbesar terjadi pada genjer dan yang terkecil terjadi pada selada.

Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Nuruddin (2011), bahwa mekanisme penyerapan kadar logam berat memiliki tahap *phytodegradation*, yaitu penguraian zat zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul sederhana. Proses ini berlangsung pada daun, akar, dan batang dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan. Dan selanjutnya diteruskan dengan proses *phytovolatization*, yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh

tumbuhan yang sudah terurai dan tidak berbahaya lagi yang kemudian akan diuapkan ke atmosfer oleh daun. Dari situlah peran daun pada tanaman dapat dimanfaatkan secara maksimal. Semakin besar daun pada tanaman dapat menyebabkan semakin besar pula air yang diuapkan ke udara.

Semua tanaman memiliki fitokhelat, akan tetapi fitokhelat hanya dapat berfungsi pada saat tanaman terkena logam berat saja. Fitokhelat berfungsi untuk memfasilitasi penyerapan logam berat. Fitokhelatin adalah reaktif peptidatiol yang terdiri dari glutation (Glu), sistein dan glisin (asam amino). Glutathione adalah antioksidan alami dan dipakai pada reaksi enzim selama pembentukan fitokhelatin. Fitokhelatin menyimpan logam berat divakuola yang merupakan tempat penyimpanan dalam sel-sel tumbuhan. Aktivitas reduktase glutation ini penting karena kehilangan glutation reduktase dapat membatasi pengambilan logam berat ke akar dan dapat mengurai reaksi toksisitas yang terjadi dalam tanaman (Mohamad, 2011).

Pada umumnya senyawa-senyawa yang larut pada air biasanya diambil oleh akar. Setelah menembus lapisan endodermis akar, logam atau senyawa asing lainnya mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut yaitu xilem dan floem seperti pada Gambar 5. Selanjutnya tanaman melakukan lokalisasi logam pada sel dan jaringan akar. Hal ini bertujuan agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar. Namun setiap tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda-beda. Tanaman yang bersifat hiperakumulator umumnya dapat menyerap logam berat tembaga (Cu) sebesar 1000 mg/kg berat kering (Hardiani, 2008).



Gambar 5. Struktur Akar Pada Tanaman

Selain itu zat kontaminan yang tidak dapat terserap oleh batang dan terakumulasi di akar dapat diuraikan dengan aktivitas mikroba di sekitar akar tumbuhan. Misalnya saja seperti ragi, fungi, dan bakteri. Mikroba dalam perairan juga dapat membantu mengurai kadar logam berat di perairan. Selain itu logam juga dapat masuk ke dalam tumbuh tumbuhan melalui daun dengan masuknya air pada stomata dan di salurkan ke xilem untuk diteruskan ke seluruh tubuh.

Apabila ditinjau dari segi penyerapan logam berat pada organisme tanaman airnya, masing-masing tanaman air memiliki kadar yang berbeda-beda. Mulai dari sebelum melakukan proses bioremediasi ataupun sesudah melakukan proses bioremediasi. Menurut Widowati (2009), tanaman air yang hidup di lingkungan yang bersih memiliki kadar Cu yang relatif rendah yaitu untuk tanaman genjer memiliki rata-rata 0,2 mg/l, untuk tanaman kangkung memiliki rata-rata 0,16 mg/l, dan untuk tanaman selada air memiliki rata-rata 0,114 mg/l.

Sedangkan setelah mengalami proses bioremediasi, kadar Cu pada masing-masing tanaman mengalami peningkatan. Kadar Cu pada masing-masing tanaman setelah proses Bioremediasi dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil kadar Cu pada tanaman air setelah proses Bioremediasi

Tanaman Air	Kadar Cu (mg/l) sebelum Bioremediasi	Kadar Cu (mg/l) setelah Bioremediasi	Jumlah Penyerapan (mg/l)
Genjer (A)	0,2	1,82	1,62
Kangkung (B)	0,16	1,51	1,35
Selada Air (C)	0,114	1,276	1,162

Jadi berdasarkan penyerapan kadar Cu pada masing-masing tanaman memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan kemampuan tanaman menyerap logam berat. Sehingga, dapat dilihat tanaman yang mampu memaksimalkan penyerapan logam berat Cu terbesar terjadi pada tanaman Genjer, kemudian kangkung dan yang terakhir selada air. Namun adanya cemaran logam dalam makan harus memenuhi maksimal sehingga aman untuk dikonsumsi.

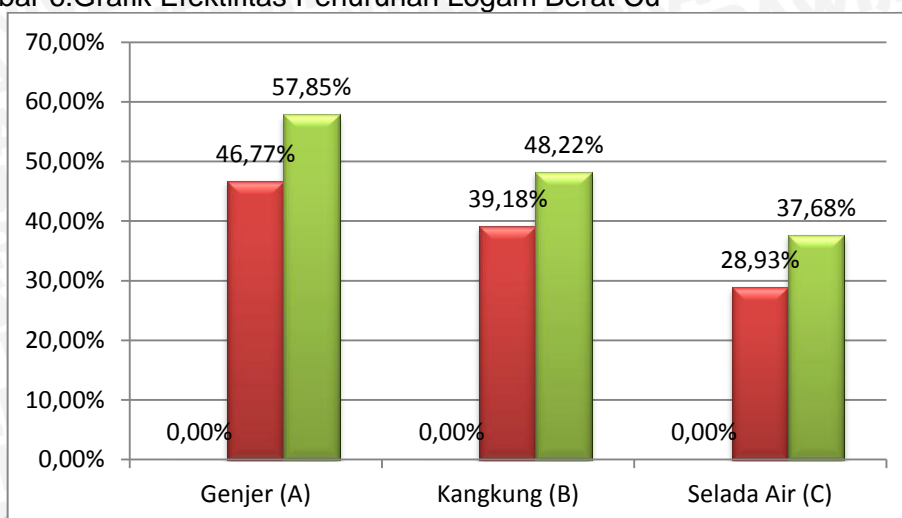
4.2 Efektifitas Bioremediasi Logam Berat Cu Oleh Tanaman Air

Pada penelitian ini, terlihat efektifitas penyerapan kadar logam berat Cu pada masing – masing aquarium percobaan dengan jenis tanaman air yang berbeda. Berikut ini adalah penyajian hasil efektifitas penurunan kadar logam berat Cu dalam bentuk Tabel 11 dan Gambar 6.

Tabel 11. Tabel Perbandingan Penurunan Logam Berat Cu

Tingkat Kerapatan (tanaman/0,24m ²)	Tanaman Air		
	Genjer (A)	Kangkung (B)	Selada Air (C)
0	0,00%	0,00%	0,00%
5	46,77%	39,18%	28,93%
10	57,85%	48,22%	37,68%
Rata-rata	54,16%	45,21%	35,76%

Gambar 6. Grafik Efektifitas Penurunan Logam Berat Cu



Dari hasil perhitungan pada Tabel 11 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa, penurunan kadar logam berat Cu tertinggi pada tanaman Genjer yang memiliki rata-rata 54,16% sedangkan pada tanaman kangkung memiliki rata-rata 45,21% serta pada tanaman selada air memiliki rata-rata sebesar 35,76%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tanaman Genjer lebih baik dalam menurunkan kadar logam berat Cu, karena mempunyai bentuk fisik yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanaman kangkung dan selada air. Namun tanaman kangkung juga lebih baik dalam menurunkan kadar logam berat Cu jika dibandingkan dengan selada air.

4.3 Parameter Kualitas Air

4.3.1 Suhu

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang, ketinggian dari permukaan laut, sirkulasi udara, penutupan awan, serta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh pada proses fisika, kimia, biologi badan air. Selain itu suhu juga sangat berperan mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Organisme akuatik mempunyai suhu tertentu yang disukai untuk membantu pertumbuhannya (Effendi, 2003).

Pengukuran suhu pada aquarium penelitian bioremediasi logam berat Cu dengan pemanfaatan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturium officinale*) ini dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Pengukuran suhu di masing-masing aquarium penelitian

Tanaman Air	Tingkat Kerapatan (tanaman/0,24m ²)	Hari 0 (°C)		Hari 6 (°C)		Rata-rata (°C)
		1	2	1	2	
Genjer (A)	0	25	25	25	24	24,75
	5	24	24	24	24	24
	10	24	24	23	23	23,5
Kangkung (B)	0	25	25	25	24	24,75
	5	24	24	23	24	23,75
	10	24	24	23	23	23,5
Selada Air (C)	0	24	24	24	24	24
	5	24	24	24	23	23,75
	10	24	24	23	23	23,5

Suhu di dalam air sampel memiliki rata-rata antara 23,5 °C – 24,75°C. Hal ini dikarena air yg digunakan dalam penelitian ini merupakan air kran/air tanah. Oleh sebab itu suhu pada air dipenelitian ini relatif dingin. Jika diamati suhu dari hari ke-0 sampai hari ke-6 terjadi penurunan namun tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan faktor lingkungan, sirkulasi udara, dan keadaan suhu di kota Malang relative dingin.

Tanaman hijau yang tumbuh didaerah dataran tinggi dapat mentolerin suhu antara 12°C - 25 °C, sedangkan suhu lebih dari 25 °C dapat menunda pertumbuhan dan menurunkan kualitas tanaman (Priandoko, 2010). Intensitas cahaya dan suhu tinggi berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Intensitas cahaya yang tinggi dapat meningkatkan perkembangan daun yang lebar sedangkan suhu tinggi dapat meningkatkan perkembangan tangkai bunga (Vincent, 1998). Suhu juga memiliki pengaruh pada proses bioremediasi ini. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu suatu



perairan maka logam berat akan semakin mudah larut sehingga menyebabkan logam berat mudah terserap oleh tanaman.

4.3.2 pH

Derajat keasaman (pH) mempunyai pengaruh yang besar terhadap tumbuhan-tumbuhan dan hewan-hewan air, sehingga sering dipergunakan sebagai petunjuk untuk menyatakan baik buruknya keadaan air sebagai lingkungan hidup, walaupun baik buruknya suatu perairan masih tergantung pula pada faktor-faktor yang lainnya (Asmawi, 1984).

Pengukuran pH pada aquarium penelitian bioremediasi logam berat Cu dengan pemanfaatan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturium officinale*) ini dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Pengukuran pH di masing-masing aquarium penelitian

Tanaman Air	Tingkat Kerapatan (tanaman/0,24m ²)	Hari 0		Hari 6		Rata-rata
		1	2	1	2	
Genjer (A)	0	7,28	7,31	7,27	7,29	7,29
	5	7,38	7,32	7,24	7,24	7,30
	10	7,54	7,47	7,19	7,05	7,31
Kangkung (B)	0	7,5	7,35	7,09	7,21	7,29
	5	7,49	7,38	7,12	7,19	7,30
	10	7,48	7,47	7,16	7,13	7,31
Selada Air (C)	0	7,44	7,34	7,27	7,15	7,30
	5	7,24	7,37	7,2	7,04	7,21
	10	7,3	7,45	7,16	6,93	7,21

Dalam penelitian ini pH yang terkandung dalam perairan ini relatif netral yaitu terdapat pada range 6,93 - 7,54. Hal ini sesuai dengan Baku Mutu Limbah Cair yaitu batas pH diperairan sebesar 6-9 (KepGub Jateng, 1997). Jika diamati pH dari hari ke-0 sampai dengan hari ke-6 mengalami penurunan namun tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan peningkatan nilai pH disebabkan oleh

adanya pelarutan ion-ion logam sehingga dapat merubah konsentrasi ion hidrogen dalam air. Sedangkan ion-ion logam dapat larut dalam suhu yang tinggi (Wardhana, 1995).

4.3.3 DO (Oksigen Terlarut)

Oksigen banyak dibutuhkan oleh organisme akuatik. Ketersediaan oksigen terlarut dalam air sangat dipengaruhi oleh suhu, pH, dan karbondioksida (CO₂). Semakin tinggi suhu air, semakin kurang kadar oksigen yang terlarut dalam air. Setiap kenaikan suhu 1°C membutuhkan kenaikan oksigen terlarut sebanyak 10% (Tim Lentera, 2002). Oksigen juga merupakan faktor penting untuk respirasi makhluk hidup. Kehidupan makhluk hidup di dalam air tergantung dari kemampunair untuk mempertahankan konsentrasi oksigenminimal yang dibutuhkan untuk kehidupan(Wardhana, 1995).

Pengukuran DO pada aquarium penelitian bioremediasi logam berat Cu dengan pemanfaatan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturium officinale*) ini dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Pengukuran DO di masing-masing aquarium penelitian

Tanaman Air	Tingkat Kerapatan (tanaman/ 0,24m ²)	Hari 0 (mg/l)		Hari 6 (mg/l)		Rata-rata
		1	2	1	2	
Genjer (A)	0	4,79	4,56	4,92	4,74	4,75
	5	6,09	6,15	6,55	6,69	6,37
	10	6,12	6,08	6,68	6,78	6,42
Kangkung (B)	0	4,28	4,12	4,42	4,28	4,28
	5	6,06	6,21	6,45	6,75	6,37
	10	6,11	6,09	6,78	6,53	6,38
Selada Air (C)	0	4,37	4,15	4,44	4,21	4,29
	5	6,58	6,67	6,93	6,89	6,77
	10	6,38	6,43	6,76	6,85	6,61

DO (*Dissolve Oxygen*) yang terkandung dalam perairan ini berada pada range 4,12 – 6,93 mg/l. Angka tersebut terbilang normal dikarenakan DO yang optimum dalam perairan berkisar antara 3 mg/l – 8 mg/l (Sutisna, 1995). Kadar oksigen terlarut dibawah 3 ppm akan membahayakan organisme perairan karena dapat mengakibatkan kematian (Hermawati, 2005).

Kadar DO tersebut berada dalam batas wajar, hal itu disebabkan oleh adanya proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman air. Hal ini didukung juga dengan data pada tingkat kerapatan 0 kadar DO tidak terlalu tinggi. Namun pada tingkat kerapatan 5 dan 10 memiliki kadar diatas 6 ppm. Waktu pengambilan data juga mempengaruhi kadar oksigen terlarut. Menurut Connell dan Miller (1995) bahwa kadar oksigen terlarut mencapai maksimum pada siang hari dan petang hari serta menurun terus sampai menjelang fajar. Dan pada penelitian ini waktu pengambilan sampel dilakukan pada siang hari.

4.3.4 CO₂ (Karbondioksida)

Karbondioksida adalah salah satu faktor penting dalam parameter kualitas air. Hal ini dikarenakan tumbuhan melakukan fotosintesis dengan merubah karbondioksida menjadi oksigen. Jadi karbondioksida didalam perairan dibutuhkan oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis.

Pengukuran DO pada aquarium penelitian bioremediasi logam berat Cu dengan pemanfaatan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturium officinale*) ini dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Pengukuran CO₂ di masing-masing aquarium penelitian

Tanaman Air	Tingkat Kerapatan (tanaman/0,24m ²)	Hari 0 (mg/l)		Hari 6 (mg/l)		Rata-rata (mg/l)
		1	2	1	2	
Genjer (A)	0	2,55	2,52	2,43	2,48	2,50
	5	2,59	2,53	2,55	2,51	2,55
	10	2,61	2,68	2,6	2,61	2,63
Kangkung (B)	0	2,58	2,52	2,42	2,28	2,45
	5	2,6	2,65	2,45	2,42	2,53
	10	2,65	2,66	2,66	2,59	2,64
Selada Air (C)	0	2,57	2,54	2,34	2,01	2,37
	5	2,58	2,63	2,39	2,09	2,42
	10	2,58	2,63	2,56	2,42	2,55

CO₂ (karbondioksida) yang terkandung dalam perairan ini berkisar antara 2,01 – 2,68mg/l. Nilai ini dapat dikatakan normal karena CO₂ yang baik didalam perairan berada pada range 2 – 12 mg/l (Asmawi, 2002). Hal ini dikarenakan proses fotosintesis pada tanaman air membutuhkan CO₂ sehingga CO₂ yang terlarut dalam air berada pada kadar yang rendah namun masih terbilang normal. Apabila dikaitkan dengan oksigen didalam perairan, hal ini sesuai karena DO dan CO₂ mempunyai nilai yang berbanding terbalik. Bila DO meningkat maka CO₂ akan menurun.

Penurunan CO₂ diakibat adanya proses fotosintesis menyebabkan CO₂ diserap oleh tanaman kemudian bereaksi dengan H₂O. Peristiwa ini hanya berlangsung jika ada klorofil dan cahaya pada tanaman tersebut. Maka pada proses ini dapat menghasilkan C₆H₁₂O₆ yang dibutuhkan oleh tanaman serta melepaskan O₂ (Dwijoseputero, 1988).

4.3.5 Nitrat (NO₃)

Nitrat (NO₃) merupakan bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrient bagi pertumbuhan rumput laut. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat labil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan (Kramer *et al.*, 1994).

Pengukuran nitrat pada aquarium penelitian bioremediasi logam berat Cu dengan pemanfaatan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturium officinale*) ini dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Pengukuran nitrat di masing-masing aquarium penelitian

Tanaman Air	Tingkat Kerapatan (tanaman/0,24m ²)	Hari 0 (mg/l)		Hari 6 (mg/l)		Rata-rata (mg/l)
		1	2	1	2	
Genjer (A)	0	2,606	2,656	2,359	2,396	2,504
	5	2,545	2,594	1,359	1,384	1,971
	10	2,569	2,557	1,384	1,359	1,967
Kangkung (B)	0	2,656	2,644	2,594	2,557	2,613
	5	2,470	2,470	1,198	1,260	1,850
	10	2,606	2,619	1,421	1,408	2,014
Selada Air (C)	0	2,470	2,433	2,359	2,347	2,402
	5	2,557	2,520	1,483	1,520	2,020
	10	2,396	2,408	1,371	1,359	1,884

Nitrat yang terkandung dalam perairan ini berkisar antara 1,198 – 2,656mg/l. Jika diamati nitrat dalam perairan ini mengalami penurunan sampai pada hari ke – 6. Hal itu dapat disebabkan karena tanaman membutuhkan nitrat dalam pertumbuhannya sehingga nitrat yang berada dalam perairan mengalami penurunan.

Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi ammonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob (Effendi, 2003). Proses nitrifikasi lebih efisien pada kondisi tegangan oksigen tinggi. Penurunan konsentrasi nitrat terjadi karena nitrat dibutuhkan sebagai sumber unsur hara untuk pertumbuhan tanaman air (Djokosetiyanto, 2006).

4.3.6 Phospat (PO₄)

Phospat adalah pembentukan dari fosfor yang bisa digunakan oleh tumbuhan. Di kerak bumi fosfor mudah mengendap dan jumlahnya relative sedikit. Fosfor merupakan bahan essensial untuk tumbuhan tingkat tinggi dan alga sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan alga akuatik serta sangat mempengaruhi produktifitas perairan. Pelapukan batuan mineral merupakan sumber alami fosfor di perairan. Selain itu fosfor juga berasal dari dekomposisi bahan organik (Effendi, 2003).

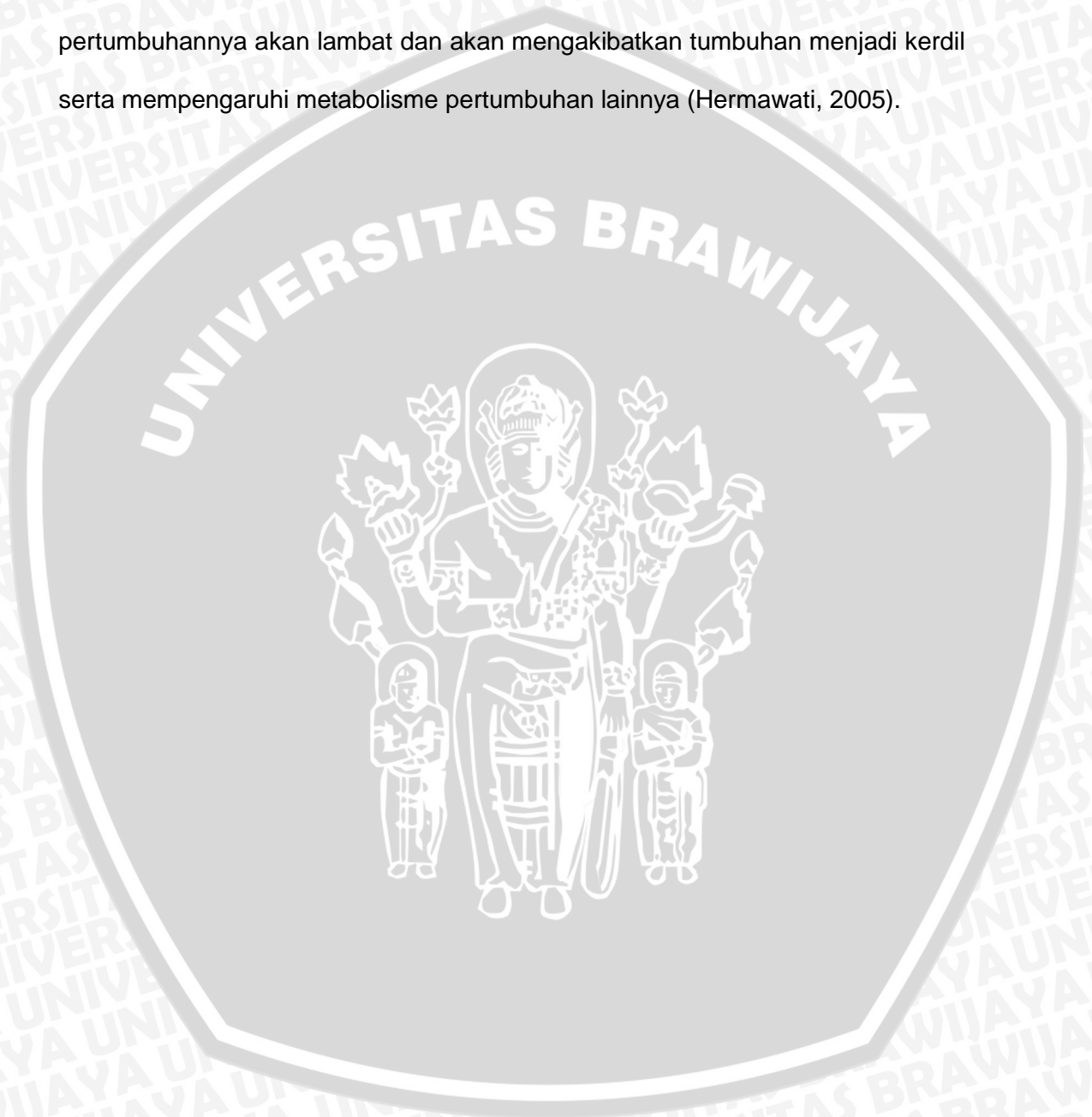
Pengukuran phospat pada penelitian bioremediasi logam berat Cu dengan pemanfaatan tanaman airgenjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturium officinale*) ini dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Pengukuran phospat di masing-masing aquarium penelitian

Tanaman Air	Tingkat Kerapatan (tanaman/ 0,24m ²)	Hari 0 (mg/l)		Hari 6 (mg/l)		Rata-rata (mg/l)
		1	2	1	2	
Genjer (A)	0	0,248	0,239	0,224	0,218	0,232
	5	0,215	0,219	0,217	0,224	0,219
	10	0,211	0,218	0,244	0,259	0,233
Kangkung (B)	0	0,254	0,247	0,210	0,202	0,228
	5	0,246	0,250	0,240	0,245	0,245
	10	0,261	0,262	0,225	0,230	0,245
Selada Air (C)	0	0,223	0,228	0,212	0,216	0,220
	5	0,239	0,234	0,231	0,225	0,232
	10	0,241	0,245	0,230	0,236	0,238

Nilai phospat pada perairan ini berkisar antara 0,202 – 0,262. Nilai ini pun masih terbilang wajar karena masih berada diantar 0,09 – 1,80 yang menjadi batas wajar phospat di perairan (Sidharta, 2000). Jika diamati keberadaan phospat dari hari ke – 0 sampai dengan hari ke – 6 mengalami penurunan. Hal ini dapat dikarena phospat digunakan oleh tumbuhan namun tidak terlalu banyak.

Phospat berperan penting dalam fotosintesis dan metabolisme, energi dalam sel. Fosfar diserap tanaman terutama dalam bentuk ion H_2PO_4^- . Jika phospat yang diserap berlebihan akan mengakibatkan pengikatan ion logam-logam berat terganggu. Sedangkan jika tanaman mengalami defisiensi fosfor, pertumbuhannya akan lambat dan akan mengakibatkan tumbuhan menjadi kerdil serta mempengaruhi metabolisme pertumbuhan lainnya (Hermawati, 2005).



5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang penurunan logam berat Cu menggunakan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai F hitung pada penelitian ini lebih besar daripada F tabel, sehingga hipotesis yang diterima adalah H_1 .
2. Terjadi perbedaan penurunan kadar logam berat Cu dengan menggunakan tanaman air genjer (*Limnocharis flava*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan selada air (*Nasturtium officinale*).
3. Penurunan kadar logam berat terbesar terjadi pada tanaman air genjer dengan rata-rata prosentase penurunan sebesar 54,16% sedangkan penurunan logam berat terendah terjadi pada tanaman air selada air dengan prosentase rata-rata penurunan sebesar 35,76%.
4. Hal ini terjadi dikarenakan perbedaan faktor fisik dan fisiologis pada setiap tanaman sehingga penyerapan logam berat pada setiap tanaman memiliki nilai yang berbeda-beda.

5.2 Saran

Perlu juga diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui seberapa lama masing-masing tanaman air ini dapat menyerap logam berat sampai batas maksimum. Sehingga tanaman tidak mati karena terlalu lama di dalam perairan yang terkena cemaran logam berat Cu.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfa, Devie F. 2003. **Kemampuan Genjer, Kangkung Air, Dan Selada Air Untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Timbal (Pb) Di Dalam Air**. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. IPB. Bogor.
- Andani, Sri., E. D. Purbayanti. 1991. **Fisiologi Lingkungan Tanaman**. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Amalia, Dian Rizqi Nur. 2013. **Efek Temperatur Terhadap Pertumbuhan *Gracilaria verrucosa***. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember. Jember.
- Arfiati, D. 2001. **Diktat Kuliah Limnologi Sub Bahasan Kimia Air**. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang.
- Asmawi, Suhaili. 1984. **Pemeliharaan Ikan dalam Keramba**. PT Gramedia. Jakarta.
- Connell, D.W and G.J. Miller. 1995. ***Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran***. Penerjemah: Koestoer, Y. Jakarta: UI Press.
- Dini, S. 2011. **Evaluasi Kualitas Air Sungai Ciliwung di Provinsi Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta Tahun 2000-2010**. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Djokosetiyanto, D., A Sunarma., Widanarni. 2006. **Perubahan Ammonia (NH₃-N), Nitrit (NO₂-N) Dan Nitrat (NO₃-N) Pada Media Pemeliharaan Ikan Nila Merah (*Oreochromis sp.*) di Dalam Sistem Resirkulasi**. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor.
- Dwidjoseputro, D. 1988. **Pengantar Fisiologi Tumbuhan**. PT Gramedia. Jakarta.
- Dwiyanti, Devi S dan Bambang Gunadi. 2006. **Efektivitas Biofilter Tanaman Air Terhadap Pengolahan Limbah Budidaya Ikan Dengan Sistem Resirkulasi**. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air**. Kanisius. Yogyakarta.
- Erlina, A. 2006. **Kualitas Perairan di Sekitar BBPBAP Jepara Ditinjau dari Aspek Produktifitas Primer sebagai Landasan Operasional Pengembangan Budidaya Udang dan Ikan**. Tesis Universitas Diponegoro. Semarang.
- Febrianti, E. 2011. **Produktifitas Alga Hidrodictyon Pada Sistem Perairan Tertutup**. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Fernanda, L. 2012. **Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*)**

dan Sifat Fraksionasinya Pada Sedimen Laut. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.

Ghifari, Abi Sofyan. 2011. **Biosorpsi Logam Berat di Lingkungan Akuatik Menggunakan Limbah Sekam Padi (*Oryza sativa L.*) Sebagai Biosorben**. Universitas Indonesia. Depok.

Hanafiah, K. A. 2008. **Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi**. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.

Handayani, Ika Furi., Elly Setyowati., Agus Muji Santoso. 2013. **Efisiensi Bioremediasi Pada Air Terkontaminasi Cu Menggunakan *Salvinia molesta Mitchel***. Universitas Nusantara PGRI Kediri. Kediri.

Hariyadi, S., I. N. N Suryadiputra dan B. Widigdo. 1992. **Limnologi Metode Kualitas Air**. IPB. Bogor

Hermawati, Ervina., Wiryanto dan Solichatun. 2005. **Bioremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) dan Genjer (*Limnocharis flava L.*)**. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Hutabarat, S dan Evans. 1985. **Pengantar Oseanografi**. Jakarta: Universitas Indonesia.

Juhaeti, Titi., Fauzia Syarif., Nuril Hidayati. 2005. **Inventarisasi Tumbuhan Potensial Untuk Bioremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas**. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Bogor.

Kramer, K.J.M., U.H. Brockman and R.M. Warwick. 1994 **Tidal Estuaries: Manual of sampling and Analytical Procedures**. A.A. Balkema. Rotterdam.

Kristanto, P. 2002. **Ekologi Industri**. Penerbit Andi. Yogyakarta.

Mohammad, Erni. 2011. **Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Dalam Tanah Dengan Menggunakan Bayam Duri**. Tesis. FMIPA. Universitas Brawijaya. Malang.

Nuruddin, Fuad. 2011. **Penggunaan Tanaman Kangkung Air (*Iponomea aquatica*) Untuk Mengurai Kadar Unsur Besi Dan Tembaga Menggunakan Sampel Kali Jagir Di Surabaya**. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.

Palar, Heryando. 2012. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Penerbit : Rineka Cipta.

Panjaitan, Grace Yanti. 2009. **Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb) Pada Pohon Avicennia Marina Di Hutan Mangrove**. Skripsi. Departemen Kehutanan. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan.

- Prasetyawati, Reni. 2007. **Uji Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) dan Kadmium (Cd) Pada Kangkung Air (*Ipomea aquatica*) Di Perairan Taman Wisata Wendit Kabupaten Malang**. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri. Malang.
- Priandoko, Deni Agung. 2010. **Kandungan Logam Berat (Pb dan Cd) Pada Sawi Hijau (*Brassica rapa* l. Subsp. *Perviridis* Bailey) dan Wortel (*Daucus Carrota* L.Var. *Sativa Hoffm*) Yang Beredar di Pasar Kota Denpasar**. Jurnal Simbiosis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Udayana. Bali.
- Priyanti., Etyun Yunita. 2013. **Uji Kemampuan Daya Serap Tumbuhan Genjer (*Limnoclaris flava*) Terhadap Logam Berat Besi (Fe) dan Mangan (Mg)**. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta. Jakarta.
- Purnamisari, Ratna M. 2012. **Analisa Timbal, Tembaga, Kadmium Pada Daun Dan Batang Selada, Bayam Merah, Dan Genjer, Secara Spektrofotometri Serapan Atom**. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Rahayu, S. dan N. Terangna. 1989. **Peranan Mikroorganisme Aerob pada Penguraian Detergen dalam Air**. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Perairan 13: 31-35.
- Rismawati, Senja Ike. 2012. **Bioremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Zn Menggunakan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*)**. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Rohmah, Nuzulul. 2009. **Respon Tiga Kultivar Selada (*Lactuca sativa*) Pada Tingkat Kerapatan Yang Berbeda**. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Rosita, Enny., Winny Retna Melani., Andi Zulfikar. 2013. **Efektivitas Bioremediasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) Terhadap Penyerapan Orthopospat Pada Detergen Ditiinjau Dari Detensi Waktu dan Konsentrasi Orthopospat**. Universitas Maritime Raja Ali Haji. Kepulauan Riau.
- Rubatzky, Vincent E., Mas Yamaguchi. 1999. **Sayuran Dunia 3**. Penerbit : Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Santriyana, Dery Diah. 2012. **Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang Ditumbuhkan Pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak**. Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- Sanusi, Harpasis Slamet., Sugeng Putranto. 2009. **Kimia Laut dan Pencemaran Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan**. Penerbit : Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sastrosupadi, Adji. 2000. **Rancangan Percobaan Praktis**. Penerbit: Kanusius. Yogyakarta.

- Sidharta, B. R. 2000. **Pengantar Mikroba Kelautan**. Universitas Atmajaya Yogyakarta.Yogyakarta
- SNI. 1990. **Metode Pengukuran Kualitas Air**. Dinas Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Sony. 2009. **Penentuan Kadar Logam Seng (Zn) Dan Tembaga (Cu) Dalam Air Pam Hasil Penyaringan Yamaha Water Purifier Tipe Drinking Stand**. Skripsi. Departemen Kimia. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Subarijanti,U.H. 2000. **Pemupukan dan Kesuburan Perairan**. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Manajemen Sumberdaya Perairan. Universitas Brawijaya, Malang.
- Subarijanti,U.H.2005.**Limnology**.Diktat Kuliah.Universitas Brawijaya. Malang
- Sudarmaji. 2006. **Toksikologi Logam Berat B3 Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan**. Jurnal Kesehatan Lingkungan. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Suprpto.2011.**Metode Analisis Parameter Kualitas Air Untuk Budidaya Udang**. Shrimp Club Indonesia
- Surat Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 660.1/02/1997. **Tentang Baku Mutu Limbah Cair Berbagai Kegiatan Industri**.
- Sutisna, Dedy H. 1995. **Pembenihan Ikan Air Tawar**. Kanisius. Yogyakarta.
- Tim Lentera. 2002. **Pembesaran Ikan Mas di Kolam Air Deras**. Cetakkan keempat. AgroMedia Pustaka. Jakarta.
- Vincent, E. Rubatzky, Mas Yamaguchi.1998.**Sayuran Dunia: Prinsip, dan Gizi, Jilid 2**.Penerbit ITB:Bandung.
- Wardana, Veriandika Wisnu. 2012. **Struktur Jaringan Daun Batang Genjer (*Limnocharis Flava*) Serta Perubahan Kandungan Minereal Melalui Pengukusan**. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Wardhana, W.A. 1995. **Dampak Pencemaran Lingkungan**. Yogyakarta:Andi Offset.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2004. **Dampak Pencemaran Lingkungan**. Penerbit : Andi. Yogyakarta.
- Wasonowati, Catur., Sinar Suryawati., Ade Rahmawati. 2013. **Respon Dua Varietas Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) Terhadap Macam Nutrisi Pada Sistem Hidroponik**.
- Widaningrum., Miskiyah., Suismono. 2007. **Bahaya kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran Dan Alternatif Pencegahan Cemarannya**. Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian Vol. 3.

repository.ub.ac.id

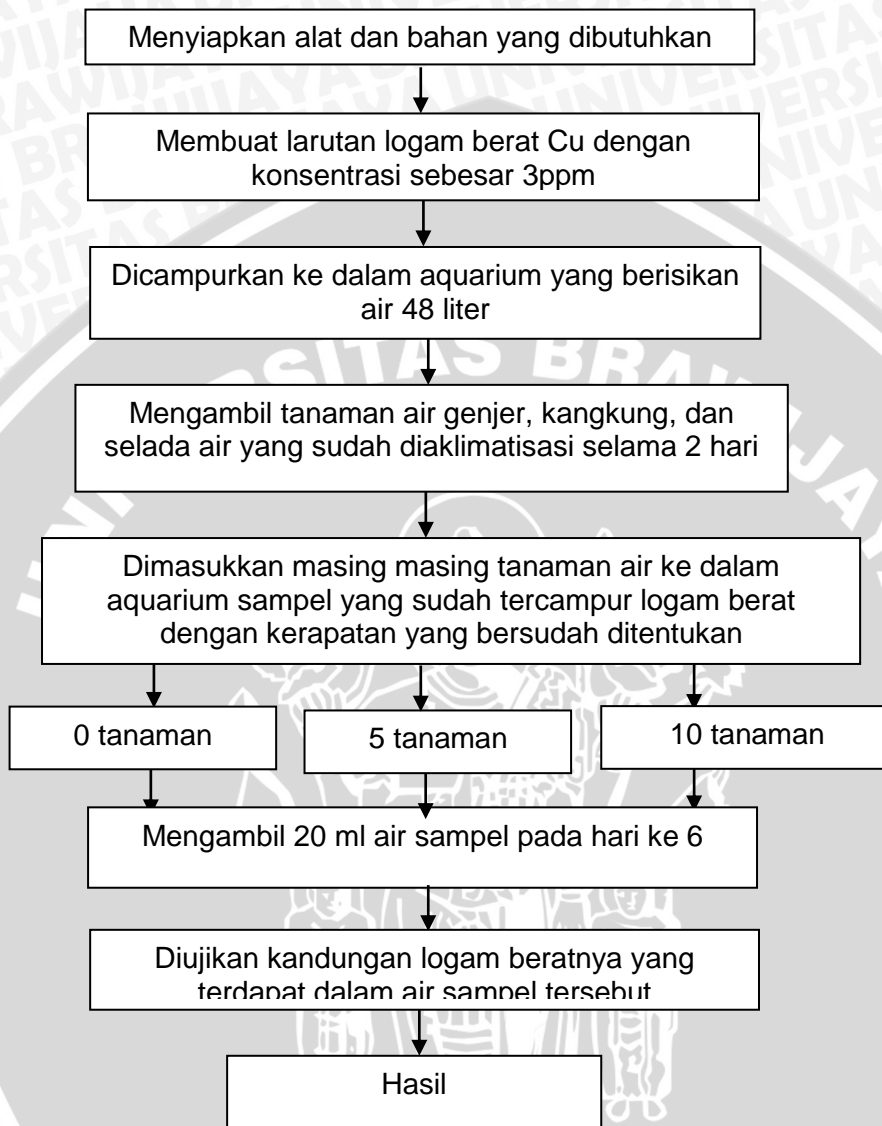
Widowati, Hening. 2009. **Profile Logam Berat, Kandungan Protein, Vitamin A, dan Vitamin C Sayuran Air**. Universitas Muhammadiyah Metro.

Wulandari, Resmaya., Tarzan Purnomo dan Winarsih. 2014. **Kemampuan Tanaman Kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dalam Menyerap Logam Berat Kadmium (Cd) Berdasarkan Konsentrasi dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda**. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja



Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Larutan Logam Cu

$$\begin{aligned}\text{Volume aquarium} &= p \times l \times t \\ &= 60\text{cm} \times 40\text{cm} \times 20\text{cm} \\ &= 48000 \text{ cm}^3 = 48 \text{ liter}\end{aligned}$$

Untuk membuat konsentrasi logam berat Cu sebesar 3 ppm dapat dicari dengan

$$\text{Ppm} = \text{mg/liter}$$

$$\text{Mg} = \text{ppm} \times \text{liter}$$

Konsentrasi diinginkan \times volume aquarium = Cu yg dibutuhkan dalam 1 aquarium

$$3 \text{ ppm} \times 48 \text{ liter} = 144 \text{ mg} = 0,144 \text{ gram logam berat Cu}$$

Lampiran 3. Perhitungan Penurunan Logam Berat Cu Oleh Tanaman Air

- **Tabel Penurunan Logam Berat Cu**

Tanaman Air	r (ulangan)	Tingkat Kerapatan ($/0,24 \text{ m}^2$)			Total
		0	5	10	
Genjer (A)	1	0	1,388	1,759	3,147
	2	0	1,418	1,712	3,130
Subtotal		0	2,806	3,471	6,277
Kangkung (B)	1	0	1,177	1,441	2,618
	2	0	1,174	1,452	2,626
Subtotal		0	2,351	2,893	5,244
Selada Air (C)	1	0	0,860	1,124	1,984
	2	0	0,876	1,137	2,013
Subtotal		0	1,736	2,261	3,997
Total		0	6,893	8,625	15,518

- **Derajat Bebas**

Derajat bebas total (dbt) = (axbxr) = (3 x 3 x 2) = 18

Derajat bebas perlakuan (dbp) = (ab - 1) = 8

Derajat bebas faktor A (dba) = a -1 = 3 - 1 =2

Derajat bebas faktor B (dbb) = a -1 = 3 - 1 =2

Derajat bebas interaksi faktor AB (dba*b) = (a - 1)(b - 1)
 = (3 - 1)*(3 - 1) = 2 x 2 = 4

Derajat bebas galat (dbg) = dbt - dbp = 18 - 8 = 10

- **Faktor koreksi (FK)**

$$FK = \frac{Y_{ij}^2}{abr}$$

$$FK = \frac{15,518^2}{3 \times 3 \times 2}$$

$$FK = \frac{240,808}{18}$$

$$FK = 13,378$$

- **Jumlah Kuadrat (JK)**

- Jumlah Kuadrat Total

$$\begin{aligned} JKT &= \sum(Y_{ijk})^2 - FK \\ &= (0^2 + 1,388^2 + 1,759^2 + \dots + 1,137^2) - 13,378 \\ &= (0 + 1,927 + 3,094 + \dots + 1,293) - 13,378 \\ &= 20,974 - 13,378 \\ &= 7,596 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum(\sum y_j)^2}{r} - FK \\ &= \frac{(0 + 2,806^2 + 3,471^2 + \dots + 2,261^2)}{2} - 13,378 \\ &= \frac{41,944}{2} - 13,378 \\ &= 20,972 - 13,378 \\ &= 7,594 \end{aligned}$$



- Jumlah Kuadrat A (JKA)

$$\begin{aligned}
 \text{JKA} &= \frac{\sum(\sum yi)^2}{rb} - \text{FK} \\
 &= \frac{(6,277^2 + 5,244^2 + 3,997^2)}{2 \times 3} - 13,378 \\
 &= \left(\frac{39,401 + 27,500 + 15,976}{6} \right) - 13,378 \\
 &= \frac{82,876}{6} - 13,378 \\
 &= 13,8127 - 13,378 \\
 &= 0,434
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat B (JKB)

$$\begin{aligned}
 \text{JKB} &= \frac{\sum(\sum yj)^2}{ra} - \text{FK} \\
 &= \frac{(0^2 + 6,893 + 8,625^2)}{2 \times 3} - 13,378 \\
 &= \frac{(0 + 47,513 + 74,391)}{6} - 13,378 \\
 &= \frac{121,904}{6} - 13,378 \\
 &= 20,317 - 13,378 \\
 &= 6,939
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Interaksi A*B (JKA*B)

$$\begin{aligned}
 \text{JKA*B} &= \text{JKP} - \text{JKA} - \text{JKB} \\
 &= 7,594 - 0,434 - 6,939 \\
 &= 0,220
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\
 &= 7,596 - 7,594 \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

- **Kuadrat Tengah (KT)**

- Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned}
 \text{KTP} &= \text{JKP} / \text{dbp} \\
 &= 7,594 / 8 \\
 &= 0,94922
 \end{aligned}$$

- Kuadrat Tengah Faktor A (KTA)

$$\begin{aligned}
 \text{KTA} &= \text{JKA} / \text{dba} \\
 &= 0,434 / 2 \\
 &= 0,21724
 \end{aligned}$$



- Kuadrat Tengah Faktor A (KTB)
 - KTB = JKB / dbb
 - = $6,939 / 2$
 - = $3,46955$
- Kuadrat Tengah Interaksi Faktor AB (KTA*B)
 - KTA*B = $JKA*B / dba*b$
 - = $0,220 / 4$
 - = $0,05504$
- Kuadrat Tengah Galat (KTG)
 - KTG = JKG / dbg
 - = $0,0018 / 10$
 - = $0,00018$

● **Frekuensi Hitung (F-hit)**

F-hit P = $KTP / KTG = 0,94922 / 0,00018 = 5181,31$

F-hit A = $KTA / KTG = 0,21724 / 0,00018 = 1185,79$

F-hit B = $KTB / KTG = 3,46955 / 0,00018 = 18938,6$

F-hit A*B = $KTA*B / KTG = 0,05504 / 0,00018 = 300,429$

● **Tabel ANOVA**

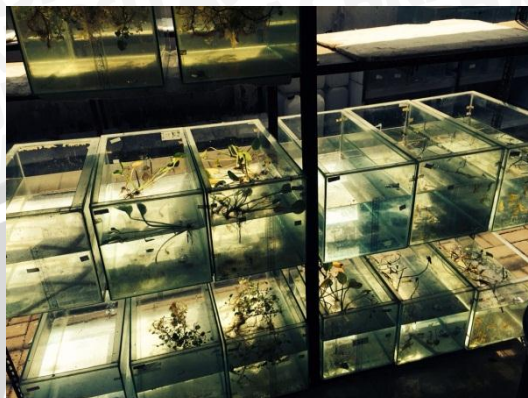
Sumber Keragaman	db	JK	KT	F Hit	F-Tabel	
					5%	1%
P	8	7,594	0,94922	518,31	3,07	4,85
A	2	0,434	0,21724	1185,79	4,10	7,56
B	2	6,939	3,46955	18938,6	4,10	7,56
A*B	4	0,220	0,05504	300,429	3,48	5,99
G	10	0,002	0,00018			
Total	18	7,596				



Lampiran 4. Gambar Penelitian



a. menimbang logam berat



b. aquarium percobaan



c. aquarium kontrol



d. aquarium dengan tanaman genjer



e. aquarium dengan tanaman kangkung



f. aquarium dengan tanaman selada

