TA/TL/2007/0190

PERPUSTAKAAN FTSP UII
HADIAH/BELI
TGL. TERIMA : 21 Juni 2007
NO. JUDUL : 00 24 68
NO. INV. : 5120002468001
NO. INDUK. :

TUGAS AKHIR

TINGKAT PENURUNAN Pb (TIMBAL)LIMBAH CAIR LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UII DENGAN *CONSTRUCTED WETLANDS* MENGGUNAKAN TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Lingkungan

Disusun oleh :

NAMA : Dian Widyanti
NIM : 02 513 004

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2007

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

LEMBAR PENGESAHAN

TINGKAT PENURUNAN Pb (TIMBAL) LIMBAH CAIR LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UII DENGAN *CONSTRUCTED WETLAND* MENGGUNAKAN TANAMAN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)

Nama : **Dian Widyanti**

No Mahasiswa : **02 513 004**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Kasam, MT
Dosen Pembimbing I

Tanggal : 6 - 5 - 2007

Eko Siswoyo, ST.
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 6 - 5 - 2007

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Segala puji bagi Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang pemilik segala ilmu pengetahuan, yang senantiasa memberikan jalan bagi setiap insannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan dan penelitian skripsi yang berjudul **"TINGKAT PENURUNAN Pb (TIMBAL) LIMBAH CAIR LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UII DENGAN *CONSTRUCTED WETLAND* MENGGUNAKAN TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)"** dengan baik dalam jangka waktu yang ditentukan.

Laporan Akhir hasil dari penelitian ini, penulis susun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh Gelar Sarjana di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Atas bimbingan serta bantuan dan penjelasan yang berguna dari berbagai pihak, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya khususnya kepada:

1. Bapak Luqman Hakim, ST, Msi selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan.
2. Bapak Ir. H. Kasam, MT selaku Dosen Pembimbing I.

3. Bapak Eko Siswoyo, ST selaku sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dan selaku Dosen Pembimbing II.
4. Dosen-dosen Teknik Lingkungan lain yang telah membagi banyak ilmu untuk saya.
5. Mas Agus Adi Prananto, selaku staf Jurusan Teknik Lingkungan.
6. Mas Iwan, Amd selaku laboran di laboratorium kualitas lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan.
7. Ibu Rosdiana selaku laboran di Balai Pengujian Konstruksi Dan Lingkungan (BPKL).
8. Bapak dan Ibu tercinta, yang telah memberi do'a, dukungan moril dan materil yang tak terhingga, serta kedua saudaraku Hino'dan mas Yayan-nya 'n Sidi dan Mba Atu'nya yang telah memberikan do'a dan dorongan semangat sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Keponakan-keponakan kecilku Tasya, Rifqy, dan Ridho yang telah memberikan keceriaan dalam hidupku.
10. "Diandy" teman sejati selama ini, terimakasih atas do'a dan segalanya, berharap semua menjadi nyata dan mendapat ridhoNYA, Amin.
11. Ibu dan Ade, semua support dan doanya makasih banget.
12. "Cemara 7" My-a, Mirna, Ria, Reni, Uci, Egi yang udah jadi sahabatku for sharing in bad n' good time Semoga qta bisa tetap bareng terus meskipun kepisah jarak.
13. Eceng Gondok yang telah menyelamatkan Tugas Akhirku

14. Temen-temen angkatan '02 yang udah banyak banget ngebantuin dari awal kuliah sampe kita bisa nyelesain semuanya. (Keep Survive Guys!!!)
15. "Amadea Freaks" walo belum setahun, keceriaan yang kita lewatin bersama pasti bikin aku ga bisa lupa sama kalian.
16. "Wisma Srikandi" makasih sudah jadi keluarga kedua buat aku.
17. Semua teman-teman dari angkatan'99 ampe '06 Teknik Lingkungan.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan balasan kepada semuanya sesuai dengan pengorbanan dan kebaikkannya. Akhirnya penulis sadar bahwa sebagai manusia banyak keterbatasan yang ada pada isi dan penulisan skripsi ini yang jauh dari kesempurnaan.

Sebagai penutup semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca yang berkepentingan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Jogjakarta, April 2007

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

HALAMAN PERSEMBAHAN iii

HALAMAN MOTTO iv

KATA PENGANTAR v

DAFTAR ISI viii

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xv

ABSTRAKSI xvi

ABSTRACT xvii

BAB I PENDAHULUAN .....

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 1

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Masalah 4

5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....

2.1 Sistem *Constructed Wetland* 6

A. Mekanisme Pengolahan 6

B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi proses Pengolahan..... 7

C. Keunggulan Sistem *Constructed Wetland* dari Sistem Konvensional Lainnya..... 8

2.2 Logam Berat..... 10

2.3 Toksisitas Logam Berat pada Tanaman..... 13

2.4 Urutan toksisitas logam berat pada tanaman..... 16

2.5 Timbal (Pb) *Constructed Wetland*..... 17

A. Absorbsi Pb..... 19

B. Toksisitas Pb..... 21

C. Keracunan oleh Logam Pb..... 21

D. Efek Pb dan Sintesa Haemoglobin..... 23

E. Efek Pb Pada Sistem Syaraf..... 25

F. Efek Pb Terhadap Sistem Urinaria..... 26

G. Efek Pb Terhadap Sistem Reproduksi..... 26

H. Efek Pb Terhadap Sistem Endoktrin..... 27

I. Efek Pb Terhadap Sistem Jantung..... 27

J. Interaksi Antara Pb dan Logam Lain..... 28

K. Pb di dalam Air dan Makanan..... 28

2.6 Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) 29

A. Klasifikasi Eceng Gondok..... 30

B. Ciri-ciri Morfologis Eceng Gondok..... 30

C. Ciri-ciri fisiologis Eceng Gondok..... 33

D. Pertumbuhan Eceng Gondok..... 34

E. Manfaan dan Kerugian dari Eceng Gondok..... 36
F. Penyerapan Logam Berat oleh Eceng Gondok..... 37
G. Kemampuan penyerapan logam berat oleh tanaman eceng gondok pada limbah dengan organik tinggi dan organik rendah..... 39 40
2.7 Fitoremediasi..... 42
2.8 Penelitian-penelitian yang Menggunakan Tanaman Air..... 43
2.9 Hipotesis..... 45

BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 46
3.1 Lokasi Penelitian..... 46
3.2 Waktu Penelitian..... 46
3.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian..... 47
3.4 Desain *Constructed Wetland*..... 48
3.5 Parameter Penelitian..... 50
3.6. Metode Pelaksanaan Penelitian..... 51
A. Pengambilan Sampel Awal..... 51
B. Kualitas Air Limbah..... 51
C. Tanaman Eceng Gondok..... 52
D. Desain Sapling..... 52
E. Analisa AAS..... 53
3.7 Metode Analisa Laboratorium..... 54
3.8 Analisa Pertumbuhan Tanaman dan Penurunan Limbah..... 54

3.9 Metode Analisa Data..... 55

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 56

4.1 Konsentrasi Awal Logam Timbal (Pb) dalam Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan..... 56

4.2 Analisa Kondisi Air Limbah Laboratorium kualitas lingkungan Kualitas Lingkungan..... 58

4.3 Analisa Kondisi Fisik Tanaman Eceng Gondok..... 69

4.4 Analisa Parameter Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok..... 72

4.5 Analisa Parameter Timbal (Pb) Tanpa Tanaman Eceng Gondok. 78

4.6 Perbandingan Penurunan Konsentrasi Logam Pb Antara Menggunakan Tanaman Eceng Gondok dan Tanpa Menggunakan Tanaman..... 81

4.7 Analisa Tingkat Penurunan Kandungan Logam Timbal Pada Limbah Dengan Tingkat Penyerapan Tanaman Eceng Gondok.. 84

4.8 Uji Statistik Parameter Timbal (Pb)..... 85

A. Uji Statistik Parameter Pb Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok..... 86

B. Uji Statistik Parameter Pb Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok..... 87

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 90

5.1 Kesimpulan..... 90

5.2 Saran..... 91

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Kriteria Desain Untuk *Constructed Wetland*.....	12
Tabel 3.1	Persamaan Reaktor Awal.....	49
Tabel 3.2	Variasi Konsentrasi Limbah Cair.....	52
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Awal Konsentrasi Timbal (Pb).....	56
Tabel 4.2	Tabel Kondisi Air Limbah Reaktor Kontrol 100 %.....	59
Tabel 4.3	Kondisi Air Limbah Raktor Kontrol 75 %.....	61
Tabel 4.4	Kondisi Air Limbah Reaktor Kontrol 50 %.....	63
Tabel 4.5	Kondisi Air Limbah Reaktor Kontrol 25 %.....	65
Tabel 4.6	Kondisi Air Limbah Reaktor Kontrol 0 %.....	67
Tabel 4.7	Hasil Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok.....	70
Tabel 4.8	Hasil Perubahan Kondisi Tanaman Eceng Gondok.....	70
Tabel 4.9	Pengujian Logam Pb (Timbal) Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok.....	72
Tabel 4.10	Effisiensi Penurunan Logam Pb (Timbal) Dengan Menggunakan Tanaman.....	73
Tabel 4.11	Pengujian Logam Pb (Timbal) Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok.....	78
Tabel 4.12	Effisiensi Penurunan Logam Pb (Timbal) Tanpa Menggunakan Tanaman.....	79
Tabel 4.13	Tingkat Penurunan Kandungan Logam Timbal (Pb) Pada Limbah.....	84

Tabel 4.14 Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Tanaman (Akar dan Daun) Eceng Gondok..... 85

Tabel 4.15 Pengaruh Variasi Konstrasi Air Limbah dan Waktu Terhadap Penurunan Kadar Pb..... 86

Tabel 4.16 Pengaruh Variasi Konstrasi Air Limbah dan Waktu Terhadap Penurunan Kadar Pb..... 88

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Reaktor Sistem *Constructed Wetland*.....	8
Gambar 2.2	*Constructed Wetland* Tipe FWS.....	12
Gambar 2.3	*Constructed Wetland* Tipe SSF.....	13
Gambar 2.4	Eceng Gondok.....	36
Gambar 3.1	Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	47
Gambar 3.2	Reaktor Tampak Atas (Tanpa Skala).....	49
Gambar 3.3	Reaktor Tampak Samping (Tanpa Skala).....	50
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Konsentrasi Pb (mg/L) Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Dengan Menggunakan Tanaman.....	73
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Effisiensi Penurunan Konsentrasi Pb Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Dengan Menggunakan Tanaman.....	74
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Konsentrasi Pb (mg/L) Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Tanpa Menggunakan Tanaman.....	79
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Effisiensi Penurunan Konsentrasi Pb Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Tanpa Menggunakan Tanaman.....	80
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Effisiensi Penurunan Konsentrasi Pb Dengan Tanaman dn Tanpa Tanaman	82

PENURUNAN LOGAM TIMBAL (Pb) PADA LIMBAH LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UII DENGAN CONSTRUCTED WETLANDS MENGGUNAKAN TANAMAN ECENG GONDOK (Eichhornia crassipes)

Kasam [1], Eko Siswoyo [2], Dian Widyanti [3]

INTISARI

Kegiatan praktikum yang dilakukan mahasiswa di Laboratorium ini sebagian besar menggunakan bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan apabila limbah yang dihasilkan tidak diolah terlebih dahulu. Penelitian ini menggunakan sistem constructed wetlands dengan tanaman eceng gondok sebagai media tumbuh bagi mikroorganisme. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas tanaman dalam menurunkan konsentrasi timbal (Pb) yang terdapat pada limbah cair laboratoriu kualitas lingkungan UII.

Penelitian ini menggunakan reaktor yang terbuat dari kayu yang dilapisi dengan plastik sebagai lapisan kedap air dengan ukuran reaktor 0,5m x ,0m.setiap reaktor diberi tanah sebagai media tumbuh eceng gondok dengan ketebalan 5 cm. reaktor diberi limbah dengan konsentrasi limbah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan debit limbah 50 L. dengan waktu sampling 0, 3, 6, 9, dan 12 hari. Analisis konsentrasi logam menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom .

Hasil yang diperoleh dari penelitian penurunan logam Pb pada hari ke-12 yaitu : 1) Reaktor dengan menggunakan eceng gondok, konsentrasi limbah 100 % nilai input 0,2397 mg/L dan output 0,1982 mg/L dengan effisiensi 17,31%, konsentrasi 75% nilai input 0,0769 mg/L dan output 0,0086 mg/L dengan effisiensi 88,86%, konsentrasi 50% input 0,0675 mg/L, konsentrasi 25% input 0,0318 mg/L, konsentrasi 0% input 0,0038 mg/L, output dari konsentrasi 50%,25%,dan 0% sudah tidak dapat terditeksi karena batas minimum pembacaan AAS hanya sampai 0,001 mg/L. 2) Reaktor tanpa menggunakan eceng gondok konsentrasi limbah 100 % nilai output 0,2086 mg/L dengan effisiensi 12,97%, konsentrasi 75% nilai output 0,0137 mg/L dengan effisiensi 82,18%, konsentrasi 50% output 0,0095 mg/L dengan effisiensi 85,93%, konsentrasi 25% dan konsentrasi 0% output sudah tidak dapat terditeksi.

Kata kunci : constructed wetlands, eceng gondok, limbah laboratorium kualitas lingkungan, timbal (Pb).

[1] Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia
[2] Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia
[3] Mahasiswa, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia

DECREASING LEVEL OF PLUMBUM (Pb) FROM LIQUID WASTE IN UII LABORATORY OF ENVIRONMENT QUALITY WITH CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM USING WATER HYACINT (Eichornia crassipes) PLANT

Kasam [1], Eko Siswoyo [2], Dian Widyanti [3]

ABSTRACT

Most of practical works done by the students at the Laboratory that were used dangerous chemical substances will danger the environment if those wastes resulted are not processed first. This research use constructed wetlands system by using water hyacinth as a growing media for microorganism. Purposes of the study was to know plant effectiveness in reducing plumbum concentration in liquid waste laboratory of environment quality in Indonesian Islamic University.

This research is using reactor made from wood that covered with plastic as permeable barrier with dimention reactor is 0,5 m as width and 1 m as length. Each reactor is given land as a growing media for water hyacinth with 5 cm thickness. Wastewater was given to each reactor with concentration 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% with flow 50 L, and sampling time 0, 3, 6, 9, and 12 days. The analysis of plumbum concentration use Spectrophotometry of atomic absorbtion.

The result of decreasing plumbum concentration in 12 days are: 1) Reactor by using water hyacinth, waste concentration on 100% produce input 0,2397 mg/L and output 0.1982 mg/L with 17,31 % efficiencies, 75 % produce 0,0769 mg/L input and 0,0086 mg/L output with 88,86 % efficiencies, 50 % produce 0,0675 mg/L input, 25 % produce 0,0318 mg/L input, 0 % produce 0,0038 mg/L input and the output values of 50 %, 25 % and 0 % aren't able to be detected because the lowest reading of AAS only get till 0,001 mg/L. 2) Reactor without water hyacinth on 100 % waste concentrates produce 0,2086 mg/L output with 12,97 % efficiencies, 75 % produce 0,0137 mg/L output with 82,18% efficiencies, 50 % produce 0,0095 mg/L output with 85,93% efficiencies, 25 % and 0% produce undetectable output.

Keywords : constructed wetland, water hyacinth, liquid waste in uii laboratory of environment quality, plumbum (Pb)

[1] Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia
[2] Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia
[3] Mahasiswa, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia

LEMBAR PENGESAHAN

TINGKAT PENURUNAN Pb (TIMBAL) LIMBAH CAIR LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UII DENGAN *CONSTRUCTED WETLAND* MENGGUNAKAN TANAMAN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)

Nama : **Dian Widyanti**

No Mahasiswa : **02 513 004**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Kasam, MT
Dosen Pembimbing I

Tanggal : 6 - 5 - 2007

Eko Siswoyo, ST.
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 6 - 5 - 2007

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya ini buat :

Bapak dan Ibu tercinta
yang telah mencurahkan biaya, do'a dan kasih
sayangnya
Inba dan mas tersayang
yang selalu memberikan semangat
Anak-anak kecilku
yang selalu memberikan keceriaan
"Kunina"
yang selalu mencrehkan cerita indah

MOTTO

"Sungguh bersama kesukaran pasti ada kemudahan.
Dan bersama kesukaran pasti ada kemudahan.
Karena itu, bila selesai suatu tugas, mulailah tugas lain
dengan sungguh-sungguh.
Hanya kepada Tuhanmu hendaknya kau berharap"

(Q.S. Asy Syarh : 5 - 8)

"Mohonlah pertolongan Allah dengan sabar dan shalat. Hal itu sungguh sangat berat kecuali bagi mereka yang khusyuk"

(QS. Al Baqarah : 45)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium adalah salah satu sarana penunjang kegiatan akademik yang digunakan untuk kegiatan praktikum dan menunjang teori yang telah diberikan pada saat perkuliahan. Untuk lebih meningkatkan kualitas mahasiswanya, kampus Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) khususnya jurusan Teknik Lingkungan memiliki Laboratorium Kualitas Lingkungan. Kegiatan praktikum yang dilakukan mahasiswa di Laboratorium ini sebagian besar menggunakan bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan apabila limbah yang dihasilkan tidak diolah terlebih dahulu.

Constructed Wetland merupakan salah satu alternatif pengolahan air buangan sebelum dibuang kebadan air penerima. Pengolahan limbah dengan *Constructed Wetland* memanfaatkan mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam areal tersebut. Dalam sistem ini terjadi akivitas pengolahan seperti sedimentasi, filtrasi, gas traser, adsobsi, pengolahan kimia dan pegolahan biologis karena akivitas mikrorganisme dalam tanah dan aktivitas tanaman untuk proses fotosintesis, pengoksida dan *plan uptake* (Metcalf & Eddy, 1993). Dalam beberapa hal sistem ini menguntungkan karena biayanya murah, sederhana, dan memiliki kemampuan proses meminimalisasi limbah yang tinggi.

Ada tiga fungsi dasar dari *wetland* yang menjadikan sistem pengolahan limbah cair dari ini sangat potensial, yaitu :

a. Secara fisik mampu menahan atau menangkap kandungan kandungan polutan yang terdapat di permukaan tanah dan senyawa-senyawa organik dalam limbah.
b. Memanfaatkan (*Utilization*) dan sebagai *transformation* dari berbagai macam jenis mikroorganisme.
c. Memerlukan energi dan syarat pemeliharaan yang sangat rendah dan mudah untuk menghasilkan pengolahan yang baik.

Tanaman yang digunakan adalah dari jenis tanaman air dan hasil penelitian menunjukan ada beberapa tanaman air yang mampu menyerap logam berat antara lain eceng gondok, typha, wlingi *(scripus)* dan kayu apuh *(Pistia statiotes L).* Tanaman tersebut banyak dijumpai di daerah Banten dan beberapa tempat diluar Jawa (Anonim,2002).

Pada penelitian ini tanaman air yang digunakan untuk menyerap logam berat adalah eceng gondok *(Eichhornia crassipes).* Eceng gondok merupakan salah satu jenis tumbuhan air yang pertama kali ditemukan oleh Kalrvon Mortius pada tahun 1824 di sungai Amazon, Brazilia karena kecepatan pertumbuhan eceng gondok yang tinggi tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Pemanfaatan eceng gondok untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar relatif murah dan sederhana. Khususnya terhadap limbah domestik dan industri. Eceng gondok memiliki

kemampuan menyerap zat tercemar yang tinggi dari pada jenis tumbuhan lainnya (Falan,2004 dalam Syafi'i, 2007).

Logam berat yang terkandung dalam air limbah dapat diserap oleh eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Air limbah dapat mengandung bahan organik (senyawa-senyawa karbohidrat, protein dan lemak) dan dapat pula mengandung logam-logam berat (seperti Fe, Mg, Pb dan Ni). Pemanfaatan unsur-unsur tersebut bagi tanaman yang dilalui air yang mengandung bahan-bahan itu sebelumnya membutuhkan pemecahan-pemecahan unsur tersebut yang akan menghabiskan unsur penting lainnya, maka sebaiknya air limbah tersebut diolah terlebih dahulu sebelum mencapai pada petak-petak pertanaman, sehingga tidak menjadi biang pencemaran. Genus Eichhornia (dari familia Pontederiaceae) ini mempunyai 5 species dan salah satunya ialah *Eichhornia crassipes* (Bennet,1967 dalam Syafi'i, 2007).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dari limbah laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan tersebut, maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

a. Apakah sistem *constructed wetland* dapat menurunkan konsentrasi Pb (Timbal) pada limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII.
b. Berapakah effisiensi penurunan konsentrasi Pb (Timbal) pada limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII.

c. Dapat digunakan sebagai bahan kajian lebih lanjut apakah hasil *treatment* ini dapat digunakan secara langsung untuk pengaliran tanaman dan industri lain.

1.5 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang telah ditentukan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah :

a. Jenis *reactor wetland* yang digunakan adalah *Free Water Surface* (FWS).
b. Tanaman yang digunakan berupa tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan berat yang sama.
c. Bahan baku limbah berasal dari laboratorium kualitas lingkungan UII.
d. Konsentrasi atau parameter limbah berupa Pb (Timbal) dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.
e. Sistem pengolahan secara *batch* dengan skala laboratorium.
f. Waktu pengujian adalah pada hari ke 0, 3, 6, 9, dan12.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem *Constructed Wetland*

Definisi *wetland* secara umum adalah suatu lingkungan yang berupa tanah jenuh air yang ditumbuhi oleh tanaman air dan pada bagian permukaannya ditumbuhi oleh komunitas hewan (Cowardin dkk, 1979 dalam Siswoyo, 2002). Definisi lain dari *wetland* adalah tanah transisi antara bagian daratan dan sistem perairan dimana keberadaan air merupakan suatu keharusan, atau tanah yang diselimuti atau digenangi dengan air.

Natural treatment wetland ini efektif untuk mengolah air limbah di mana prinsip pengolahan limbah cair dengan *constructed wetland* ini memanfaatkan peranan aktivitas mikroorganisme atau bakteri sebagai *microbial degradation of contaminants* yang terdapat di dalam limbah dan permukaan air atau yang hidup di akar, batang tanaman dan peranan tanaman (*vegatation*) air di area tersebut. Proses pengolahan yang terjadi di dalam *wetland* tersebut berupa sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorbsi atau disebut juga dengan proses pengolahan fisik, untuk pengolahan secara kimiawi dan biologi pada *constructed wetland* terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas dari tanaman yaitu berupa proses fotosintesis.

Constructed wetland merupakan suatu jenis pengolahan yang strukturnya direncanakan. Variabel-variabel yang direncanakan meliputi debit

yang mengalir, beban organiknya tertentu, kedalaman media tanah maupun air serta ada pemeliharaan tanaman selama proses pengolahan.

A. Mekanisme Pengolahan

Pengolahan limbah dengan *Constructed wetland* memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam area tersebut. Adapun air limbah yang akan diolah biasanya mengandung *solid* dan bahan organik dalam jumlah tertentu dengan mekanisme pengolahan sebagaimana berikut :

1. *Solid* (padatan)

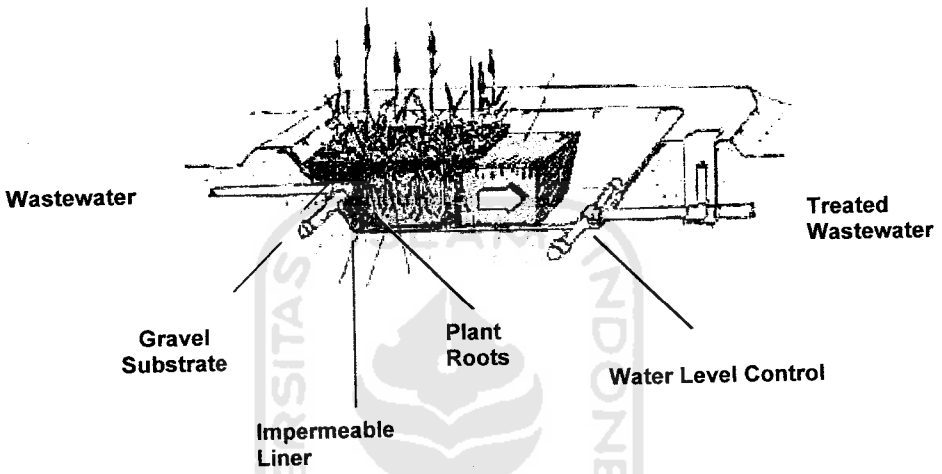
   Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada sistem *Constructed wetland* ini air limbah mengalir melewati partikel-partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup, kedalaman media dan kecepatan tertentu, sehingga akan memberikan kesempatan partikel-partikel *solid* untuk mengendap dan terjadi peristiwa sedimentasi. Proses fisik sedimentasi ini mampu menurunkan konsentrasi *solid* dalam air limbah (Gopal, 1999 dalam Siswoyo, 2002).

2. Bahan Organik

   BOD terlarut dapat dihilangkan karena aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *Construsted wetland.* Proses pengolahan biologis dalam *Constructed wetland* sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa

aktivitas mikroorganisme ini sangat bergantung pada aktivitas akar tanaman dalam sistem *Constructed wetland* untuk mengeluarkan oksigen (Gopal, 1999 dalam Siswoyo, 2002). Mekanisme pengolahan yang terjadi adalah :

Bahan organik + O_2 $\quad$ $CO_2 + H_2O$ ..... (2.1)



Gambar 2.1 Reaktor Sistem *Constructed Wetland*

B. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi proses Pengolahan

Dalam proses pengolahan dengan sistem *Constructed wetland* ada beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu :

1. Tanaman

   Tanaman air merupakan komponen terpenting dari *wetland* dan memberikan dukungan berupa transformasi nutrien melalui proses fisik, kimia dan *microbial.* Tanaman mengurangi kecepatan aliran, meningkatkan waktu detensi dan memudahkan pengendapan dari partikel *suspended.* Mulai dari jenis *duckweed* sampai tanaman berbulu (*reeds,*

cattail) dan alang-alang dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pada sistem *constructed wetland*. Jika menggunakan tanaman *cattail* atau *reeds* akan lebih praktis, karena tanaman ini dapat dibersihkan hanya satu kali dalam setahun (Vymazal, 1998 dalam Siswoyo, 2002).

2. Media Reaktor

   Media yang digunakan pada pengolahan *constructed wetland* terdiri dari : tanah, pasir, dan kerikil. Adapun fungsi dari media tanah pada sistem ini adalah :

   - Sebagai tempat hidup dan tumbuhnya tanaman
   - Sebagai tempat berkembang biaknya mikroorganisme
   - Sebagai tempat terjadinya proses fisik, yaitu proses sedimentasi dalam penurunan konsentrasi *solid* air limbah.

3. Mikroorganisme

   Mikroorganisme yang diharapkan dapat berkembang dalam sistem ini adalah mikroorganisme *heterotropik aerobic*, sebab pengolahan dengan mikroorganisme ini dapat berjalan lebih cepat dibanding secara *anaerobic* (Vymazal,1999 dalam Siswoyo, 2002). Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanam tanaman *cattail*. Dengan jarak yang diatur sedemikian rupa diharapkan tanaman *cattail* akan mampu memberikan transfer oksigen yang cukup bagi kehidupan mikroorganisme yang hidup dalam tanah.

4. Temperatur

Temperatur dari air limbah berpengaruh pada kualitas *effluent* air limbah karena mempengaruhi waktu detensi air limbah dalam reaktor dan aktivitas mikroorganisme dalam pengolahan air limbah. Temperatur yang cocok untuk *constructed wetland* dengan menggunakan tanaman *cattail* adalah 20^0C - 30^0C (Wood,1993 dalam Siswoyo, 2002).

C. Keunggulan Sistem *Constructed Wetland* dari Sistem Pengolahan Konvensional Lainnya

Sistem *constructed wetland* mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sistem pengolahan konvensional yang menggunakan sistem *ponds* atau *lagoon.* Kendala-kendala yang sering ditemui pada sistem *ponds* atau *lagoon* antara lain sebagai berikut :

1. Timbulnya bau dan aroma yang tidak enak.
2. Tempat berkembang biaknya lalat dan insekta lain.
3. Tingkat *removal* pengolahan yang kurang optimal.

Disamping dua sistem diatas pada umumnya pengolahan limbah juga dilakukan dengan sistem *activated sludge* atau *oxidation ditch* dimana kedua sistem tersebut memerlukan perawatan khusus dan biaya yang cukup tinggi.

Kendala-kendala diatas dapat diatasi dengan sistem *constructed wetland* karena sistem ini mempunyai beberapa keunggulan yaitu :

1. Sistem pengolahan yang di dalam tanah, genangan air akan dapat diminimalkan sehingga timbulnya bau dapat dihindari.

2. Tingkat *removal* atau efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.

3. Tidak memerlukan perawatan khusus dalam prosesnya.

4. Sistem pengolahannya mudah dan murah.

Keuntungan pengolahan dengan sistem *constructed wetland* adalah biaya pengolahan dan perawatan lebih murah, mampu mengolah air limbah domestik dan industri dimana kualitas effluent yang dihasilkan terbukti baik dan sistem manajemen dan kontrol yang mudah (Grambel, 1994 dalam siswoyo,2002). Sistem *Constructed wetland* dikonstruksi sedemikian rupa dan diisi dengan batuan, tanah dan zat organik untuk mendukung tumbuhan seperti *reeds*, *cattail*, *eichornia.*

Mempertimbangkan hal-hal di atas tampak bahwa sistem *Constructed wetland* merupakan salah satu alternatif pengolahan air limbah yang sangat potensial untuk diterapkan di Indonesia.

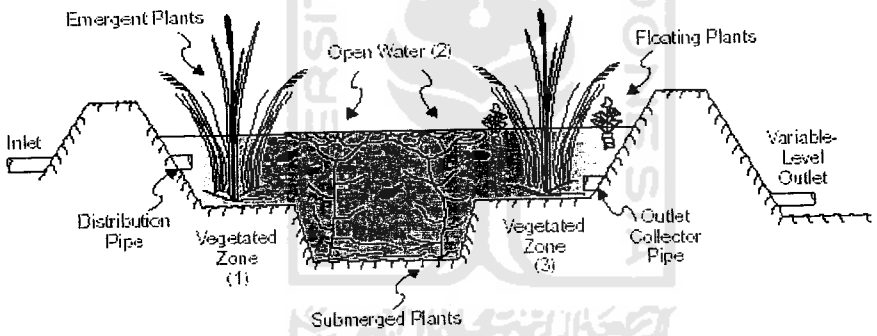
Berdasarkan definisi dari *Enviromental Protection Agency* (EPA) dan *Water Pollution Federation* sistem pengolahan pada *constructed wetland* dikategorikan menjadi dua tipe, yaitu :

a. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

   Sistem ini berbentuk kolam atau saluran yang dilapisi dengan lapisan *impermeable* alami atau lapisan tanah, yang mana kandungan air pada sistem ini dangkal. Lapisan ini berfungsi untuk mencegah terjadinya

perembesan air limbah atau keluarnya air limbah dari kolam atau saluran tersebut. Komposisi utama pada sistem *Free Water Surface* (FWS) adalah tanah sebagai subtract untuk tempat hidupnya tanaman air. Pada sistem ini biasanya tanaman yang digunakan berupa *cattail, reed, seadge,* dan *rush.* Kondisi yang harus diperhatikan dalam sistem ini adalah :

- Kedalaman air relatif dangkal
- *Velocity* atau kecepatan air rendah (*low*)
- Keberadaan batang dan sisa-sisa tanaman yang mempengaruhi aliran
- Lebih efisien digunakan pada saluran atau area yang panjang



Gambar 2.2 *Constructed wetland* tipe FWS

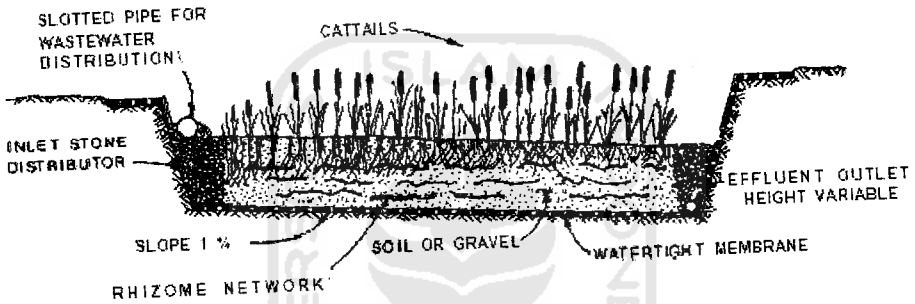
Table 2.1 Kriteria Desain Untuk *Constructed Wetland* Type FWS

Desain	Satuan	Tipe FWS
Waktu tinggal hidrolis	Hari	4 – 15
Kedalaman air	M	0,0914 – 0,609
Laju beban BOD_5	Kg / ha / hr	< 112
Laju beban hidrolis	$M^3/ m^2.hr$	0.01 – 0.05
Luas spesifik	Ha / m^3.d	0,002 – 0.014
Lebar : Panjang	-	1 : 2 - 10

(Dal Cin, 2000 dalam Tania,2006)

b. Sistem *Sub Surface Flows* (SSF)

Sistem *sub surface flows* ini pada dasarnya hampir sama dengan sistem *free water surface* hanya jumlah air pada tanaman ini hampir seluruh tanaman hidup menggenang pada permukaan air. Pada SSF media yang digunakan berupa media berpori, antara lain : kerikil dan pasir kasar. Proses yang terjadi pada sistem SSF ini berupa filtrasi, adsorbsi yang dilakukan oleh mikroorganisme dan adsorbsi terhadap tanah dan bahan organik akibat adanya aktivitas dari akar tanaman.



Gambar 2.3 *Constructed wetland* tipe SSF

2.2 Logam berat

Air sering tercemar oleh komponen-komponen anorganik diantaranya berbagai logam berat yang berbahaya. Beberapa logam tersebut banyak digunakan dalam berbagai keperluan, oleh karena itu diproduksi secara rutin dalam skala industri. Logam-logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan terutama Hg, Pb, As, Cd, dan Cr. Logam-logam tersebut diketahui dapat mengumpul/bersifat akumulatif apabila terus-menerus dalam jangka waktu lama sebagai racun terakumulasi.

Dalam perairan logam-logam dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Yang terlarut adalah ion logam bebas air dan logam yang membentuk

komplek dengan senyawa organik dan anorganik. Tidak terlarut adalah terdiri dari partikel yang berbentuk koloid dan senyawa racun terakumulasi.

Air limbah yang mengandung logam-logam berat seperti Hg, Co, As, Cr baik secara sendiri-sendiri maupun dalam bentuk kombinasi dapat bersifat toksik bagi kehidupan organisme aquatis.

Karakteristik logam berat sebagai berikut (Palar, 1994) :

1. Memiliki spesifikasi gravity yang sangat besar (lebih dari 4).
2. Mempunyai nomor atom 22-24 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktanida.
3. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Besarnya bahwa limbah tersebut bersifat racun terhadap badan penerima, unsur kimia ini bervariasi tingkat bahayanya dari daya pencemarnya. (Bowen, 1966) membagi unsur-unsur kimia tersebut menjadi empat kelas, yaitu :

1. Berdaya pencemar sangat tinggi, seperti : Ag, Cd, Cr, Hg, Cu, Pb, Cn, Fe, Ar, Zn.
2. Berdaya pencemar tinggi, seperti : Ba, Ca, Bi, Mn, P, Ti, U.
3. Berdaya pencemar menengah, seperti : Al, As, Bo, Cl, Co, F, B, Li, Na, dan N.
4. Berdaya pencemar rendah, seperti : Ga, La, Ms, I, Si, Nd, Sr, Ta, Zr.

Niebor dan Richardson menggunakan istilah logam berat untuk menggantikan pengelompokan ion-ion logam kedalam 3 kelompok biologi dan kimia (bio-kimia). Pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut :

a. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan oxsygen- seeking metal.
b. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang (sulfur) atau disebut juga nitrogen/ sulfur seeking metal.
c. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk logam-logam atau ion-ion logam dari kelas A dan logam dari kelas B.

Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Sebagai contoh adalah logam air raksa (Hg), kadmium (Cd), timah hitam (Pb), dan khromium (Cr). Namun demikian, meski semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, sebagian dari logam-logam berat tersebut tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup. Kebutuhan tersebut berada dalam jumlah yang sangat sedikit. Tetapi bila kebutuhan dalam jumlah yang sangat kecil itu tidak terpenuhi, maka dapat berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari setiap makhluk hidup. Karena tingkat kebutuhan sangat dipentingkan maka logam-logam tersebut juga dinamakan sebagai logam-logam atau mineral-mineral esensial tubuh. Ternyata kemudian, bila jumlah dari logam-logam esensial ini masuk kedalam tubuh dalam jumlah berlebihan,maka akan berubah fungsi menjadi zat racun bagi tubuh.Contoh dari logam-logam berat isensial ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn) dan nikel (Ni).

2.3 Toksisitas Logam Berat Pada Tanaman.

Toksisitas adalah kemampuan suatu molekul suatu bahan kimia atau senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian permukaan tubuh atau bagian dalam tubuh yang peka (Elizabeth, MI, 1992 dalam Najichah,2006)

Tanaman yang ditumbuhkan dalam media air atau tanah yang mengandung senyawa toksik akan memberikan respon sensitif dan respon resisten. Logam berat dapat menimbulkan fitotoksisitas dengan cara :

1. menganggu kontak air dengan tanaman sehingga menyebabkan tanaman mengalami gangguan metabolisme.
2. meningkatkan pemeabilitas membranplasma sel akar sehingga akar menjadi lemah dan berkurangnya kemampuan seleksinya.
3. menghambat fotosintesis dan respirasi
4. menurunkan aktivitas enzim metabolic.

Ambang batas tanaman terhadap logam berat berbeda-beda untuk tiap tanaman. Bila ambang batas melampaui maka menyebabkan meningkatnya aktivitas enzim dan protein dalam pembentukan khelat bersifat toksik konsentrasi logam yang melampaui batas maksimum dapat menyebabkab batas reduksi terhadap organ-organ tanaman, ukuran tumbuhan menjadi kerdil, bunga menjadi lebih kecil dari ukuran normal atau bahkan tidak terbentuk, menyebabkan klorosis, efek fatal adalah menimbulkan kematian.

Pada makhluk hidup termasuk manusia logam dan mineral digunakan pada proses biokimiawai dalam membentuk proses fisiologis atau sebaliknya

dapat menyebabkan toksisitas. Proses biokimiawi dalam tubuh mahluk hidup hampir selalu menyebabkan unsur-unsur logam di dalamnya (Darmono, 1995)

Logam dapat menyebabkan keracunan adalah jenis logam berat saja. Logam ini termasuk logam yang essensial seperti Cu, Zn, dan Se dan yang non essensial seperti Hg, Pb, Cd, Cr, dan As. Terjadi keracunan logam paling sering disebabkan pengaruh pencemaran lingkungan oleh logam berat. Toksisitas logam pada mahluk hidup kebanyakan terjadi karena logam berat non essensial saja, walaupun tidak menutup kemungkinan adanya keracunan logam non essensial yang melebihi dosis (Darmono, 1995)

2.4 Urutan toksisitas logam berat pada tanaman

Logam berat bisa di degredasi tetapi sulit karena polutan yang berupa bahan kimia bersifat stabil dan tidak mudah mengalami degradasi sehingga bersifat persisten di alam kurun waktu yang lama. Polutan ini disebut rekalsitran.

Toksisitas timbal terhadap organisme akuatik berkurang dengan meningkatnya kesadahan dan kadar oksegen terlarut. Toksisitas timbal lebih rendah dari pada kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan tembaga (Cu), akan tetapi lebih tinggi dari pada kromium (Cr), mangan (Mn), barium (Ba), *Zinc* (Zn), dan besi (Fe).

Berdasarkan sifat kimia dan fisikanya, maka tingkat atau daya racun logam berat terhadap tanaman air dapat diurutkan (dari tinggi ke rendah) sebagai berikut merkuri (Hg), kadmium (Cd), seng (Zn), timah hitam (Pb), krom

(Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co) (Sutamihardja dkk, 1982). Menurut Darmono (1995) daftar urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkomsumsi ikan adalah sebagai berikut Hg2+ > Cd2+ >Ag2+ > Ni2+ > Pb2+ > As2+ > Cr2+ Sn2+ > Zn2+. Sedangkan. menurut Kementrian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokan ke dalam 3 kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, sedangkan bersifat tosik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

Adanya logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat (PPLH-IPB, 1997;Sutamihardja dkk, 1982) yaitu:

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkomsumsi organisme tersebut
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu

2.5 Timbal (Pb) *Constructed Wetland*

Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dinamakan Plumbum. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik. Timbal mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 (Palar,1994). Penyebaran logam Timbal di bumi sangat sedikit, jumlah timbal yang terdapat di seluruh lapisan bumi hanyalah 0,0002 % dari jumlah kerak bumi. Logam Pb merupakan logam lunak berwarna abu-abu atau putih kebiruan seperti perak, sangat berkilat jika baru dipotong dan jika kena udara akan menjadi kusam.

Timbal dalam bentuk terlarut dilam lingkungan biasanya hadir sebagai Pb^{2+}. Ion plumbun (Pb^{2+}) trihidrolosis sebagian dalam air dengan reaksi :

$Pb^{2+} + H_2O \longrightarrow [Pb(OH)]^+ + H^+$ ..... (Cottom and Wilkinson,1989)

Pada konsentrasi yang rendah, Pb biasanya dalam bentuk $Pb(OH)^-_2$ dan $Pb(OH)^-_3$ juga dalam bentuk $Pb_2(OH)^{3+}_3$ dan $Pb_4(OH)^{4+}_4$. dalam keadaan tidak terlarut, Pb biasanya hadir dalam bentuk PbO, $PbCO_3$ dan $PbSO_4$ (Natusch dan Hopke, 1982).

$3\ Pb + 8\ HNO_3 \rightarrow 3\ Pb^{2+} + 6\ NO_3^- + 2\ NO \uparrow + 4\ H_2O$

Pada asam sulfat encer terbentuk endapan putih, timbal sulfat.

$Pb^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 \downarrow$

Asam sulfat yang panas, pekat dapat melarutkan endapan karena terbentuk timbal hidrogel sulfat : $PbSO_4 \downarrow + H_2SO_4$

Unsur Pb yang masuk ke dalam lingkungan tidak langsung membahayakan kehidupan mahluk hidup, logam tersebut membahayakan metabolisme mahluk jika berada dalam batas melebihi ambangnya. Unsur Pb merupakan unsur logam yang sangat toksit pada tanaman. Unsure Pb dapat dimanfaatkan sebagai pelapis keramik (*glaze*), pelapis pita, kabel, film, batrai, pelapis pipa dan solder. Unsur Pb resistan terhadap bahan korosit, selain itu Pb digunakan sebagai campuran pewarna, dikarenakan Pb mempunyai berbagai warna, dan bersifat sebagai pelindung serta mempunyai nilai kelarutan yang kecil di dalam air (Fardiaz,1992 dalam Khalia,2006).

Logam Timbal (Pb) mempunyai sifat yang khusus, yaitu sebagai berikut :

- ☆ Merupakan logam lunak dan lembut sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau dengan tangan dan dapat dibentuk dengan mudah
- ☆ Merupakan logam yang tahan terhadap peristiwa korosi atau karat,sehingga logam timbal sering digunakan sebagai bahan coating.
- ☆ Mempunyai titik lebur rendah yaitu 327,5 °C
- ☆ Mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam-logam biasa kecuali Emas dan Merkuri
- ☆ Merupakan penghantar listrik yang tidak baik
- ☆ Sifat kimia Pb menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai pelindung jika kontak dengan udara
- ☆ Membentuk alloy dengan logam lain, dan alloy yang terbentuk mempunyai sifat yang berbeda pada Pb murni

A. Absorbsi Pb

Menurut Connel dan Miller (1984) logam yang terdapat di lingkungan akan diserap ke dalam tanaman melalui stomata dan sistem perakaran. Unsur Pb masuk melalui stomata, dimana Pb yang dihasilkan dari proses alam maupun proses industri akan bergabung dengan partikel-partikel udara dan masuk kedalam tanaman pada saat stomata daun tanaman membuka, sedangkan unsur Pb terabsorbsi oleh akar pada saat akan mengabsorbsi air dan unsur hara.

Absorbsi Pb melalui dari penyerapan Pb oleh akar kemudian diendapkan di permukaan akar, Pb secara perlahan akan mengumpul dalam sel yaitu dalam *diktiosoma* (badan golgi). Dari gelembung *diktiosoma* akan bermigrasi ke dinding sel dan akhirnya Pb terakumulasi *plasindema* dinding sel daun. Lebih dari 90 % Pb tersimpan dalam dinding sel daun dan pucuk, hanya sejumlah kecil Pb yang dapat menembus buah dan biji (Erns dan Mans Field, 1976).

B. Toksisitas Pb

Tanaman yang ditumbuhkan dalam media tanah yang mengandung senyawa toksik (logam berat) akan memberikan respon sensitif atau respon resisten. Respon *sensitive* ditandai dengan pertumbuhan tidak normal bahkan kematian.respon resisten ditandai dengan kemampuan tanaman untuk bertahan hidup dan berproduksi.

Logam berat dapat menimbulkan fitotoksitas dengan cara:

- ☆ Mengganggu kontak air dengan tanaman sehingga menyebabkan tanaman mengalami tekanan air (layu)
- ☆ Meningkatkan permeabilitas membrane plasma sel akar sehingga akar menjadi lemah dan berkurang kemampuan seleksinya
- ☆ Menghambat fotosintesis dan respirasi
- ☆ Menurunkan aktivitas enzim metabolic (Carlson et al, 1975)

Menurut Jamil dan Prakash (1993) ambang batas tanaman terhadap logam berat berbeda-beda untuk tiap tanaman, bila ambang batas terlampaui maka menyebaban meningkatnya aktivitas enzim dan protein dalam pembentukan chelat yang bersifat toksik. Konsentrasi Pb yang melampaui batas maksimum menurut Connel dan Miller (1984) dapat menyebabkan reduksi terhadap organ-organ tanaman, ukuran tumbuhan menjadi lebih kerdil, bunga dan buah menjadi lebih kecil dari ukuran normal atau bahkan tidak berbentuk, menyebabkan *klorosis*, efek fatalnya adalah menimbulkan kematian. Logam berat Pb apabila diserap oleh tanaman dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi tidak normal karena mengurangi pengambilan nitrat oleh tanaman dan mempunyai efek penghambatan langsung terhadap kerja enzim asimilasi N. salah satu enzim yang paling penting dalam asimilasi N bagi tanaman adalh enzim *Nitrat Reduktase* (Nr).

C. Keracunan Oleh Logam Pb

Keracunan yang ditimbulkan oleh persenyawaan logam Pb dapat terjadi karena masuknya persenyawaan logam tersebut kedalam tubuh. Proses masuknya Pb kedalam tubuh dapat melalui beberapa jalur, yaitu melalui makanan dan minuman, udara dan perembesan atau penetrasi pada selaput atau lapisan kulit.

Bentuk-bentuk kimia dari senyawa-senyawa Pb, merupakan faktor penting yang mempengaruhi tingkah laku Pb dalam tubuh manusia. Senyawa-senyawa Pb organik relatif lebih mudah untuk untuk diserap tubuh melalui selaput lendir atau melalui lapisan kulit, bila di bandingkan dengan senyawa-senyawa Pb an-organik. Namun hal itu bukan berarti semua senyawa Pb dapat diserap oleh tubuh, melainkan hanya sekitar 5-10% dari jumlah Pb yang masuk melalui makanan dan atau sebesar 30% dari jumlah Pb yang terhirup yang akan diserap oleh tubuh. Dari jumlah yang terserap itu hanya 15% yang pada jaringan tubuh dan sisanya akan turut terbuang bersama bahan sisa metabolisme seperti urine dan feces.

Sebagian besar dari Pb yang terhirup pada saat bernafas akan masuk ke dalam pembuluh darah paru-paru. Tingkat penyerapan itu sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel dari senyawa Pb yang ada dan volume udara yang mampu dihirup pada saat peristiwa bernafas berlangsung. Makin kecil ukuran partikel debu, serta makin besarnya volume udara yang mampu terhirup, maka akan semakin besar pula konsentrasi Pb yang terserap oleh tubuh. Logam Pb yang masuk dalam paru-paru melalui peristiwa pernafasan akan terserap dan

berikatan dengan darah untuk kemudian diedarkan keseluruh jaringan dan organ tubuh. Lebih dari 90% logam Pb yang terserap oleh darah berikatan dengan sel-sel darah merah.

Senyawa Pb yang masuk melalui makanan dan minuman ke dalam tubuh akan diikutkan dalam proses metabolisme tubuh. Namun demikian jumlah Pb yang masuk bersama makanan dan minuman ini masih mungkin ditolerir oleh lambung disebabkan oleh asam lambung (HCl) mempunyai kemampuan untuk menyerap logam Pb. Tetapi walaupun asam lambung mempunyai kemampuan untuk menyerap keberadaan logam Pb ini, pada kenyataannya Pb lebih banyak dikeluarkan melalui tinja.

Pada jaringan atau organ tubuh, logam Pb akan terakumulasi pada tulang karena logam ini dalam bentuk ion Pb^{2-} mampu menggantikan keberadaan dari ion Ca^{2-} (kalsium) yang terdapat dalam jaringan tulang. Di samping itu, pada wanita hamil logam Pb dapat melewati plasenta dan kemudian akan ikut masuk dalam sistem peredaran darah janin dan selanjutnya setelah bayi lahir, Pb akan dikeluarkan bersama air susu.

Meskipun jumlah Pb yang diserap oleh tubuh hanya sedikit. Logam ini ternyata menjadi sangat berbahaya. Hal itu disebabkan oleh senyawa-senyawa Pb dapat memberikan efek racun terhadap banyak fungsi organ yang terdapat dalam tubuh. (Palar,1994)

D. Efek Pb dan sintesa Haemoglobin

Sel-sel darah merah merupakan suatu bentuk kompleks khelat yang dibentuk oleh logam Fe (besi) dengan gugus *haeme* dan *globin*. Sintesa dari kompleks tersebut melibatkan 2 enzim yaitu enzim ALAD atau asamn amino levulinat dehidrase dan enzim Ferrokhelatase. Enzim ALAD akan bereaksi secara aktif pada tahap awal sintesa dan selama sirkulasi sel darah merah berlangsung. Adapun enzim Ferrokhelatase berfungsi aktif pada akhir proses sintesa yaitu mengkatalisasi pembentukan kompleks khelat haemoglobin.

Senyawa Pb yang terdapat dalam tubuh akan mengikat gugus aktif dari enzim ALAD. Ikatan yang terbentuk antara logam Pb dengan gugus ALAD tersebut akan mengakibatkan pembentukan intermediet porphobilinogen dan kelanjutan dari proses reaksi ini tidak dapat berlanjut (terputus).

Keracunan yang terjadi sebagai akibat kontaminasi dari logam Pb dapat menimbulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Meningkatkan kadar ALAD dalam darah dan urine
2. Meningkatkan kadar protoporphirin dalam sel darah merah
3. Memperpendek umur sel darah merah
4. Menurunkan jumlah sel darah merah
5. Menurunkan kadar retikulosit (sel darah merah yang masih muda)
6. Meningkatkan kandungan logam Fe dalam plasma darah

Keracunan yang disebabkan oleh keberadaan logam Pb dalam tubuh mempengaruhi banyak jaringan dan organ tubuh. Setiap bagian organ tubuh yang diserang oleh racun Pb akan memperlihatkan efek yang berbeda-beda.

Anemia - Timbal akan terbawa dalam darah dan lebih dari 95% berikatan dengan eritrosit. Ini menyebabkan mudahnya pecah sel darah merah dan berpengaruh terhadap sintesis Hb sehingga menyebabkan anemia. Anemia ditandai dengan anisositosis, polikromasia, jumlah retikula naik dan jumlah sel darah bernukleus. Ditemukannya basofilik stipling merupakan ciri-ciri khas keracunan Pb ini.

E. Efek Pb pada sistem syaraf

Di antara semua sistem pada organ tubuh, sistem syaraf merupakan sistem yang paling sensitif terhadap daya racun yang dibawa oleh logam Pb. Pengamatan yang dilakukan pada pekerja tambang dan pengolahan logam Pb menunjukkan bahwa pengaruh dari keracunan Pb dapat menimbulkan kerusakan pada otak. Penyakit-penyakit yang berhubungan dengan otak, sebagai akibat dari keracunan Pb adalah epilepsi, halusinasi, kerusakan pada otak besar dan *delirium*, yaitu sejenis penyakit gula.

F. Efek Pb terhadap Sistem Urinaria

Senyawa-senyawa Pb yang terlarut dalam darah akan dibawa oleh darah ke seluruh sistem tubuh. Pada peredarannya, darah akan terus masuk ke Glomerolus yang merupakan bagian dari ginjal. Dalam Glomerolus tersebut terjadi proses pemisahan akhir dari semua bahan yang di bawa oleh darah, apakah masih berguna bagi tubuh atau harus dibuang karena sudah tidak diperlukan lagi. Ikut sertanya senyawa Pb yang terlarut dalam darah ke sistem

urinaria (ginjal) dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada saluran ginjal. Kerusakan yang terjadi disebabkan oleh terbentuknya *intranuclear inclusion bodies* yang disertai dengan membentuk *aminociduria,* yaitu terjadinya kelebihan asam amino dalam urine.

Aminociduria dapat kembali normal setelah selang waktu beberapa minggu, tetapi intranuclear inclusion bodies membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk kembali normal.

G. Efek Pb terhadap Sistem Reproduksi

Percobaan yang diperlakukan terhadap tikus putih jantan dan betina yang diberi perlakuan dengan 1% Pb-asetat ke dalam makanannya menunjukkan hasil berkurangnya kemampuan sistem reproduksi dari hewan tersebut. Embrio yang dihasilkan dari perkawinan yang terjadi antara tikus jantan yang diberi perlakuan Pb-asetat dengan tikus betina normal (tidak diberi perlakuan) mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Sedangkan janin pada tikus betina yang diberi perlakuan Pb-asetat mengalami penurunan dalam ukuran, hambatan pada pertumbuhan dalam rahim induk dan setelah dilahirkan.

H. Efek Pb terhadap Sistem Endokrin

Efek yang dapat ditimbulkan dari keracunan Pb terhadap fungsi sistem endokrin mungkin merupakan yang paling sedikit yang pernah diteliti dibandingkan dengan sistem-sistem lain dari tubuh. Hal ini bisa disebabkan

karena parameter pengujian yang akan dilakukan terhadap sistem endokrin lebih sulit ditentukan dan kurang variatif bila dibandingkan dengan sistem-sistem lainnya.

Pengukuran terhadap steroid dalam urine pada kondisi paparan Pb yang berbeda dapat digunakan untuk melihat hubungan penyerapan Pb oleh sistem endokrin. Dari pengamatan yang dilakukan dengan paparan Pb yang berbeda terjadi pengurangan pengeluaran steroid dan terus mengalami peningkatan dalam posisi minus. Kecepatan pengeluaran aldosteron juga mengalami penurunan selama pengurangan konsumsi garam pada orang yang keracunan Pb dari penyulingan alkohol. Endokrin lain yang diuji pada manusia adalah endokrin tiroid. Fungsi dari tiroid sebagai hormon akan mengalami tekanan bila manusia kekurangan *I 13l.*

I. Efek Pb terhadap Jantung

Organ lain yang dapat diserang oleh racun yang dibawa oleh logam PB adalah jantung. Namun sejauh ini perubahan dalam otot jantung sebagai akibat dari keracunan Pb baru ditemukan pada anak-anak. Perubahan tersebut dapat terlihat dari ketidaknormalan EKG. Tetapi setelah diberikan bahan khelat, EKG akan kembali normal.

J. Interaksi antara Pb dan logam lain

Timbal dalam bentuk anorganik yang biasanya mencemari lingkungan merupakan Pb yang bersifat reaktif dalam berinteraksi dengan logam lain.

c. Apakah limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII akan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pengolahan limbah cair laboratorium teknik lingkungan UII dengan *constructed wetland* ini adalah sebagai berikut :

a. Untuk mengetahui tingkat penurunan konsentrasi Pb (Timbal) yang terdapat dalam limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII dengan *constructed wetland.*
b. Untuk mengetahui tingkat produktifitas tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) pada pengolahan limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari peneltian ini adalah :

a. Memberikan salah satu alternatif pengolahan terhadap limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII.
b. Meminimalisasi terjadinya pencemaran di badan air, akibat limbah laboratorium kualitas lingkungan UII yang dibuang ke sungai secara langsung.

Daya toksisitas dari Pb banyak dipengaruhi oleh hadirnya logam essensial dalam pakan, seperti Fe, Ca, Zn, Se, Cu dan Co. Pada umumnya, defisiensi dari unsur-unsur tersebut dapat menaikkan absorpsi Pb sehingga menjadi keracunan, sedangkan jika berlebihan akan dapat mencegah terjadinya keracunan.

K. Pb di Dalam Air dan Makanan

Timbal dan persenyawaannya dapat berada dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktifitas manusia. Secara alamiah, Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Di samping itu, proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin, juga merupakan salah satu jalur sumber Pb yang akan masuk kedalam badan perairan. Senyawa timbal yang ada di dalam badan perairan dapat ditemukan dalam bentuk ion-ion tetravalent, dimana ion-ion Pb divalen lebih berbahaya dibandingkan ion-ion Pb, sehingga jumlah Pb yang ada dalam badan perairan melebihi konsentrasi yang semestinya dapat mengakibatkan kematian biota perairan (Palar H, 1994).

Dalam air minum juga dapat ditemukan senyawa Pb bila air tersebut disimpan atau dialirkan melalui pipa yang merupakan alloy dari logam Pb. Kontaminan air oleh logam Pb ini pernah melanda daratan Eropa beberapa tahun yang lalu. Hal itu terjadi di sebabkan oleh pipa aliran air minum (pipa PDAM) yang di alirkan ke rumah-rumah mengandung logam Pb. Minuman

keras seperti *Wiskey* juga ditemukan mengandung logam Pb, karena tutup dari minuman tersebut terbuat dari alloy logam Pb yang menjadi kontaminasi minuman.

Selain kontaminasi Pb pada minuman, juga ditemukan kontaminasi Pb pada makanan olahan atau makanan kaleng. Makanan yang telah diasamkan dapat melarutkan Pb dari wadah atau alat-alat pengolahanya. Beberapa studi terbatas juga telah menemukan Pb pada daun tumbuhan.

2.6 Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

A. Klasifikasi Eceng Gondok

Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledoneae
Suku	: Pontederiaceae
Marga	: Eichhornia
Jenis	: Eichhornia crassipes Solms

Orang lebih banyak mengenal tanaman ini tumbuhan pengganggu (gulma) diperairan karena pertumbuhannya yang sangat cepat. Awalnya didatangkan ke Indonesia pada tahun 1894 dari Brazil untuk koleksi Kebun Raya Bogor. Ternyata dengan cepat menyebar ke beberapa perairan di Pulau Jawa. Dalam perkembangannya, tanaman keluarga *Pontederiaceae* ini justru

mendatangkan manfaat lain, yaitu sebagai biofilter cemaran logam berat, sebagai bahan kerajinan, dan campuran pakan ternak.

Eceng Gondok hidup mengapung bebas bila airnya cukup dalam tetapi berakar di dasar kolam atau rawa jika airnya dangkal. Tingginya sekitar 0,4 - 0,8 meter. Tidak mempunyai batang. Daunnya tunggal dan berbentuk oval. Ujung dan pangkalnya meruncing, pangkal tangkai daun menggelembung. Permukaan daunnya licin dan berwarna hijau. Bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopaknya berbentuk tabung. Bijinya berbentuk bulat dan berwarna hitam. Buahnya kotak beruang tiga dan berwarna hijau. Akarnya merupakan akar serabut.

Eceng Gondok dapat hidup mengapung bebas di atas permukaan air dan berakar di dasar kolam atau rawa jika airnya dangkal. Kemampuan tanaman inilah yang banyak di gunakan untuk mengolah air buangan, karena dengan aktivitas tanaman ini mampu mengolah air buangan domestic dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Eceng Gondok dapat menurunkan kadar BOD, partikel suspensi secara biokimiawi (berlangsung agak lambat) dan mapu menyerap logam-logam berat seperti Cr, Pb, Hg, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn dengan baik, kemampuan menyerap logam persatuan berat kering Eceng Gondok lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua (Widyanto dan Suselo,1977).

Adapun bagian-bagian tanaman yang berperan dalam penguraian air limbah adalah sebagai berikut :

- Akar

Bagian akar Eceng Gondok ditumbuhi dengan bulu-bulu akar yang berserabut, berfungsi sebagai pegangan atau jangkar tanaman. Sebagian besar peranan akar untuk menyerap zat-zat yang diperlukan tanaman dari dalam air. Pada ujung akar terdapat kantung akar yang mana di bawah sinar matahari kantung akar ini berwarna merah, susunan akarnya dapat mengumpulkan Lumpur atau partikel–partikal yang terlarut dalam air (Ardiwinata,1950 dalam Afandi,2004).

- Daun

Daun Eceng Gondok tergolong dalam makrofita yang terletak di atas permukaan air, yang di dalamnya terdapat lapisan rongga udara dan berfungsi sebagai alat pengapung tanaman. Zat hijau daun (klorofil) Enceng Gondok terdapat dalam sel epidemis. Dipermukaan atas daun dipenuhi oleh mulut daun (stomata) dan bulu daun. Rongga udara yang terdapat dalam akar, batang, dan daun selain sebagai alat penampungan juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan O_2 dari proses fotosintesis.

Reaksi fotosintesis :

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[Klorofil]{CahayaMatahari} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Oksigen hasil dari fotosintesis ini digunakan untuk respirasi tumbuhan dimalam hari dengan menghasilkan CO_2 yang akan terlepas kedalam air (Pandey,1980 dalam Afandi,2004).

- Tangkai

  Tangkai Eceng Gondok berbentuk bulat menggelembung yang di dalamnya penuh dengan udara yang berperan untuk mengapungkan tanaman di permukaan air. Lapisan terluar petiole adalah lapisan epidermis, kemudian dibagian bawahnya terdapat jaringan tipis sklerenkim dengan bentuk sel yang tebal disebut lapisan parenkim, kemudian didalam jaringan ini terdapat jaringan pengangkut (*Xylem dan Floem*). Rongga-rongga udara dibatasi oleh dinding penyekat berupa selaput tipis berwarna putih (Pandey,1950 dalam Afandi,2004) .

- Bunga

  Eceng Gondok berbunga bertangkai dengan warna mahkota lembayung muda. Berbunga majemuk dengan jumlah 6-35 berbentuk karangan bunga bulir dengan putik tunggal.

B. Ciri – ciri Morfologis Eceng Gondok

Tumbuhan eceng gondok juga memiliki ciri-ciri morfologi yang dapat diterangkan sebagai berikut : eceng gondok merupakan tumbuhan parennial (tumbuhan tahunan) yang hidupnya berada pada perairan terbuka, yang mengapung bila air tempat tumbuhnya cukup dalam, dan berakar didasar bila air dangkal, eceng gondok memilki akar serabut, petiole pada yang dewasa panjang, pada yang muda pendek dan mempunyai gelambung udara. Helaian daun bulat telur pada yang muda , dan berbentuk jantung pada yang dewasa, sedang tulang daun melengkung rapat. (Van Steeniss *et al.*, 1981 dalam Afandi,2004).

Perkembangbiakan dapat terjadi baik secara vegetatif maupun secara generatif, perkembangbiakan secara vegetatif terjadi bila tunas baru tumbuh dari ketiak daun, lalu membesar dan akhirnya menjadi tumbuhan baru.

Setiap 10 tanaman eceng gondok dapat berkembang 600.000 tanaman baru dalam waktu 8 bulan dan juga dari hasil penelitian telah diketahui bahwa pada kondisi yang menguntungkan eceng gondok dapat menggandakan daunnya 7 – 10 (Widyanto, 1981).

Tumbuhan eceng gondok ini merupakan tumbuhan yang dapat mencapai tinggi 40 – 80 cm dengan daun yang licin yang panjangnya 7 – 25 cm. Secara anatomi dapat diterangkan lebih lanjut mengenai ciri-ciri spesifik baik akar, batang maupun daunnya. Akar eceng gondok menyerupai rambut, berjumlah banyak sesuai fungsinya, yakni menyerap zat-zat hara yang terlarut dalam air, batangnya sangat pendek dan tidak mempunyai percabangan, dengan jaringan bunga karang berfungsi sebagai rongga udara. Permukaan daunnya dilapisi oleh zat lilin sebagai pelindung terhadap kemelimpahan air ditempat hidupnya. Ciri-ciri morfologis yang demikianlah yang memungkinkan eceng gondok melangsungkan kehidupannya dengan baik.

C. Ciri-ciri Fisiologis Eceng Gondok

Eceng Gondok memiliki daya adaptasi yang besar terhadap berbagai macam hal yang ada disekelilingnya dan dapat berkembang biak dengan cepat. Eceng Gondok dapat hidup ditanah yang selalu tertutup oleh air yang banyak mengandung makanan. Selain itu daya tahan Eceng Gondok juga dapat hidup

ditanah asam dan tanah yang basah. kemapuan Eceng Gondok untuk melakukan proses-proses sebagai berikut :

- Transpirasi

  Jumlah air yang digunakan dalam proses pertumbuhan hanyalah memerlukan sebagian kecil jumlah air yang diadsorbsi atau sebagian besar dari air yang masuk kedalam tumbuhan dan keluar meninggalkan daun dan batang sebagai uap air. Proses tersebut dinamakan proses transpires, sebagian menyerap melalui batang tetapi kehilangan air umumnya berlangsung melalui daun. Laju hilangnya air dari tumbuhan dipengaruhi oleh kwantitas sinar matahari dan musim penanamnan. Laju teraspirasi akan ditentukan oleh struktur daun Eceng Gondok yang terbuka lebar yang memiliki stomata yang banyak sehingga proses transpirasi akan besar dan beberapa faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, udara, cahaya dan angin (Anonim, 2002).

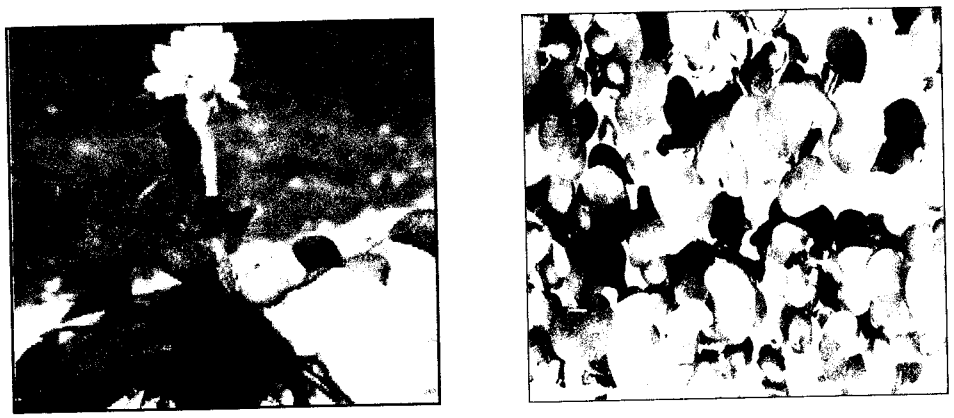
- Fotosintesis

  Fotosintesis adalah sintesa karbohidrat dari karbondioksida dan air oleh klorofil. Menggunakan cahaya sebagai energi dengan oksigen sebagai produk tambahan. Dalam proses fotosintesis ini tanaman membutuhkan CO_2 dan H_2O dan dengan bantuan sinar matahari akan menghasilkan glukosa dan oksigen dan senyawa-senyawa organik lain. Karbondioksida yang digunakan dalam proses ini beasal dari udara dan energi matahari (Sastroutomo, 1991).

- Respirasi

  Sel tumbuhan dan hewan mempergunakan energi untuk membangun dan memelihara protoplasma, membrane plasma dan dinding sel. Energi tersebut dihasilkan melalui pembakaran senyawa-senyawa. Dalam respirasi molekul gula atau glukosa ($C_6H_{12}O_6$) diubah menjadi zat-zat sedarhan yang disertai dengan pelepasan energi (Tjitrosomo, 1983), reaksi kimia adalah :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6H_2O + \text{energi.}$$



Gambar 2.4 Eceng gondok

D. Pertumbuahan eceng gondok

Eceng gondok yang berasal dari Amerika ini memilki pertumbuhan yang sangat cepat. Hal ini dimungkinkan karena sifatnya yang cepat berkembang dan toleran terhadap lingkungan. Di Asia Tenggara umumnya di Indonesia, eceng gondok merupakan gulma air yang jumlahnya paling besar diantara 10 gulma air yang diteliti (Soerjani, 1975).

Pertumbuhan yang cepat pada eceng gondok ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor tersebut antara lain :

- Cara berkembang biak dan penyebarannya.
  Gulma air ini mempunyai sifat pertumbuhan dan regenerasi yang cepat. Tumbuhan ini berkembang biak secara vegetatif yaitu potongan vegetatif yang terbawa air akan dapat berkembang. Eceng gondok mempunyai pertumbuhan 2% - 20% perhari.
- Ketenangan air (fluktuasi air)
  Dalam ombak yang cukup besar tumbuhan ini dapat hidup. Di bendungan yang berfluktuasi kurang lebih hanya 40 cm, banyak sekali tumbuh eceng gondok.

- *Cahaya matahari, pH dan suhu*

  Eceng gondok sangat memerlukan cahaya matahari yang cukup, serta suhu optimum 25^0C – 30^0C. Hal ini dapat dipenuhi dengan baik didaerah beriklim tropis. Disamping itu untuk pertumbuhan yang lebih baik, Eceng Gondok lebih cocok terhadap pH 7,0 – 7,5. jika pH nya lebih atau kurang maka pertumbuhannya terlambat (Dhahiyat, 1974).

- *Ketersediaan nutrien*

  Pada umunyan gulma air tahan terahadap kandungan unsur hara yang tinggi. Sedangkan unsur N dan P sering kali merupakan faktor pembatas. Kebanyakan nutrien N dan P ini terdapat dalam air buangan domestik dan rumah tangga, kotoran manusia dan aliran dari pupuk pertanian. Jika pada perairan kelebihan nutrien, maka akan terjadi proses eutrofikasi, semua ini disebabkan karena adanya sampah-sampah atau kotoran manusia yang selanjutnya akan terendap dan akan mempercepat eutrofikasi (Dhahiyat, 1974).

E. Manfaat dan Kerugian dari Eceng Gondok

Little (1968) dan Lawrence dalam Moenandir (1990), Haider (1991) serta Sukman dan Yakup (1991), menyebutkan bahwa eceng gondok banyak menimbulkan masalah pencemaran sungai dan waduk, tetapi mempunyai manfaat sebagai berikut :

1. Mempunyai sifat biologis sebagai penyaring air yang tercemar oleh berbagai bahan kimia buatan industri.

2. Sebagai bahan penutup tanah dan kompos dalam kegiatan pertanian dan perkebunan.
3. Sebagai sumber gas yang antara lain berupa gas ammonium sulfat, gas hidrogen, nitrogen dan metan yang dapat diperoleh dengan cara fermentasi.
4. Bahan baku pupuk tanaman yang mengandung unsur NPK yang merupakan tiga unsur utama yang dibutuhkan tanaman.
5. Sebagai bahan industri kertas dan papan buatan.
6. Sebagai bahan baku karbon aktif.

Karena kerapatan pertumbuhan eceng gondok yang tinggi, tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya. Pertumbuhan massal eceng gondok akan terjadi bila perairan mengalami penyuburan oleh pencemaran. Keadaan ini akan terjadi bila kemampuan asimilasi zat yang masuk ke perairan mengalami penurunan.

Kondisi merugikan yang timbul sebagai dampak pertumbuhan eceng gondok yang tidak terkendali diantaranya adalah :

1. Meningkatnya evapontraspirasi
2. Menurunnya jumlah cahaya yang masuk kedalam perairan sehingga menyebabkan menurunnya tingkat kelarutan oksigen dalam air
3. Mengganggu lalu lintas air, khususnya bagi masyarakat yang kehidupannya masih tergantung dari sungai seperti di pedalaman Kalimantan dan beberapa daerah lainnya.

F. Penyerapan Logam Berat Oleh Eceng Gondok

Tumbuhan ini mempunyai daya regenerasi yang cepat karena potongan-potongan vegetatifnya yang terbawa arus akan terus berkembang menjadi eceng gondok dewasa. Eceng gondok sangat peka terhadap keadaan yang unsur haranya didalam air kurang mencukupi, tetapi responnya terhadap kadar unsur hara yang tinggi juga besar. Proses regenerasi yang cepat dan toleransinya terhadap lingkungan yang cukup besar, menyebabkan eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai pengendali pencemaran lingkungan. (Soerjani, 1975)

Sel-sel akar tanaman umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari pada medium sekitarnya yang biasanya bermuatan negative. Penyerapan ini melibatkan energi, sebagai konsekuensi dan keberadaannya, kation memperlihatkan adanya kemampuan masuk ke dalam sel secara pasif ke dalam gradient elektrokimia, sedangkan anion harus diangkut secara aktif kedalam sel akar tanaman sesuai dengan keadaan gradient konsentrasi melawan gradient elektrokimia. (Foth, 1991)

Di dalam akar, tanaman biasa melakukan perubahan pH kemudian membentuk suatu zat khelat yang disebut fitosiderofor. Zat inilah yang kemudian mengikat logam kemudian dibawa kedalam sel akar. Agar penyerapan logam meningkat, maka tumbuhan ini membentuk molekul rediktase di membran akar. Sedangkan model tranportasi didalam tubuh tumbuhan adalah logam yang dibawa masuk ke sel akar kemudian ke jaringan pengangkut yaitu xylem dan floem, kebagian tumbuhan lain. Sedangkan

lokalisasi logam pada jaringan bertujuan untuk mencegah keracunan logam terhadap sel, maka tanaman akan melakukan detoksofikasi, misalyna menimbun logam kedalam organ tertentu seperti akar.

Menurut Fitter dan Hay (1991), terdapat dua cara penyerapan ion ke dalam akar tanaman :

1. Aliran massa, ion dalam air bergerak menuju akar gradient potensial yang disebabkan oleh transpirasi.
2. Difusi, gradient konsentrasi dihasilkan oleh pengambilan ion pada permukaan akar.

Dalam pengambilan ada dua hal penting, yaitu pertama , energi metabolik yang diperlukan dalam penyerapan unsur hara sehingga apabila respirasi akan dibatasi maka pengambilan unsur hara sebenarnya sedikit. Dan kedua, proses pengambilan bersifat selektif, tanaman mempunyai kemampuan menyeleksi penyerapan ion tertentu pada kondisi lingkungan yang luas. (Foth, 1991)

G. Kemampuan penyerapan logam berat oleh tanaman eceng gondok pada limbah dengan organik tinggi dan organik rendah.

Bahan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegredasi oleh mikroorganisme, tetapi limbah organik juga mengandung bahan-bahan organik sintesis yang toksik terhadap organisme akuatik misalnya minyak, fenol, pestisida dll, yang tidak mudah membusuk dan sulit untuk didegradasi.

Pada penyerapan logam berat oleh tanaman pada limbah organik tinggi yaitu terjadinya proses penguraian secara besar-besaran oleh mikroorganisme pada air limbah tersebut sehingga tanaman akan lebih dahulu menyerap unsur-unsur yang diuraikan oleh mikroorganisme sebelum menyerap logam berat yang terdapat pada limbah, dengan demikian logam berat yang terserap oleh tanaman tidak terlalu besar karena harus menyerap dahulu unsur-unsur yang dibutuhkan oleh eceng gondok. Hal ini disebabkan karena ion-ion nitrat, fosfat, karbon dan hidrogen termasuk dalam elemen makro, yaitu unsur-unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar (Dwijoseputro, 1992), dan pada penyerapan logam berat oleh tanaman pada limbah organik rendah adalah logam berat dapat diserap oleh tanaman dengan cepat karena pada organik rendah mikroorganismenya hanya sedikit dibandingkan dengan organik tinggi, sehingga unsur-unsur hara yang dibutuhkan oleh eceng gondok dari proses penguraian mikroorganisme tersebut terserap cepat dan logam berat dapat terserap lebih banyak dibandingkan dengan organik tinggi.

Pada proses removal limbah organik tinggi proses penguraian secara besar-besaran oleh mikroorganisme menyebabkan bertambahnya populasi mikroorganisme di dalam air limbah maka tidak menutup kemungkinan ikut berkembangnya bakteri pathogen yang berbahaya.

2.7 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Inggris *Phytoremediation,* kata ini tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata latin

remedium ("menyembuhkan") dalam hal berarti juga "menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kekurangan atau kesalahan".(Anonim,1999).

Dengan demikian *fitoremediasi* dapat didefinisikan sebagai : penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memidahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik. Fitoremediasi dapat dibagi menjadi fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegrasi, fitostabilisasi.

1. Fitoekstraksi

   Ini mencakup penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar, daun atau batang.

2. Fitodegradasi dan atau Fitotransformasi

   Ini merupakan metabolisme kontaminan di dalam jaringan tumbuhan, misalnya oleh enzim dehalogenase dan oksigenase.

3. Rizofiltrasi

   Ini merupakan pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam dari aliran limbah.

4. Fitostabilisasi

   Ini merupakan suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizofer.

5. Fitovolatilisasi.

   Fitovolatilisasi terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun, dapat pula senyawa kontaminan

terlalu jauh dengan kadar logam Pb pada hari ke-7. Menurut Tjitrosoedirjo dan Sastroutomo (1985) bahwa waktu yang relatif bagi eceng gondok dalam menyerap logam berat rata-rata sampai 28 hari, setelah periode penanaman 28 hari kemampuannya berkurang. Pada konsentrasi 3,5 – 4,8 ppm perkembang biakan eceng gondok dapat berjlan dengan cepat. (Yunarsih, 2006).

J.moenandir dan S.Hidayat mengemukakan bahwa eceng gondok dan kangkung air ternyata dapat meningkatkan mutu air yang tercemar oleh air limbah. Tanaman tersebut mampu menyerap logam berat (penyebab pencemaran) yang terlarut dalam media tumbuh, sehingga kandungannya menjadi menurun. Sebuah percobaan rumah kaca yang beliu lakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemmpuan Eceng gondok dalam pengelolaan pencemaran air oleh air limbah pada tahun 1993. air limbah yang digunakan yaitu air limbah tekstil, air limbah obat-obatan, dan air limbah roti. Konsentrasi awal parameter Pb pada limbah tekstil sebesar 0,534 ppm, pada limbah obat-obatan 0,452 ppm, dan pada limbah roti sebesar 0,425 ppm. Setelah dilakukan percobaan selama 49 hari ternyata eceng gondok pada limbah tekstil dapat menyerap 1,749 ppm, pada limbah obat-obatan diserap sebesar 1,748 ppm, dan pada limbah roti sebesar 1,815 ppm.

Tjitrosoedirdjo dan Satroutomo (1985) mengemukakan hasil penelitiannya bahwa Pb pada konsentrasi 10 ppm tidak mempengaruhi pertumbuhan eceng gondok, tetapi Cd pada konsentrasi 10 ppm menghambat pertumbuhan eceng gondok. Lubis dan Sofyan (1986) menyimpulkan logam Cr dapat diserap oleh eceng gondok secara maksimal pada pH 7. Penelitian

Zazam (1990) terdapat kerusakan pada morfologi eceng gondok yang disebabkan oleh Cr, namun pada konsentrasi 5-10 mg/L Cr terlihat sangat jelas. Daya serap eceng gondok juga dilakukan terhadap logam Cd, Co, Ni dan Pb dengan konsentrasi yang bervariasi (0,1-5,0 ppm). Pada penelitian kali ini pola tanam yang digunakan berbeda yaitu dengan menggantikan tanaman yang sudah diletakan didalam pot selama dua hari masa penyerapan dengan tanaman yang baru.

2.9 Hipotesa

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut :

a. *Constructed wetland* dengan menggunakan tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat menurunkan konsentrasi Pb (Timbal)
b. Pemanfaatan tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk penurunan Pb (Timbal) berpengaruh terhadap tingkat pertumbuhan tanaman.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
PERPUSTAKAAN
YOGYAKARTA

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

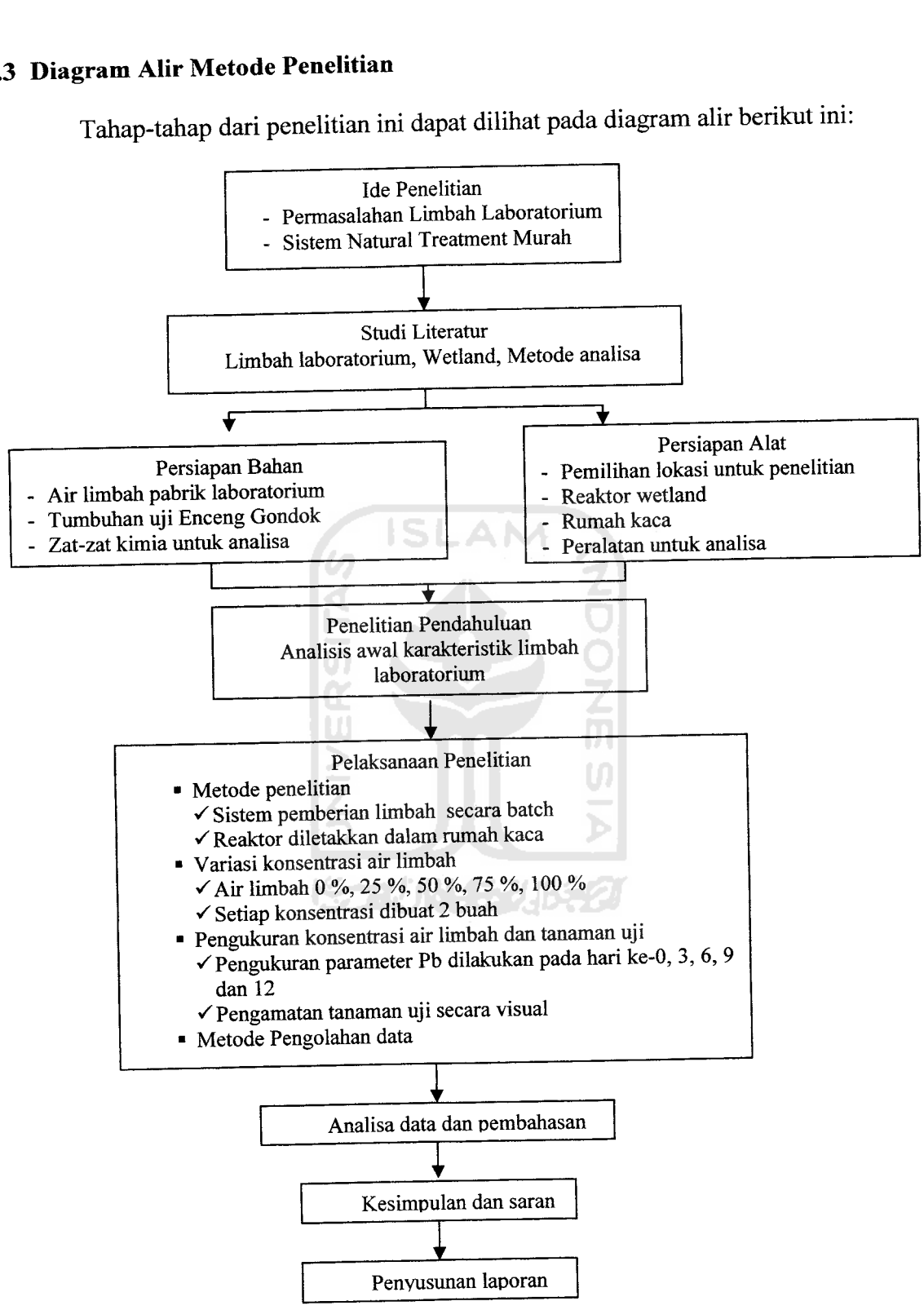
- Lokasi penelitian dilaksanakan pada laboratorium kualitas lingkungan dan penelitian dilakukan di halaman belakang FTSP, UII, Sleman, Jogjakarta.
- Lokasi pengambilan air limbah dari drum pengumpul limbah laboratorium kualitas lingkungan yang berasal dari aktivitas praktikum kualitas lingkungan, FTSP, UII, Sleman, Jogjakarta.
- Lokasi analisis parameter Pb dilakukan di Balai Pengujian Konstruksi dan Lingkungan (BPKL), Sleman Jogjakarta

3.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama 6 bulan yang terdiri dari tahap persiapan penelitian, desilasi tanaman eceng gondok, pembuatan reaktor, penanaman eceng gondok dalam reaktor, pengambilan sampel air limbah pada tiap-tiap reaktor, pemeriksaan di laboratorium, analisa data dan penyusunan laporan.

3.3 Diagram Alir Metode Penelitian

Tahap-tahap dari penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.4 Desain Constructed Wetland

Pembutan reactor *batch Constructed Wetland* yang digunakan dalam penelitian antara lain :

a. Tanaman dalam reaktor

Tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). Media tanaman yang digunakan adalah tanah, tinggi tanah masing-masing 5 cm untuk tiap reaktor. Tanaman Eceng Gondok yang telah ditanam diberi air setinggi 10 cm dari permukaan tanah, dimana air tersebut merupakan pencampuran antara air dengan limbah. Penelitian ini dilakukan di dalam rumah tanaman.

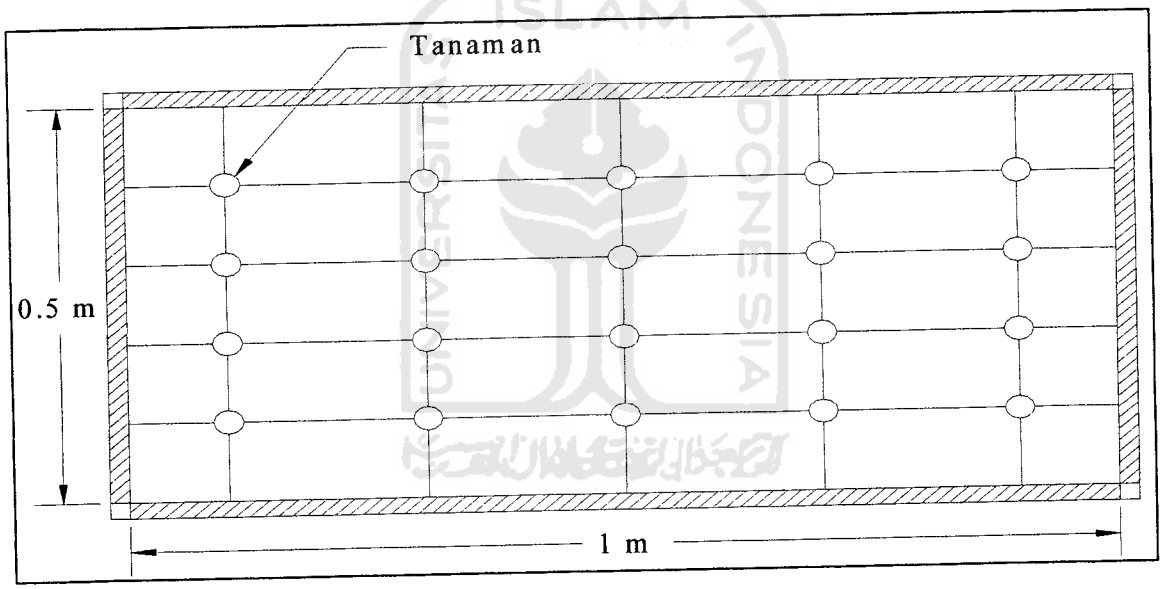
b. Dimensi Reaktor

Reaktor terbuat dari kayu dan dilapisi plastik sebagai lapisan kedap air. Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 10 buah reaktor. Tiap reaktor akan diberi perlakuan konsentrasi limbah yang berbeda. Reaktor diatas terbagi atas reaktor kontrol, dimana reaktor ini diberi limbah namun tidak ditanami tanaman Eceng Gondok dan reaktor uji yang mana reaktor diberi limbah dan ditanami Eceng Gondok.

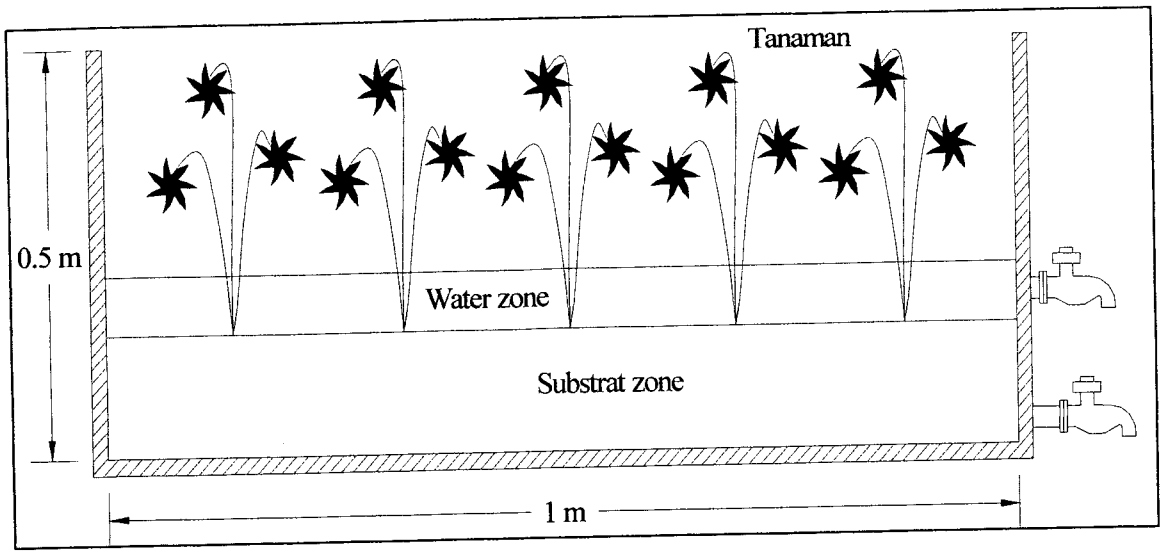
Adapun perhitungan dimensi reaktor *batch constructed wetland* adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1. Persamaan Reaktor Awal

Dimensi	Simbol	Hasil Perhitungan	Satuan	Persamaan yang digunakan	Keterangan
Waktu detensi	Td	12	hari		
Luas	A	P = 1 L = 0.5	m	$A = \frac{volume}{H_{air}}$	



Gambar 3.2 Reaktor Tampak Atas (tanpa skala)



Gambar 3.3 Reaktor Tampak Samping (tanpa skala)

3.5 Parameter Penelitian

Penelitian ini dilakukan analisa pengukuran dan pengujian parameter Pb (timbal) pada limbah Laboratorium Kualitas Lingkungan UII berdasarkan tingkat konsentrasi dan variasi waktu penelitian. Parameter Pb diuji karena belum adanya pengolahan pada limbah cair kualitas lingkungan dan pada pengujian awal limbah tersebut kadar Pb yang diperoleh sebesar 0,789 mg/L sedangkan ambang batas yang diperbolehkan hanya 0,003 mg/L berdasarkan PP No.82 Tahun 2001 oleh karena itu harus ada pengolahan konsentrasi Pb terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Konsentrasi Pb dihasilkan dari aktivitas praktikum Teknik Lingkungan dan juga penelitian-penelitian yang dilakukan mahasiswa maupun pihak lain khususnya yang menggunakan logam Pb.

3.6 Metode Pelaksanaan Penelitian

A. Pengambilan Sampel Awal

Sampel diambil dari laboratorium kualitas lingkungan. Pada setiap kegiatan praktikum, maka limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan tersebut akan ditampung di dalam drum-drum yang telah disediakan. Setelah debit air yang dibutuhkan telah cukup maka air limbah tersebut dimasukan ke dalam reaktor dengan konsentrasi yang telah ditetapkan.

B. Kualitas air limbah

Penelitian ini dilakukan dengan proses pengaliran *batch,* dengan variasi konsentrasi limbah cair laboratorium kualitas lingkungan, yang akan dijadikan obyek penelitian dan analisa adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% tanpa tanaman yang digunakan sebagai kontrol analisa dan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% ditanami tanaman Eceng Gondok. Variasi konsentrasi air limbah dilakukan dengan pengenceran yang menggunakan air sumur. Pengaliran limbah cair pada reaktor dilakukan selama 12 hari, kemudian dilakukan analisa laboratorium kualitas air pada variasi waktu ke-0, 3, 6, 9, dan 12 hari cuplikan limbah dari outlet reaktor. Adapun variasi limbah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2. Variasi Konsentrasi Limbah Cair

No	Konsentrasi Limbah Tanpa Tanaman (%)	Konsentrasi Limbah Dengan Tanaman (%)	Volume Limbah (Liter)	Volume Pengencer (Liter)
1	100	100	100	0
2	75	75	75	25
3	50	50	50	50
4	25	25	25	75
5	0	0	0	100

C. Tanaman Eceng Gondok

Tanaman Eceng Gondok diperoleh di daerah Maguwo Sleman, yang kemudian dicuci dan ditanam dengan air sumur sebelum diuji pada reaktor. Ketentuan jarak tanaman air tidak ditentukan, dan yang terpenting permukaan air tidak tertutup seluruhnya dengan tanaman.

D. Desain Sampling

Pengambilan sampel dilaksanakan pada hari ke 0, 3, 6, 9, dan 12. pengambilan sampling pada hari ke nol dilakukan pada saat sampel akan dimasukkan dalam reaktor. Sedang pada hari ke 3, 6, 9, dan 12 sampel diambil pada outlet reaktor. Lokasi pengambilan sampel sama pada 10 buah reaktor, kemudian sampel dianalisa di laboratorium.

E. Analisa AAS

Penentuan kandungan logam Pb dilakukan dengan menggunaan seperangkat alat spektrofotometer serapan atom model AA-782 Nippon Jarel Ash. Adsorbansi logam Pb diukur dengan menggunakan metode nyala (flame) pada kondisi optimum. Standarisasi alat AAS digunakan larutan blangko dan dapat dibuat deret larutan standar, dimana dari deret larutan standar ini akan diperoleh kurva baku atau kurva standar linear yang dibuat berdasarkan adsorbansi dari larutan spektrosol untuk logam Pb dengan konsentrasi yang telah diketahui (perhitungan di lampiran 1). Perhitungan konsentrasi hasil pengukuran (C regresi) dengan metode standar kalibrasi dilakukan dengan cara memasukan harga serapan sampel Y, sehingga :

$Y = b.x$, maka $x = \frac{Y}{b}$

kadar unsur dalam sampel dihitung dengan persamaan :

$$x = \frac{C_{regresi.} V.P}{g}$$

dengan :

x = kadar unsur (mg/ml)
C regresi = konsentrasi unsur yang diperoleh dari kurva kalibrasi standar
V = volume larutan sampel (ml)
P = faktor pengenceran
G = sarat sampel

3.7 Metode Analisa Laboratorium

Pengujian sampel limbah diuji di Balai Pengujian Konstruksi Dan Lingkungan (BPKL). Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap analisa kualitas air limbah di laboratorium dengan pengukuran parameter-parameter yang diuji. Tahap-tahap dalam analisa laboratorium yaitu :

1. Analisa awal, dilakukan pada saat pengambilan limbah laboratorium kualitas lingkungan, sebagai data awal konsentrasi limbah (data sekunder).
2. Analisa terhadap variasi waktu, dilakukan sebanyak 5 kali pengambilan sample yaitu pada hari ke 0, 3, 6, 9, dan 12 yang diambil dari outlet reaktor *Constructed Wetland* dan setiap sample dilakukan dua kali pengujian laboratorium.

3.8 Analisa Pertumbuhan Tanaman dan Penurunan Limbah

Pada tanaman dan air limbah laboratorium juga dilakukan pengamatan, pengamatan dilakukan secara visual. Terhadap tanaman uji pengamatan meliputi tingkat pertumbuhan (panjang daun, lebar daun, dan panjang akar) dan daya tahan terhadap air limbah, sedangkan untuk pengamatan pada air limbah meliputi kondisi air, warna air, bau air pH air. Hasil pengamatan ini hanya sebagai data pendukung, sedangkan pengamatan sesungguhnya adalah pengamatan terhadap tingkat penurunan timbal pada air limbah laboratorium.

3.9 Metode Analisa Data

Untuk mengetahui tingkat penurunan timbal pada air limbah laboratorium yang sedang diteliti, maka dilakukan analisa data yang diperoleh dari hasil pengamatan, baik data utama (penurunan konsentrasi) maupun data pendukung (Kondisi air limbah dah kondisi tanaman uji).

Data-data tersebut diolah dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ menggunakan software SPSS 11.5 yang diawali dengan Between – Subject Factors dengan tujuan untuk melihat jumlah data antara 2 faktor. Untuk Test of Between – SubjectEffects digunakan hipotesisis :

i. H_0 = tidak ada pengaruh waktu detensi / variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

ii. H_1= ada pengaruh waktu detensi / variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- Sig < α , maka Ho ditolak
- Sig > α , maka Ho diterima

BAB IV

HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat konsentrasi timbal (Pb) yang terdapat dalam limbah cair laboratorium kualitas lingkungan dengan menggunakan sistem *constructed wetland.* Dapat diketahui bahwa limbah cair laboratorium kualitas lingkungan sangat banyak mengandung bahan-bahan kimia yang sangat berbahaya sehingga apabila limbah tersebut langsung dibuang ke badan air maka akan mengganggu ekosistem yang ada di sekitarnya. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan agar dapat mengetahui apakah sistem ini dapat menurunkan kadar logam dengan konsentrasi yang tinggi menjadi lebih rendah.

4.1 Konsentrasi Awal Logam Timbal (Pb) dalam Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan

Hasil pengujian awal terhadap logam Pb pada limbah cair laboratorium kualitas lingkungan kualitas lingkungan yang berasal dari proses aktifitas praktikum dengan menggunakan bahan-bahan kimia yang berbahaya. Konsentrasi awal dari logam Pb dalam limbah cair laboratorium kualitas lingkungan kualitas lingkungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Awal Konsentrasi Timbal (Pb)

No	Parameter	Konsentrasi (mg/L)	Metode
1	Timbal	0,789	AAS

Dari hasil penelitian tersebut menunjukan bahwa konsentrasi logam Pb yang dapat dibuang ke badan air melebihi ambang batas yang seharusnya hanya 0,003 mg/L berdasarkan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001.

Dalam penelitian ini Eceng Gondok ditanam pada media tanam berupa limbah cair laboratorium kualitas lingkungan. Pada pelaksanaanya percobaan dilakukan sebanyak tiga kali, ini dilakukan karena percobaan pertama dan kedua mengalami kegagalan. Hasil penelitian pertama menunjukan bahwa konsentrasi timbal limbah laboratorium kualitas lingkungan sebesar 0,789 mg/L dengan pH 2. Pada hari ke-1 eceng gondok dimasukan ke dalam reaktor yang berisi limbah, eceng gondok sudah mulai layu dan akhirnya mati pada hari ke-3 maka penelitian ini dinyatakan gagal karena dari waktu detensi yang telah ditetapkan penelitihan ini hanya dapat bertahan 3 hari saja. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain yaitu tanaman eceng gondok yang dipergunakan pada penelitian ini masih relatif muda sehingga tidak bisa beradaptasi dengan baik. faktor yang kedua yaitu adanya pH yang terlalu asam sehingga mengakibatkan tanaman menjadi mati. Disamping itu untuk pertumbuhan yang lebih baik, eceng gondok lebih cocok terhadap pH 7,0 – 7,5. jika pH nya lebih atau kurang maka pertumbuhannya terlambat (Dhahiyat, 1974).

4.2 Analisa Kondisi Air Limbah Laboratorium kualitas lingkungan Kualitas Lingkungan

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan visual terhadap kondisi air limbah, hal ini dilakukan bertujuan agar terlihat perubahan-perubahan yang terjadi setiap harinya terhadap kondisi air limbah. Pengamatan pada air limbah meliputi kondisi air, warna air, bau air, dan pH air. Hasil pengamatan ini hanya sebagai data pendukung, sedangkan pengamatan sesungguhnya adalah pengamatan terhadap tingkat penurunan timbal pada air limbah laboratorium kualitas lingkungan. Hasil pengamatan pada kondisi air limbah dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.2 Tabel Kondisi Air Limbah Reaktor Kontrol 100 %

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
100%	**Kondisi Air**	**Bau Air**	**Warna Air**	**pH**
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	Coklat tua	7,5
Hari ke-1	Terjadi pembusukan	Berbau	Coklat tua	7,5
Hari ke-2	Terjadi pembusukan	Berbau	Coklat tua	7,5
Hari ke-3	Terjadi pembusukan, air berlemak banyak	Berbau	Coklat tua kekuningan	7,5
Hari ke-4	Terjadi pembusukan, air berlemak banyak	Berbau	Coklat tua kekuningan	7,5
Hari ke-5	Terjadi pembusukan, air berlemak banyak, mulai tumbuh jentik	Berbau	Coklat tua kekuningan	7,5
Hari ke-6	Terjadi pembusukan, air berlemak, tumbuh jentik	Berbau	Kuning kecoklatan	8
Hari ke-7	Terjadi pembusukan, air berlemak banyak, jentik semakin banyak	Berbau	Kuning kecoklatan	8
Hari ke-8	Terjadi pembusukan, air berlemak banyak, jentik semakin banyak	Berbau	Kuning kecoklatan	8
Hari ke-9	Terjadi pembusukan, lemak pada air agak berkurang, jentik semakin banyak	Berbau	Kuning kecoklatan	8
Hari ke-10	Terjadi pembusukan, lemak pada air semakin berkurang, jentik semakin banyak	Berbau	Kuning muda	8
Hari ke-11	Terjadi pembusukan, lemak pada air hilang, jentik sangat banyak	Berbau	Kuning muda	8
Hari ke-12	Terjadi pembusukan, jentik sangat banyak	Berbau	Kuning muda	8

Dari hasil pengamatan tabel di atas dapat dilihat bahwa pada hari ke-0 kondisi limbah masih normal, tidak berbau, berwarna coklat tua dengan pH 7,5. pada hari ke-1 dan ke-2 terjadi pembusukan pada air limbah, air mulai berbau tetapi warna dan pH air tidak berubah, tetapi pada hari ke-3 dan ke-4 terjadi perubahan pada kondisi air ditandai dengan munculnya banyak lemak di atas permukaan air dan warna air berubah menjadi coklat tua kekuningan, sedangkan pada hari ke-5 mulai tumbuh jentik di dalam air limbah. Pada hari ke-6 mulai terjadi perubahan yang signifikan, ditandai dengan warna air berubah menjadi kuning kecoklatan dan pH 8 dengan kondisi air masih berlemak dan dipenuhi jentik. Semakin hari jentik semakin banyak, namun pada hari ke-9 lemak mulai agak berkurang tetapi tetap berbau dan berwarna kuning kecoklatan dengan pH 8. hari ke-10 lemak pada air semakin berkurang namun jentik semakin banyak dan warna berubah menjadi kuning muda. Memasuki 2 hari terakhir lemak pada air hilang, tetapi jentik menjadi semakin banyak. Air tetap berbau dengan warna kuning muda dan pH 8.

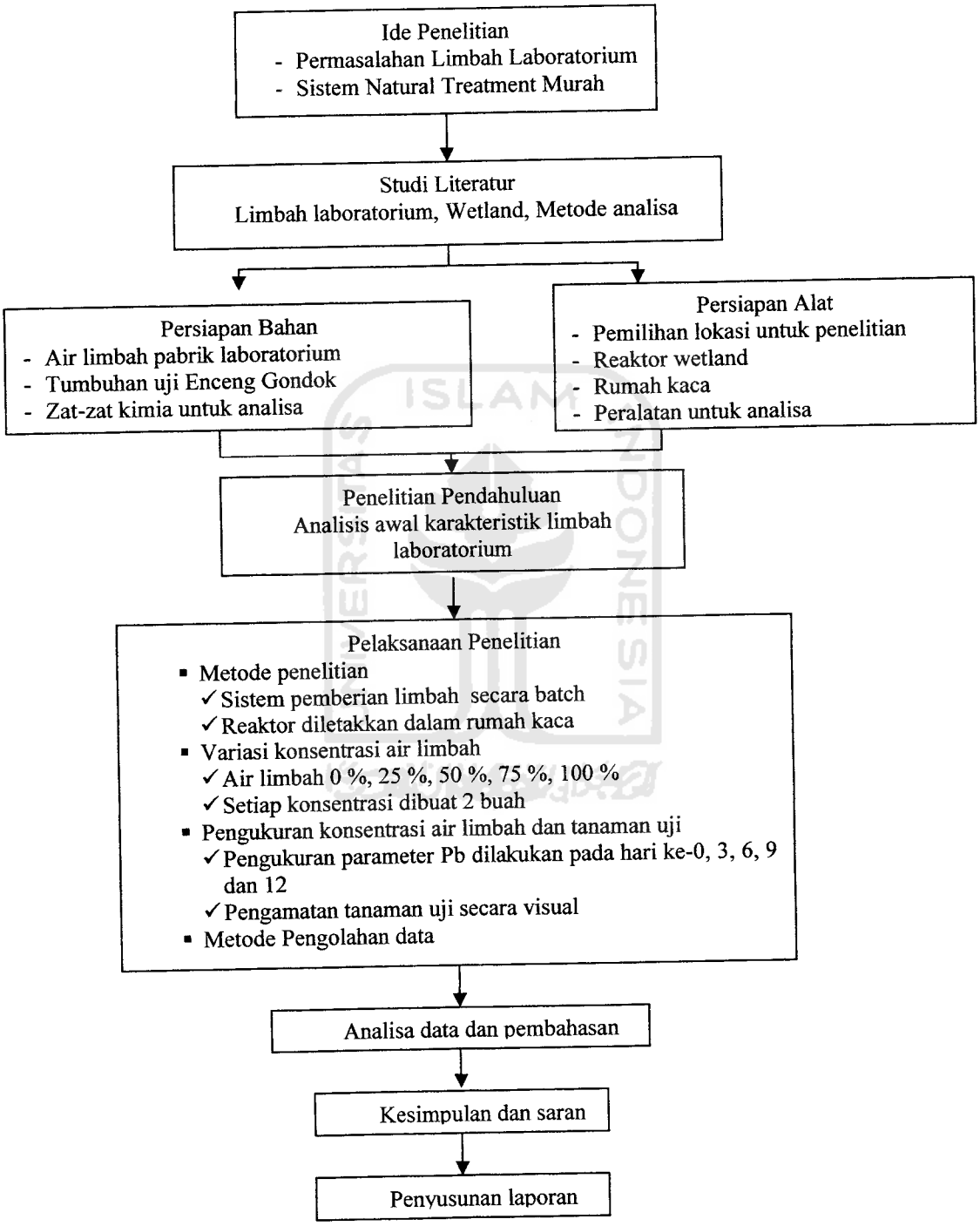
Pengamatan ini juga dilakukan untuk reaktor dengan konsentrasi limbah 75 %. Berikut ini tabel kondisi air limbah pada reaktor 75 % :

Tabel 4.3 Kondisi Air Limbah Raktor Kontrol 75 %

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
75 %	**Kondisi Air**	**Bau Air**	**Warna Air**	**pH**
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	Coklat muda	7
Hari ke-1	Terjadi pembusukan	Berbau	Coklat muda	7
Hari ke-2	Terjadi pembusukan	Berbau	Coklat muda	7
Hari ke-3	Terjadi pembusukan,Air berlemak sedang	Berbau	Coklat kekuningan	7
Hari ke-4	Terjadi pembusukan, Air berlemak sedang	Berbau	Coklat kekuningan	7,5
Hari ke-5	Terjadi pembusukan, Mulai tumbuh jentik	Berbau	Kuning muda	7,5
Hari ke-6	Terjadi pembusukan, Tumbuh jentik	Berbau	Kuning terang	8
Hari ke-7	Terjadi pembusukan, Jentik semakin banyak	Berbau	Kuning terang	8
Hari ke-8	Terjadi pembusukan Air berlemak banyak	Berbau	Kuning terang	8
Hari ke-9	Terjadi pembusukan, lemak pada air berkurang,jentik semakin banyak	Berbau	Kuning kecoklatan	8
Hari ke-10	Terjadi pembusukan	Berbau	Kuning kecoklatan	8
Hari ke-11	Terjadi pembusukan	Berbau	Kuning kecoklatan	8
Hari ke-12	Terjadi pembusukan	Berbau	Kuning kecoklatan	8

3.3 Diagram Alir Metode Penelitian

Tahap-tahap dari penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Melihat dari tabel di atas, pada hari ke-0 kondisi air masih normal, air tidak berbau,berwana coklat muda dengan pH 7. pada hari ke-1 dan ke-2 terjadi pembusukan dan mulai berbau. Lemak mulai timbul di permukaan air dengan warna air menjadi coklat kekuningan pada hari ke-3. hari ke-4 kondisi dan warna air masih sama hnya nilai pH menjadi 7,5. Perubahan semakin terlihat pada hari ke-5 dengan mulai tumbuhnya jentik-jentik dan warna air menjadi kuning muda. Pada hari ke-6 sampai ke-8 pertumbuhan jentik semakin pesat, masih ada lemak pada air, dan air berwarna kuning terang dengan pH 8. Selanjutnya pada hari ke-9 sampai ke-12 warna air menjadi kuning kecoklatan dengan pH 8, tetapi lemak semakin berkurang dan menghilang pada hari ke-11.

Berikut ini tabel kondisi air pada reaktor 50 % :

Tabel 4.4 Kondisi Air Limbah Reaktor Kontrol 50 %

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
50 %	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air	pH
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	Coklat	7
Hari ke-1	Terjadi pembusukan	Berbau	Coklat	7
Hari ke-2	Terjadi pembusukan	Berbau	Coklat	7
Hari ke-3	Terjadi pembusukan, air agak berlemak	Berbau	Kuning kecoklatan	7
Hari ke-4	Terjadi pembusukan, air agak berlemak	Berbau	Kuning kecoklatan	7
Hari ke-5	Terjadi pembusukan, mulai tumbuh jentik, air agak berlemak	Berbau	Kuning agak bening	7
Hari ke-6	Terjadi pembusukan, tumbuh jentik sedikit, air agak berlamak	Berbau	Kuning bening	8
Hari ke-7	Terjadi pembusukan, jentik semakin banyak, lemak pada air agak berkurang	Berbau	Kuning bening	8
Hari ke-8	Terjadi pembusukan, lemak pada air hanya sedikit, pada air terdapat banyak jentik	Berbau	Kuning bening	8
Hari ke-9	Terjadi pembusukan, lemak pada air hilang,jentik semakin banyak	Berbau	Coklat muda kekuningan	8
Hari ke-10	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Coklat muda kekuningan	8
Hari ke-11	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Jernih kekuningan	8
Hari ke-12	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Jernih kekuningan	8

Pada tabel kondisi air limbah reaktor 50 %, dapat dilihat pada hari-0 kondisi air normal, tidak berbau, berwarna coklat dengan pH 7. Pada hari ke-1 dan ke-2 tidak begitu terlihat banyak perubahan, hanya air limbah sudah mulai terjadi pembusukan dan mulai berbau. Perubahan terlihat pada hari ke-3 ditandai dengan perubahan warna menjadi kuning kecoklatan dan air mulai berlemak, lemak pada reaktor 50 % ini tidak begitu banyak dibandingkan dengan lemak pada reaktor 100 % dan 75 %. Dan pada hari ke-5 jentik mulai tumbuh dan semakin meningkat sampai hari ke-12, warna pun berubah menjadi kuning tetapi agak bening dengan pH tetap 7. hari ke-6 air berwarna kuning bening dengan pH 8, pH air tidak terjadi perubahan sampai hari ke-12. Lemak pada permukaan air hilang pada hari ke-9 dan warna menjadi coklat muda kekuningan. Sampai pada hari ke-12 warna air menjadi jernih kekuningan.

Selanjutnya akan dibahas mengenai kondisi air pada reaktor 25 %. Berikut ini tabel kondisi air pada reaktor 25 %:

Tabel 4.5 Kondisi Air Limbah Reaktor Kontrol 25 %

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
25 %	**Kondisi Air**	**Bau Air**	**Warna Air**	**pH**
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	Coklat kekuningan	7
Hari ke-1	Terjadi pembusukan	Berbau	Coklat kekuningan	7
Hari ke-2	Terjadi pembusukan	Berbau	Coklat muda kekuningan	7
Hari ke-3	Terjadi pembusukan, air sedikit berlemak	Berbau	Kuning	7
Hari ke-4	Terjadi pembusukan, air sedikit berlemak	Berbau	Kuning	7
Hari ke-5	Terjadi pembusukan, mulai tumbuh jentik, air sedikit berlemak	Berbau	Kuning muda	7
Hari ke-6	Terjadi pembusukan, tumbuh jentik, lemak pada air mulai berkurang	Berbau	Jernih kekuningan	7
Hari ke-7	Terjadi pembusukan, jentik semakin banyak, lemak hilang	Berbau	Jernih kekuningan	7
Hari ke-8	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Jernih kekuningan	7
Hari ke-9	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Kuning jernih keemasan	7
Hari ke-10	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Kuning jernih keemasan	7
Hari ke-11	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Kuning jernih keemasan	7
Hari ke-12	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Jernih	7

Pada Tabel 4.5 kondisi air pada hari ke-0 masih normal, tidak berbau, berwarna coklat kekuningan dengan pH 7. kondisi air mulai berubah pada hari ke-2 ditandai dengan terjadinya pembusukan, air mulai berbau dan warna menjadi coklat muda kekuningan, tidak terjadi perubahan pH mulai dari hari ke-0 sampai hari ke-12. pada hari ke-3 air sudah mulai sedikit berlemak dan warna menjadi kuning, kondisi itu tetap konstan sampai hari ke-4. perubahan terjadi lagi pada hari ke-5 dengan mulai tumbuhnya jentik dan air berwarna kuning muda. Pada hari ke-6 lemak pada permukaan mulai berkurang dan hilang pada hari ke-7, sedangkan jentik semakin berkembang sampai hari ke-12. kondisi air pada hari ke-12 masih tetap berbau, tetapi air limbah menjadi jernih.

Tabel 4.6 Kondisi Air Limbah Reaktor Kontrol 0 %

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
0 %	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air	pH
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-1	Normal	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-2	Normal	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-3	Normal, agak berbusa	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-4	Normal, agak berbusa	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-5	Normal, agak berbusa	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-6	Normal, agak berbusa	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-7	Normal	Tidak berbau	Bening	7
Hari ke-8	Normal	Tidak berbau	Bening	7
Hari ke-9	Normal	Tidak berbau	Bening	7
Hari ke-10	Normal	Tidak berbau	Bening	7
Hari ke-11	Normal	Tidak berbau	Bening	7
Hari ke-12	Normal	Tidak berbau	Bening	7

Pada reaktor 0 % ini tidak diisi dengan air limbah laboratorium kualitas lingkungan melainkan diisi dengan air sumur, karena pada reaktor ini hanya berfungsi sebagai reaktor kontrol saja. Pada hari ke-0 kondisi air normal,tidak berbau, bening dengan pH 6,5. kondisi air berubah pada hari ke-3 sampai ke-6 yaitu kondisi air normal namun agak berbusa tetapi tetap bening dan tidak berbau. pH air berubah menjadi 7 pada hari ke-7 dan kondisi tersebut tidak berubah sampai hari ke-12.

Dilihat dari keseluruhan kondisi air limbah , dapat diketahui bahwa pada air limbah akan ditumbuhi jentik-jentik (mikroorganisme). Mikroorganisme ini selain mengurai air limbah juga akan mempertahankan kandungan oksigen dalam air limbah. Sehingga akan mengurangi bau. Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanaman pada reaktor yang diharapkan agar tanaman mampu memberikan transfer oksigen yang cukup bagi kehidupan mikroorganisme yang hidup dalam tanah., pengkondisian lingkungan reaktor yaitu temperatur, pH, ruang yang cukup dan lain-lain.

Dari hasil pengamatan ini terlihat bahwa nilai pH semakin hari semakin tinggi, ini terlihat pada reaktor yang menggunakan tanaman Eceng Gondok maupun yang tidak menggunakan tanaman. Secara umum nilai pH dipengaruhi oleh konsentrasi CO_2 bebas. Fitoplankton dan tanaman air akan mengambil CO_2 dari air selama proses fotosintesis sehingga mengakibatkan pH air meningkat pada siang hari dan menurun pada malam hari (Cholik, dkk, 1991). Nilai derajat keasaman (pH), kandungan CO_2 dan ion bikarbonat dalam

air limbah sangat berkaitan. CO_2 dapat mempengaruhi pH perairan dan dapat mempengaruhi kandungan bikarbonat. Hal ini berarti bahwa kehadiran CO_2 menghasilkan ion bikarbonat. Kandungan ion bikarbonat dan CO_2 akan membentuk sistem penyangga air. Jika penguraian CO_2 dan bikarbonat meningkat maka pH air menjadi sangat tinggi (Mahida, 1986 dalam Tania,2006). Peningkatan CO_2 yang diduga akibat adanya penguraian dalam proses fotosintesis menyebabkan terbentuknya asam karbonat dan bikarbonat oleh adanya reaksi ikatan CO_2 dengan H_2O menjadi lebih sedikit, sehingga jumlah ion H^+ yang dibebaskan dalam reaksi tersebut menjadi berkurang dengan berkurangnya kandungan H^+ maka pH air meningkat. Meningkatnya nilai pH juga disebabkan oleh adanya pelarutan ion-ion logam sehingga dapat merubah konsentrasi ion hidrogen dalam air (Wardhana, 1995 dalam Tania, 2006).

4.3 Analisa Kondisi Fisik Tanaman Eceng Gondok

Pengamatan visual mengenai kondisi fisik tanaman eceng gondok juga perlu dilakukan sebagai data pendukung hasil penelitian. Oleh karena itu kita meneliti perkembangan yang ter jadi setiap harinya, pertama kita akan melihat hasil dari penelitian terhadap fisik tanaman eceng gondok ini yang meliputi panjang akar, lebar daun, warna daun dan warna akar. Hasil tersebut dapat kita lihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 di bawah ini :

Tabel 4.7 Hasil pertumbuhan tanaman eceng gondok

Fisik	Konsentrasi limbah (%)	Variasi morfologi tanaman				
		0	3	6	9	12
Panjang akar (cm)	0	16	16,3	17	17,5	18
	25	16	16,3	16,5	17	17,5
	50	16	16	16,3	16,5	17
	75	16	16	16,3	16,5	17
	100	16	16	16,3	16,5	16,5
Panjang batang (cm)	0	40	40,5	41,5	42	43
	25	40	41	41,5	42	42
	50	40	40	40,5	42	42
	75	40	40	40	40	40
	100	40	40	40	40	40
Luas daun (cm)	0	14x13	14x14	14x14,5	14,5x16	14,5x16,5
	25	14x13	14x13	14x13	14x14	14x14
	50	14x13	14x13	14x11,5	13x11	13x11
	75	14x13	14x12,5	13x10	12,5x7,5	12,5x7,5
	100	14x13	14x12,5	13x9	12,5x7	12,5x7

Tabel 4.8 hasil perubahan kondisi tanaman eceng gondok

Fisik	Konsentrasi Limbah (%)	Sebelum Penelitian	Sesudah Penelitian
Daun	0	segar, hijau	segar, hijau
	25	segar, hijau	segar, hijau
	50	segar, hijau	layu, kuning ada tumbuh tunas baru
	75	segar, hijau	coklat kering, ada tumbuh tunas baru
	100	segar, hijau	coklat kering
Akar	0	hitam kecoklatan	hitam kecoklatan
	25	hitam kecoklatan	coklat tua, adanya akar-akar baru
	50	hitam kecoklatan	coklat tua, adanya akar-akar baru
	75	hitam kecoklatan	coklat muda
	100	hitam kecoklatan	coklat muda
Batang	0	hijau	hijau
	25	hijau	hijau
	50	hijau	agak layu, berwarna kecoklatan
	75	hijau	layu, kering, berwarna kecoklatan
	100	hijau	layu, kering, berwarna kecoklatan

Dari pengamatan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi limbah laboratorium kualitas lingkungan maka

dapat memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan bagi eceng gondok. Hal ini terlihat pada konsentrasi 100 % kondisi batang tidak mengalami pertumbuhan, pada daun ukurannya semakin hari semakin menyusut, dan terlihat dari kondisi tanaman yang semakin hari semakin layu. (Lampiran V).

Gejala layu, menguning, serta membusuknya tanaman menunjukan berkurangnya zat hara dan terserapnya zat toksit oleh tumbuhan. Namun dengan munculnya tunas baru mungkin sebagai cara tumbuhan untuk dapat bertahan hidup (Syafi'i,2007)

Terhambatnya pertumbuhan eceng gondok ini dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut, tingginya kandungan timbal pada air limbah laboratorium kualitas lingkungan yang menghambat pertumbuhan akar eceng gondok sehingga berpengaruh pada pertumbuhan batangnya, tingginya partikel solid air limbah sehingga mempengaruhi sinar matahari untuk masuk kedalam air dan menghalangi proses absorben nutrien oleh akar, serta bahan organik yang tinggi sehingga menimbulkan proses pembusukan yang mengurangi dan menghambat proses terbentuknya oksigen, dan berakibat terhalangnya pelepasan gas – gas yang dihasilkan oleh akar tanaman ke permukaan air karena adanya lapisan lendir (bifilm) dipermukaan air dari hasil proses pembusukan, timbulnya jenis mikroorganisme anaerob yang membuat air bau. (Faisal,2005)

Hasil analisa kondisi tanaman dan pertumbuhan tanaman eceng gondok secara lengkap setiap harinya dapat dilihat pada lampiran IV.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA PERPUSTAKAAN

4.4 Analisa Parameter Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

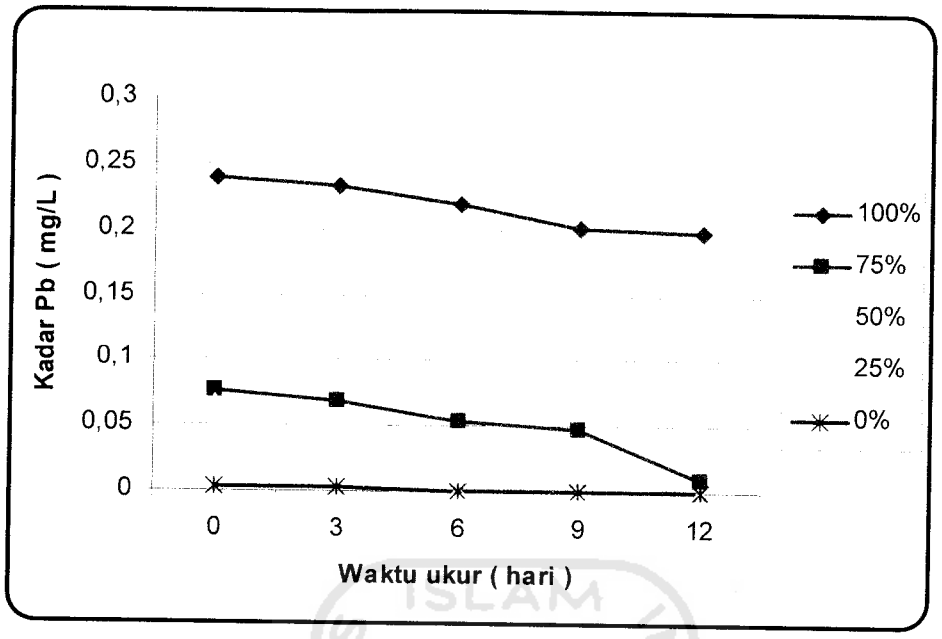
Untuk mengetahui hasil analisa timbal dengan menggunakan tanaman Eceng Gondok, maka sampel limbah diuji di Balai Pengujian Konstruksi Dan Lingkungan (BPKL) dan hasil pengujian timbal dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.9 Pengujian Logam Pb (Timbal) Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi	hari ke-0 (mg/L)	hari ke-3 (mg/L)	hari ke-6 (mg/L)	hari ke-9 (mg/L)	hari ke-12 (mg/L)
0%	0,0038	0,0031	ttd	ttd	ttd
25%	0,0318	0,0185	0,0025	ttd	ttd
50%	0,0675	0,0563	0,0385	0,0105	ttd
75%	0,0769	0,0691	0,0539	0,0474	0,0086
100%	0,2397	0,2325	0,2192	0,2017	0,1982

Ket : ttd = tidak terdeteksi (< 0.001)

Dari tabel di atas maka dapat dibuat grafik penurunan logam timbal (Pb) dengan tanaman eceng gondok, yang didapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini :



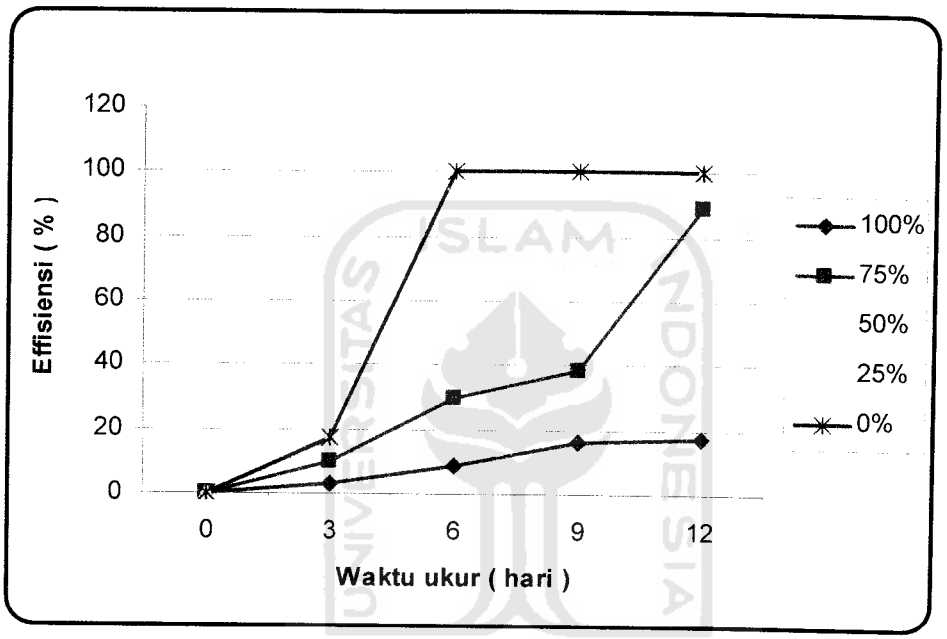
Gambar 4.1 Hubungan Konsentrasi Pb (ppm) Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Dengan Menggunakan Tanaman

Dari hasil pengujian tersebut dapat dibuat effisiensi penurunan logam timbal. Nilai effisiensi dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.10 Effisiensi Penurunan Logam Pb (Timbal) Dengan Menggunakan Tanaman

Konsentrasi	hari ke-0 (%)	hari ke-3 (%)	hari ke-6 (%)	hari ke-9 (%)	hari ke-12 (%)
0%	0	17,54	100	100	100
25%	0	41,93	92,24	100	100
50%	0	16,54	42,96	84,44	100
75%	0	10,19	29,91	38,36	88,86
100%	0	3,00	8,55	15,85	17,31

Berdasarkan Tabel 4.10 di atas dapat dibuat gambar Hubungan Effisiensi Penurunan Konsentrasi Pb Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Dengan Menggunakan Tanaman. Dari Gambar 4.2 dapat kelihatan perbedaan tingkat penurunan pada masing-masing konsentrasi limbah sebagai berikut:



Grafik 4.2 Hubungan Effisiensi Penurunan Konsentrasi Pb Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Dengan Menggunakan Tanaman

hasil penurunan logam Pb dapat terlihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 Penurunan konsentrasi Pb yang nyata terjadi mulai hari ke-3 sampai hari ke-12, ini terlihat pada reaktor 0 % pada hari ke-3 terjadi penurunan sebesar 17,54 % dengan konsentrasi awal 0,0038 mg/L menjadi 0,0031 mg/L. Dihari ke-6 dan selanjutnya konsentrasi Pb pada reaktor 0 % sudah tidak dapat

terditeksi karena batas minimum pembacaan alat (AAS) hanya sampai 0,001 mg/L. Pada reaktor 25 % terjadi penurunan sebesar 92,24 % sampai hari ke-6 dari konsentrasi awal 0,0318 mg/L menjadi 0,0025 mg/L, dihari ke-9 sampai ke-12 konsentrasi Pb sudah tidak dapat terbaca lagi. Konsentrasi pada reaktor 50 % effisiensi penurunannya sebesar 84,44 % sampai hari ke-9 dari konsentrasi 0,0675 mg/L menjadi 0,0105 mg/L, pada hari ke-12 konsentrasi sudah tidak dapat terditeksi lagi. Selanjutnya effisiensi pada reaktor 75 % sebesar 88,86 % sampai hari ke-12 dari konsentrasi awal 0,0769 mg/L menjadi 0,0086 mg/L Pada reaktor 100 % effisiensi yang terjadi sangat kecil hanya 17,31 % dari konsentrasi awal 0,2397 mg/L menjadi 0,1982 mg/L.

Dilihat dari hasil analisa di atas, nilai effisiensi yang paling kecil terdapat pada konsentrasi reaktor 100%. Hal ini dapat disebabkan karena konsentrasi limbah yang terlalu pekat sehingga sukar untuk terurai dan diserap oleh tanaman. Hasil dari penelitian ini diperkuat dengan hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya yaitu pada penelitian Ully Andriyani (2004) yang meneliti penurunan logam Fe menggunakan tanaman kangkung air, pada penelitian tersebut pada konsentrasi 100 % penurunan Fe hanya 40,91 % sedangkan pada konsentrasi 25 % penurunannya dapat sebesar 54,47 %. Demikian juga dengan penelitian Irma Tania (2006) yang meneliti logam Cr dengan menggunakan tanaman kiapu, pada konsentrasi 100 % penurunan Cr sebesar 66,67 % sedangkan pada konsentrasi 25 % penurunannya sebesar 74,29 %. Proses pengolahan air limbah dengan menggunakan sistem *constructed wetland* ini menunjukan proses penurunan kandungan air limbah

yang bervariasi sesuai dengan tingkat konsentrasi dari air limbah dalam reaktor. Secara umum dapat dilihat bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi air limbah yang digunakan maka akan semakin rendah kemampuan removal yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan sifat dan karakteristik air limbah laboratorium kualitas lingkungan dan kemampuan daya serap tanaman yang sangat bervariasi dimana kandungan logam Pb yang sangat tinggi.

Penurunan kadar Pb oleh tanaman eceng gondok dimulai dengan aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *Constructed wetland.* Proses pengolahan dalam *Constructed wetland* sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aktivitas mikroorganisme ini sangat bergantung pada aktivitas akar tanaman dalam sistem *Constructed wetland* untuk mengelurkan oksigen (Gopal, 1999 dalam Siswoyo, E., 2002).

Penurunan kadar Pb yang terjadi karena proses penyerapan dan transpirasi dipengaruhi oleh luas permukaan daun dan jumlah akar yang dimiliki oleh tanaman eceng gondok. Proses transpirasi terjadi karena adanya penguapan air dari permukaan sel mesofil yang basah dan uapnya akan keluar melalui stomata yang terdapat pada permukaan daun. Proses transpirasi yang tinggi akan diikuti dengan proses penyerapan yang tinggi pula oleh akar-akar tanaman eceng gondok.

Menurut Connel dan Miller (1984) logam yang terdapat di lingkungan akan diserap ke dalam tanaman melalui stomata dan sistem perakaran. Unsur Pb masuk melalui stomata, dimana Pb yang dihasilkan dari proses alam

maupun proses industri akan bergabung dengan partikel-partikel udara dan masuk kedalam tanaman pada saat stomata daun tanaman membuka, sedangkan unsur Pb terabsorbsi oleh akar pada saat akan meng absorbsi air dan unsur hara.

Absorbsi Pb melalui dari penyerapan Pb oleh akar kemudian diendapkan di permukaan akar, Pb secara perlahan akan mengumpul dalam sel yaitu dalam *diktiosoma* (badan golgi). Dari gelembung *diktiosoma* akan bermigrasi ke dinding sel dan akhirnya Pb terakumulasi *plasindema* dinding sel daun. Lebih dari 90 % Pb tersimpan dalam dinding sel daun dan pucuk, hanya sejumlah kecil Pb yang dapat menembus buah dan biji (Erns dan Mans Field, 1976).

Dari fenomena yang terjadi pada proses penyerapan logam Pb, dapat terlihat bahwa kandungan logam yang telah diserap oleh akar menuju ke batang dan terakumulasi di bagian daun, walaupun semua kandungan logam tersebut tidak terbawa sampai ke daun.Hal ini terjadi dikarenakan adanya proses Rhizofiltrasi. Rhizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendap dan mengakumulasi logam-logam pada aliran limbah. Rhizofiltrasi ini merupakan salah satu metode dalam fitoremediasi. Fitoremediasi itu sendiri adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar, baik senyawa organik maupun senyawa anorganik. Pada prinsipnya tumbuhan tidak membeda-bedakan antara unsur esensial dan non esensial. Setiap unsur yang ada dalam media tempat hidupnya dapat diharapkan diserap

oleh akar dengan laju yang sesuai dengan konsentrasinya dalam tanah (Tjitrosomo, 1983).

4.5 Analisa Parameter Timbal (Pb) Tanpa Tanaman Eceng Gondok

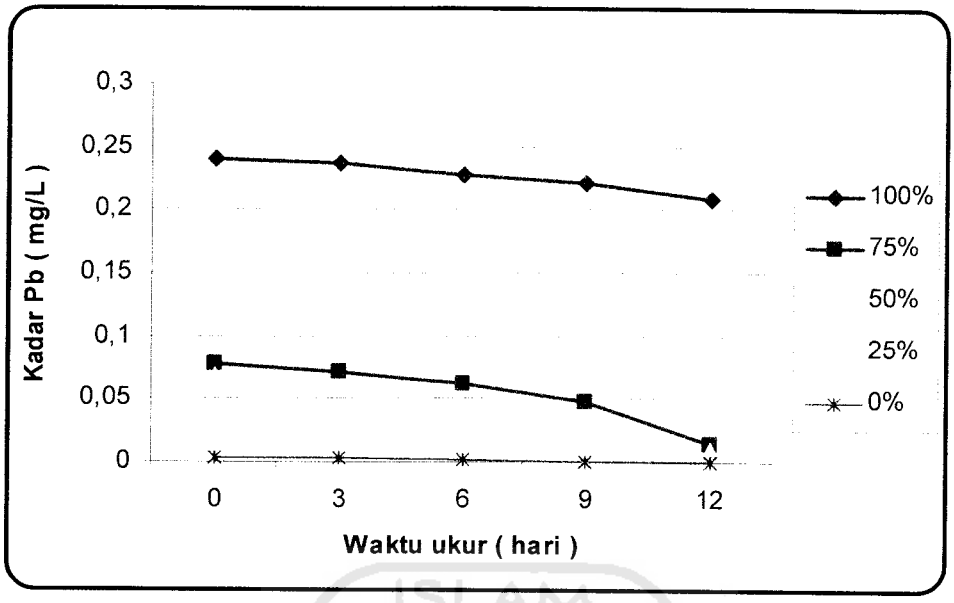
Penelitian ini juga mengujikan konsentrasi air limbah yang tidak menggunakan tanaman eceng gondok. Berikut ini adalah hasil pengujian logam Pb yang tidak menggunakan tanaman eceng gondok :

Tabel 4.11 Pengujian Logam Pb (Timbal) Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi	hari ke-0 (mg/L)	hari ke-3 (mg/L)	hari ke-6 (mg/L)	hari ke-9 (mg/L)	hari ke-12 (mg/L)
0%	0,0038	0,0034	0,0012	ttd	Ttd
25%	0,0318	0,0226	0,0107	0,0014	ttd
50%	0,0675	0,0583	0,0459	0,0213	0,0095
75%	0,0769	0,0706	0,0623	0,0468	0,0137
100%	0,2397	0,2362	0,2281	0,2217	0,2086

Ket : ttd = tidak terdeteksi (< 0.001)

Dari Tabel 4.11 dapat dibuat grafik hubungan konsentrasi pb (mg/L) limbah cair laboratorium kualitas lingkungan terhadap waktu tanpa menggunakan tanaman,yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

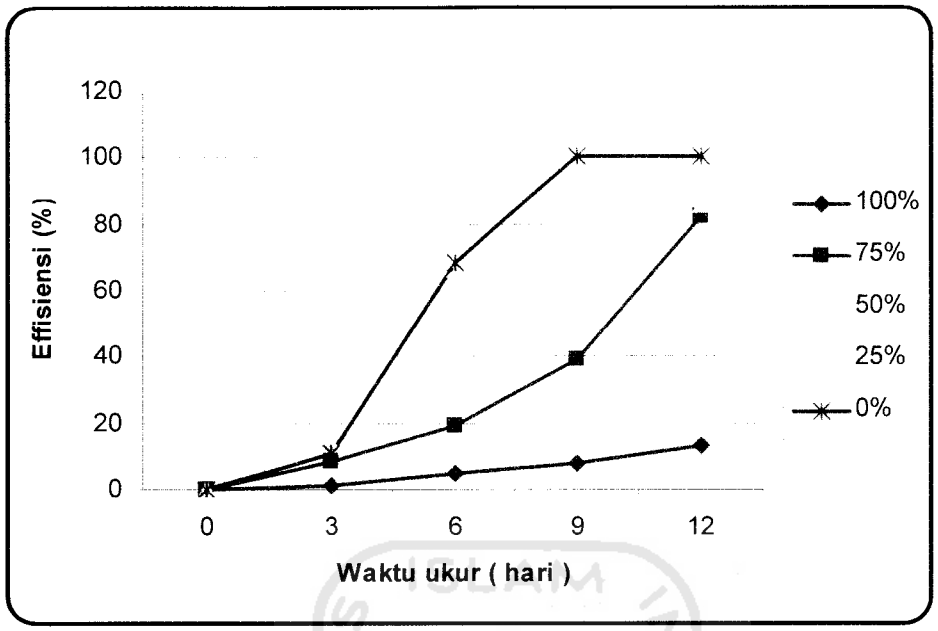


Gambar 4.3 Hubungan Konsentrasi Pb (mg/L) Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Tanpa Menggunakan Tanaman

Dari hasil pengujian tersebut dapat dibuat effisiensi penurunan logam timbal. Nilai effisiensi dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.12 Effisiensi Penurunan Logam Pb (Timbal) Tanpa Menggunakan Tanaman

Konsentrasi	hari ke-0 (%)	hari ke-3 (%)	hari ke-6 (%)	hari ke-9 (%)	hari ke-12 (%)
0%	0	10,53	68,42	100	100
25%	0	28,93	66,35	95,60	100
50%	0	13,63	32,00	68,44	85,93
75%	0	8,19	18,99	39,14	82,18
100%	0	1,46	4,84	7,51	12,97



Gambar 4.4 Hubungan Effisiensi Penurunan Konsentrasi Pb Limbah Cair Laboratorium kualitas lingkungan Terhadap Waktu Tanpa Menggunakan Tanaman

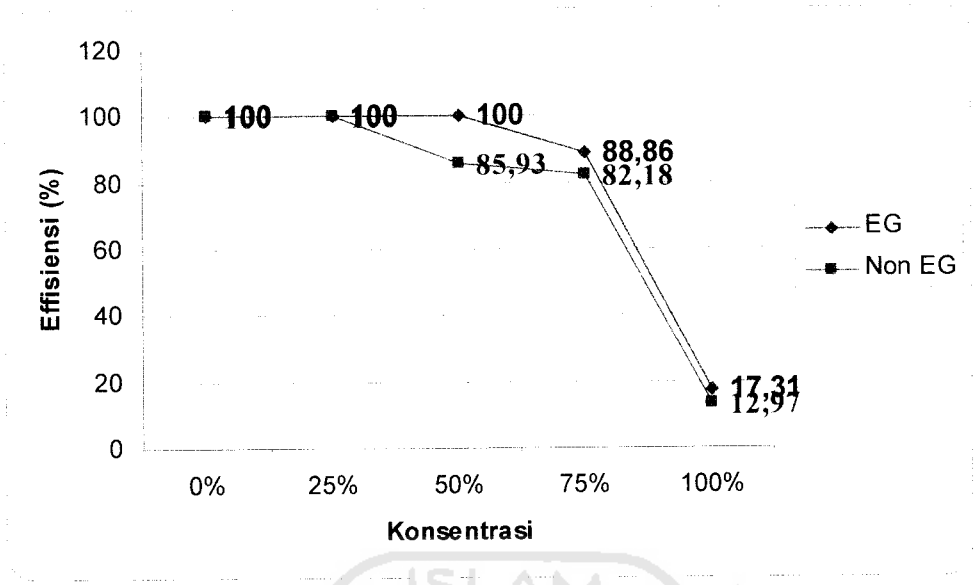
Dari tabel penurunan logam Pb tanpa menggunakan tanaman eceng gondok, terlihat bahwa pada reaktor 0 % nilai effisiensinya dapat mencapai 100 % sampai hari ke-12 dengan konsentrasi awal 0,0038 mg/L. Pada hari ke-12 konsentrasi Pb sudah tidak dapat terditeksi sehingga dianggap effisiensi telah mencapai 100 %. Pada reaktor 25 % terjadi penurunan dari konsentrasi 0,0318 mg/L menjadi 0,0014 mg/L sampai hari ke-9, effisiensinya sebesar 95,60 %, dihari ke-12 sudah tidak dapat terditeksi. Reaktor 50 % effsiensi penurunannya sebesar 85,93 % sampai hari ke-12 dari konsentrasi awal 0,0675 mg/L menjadi 0,0095 mg/L. Pada reaktor 75 % penurunannya sebesar 82,18 % dari konsentrasi awal 0,0769 mg/L menjadi 0,0137 mg/L.

Selanjutnya pada konsentrasi reaktor 100 % effisiensinya sebesar 12,97 % dari konsentrasi awal 0,2397 mg/L menjadi 0,2086 mg/L.

Proses-proses yang terjadi akibat dari adanya media tanah dalam *constructed wetland* adalah proses-proses fisik antara lain : proses sedimentasi, filtrasi dan gas transfer. Proses removal pencemar mengalami penurunan akibat terjadinya proses pembusukan yang cukup tinggi dan cepat dalam reaktor. Timbulnya proses pembusukan pada reaktor menimbulkan bau yang sangat menyengat, hal ini dikarenakan faktor oksigen dan sinar matahari yang sangat sedikit masuk ke dalam air limbah. Secara fisik terlihat pada lapisan lemak di atas permukaan air limbah. Timbulnya lapisan lemak tersebut dapat menyebabkan timbulnya mikroorganisme yang dapat berfungsi untuk menguraikan air limbah.

4.6 Perbandingan Penurunan Konsentrasi Logam Pb Antara Menggunakan Tanaman Eceng Gondok dan Tanpa Menggunakan Tanaman

Dari hasil penelitian yang telah diujikan, maka dapat diketahui nilai input dan output konsentrasi Pb baik yang menggunakan tanaman eceng gondok maupun yang tidak. Untuk mendapatkan hasil yang optimal maka hasil antara yang menggunakan tanaman maupun yang tidak haruslah dibandingkan. Hasil perbandingan ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini :



Gambar 4.5 Hubungan Effisiensi Penurunan Konsentrasi Pb Dengan Tanaman dn Tanpa Tanaman

Dari hasil pengamatan pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa effisiensi penurunan limbah yang lebih tinggi yaitu penurunan yang menggunakan tanaman eceng gondok. Pada konsentrasi 100 % yang menggunakan tanaman effisiensinya sebesar 17,31 %, sedangkan yang tidak menggunakan tanaman hanya sebesar 12,97 %. Dan juga pada hari ke-9 pada konsentrasi 25% dan ke-12 pada konsentrasi 25% dan 50% kadar logam Pb pada air limbah sudah tidak terdeteksi lagi.

Hal ini dapat disebabkan karena pada penurunan konsentrasi Pb yang menggunakan tanaman dipengaruhi oleh tanaman itu sendiri, proses pengendapan/sedimentasi, dan filtrasi., sedangkan pada uji reaktor tanpa tanaman eceng gondok, penurunan konsentrasi Pb disebabkan oleh adanya peranan dari media tanam yang secara fisik mampu menurunkan pencemar

melalui proses filtrasi, sedimentasi, dan aktifitas dari mikroorganisme dalam mentransformasikan bahan organik dan anorganik menjadi nutrient dan energi. Dari Gambar 4.5 dapat diketahui besarnya effisiensi penurunan optimal yaitu pada reaktor yang menggunkan eceng gondok dengan konsentrasi 25 % karena penurunannya pada hari ke-9 sudah dapat mencapai 100 %.

Constructed wetltand sistem merupakan metode penyisihan limbah dengan memanfaatkan tanaman dan tanah sebagai penyisih beban organik dalam air limbah. Zona akar tanaman dalam *constructed wetland* membantu menciptakan suatu kondisi penguraian secara aerobik dan anaerobik, karena pada akar terdapat sejumlah besar populasi mikroorganisme yang berfungsi menguraikan materi di dalam limbah. Disamping itu limbah yang berupa nutrien dapat berfungsi sebagai tambahan hara, sehingga tanaman yang dihasilkan akan tumbuh dengan baik dan lebih tahan terhadap serangan penyakit.

Mekanisme yang terjadi didalam *wetland* berupa, sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorsi atau disebut juga dengan proses pengolahan fisik, untuk pengolahan secara kimiawi dan biologi pada contructed wetland terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas daritanaman yaitu berupa proses fotosentesis. Pada penurunan logam Pb itu sendiri proses removal yang lebih dominan terjadi yaitu pada proses kimiawi yang mana pada proses ini terjadi adanya aktivitas dari mikroorganisme yang dapat memakan logam-logam berat seperti Pb, Al, Fe, Cd, dan Zn. Penyerapan logam Pb juga sangat dipengaruhi oleh proses sedimentasi karena timbal

diserap dengan baik oleh tanah sehingga pengaruhnya terhadap tanaman relatif kecil.

4.7 Analisa Tingkat Penurunan Kandungan Logam Timbal Pada Limbah Dengan Tingkat Penyerapan Tanaman Eceng Gondok

Untuk melihat bahwa adanya keselarasan hasil antara nilai penurunan limbah Pb pada limbah laboratorium kualitas lingkungan dengan tingkat penyerapan tanaman eceng gondok, maka hasil dari keduanya harus dibandingkan. Bila dilihat pada Tabel 4.10 tentang effisiensi tanaman eceng gondok maka didapatkan hasil penurunan konsentrasi limbah Pb sebagai berikut :

Tabel 4.13 Tingkat Penurunan Kandungan Logam Timbal (Pb) Pada Limbah

konsentrasi limbah	Penurunan kandungan Pb (mg/L)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0.0007	0.0031	0	0
25%	0	0.0133	0.0160	0.0025	0
50%	0	0.0112	0.0178	0.0280	0
75%	0	0.0078	0.0152	0.0065	0.0086
100%	0	0.0072	0.0133	0.0175	0.1982

Penyerapan limbah Pb menggunakan tanaman eceng gondok dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.14 Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Tanaman (Akar dan Daun) Eceng Gondok

Konsentrasi Limbah	Tingkat penyerapan (mg/L)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0.00318	0.00346	0.00117	0.00174
25%	0	0.00704	0.00322	0.00608	0.00284
50%	0	0.01005	0.00520	0.00793	0.00169
75%	0	0.00921	0.00637	0.00314	0.00395
100%	0	0.00798	0.00587	0.00305	0.00234

Dari hasil perbandingan antara Tabel 4.13 dengan Tabel 4.14, dapat terlihat ketidaksamaan antara hasil tingkat serapan eceng gondok dengan tingkat penurunan kandungan logam timbal pada limbah. Penyerapan oleh tanaman eceng gondok lebih besar dibandingkan dengan tingkat penurunan konsentrasi logam Pb. Hal ini dapat disebabkan karena adanya kandungan logam Pb pada zona substrat yaitu tanah sehingga pada waktu pemasukan air limbah pada reaktor maka kandungan Pb pada tanah ikut terangkat naik dan pada akhirnya konsentrasi Pb pada air limbah pun semakin bertambah. Nilai penambahannya tidak dapat diketahui karena konsentrasi Pb pada tanah tidak diuji. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menguji kandungan logam pada tanah sehingga hasil yang didapat akan lebih akurat.

4.8 Uji Statistik Parameter Timbal (Pb)

Uji statistik ANOVA bertujuan untuk mengetahui atau menguji berlaku atau tidaknya asumsi uji statistik ANOVA terhadap sampel dari parameter-parameter penelitian yang berasal dari nilai varian yang sama

berdasarkan tingkat probabiltas diterima < 0,05 > ditolak. Tujuan dilakukannya uji statistik terhadap kadar parameter yang diteliti dalam penelitian ini adalah untuk memperkuat katepatan hasil perhitungan analisa laboratorium kualitas lingkungan yang di dapat. Berikut hasil uji statistik ANOVA terhadap parameter Pb :

A. Uji Statistik Parameter Pb Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan konsentrasi Pb maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut :

Tabel 4.15 Pengaruh Variasi Konstrasi Air Limbah dan Waktu Terhadap Penurunan Kadar Pb

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.Tnm

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.164[a]	8	.020	140.067	.000
Intercept	.100	1	.100	682.078	.000
WAKTU	.006	4	.001	10.214	.000
LIMBAH	.158	4	.040	269.920	.000
Error	.002	16	.000		
Total	.266	25			
Corrected Total	.166	24			

a. R Squared = .986 (Adjusted R Squared = .979)

Untuk Test of Between – SubjectEffects digunakan hipotesisis :

i. H_0 = tidak ada pengaruh waktu detensi / variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

ii. H_1= ada pengaruh waktu detensi / variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- Sig < α , maka Ho ditolak
- Sig > α , maka Ho diterima

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan:

a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 269,920 dengan probabilitas 0,000 < 0,05 yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb diantara variasi konsentrasi air limbah.

b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 10,214 dengan probabilitas 0,000 < 0,05 yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb diantara variasi waktu pengambilan limbah.

B. Uji Statistik Parameter Pb Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan konsentrasi Pb maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut :

Tabel 4.16 Pengaruh Variasi Konstrasi Air Limbah dan Waktu Terhadap Penurunan Kadar Pb

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.Air

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.172[a]	8	.022	200.617	.000
Intercept	.113	1	.113	1052.974	.000
WAKTU	.005	4	.001	10.726	.000
LIMBAH	.168	4	.042	390.509	.000
Error	.002	16	.000		
Total	.287	25			
Corrected Total	.174	24			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .985)

Untuk Test of Between – SubjectEffects digunakan hipotesisis :

iii. H_0 = tidak ada pengaruh waktu detensi / variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

iv. H_1= ada pengaruh waktu detensi / variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- Sig < α , maka Ho ditolak
- Sig > α , maka Ho diterima

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan:

a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 390,509 dengan probabilitas 0,000 < 0,05 yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb diantara variasi konsentrasi air limbah.

b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 10,726 dengan probabilitas 0,000 < 0,05 yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb diantara variasi waktu pengambilan limbah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengolahan limbah laboratorium dengan menggunakan tanaman eceng gondok pada sistem *Constructed Wetlands* ternyata mampu menurunkan kandungan timbal pada limbah laboratorium kualitas lingkungan selama waktu detensi 12 hari. Pada konsentrasi limbah 100% dengan menggunakan eceng gondok kandungan timbal mampu diturunkan sebesar 17,31 %, sedangkan yang tidak menggunakan eceng gondok kandungan timbal mampu diturunkan sebesar 12,97 %
2. Efisiensi penurunan logam timbal yang paling optimal yaitu pada konsentrasi 25 % dengan menggunakan tanaman eceng gondok, dimana pada konsentrasi ini dapat menurunkan kandungan Pb sebanyak 100 % dan tanaman dapat tumbuh dengan baik tanpa ada tanaman yang mati.
3. Limbah cair laboratorium terhadap pertumbuhan eceng gondok sangat berpengaruh,semakin tinggi konsentrasi limbah laboratorium maka rendah tingkat pertumbuhan eceng gondok. Hal ini dapat menyebabkan eceng gondok menjadi layu dan akhirnya mati.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Melakukan pengolahan terlebih dahulu terhadap limbah cair laboratorium lingkungan sebelum diolah dengan menggunakan sistem *Constructed Wetlands.*
2. Mengembangkan penelitian dari segi pengaliran limbah yaitu secara terus-menerus (*kontinue*) dan variasi tanaman serta mengembangkan penelitian dengan pengujian dampak kontaminan pada tanaman terhadap makhluk hidup.
3. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut terhadap tanah sebagai media tumbuh dan hidup tanaman dalam sistem *Constructed Wetlands.*

DAFTAR PUSTAKA

Afandi.D, 2004, *Pengaruh Waktu Tinggal dan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia crassipes) Terhadap Penurunan Kadar Hg Dalam Limbah Pencucian Emas*, Skripsi STTL, Yayasan Lingkungan, Yogyakarta.

Ahmady.D, 1993, *Efektivitas Penyerapan Hg dan Pengaruhnya Pada Eceng Gondok*, skripsi Fakultas Biologi, UGM, Yogyakarta.

Andriyani.U, 2005, *Studi pengolahan limbah cair industri pengalengan jamur dengan reaktor Conctructed Wetland menggunakan tanaman kangkung air (Ipomoea aquatica Forsk),* Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta

Anonim,2002, jurnal purifikasi, http://www.kompas.com/kompas-cetak/0307/02/inspirasi/404854

Connel,W., Des,Miller., and Gregory., 1984, *Chemistry and Ecotoxicologi of pollutan,* A Willey Interscience Publication, New York.

Darmono, 1994, *Logam dalam sistem biologi makhluk hidup,* UI Press, Jakarta

Dhahiyat, 1974, *Aspek Ekologi Gulma Air Dalam analisa Dampak Lingkungan*, Kursus Dasar-dasar Analisa Lingkungan, Lembaga Ekologi Universitas Padjajaran, Bandung.

Diana.B.A, 2007, *Pengolahan air limbah pabrik tahu dengan memanfaatkan tanaman kangkung air (Ipomea Aquatica Forks) dalam Constructed Wetland,* Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta

Dwidjoseputro, 1992, *Fisiologi Tumbuhan*, PT.Gramedia, Jakarta.

Faisal, 2005, *Penurunan Konsentrasi Limbah Cair Industri Tapioka Dengan Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Eceng Gondok*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta

Fardiaz.S, 1985, Polusi Air dan Udara, Kanisius, Yogyakarta

Foth.A.H, 1991, *Dasar-dasar Ilmu Tanah*, Gajah Mada University Press, yogyakarta

Grambel.R.P and W.H.Patrick Jr,1978, *Chemical and Microbiological Properties of Anaerobic Soils and Sediments*, Ms Thesis in Biological system Engineering, Blacksburg

Khalia.N, 2006, *Analisa Timbal dalam daun dan glodokan Tiang (polyalthia longifolia) Thwait pada kawasan lalulintas padat di DIY*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta

Kristanto.P,2002, Ekologi Industri, LPPM Universitas Kristen PETRA, Surabaya

Met Calf dan Eddy,1990, Waste Water Engineering Treatment Disposal re Use, New York, Mc Brow – Hill, Tenth Edition

Najichah, 2006, *Toksisitas logam berat pada tanaman*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta

Palar.H, 1994, *Pencemaran dan toksikologi logam berat,* Rineka Cipta, Jakarta

Priayanto.B dan Prayitno.J, 2004, Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat, jurnal purifikasi, http:/www.itl,bppt.com/sublab/ifloral.htm

Sastroutomo, 1991, *Ekologi Gulma*, PT.Gramedia, Jakarta.

Siswoyo.E, 2002, *Pengolahan Air Buangan Domestik (Gray Water) Dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (Typha angustifolia) Dalam Constructed Wetland*, Jurusan Teknik Lingkungan, dan PPLH-UII, Yogyakarta

Sita.A.M, 2005, *Penyerapan logam berat oleh Eceng Gondok*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta

Soerjani.S.W, 1975, *Eceng Gondok Sebagai Penyerap Pencemar*, SEAMEO, Biotrop, Bogor

Suratmihardja.R.T.M, Adnan.K, dan Sanusi,1982, *Perairan Teluk Jakarta Ditinjau Dari Tingkat Pencemarannya, Fakultas Pascasarjana*, Jurusan PSL, IPB

Syafi'i.I.A, 2007, *Penyerapan logam khrom (Cr) pada limbah penyamakan kulit dengan tanaman eceng gondok*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta

Tania.I, 2006, *Penurunan konsentrasi BOD, COD, TSS DAN pH limbah cair industri pembuatan tahu dengan Constructed Wetland yang menggunakan tanamn paku air (Azolla Pinnata),* Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta

Tjitrosoedirjo dan Sastroutomo, 1985, *Fitoremediasi sebagai sebuah teknologi pemulihan pencemaran, khususnya logam berat*, jurnal purifikasi, bppt.tripod.com/sublab/Iflora.htm. (diakses pada tanggal 1 agustus 2004)

Moenandir.J dan hidayat.S, 1993, *Peranan eceng gondok dan kangkung air pada peningkatan mutu air limbah,* agrivita vol 16 no.2 (diakses pada tanggal 7 februari 2007)

Widyanto, L dan Susilo, 1997, *Eceng Gondok sebagai penyerap air*, tropikal pest biologi program, SEAMEO-BIOTROP, Bogor.

Yunarsih, 2006, *Fitoremidiasi logam Pb dan Cd dengan tanaman Eceng Gondok (eichornia crasspies),* MIPA UII, Yogyakarta.

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

STANDAR AIR BUANGAN

Peraturan Pemerintah No. 82 Th. 2001 (Badan Air)

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Badan Air Kelas I *)	Teknik Pengujian
	FISIKA			
1	Temperatur	^oC	-	Temperatur
2	Zat padat terlarut	mg/l	1000	Gravimetri
3	Zat padat Tersuspensi	mg/l	50	Gravimetri
	KIMIA ANORGANIK			
4	pH	-	6 - 9	pH meter
5	BOD	mg/l	2	Titrimetri/winkler
6	COD	mg/l	10	Reflux kalium dikromat
7	DO	mg/l	6	DO meter
8	Total Fosfat	mg/l	0.2	Spektrofotometri
9	NO_3-N	mg/l	10	Spektrofotometri (Brusin)
10	NH_3-N	mg/l	0.5	Spektrometri (Nesler)
11	Arsen (As)	mg/l	0.05	-
12	Kobalt (Co)	mg/l	0.2	AAS
13	Barium (Ba)	mg/l	1	-
14	Boron (B)	mg/l	1	-
15	Selenium (Se)	mg/l	0.01	AAS
16	Kadmium (Cd)	mg/l	0.01	AAS
17	Khrom (VI)	mg/l	0.05	AAS
18	Tembaga (Cu)	mg/l	0.02	AAS
19	Besi (Fe)	mg/l	0.3	AAS
20	Timbal (Pb)	mg/l	0.03	AAS

21	Mangan (Mn)	mg/l	0.1	AAS
22	Air Raksa (Hg)	mg/l	0.001	AAS
23	Seng (Zn)	mg/l	0.05	AAS
24	Khlorida (Cl^-)	mg/l	600	Titrimetri
25	Sianida (CN)	mg/l	0.02	Destilasi
26	Flourida (F)	mg/l	0.5	Spektrofotometri
27	Nitrit (NO2)	mg/l	0.06	Spektrofotometri (NED)
28	Sulfat (SO4)	mg/l	400	Spektrofotometri
29	Khlorin Bebas (Cl_2)	mg/l	0.03	Titrimetri
30	Belerang sebagai H_2S	mg/l	0.002	Spektrofotometri
	KIMIA ORGANIK			
31	Minyak dan Lemak	mg/l	1000	Ekstraksi/gravimetri
32	Detergen sebagai MBAS	mg/l	200	Spektrofotometri
33	Fenol	mg/l	1	Titrimetri
	MIKROBIOLOGI			
34	Fecal Coliform	Jumlah per 100 ml	100	MPN
35	Total Coliform	Jumlah per 100 ml	1000	MPN

LAMPIRAN II

HASIL UJI LABORATORIUM

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISA TIMBAL

Pengirim : Dian Widyanti
Tanggal Penerimaan : Januari 2007

No	Sample 0 hari	Absorbansi	Konsentrasi (ppm)
1	0%	-0,0002	0,0038
2	25%	0,0004	0,0318
3	50%	0,0009	0,0675
4	75%	0,0010	0,0769
5	100%	0,0024	0,2397

Mengetahui,
Kepala BPKL Diskimpraswil DIY

Ir. Heri Siswanto
NIP. 110040934

Diperiksa Oleh:
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

ngirim : Dian Widyanti
mple : (Air Limbah) 3 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	0,0034	-0,0004	0,0033
2	25%	-0,0002	0,0226	-0,0002	0,0221
3	50%	0,0002	0,0583	0,0002	0,0586
4	75%	0,0004	0,0706	0,0003	0,0689
5	100%	0,0021	0,2362	0,0021	0,2355

Yogyakarta, Februari 2007

PEMERINTAH PROPINSI DIY
BPKL
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

ngirim : Dian Widyanti
mple : (Air Limbah) 6 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	0,0012	-0,0004	0,0014
2	25%	-0,0003	0,0107	-0,0003	0,0107
3	50%	0,0001	0,0459	0,0001	0,0451
4	75%	0,0003	0,0623	0,0003	0,0621
5	100%	0,0020	0,2281	0,0020	0,2282

Yogyakarta, Februari 2007

PEMERINTAH PROPINSI DIY
BPKL
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

ngirim : **Dian Widyanti**
mple : **(Air Limbah) 9 hari**

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
2	25%	-0,0004	0,0014	-0,0004	0,0018
3	50%	-0,0002	0,0213	-0,0002	0,0206
4	75%	0,0001	0,0468	0,0001	0,0455
5	100%	0,0019	0,2217	0,0020	0,2221

Yogyakarta, Februari 2007

PEMERINTAH PROPINSI DIY
BPKL
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

ɛngirim : Dian Widyanti
ımple : (Air Limbah) 12 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
2	25%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
3	50%	-0,0003	0,0095	-0,0003	0,0096
4	75%	-0,0003	0,0137	-0,0003	0,0135
5	100%	0,0018	0,2086	0,0018	0,2085

Yogyakarta, Februari 2007

PEMERINTAH PROPINSI DIY
BPKL
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Dian Widyanti
Sample : (Air + Tanaman) 3 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	0,0031	-0,0004	0,0029
2	25%	-0,0002	0,0185	-0,0002	0,0185
3	50%	0,0002	0,0563	0,0002	0,0551
4	75%	0,0003	0,0691	0,0003	0,0689
5	100%	0,0021	0,2325	0,0021	0,2326

Yogyakarta, Februari 2007

PEMERINTAH PROPINSI DIY
BPKL
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Dian Widyanti

Sample : (Air + Tanaman) 6 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
2	25%	-0,0004	0,0025	-0,0004	0,0022
3	50%	0,000	0,0385	0,000	0,0385
4	75%	0,0002	0,0539	0,0002	0,0541
5	100%	0,0020	0,2192	0,0020	0,2193

Yogyakarta, Februari 2007

PEMERINTAH PROPINSI DIY
BPKL
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Dian Widyanti
Sample : (Air + Tanaman) 9 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
2	25%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
3	50%	-0,0003	0,0105	-0,0003	0,0106
4	75%	0,0001	0,0474	0,0001	0,0482
5	100%	0,0017	0,2017	0,0017	0,2015

Yogyakarta, Februari 2007

PEMERINTAH PROPINSI DIY
BPKL
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWOHARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Dian Widyanti
Sample : (Air + Tanaman) 12 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
2	25%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
3	50%	-0,0004	< 0,001	-0,0004	< 0,001
4	75%	-0,0003	0,0086	-0,0003	0,0079
5	100%	0,0017	0,1982	0,0017	0,1984

Yogyakarta, Februari 2007

PEMERINTAH PROPINSI D.I. YOGYAKARTA
BPKL
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

LAMPIRAN III

HASIL PERHITUNGAN STATISTIK

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
WAKTU	.00	0 hari	5
	1.00	3 hari	5
	2.00	6 hari	5
	3.00	9 hari	5
	4.00	12 hari	5
LIMBAH	.00	0%	5
	1.00	25%	5
	2.00	50%	5
	3.00	75%	5
	4.00	100%	5

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.Air

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.172[a]	8	.022	200.617	.000
Intercept	.113	1	.113	1052.974	.000
WAKTU	.005	4	.001	10.726	.000
LIMBAH	.168	4	.042	390.509	.000
Error	.002	16	.000		
Total	.287	25			
Corrected Total	.174	24			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .985)

Post Hoc Tests
WAKTU

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.Air

	(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0 hari	3 hari	.008040	.0076510	.828	-.015400	.031480
		6 hari	.021120	.0076510	.088	-.002320	.044560
		9 hari	.032020*	.0076510	.005	.008580	.055460
		12 hari	.042580*	.0076510	.000	.019140	.066020
	3 hari	0 hari	-.008040	.0076510	.828	-.031480	.015400
		6 hari	.013080	.0076510	.456	-.010360	.036520
		9 hari	.023980*	.0076510	.044	.000540	.047420
		12 hari	.034540*	.0076510	.003	.011100	.057980
	6 hari	0 hari	-.021120	.0076510	.088	-.044560	.002320
		3 hari	-.013080	.0076510	.456	-.036520	.010360
		9 hari	.010900	.0076510	.622	-.012540	.034340
		12 hari	.021460	.0076510	.081	-.001980	.044900
	9 hari	0 hari	-.032020*	.0076510	.005	-.055460	-.008580
		3 hari	-.023980*	.0076510	.044	-.047420	-.000540
		6 hari	-.010900	.0076510	.622	-.034340	.012540
		12 hari	.010560	.0076510	.648	-.012880	.034000
	12 hari	0 hari	-.042580*	.0076510	.000	-.066020	-.019140
		3 hari	-.034540*	.0076510	.003	-.057980	-.011100
		6 hari	-.021460	.0076510	.081	-.044900	.001980
		9 hari	-.010560	.0076510	.648	-.034000	.012880
Bonferroni	0 hari	3 hari	.008040	.0076510	1.000	-.016841	.032921
		6 hari	.021120	.0076510	.139	-.003761	.046001
		9 hari	.032020*	.0076510	.007	.007139	.056901
		12 hari	.042580*	.0076510	.000	.017699	.067461
	3 hari	0 hari	-.008040	.0076510	1.000	-.032921	.016841
		6 hari	.013080	.0076510	1.000	-.011801	.037961
		9 hari	.023980	.0076510	.064	-.000901	.048861
		12 hari	.034540*	.0076510	.004	.009659	.059421
	6 hari	0 hari	-.021120	.0076510	.139	-.046001	.003761
		3 hari	-.013080	.0076510	1.000	-.037961	.011801
		9 hari	.010900	.0076510	1.000	-.013981	.035781
		12 hari	.021460	.0076510	.127	-.003421	.046341
	9 hari	0 hari	-.032020*	.0076510	.007	-.056901	-.007139
		3 hari	-.023980	.0076510	.064	-.048861	.000901
		6 hari	-.010900	.0076510	1.000	-.035781	.013981
		12 hari	.010560	.0076510	1.000	-.014321	.035441
	12 hari	0 hari	-.042580*	.0076510	.000	-.067461	-.017699
		3 hari	-.034540*	.0076510	.004	-.059421	-.009659
		6 hari	-.021460	.0076510	.127	-.046341	.003421
		9 hari	-.010560	.0076510	1.000	-.035441	.014321

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.Air

	WAKTU	N	Subset 1	Subset 2
Tukey HSD[a,b]	12 hari	5	.041360	
	9 hari	5	.051920	
	6 hari	5	.062820	.062820
	3 hari	5		.075900
	0 hari	5		.083940
	Sig.		.081	.088

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

LIMBAH

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.Air

	(I) LIMBAH	(J) LIMBAH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0%	25%	-.009180	.0076510	.751	-.032620	.014260
		50%	-.033180*	.0076510	.004	-.056620	-.009740
		75%	-.049800*	.0076510	.000	-.073240	-.026360
		100%	-.216880*	.0076510	.000	-.240320	-.193440
	25%	0%	.009180	.0076510	.751	-.014260	.032620
		50%	-.024000*	.0076510	.043	-.047440	-.000560
		75%	-.040620*	.0076510	.001	-.064060	-.017180
		100%	-.207700*	.0076510	.000	-.231140	-.184260
	50%	0%	.033180*	.0076510	.004	.009740	.056620
		25%	.024000*	.0076510	.043	.000560	.047440
		75%	-.016620	.0076510	.239	-.040060	.006820
		100%	-.183700*	.0076510	.000	-.207140	-.160260
	75%	0%	.049800*	.0076510	.000	.026360	.073240
		25%	.040620*	.0076510	.001	.017180	.064060
		50%	.016620	.0076510	.239	-.006820	.040060
		100%	-.167080*	.0076510	.000	-.190520	-.143640
	100%	0%	.216880*	.0076510	.000	.193440	.240320
		25%	.207700*	.0076510	.000	.184260	.231140
		50%	.183700*	.0076510	.000	.160260	.207140
		75%	.167080*	.0076510	.000	.143640	.190520
Bonferroni	0%	25%	-.009180	.0076510	1.000	-.034061	.015701
		50%	-.033180*	.0076510	.005	-.058061	-.008299
		75%	-.049800*	.0076510	.000	-.074681	-.024919
		100%	-.216880*	.0076510	.000	-.241761	-.191999
	25%	0%	.009180	.0076510	1.000	-.015701	.034061
		50%	-.024000	.0076510	.064	-.048881	.000881
		75%	-.040620*	.0076510	.001	-.065501	-.015739
		100%	-.207700*	.0076510	.000	-.232581	-.182819
	50%	0%	.033180*	.0076510	.005	.008299	.058061
		25%	.024000	.0076510	.064	-.000881	.048881
		75%	-.016620	.0076510	.452	-.041501	.008261
		100%	-.183700*	.0076510	.000	-.208581	-.158819
	75%	0%	.049800*	.0076510	.000	.024919	.074681
		25%	.040620*	.0076510	.001	.015739	.065501
		50%	.016620	.0076510	.452	-.008261	.041501
		100%	-.167080*	.0076510	.000	-.191961	-.142199
	100%	0%	.216880*	.0076510	.000	.191999	.241761
		25%	.207700*	.0076510	.000	.182819	.232581
		50%	.183700*	.0076510	.000	.158819	.208581
		75%	.167080*	.0076510	.000	.142199	.191961

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.Air

	LIMBAH	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
Tukey HSD[a,b]	0%	5	.001380		
	25%	5	.010560		
	50%	5		.034560	
	75%	5		.051180	
	100%	5			.218260
	Sig.		.751	.239	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
WAKTU	.00	0 hari	5
	1.00	3 hari	5
	2.00	6 hari	5
	3.00	9 hari	5
	4.00	12 hari	5
LIMBAH	.00	0%	5
	1.00	25%	5
	2.00	50%	5
	3.00	75%	5
	4.00	100%	5

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.Tnm

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.164[a]	8	.020	140.067	.000
Intercept	.100	1	.100	682.078	.000
WAKTU	.006	4	.001	10.214	.000
LIMBAH	.158	4	.040	269.920	.000
Error	.002	16	.000		
Total	.266	25			
Corrected Total	.166	24			

a. R Squared = .986 (Adjusted R Squared = .979)

Post Hoc Tests
WAKTU

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.Tnm

	(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0 hari	3 hari	.008040	.0076510	.828	-.015400	.031480
		6 hari	.021120	.0076510	.088	-.002320	.044560
		9 hari	.032020*	.0076510	.005	.008580	.055460
		12 hari	.042580*	.0076510	.000	.019140	.066020
	3 hari	0 hari	-.008040	.0076510	.828	-.031480	.015400
		6 hari	.013080	.0076510	.456	-.010360	.036520
		9 hari	.023980*	.0076510	.044	.000540	.047420
		12 hari	.034540*	.0076510	.003	.011100	.057980
	6 hari	0 hari	-.021120	.0076510	.088	-.044560	.002320
		3 hari	-.013080	.0076510	.456	-.036520	.010360
		9 hari	.010900	.0076510	.622	-.012540	.034340
		12 hari	.021460	.0076510	.081	-.001980	.044900
	9 hari	0 hari	-.032020*	.0076510	.005	-.055460	-.008580
		3 hari	-.023980*	.0076510	.044	-.047420	-.000540
		6 hari	-.010900	.0076510	.622	-.034340	.012540
		12 hari	.010560	.0076510	.648	-.012880	.034000
	12 hari	0 hari	-.042580*	.0076510	.000	-.066020	-.019140
		3 hari	-.034540*	.0076510	.003	-.057980	-.011100
		6 hari	-.021460	.0076510	.081	-.044900	.001980
		9 hari	-.010560	.0076510	.648	-.034000	.012880
Bonferroni	0 hari	3 hari	.008040	.0076510	1.000	-.016841	.032921
		6 hari	.021120	.0076510	.139	-.003761	.046001
		9 hari	.032020*	.0076510	.007	.007139	.056901
		12 hari	.042580*	.0076510	.000	.017699	.067461
	3 hari	0 hari	-.008040	.0076510	1.000	-.032921	.016841
		6 hari	.013080	.0076510	1.000	-.011801	.037961
		9 hari	.023980	.0076510	.064	-.000901	.048861
		12 hari	.034540*	.0076510	.004	.009659	.059421
	6 hari	0 hari	-.021120	.0076510	.139	-.046001	.003761
		3 hari	-.013080	.0076510	1.000	-.037961	.011801
		9 hari	.010900	.0076510	1.000	-.013981	.035781
		12 hari	.021460	.0076510	.127	-.003421	.046341
	9 hari	0 hari	-.032020*	.0076510	.007	-.056901	-.007139
		3 hari	-.023980	.0076510	.064	-.048861	.000901
		6 hari	-.010900	.0076510	1.000	-.035781	.013981
		12 hari	.010560	.0076510	1.000	-.014321	.035441
	12 hari	0 hari	-.042580*	.0076510	.000	-.067461	-.017699
		3 hari	-.034540*	.0076510	.004	-.059421	-.009659
		6 hari	-.021460	.0076510	.127	-.046341	.003421
		9 hari	-.010560	.0076510	1.000	-.035441	.014321

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.Tnm

	WAKTU	N	Subset 1	Subset 2
Tukey HSD[a,b]	12 hari	5	.041360	
	9 hari	5	.051920	
	6 hari	5	.062820	.062820
	3 hari	5		.075900
	0 hari	5		.083940
	Sig.		.081	.088

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

LIMBAH

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.Tnm

	(I) LIMBAH	(J) LIMBAH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0%	25%	-.009180	.0076510	.751	-.032620	.014260
		50%	-.033180*	.0076510	.004	-.056620	-.009740
		75%	-.049800*	.0076510	.000	-.073240	-.026360
		100%	-.216880*	.0076510	.000	-.240320	-.193440
	25%	0%	.009180	.0076510	.751	-.014260	.032620
		50%	-.024000*	.0076510	.043	-.047440	-.000560
		75%	-.040620*	.0076510	.001	-.064060	-.017180
		100%	-.207700*	.0076510	.000	-.231140	-.184260
	50%	0%	.033180*	.0076510	.004	.009740	.056620
		25%	.024000*	.0076510	.043	.000560	.047440
		75%	-.016620	.0076510	.239	-.040060	.006820
		100%	-.183700*	.0076510	.000	-.207140	-.160260
	75%	0%	.049800*	.0076510	.000	.026360	.073240
		25%	.040620*	.0076510	.001	.017180	.064060
		50%	.016620	.0076510	.239	-.006820	.040060
		100%	-.167080*	.0076510	.000	-.190520	-.143640
	100%	0%	.216880*	.0076510	.000	.193440	.240320
		25%	.207700*	.0076510	.000	.184260	.231140
		50%	.183700*	.0076510	.000	.160260	.207140
		75%	.167080*	.0076510	.000	.143640	.190520
Bonferroni	0%	25%	-.009180	.0076510	1.000	-.034061	.015701
		50%	-.033180*	.0076510	.005	-.058061	-.008299
		75%	-.049800*	.0076510	.000	-.074681	-.024919
		100%	-.216880*	.0076510	.000	-.241761	-.191999
	25%	0%	.009180	.0076510	1.000	-.015701	.034061
		50%	-.024000	.0076510	.064	-.048881	.000881
		75%	-.040620*	.0076510	.001	-.065501	-.015739
		100%	-.207700*	.0076510	.000	-.232581	-.182819
	50%	0%	.033180*	.0076510	.005	.008299	.058061
		25%	.024000	.0076510	.064	-.000881	.048881
		75%	-.016620	.0076510	.452	-.041501	.008261
		100%	-.183700*	.0076510	.000	-.208581	-.158819
	75%	0%	.049800*	.0076510	.000	.024919	.074681
		25%	.040620*	.0076510	.001	.015739	.065501
		50%	.016620	.0076510	.452	-.008261	.041501
		100%	-.167080*	.0076510	.000	-.191961	-.142199
	100%	0%	.216880*	.0076510	.000	.191999	.241761
		25%	.207700*	.0076510	.000	.182819	.232581
		50%	.183700*	.0076510	.000	.158819	.208581
		75%	.167080*	.0076510	.000	.142199	.191961

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.Tnm

	LIMBAH	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
Tukey HSD[a,b]	0%	5	.001380		
	25%	5	.010560		
	50%	5		.034560	
	75%	5		.051180	
	100%	5			.218260
	Sig.		.751	.239	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

LAMPIRAN IV

HASIL PENGAMATAN VISUAL

Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok

Hari pada limbah 100%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	7
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	7
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Agak layu, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x12.5 cm	0	13	7.5
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Mulai layu, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x12 cm	0	13	7.5
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Mulai layu, hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x10 cm	0	13	7.5
Hari ke-5	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x10cm	0	13	8
Hari ke-6	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, hijau kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x9cm	0	13	8
Hari ke-7	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, hijau kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x8cm	0	13	8
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7.5cm	0	13	8
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7cm	0	13	8

Hari ke-10	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Layu, kering, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Kecoklatan, kering, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7cm	0	13	8
Hari ke-11	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Layu, kering, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Coklat, kering, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7cm	0	13	8
Hari ke-12	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Layu, kering, berwarna coklat, panjang batang rata-rata 40 cm	Coklat, kering, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7cm	1	12	8

Hari pada limbah 75%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	7
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	7
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x12.5 cm	0	13	7
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Mulai layu, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x12 cm	0	13	7.5
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Mulai layu, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x11 cm	0	13	7.5
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x11cm	0	13	8
Hari ke-6	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x10cm	0	13	8
Hari ke-7	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, hijau kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x9cm	0	13	8
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x9cm	0	13	8
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7.5cm	0	13	7.5

Hari ke-10	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7.5cm	0	13	7.5
Hari ke-11	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 17 cm.	Layu, kering, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Coklat, setengah kering, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7.5cm	0	13	7.5
Hari ke-12	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 17 cm.	Layu, kering, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Coklat, kering, ada tumbuh tunas baru, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7.5cm	0	13	7.5

Hari pada limbah 50%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Mulai layu, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x12 cm	0	13	6.5
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40.5 cm	Mulai layu, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x12 cm	0	13	7
Hari ke-6	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40.5 cm	Mulai layu, hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, daun 14x11.5cm	0	13	7.5
Hari ke-7	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 41 cm	Mulai layu, hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, daun 14x11.5cm	0	13	7.5
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 41 cm	Mulai layu, hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, daun 13x11.5cm	0	13	7.5
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 42 cm	Layu, kuning, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x11cm	0	13	7

Hari ke-10	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 42 cm	Layu, kuning, ada tumbuh tunas baru jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x11cm	0	13	7
Hari ke-11	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 17 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 42 cm	Layu, kuning, ada tumbuh tunas baru jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x11cm	0	13	7
Hari ke-12	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 17 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 42 cm	Layu, kuning, ada tumbuh tunas baru jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x11cm	0	13	7

Hari pada limbah 25%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	7
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41.5 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14x13 cm	0	13	7
Hari ke-6	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41.5cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14x13 cm	0	13	7
Hari ke-7	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41.5cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14x13.5 cm	0	13	7
Hari ke-8	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 17 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42cm	Segar, hijau, ada tunas baru, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13.5 cm	0	13	7
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 17 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42cm	Segar, hijau, ada tunas baru, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x14cm	0	13	7

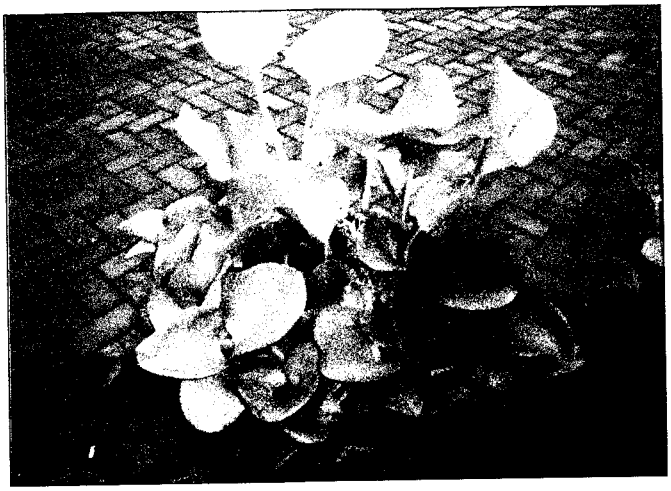
Hari ke-10	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, adanya akar - akar baru, panjang akar rata-rata 17 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru, ukuran daun 14x14cm	0	13	7
Hari ke-11	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, adanya akar - akar baru, panjang akar rata-rata 17.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru, ukuran daun 14x14cm	0	13	7
Hari ke-12	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, adanya akar - akar baru, panjang akar rata-rata 17.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru, ukuran daun 14x14cm	0	13	7

Hari pada limbah 0%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40.5 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	6.5
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 40.5 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x14 cm	0	13	6.5
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14x14 cm	0	13	6.5
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41.5 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14x14 cm	0	13	6.5
Hari ke-6	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 17 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41.5 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14x14.5 cm	0	13	6.5
Hari ke-7	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 17 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14x15 cm	0	13	6.5
Hari ke-8	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 17 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42 cm	Segar, hijau, ada tunas baru, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x15 cm	0	13	6.5

Hari ke-9	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 17.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14.5x16 cm	0	13	6.5
Hari ke-10	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 17.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 42.5 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14.5x16 cm	0	13	6.5
Hari ke-11	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 18 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 43 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14.5x16 cm	0	13	6.5
Hari ke-12	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, Adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 18 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 43 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14.5x16.5 cm	0	13	6.5

LAMPIRAN V

DOKUMENTASI

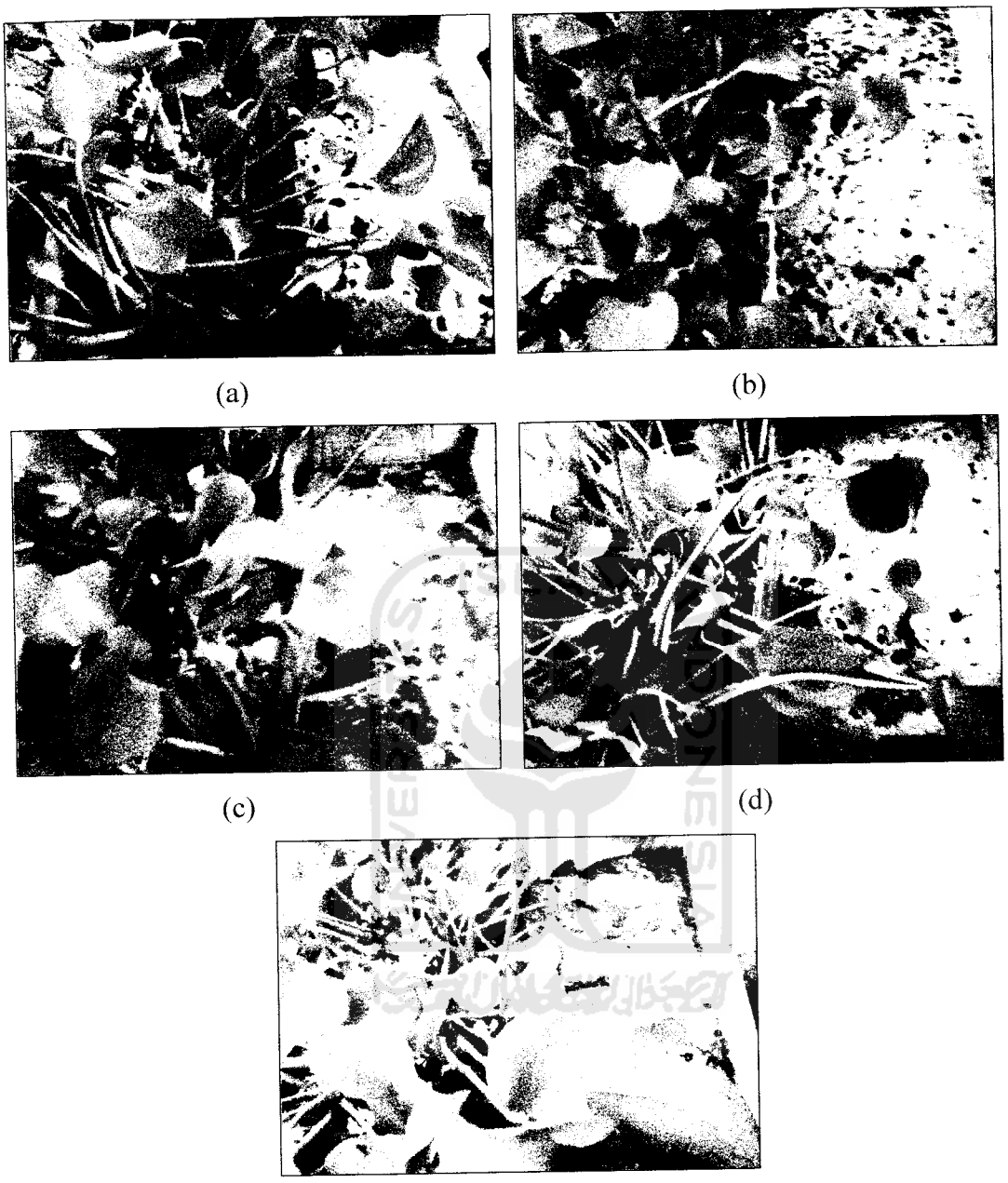


(a)



(b)

Gambar.1 (a) Eceng Gondok Sebelum Perlakuan dan (b) Limbah Sebelum Perlakuan

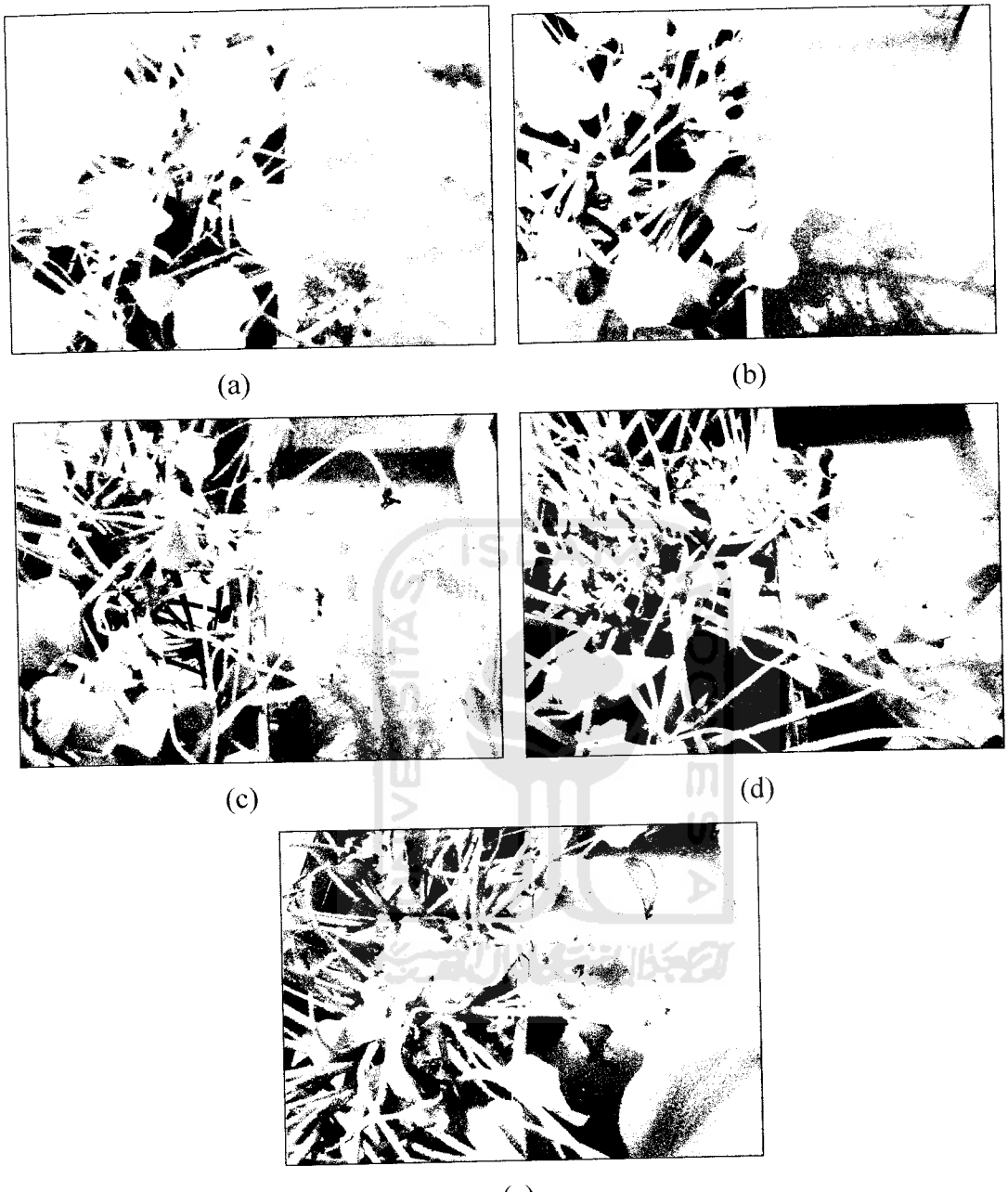


(a) (b)

(c) (d)

(e)

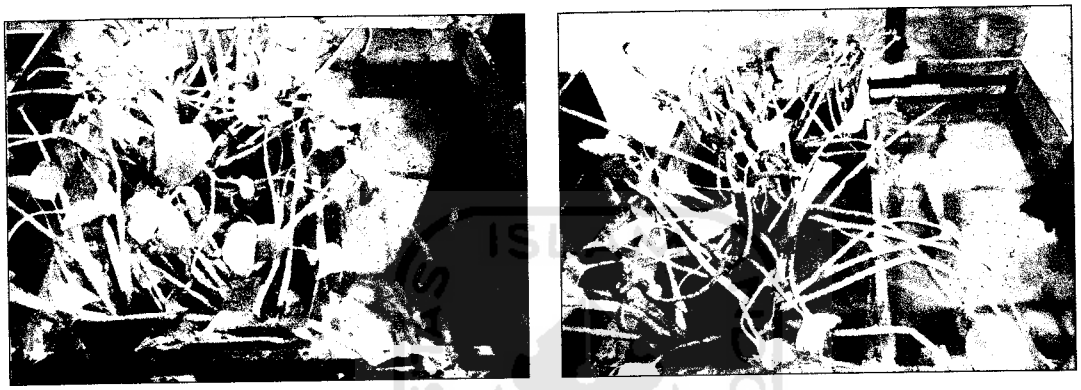
Gambar.2 Reaktor Pengolahan Constructed Wetland Hari ke-0 dengan Konsentrasi Limbah : (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75%, (e) 100%



Gambar.3 Reaktor Pengolahan Constructed Wetland Hari ke-3 dengan Konsentrasi Limbah : (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75%, (e) 100%



(a) (b)

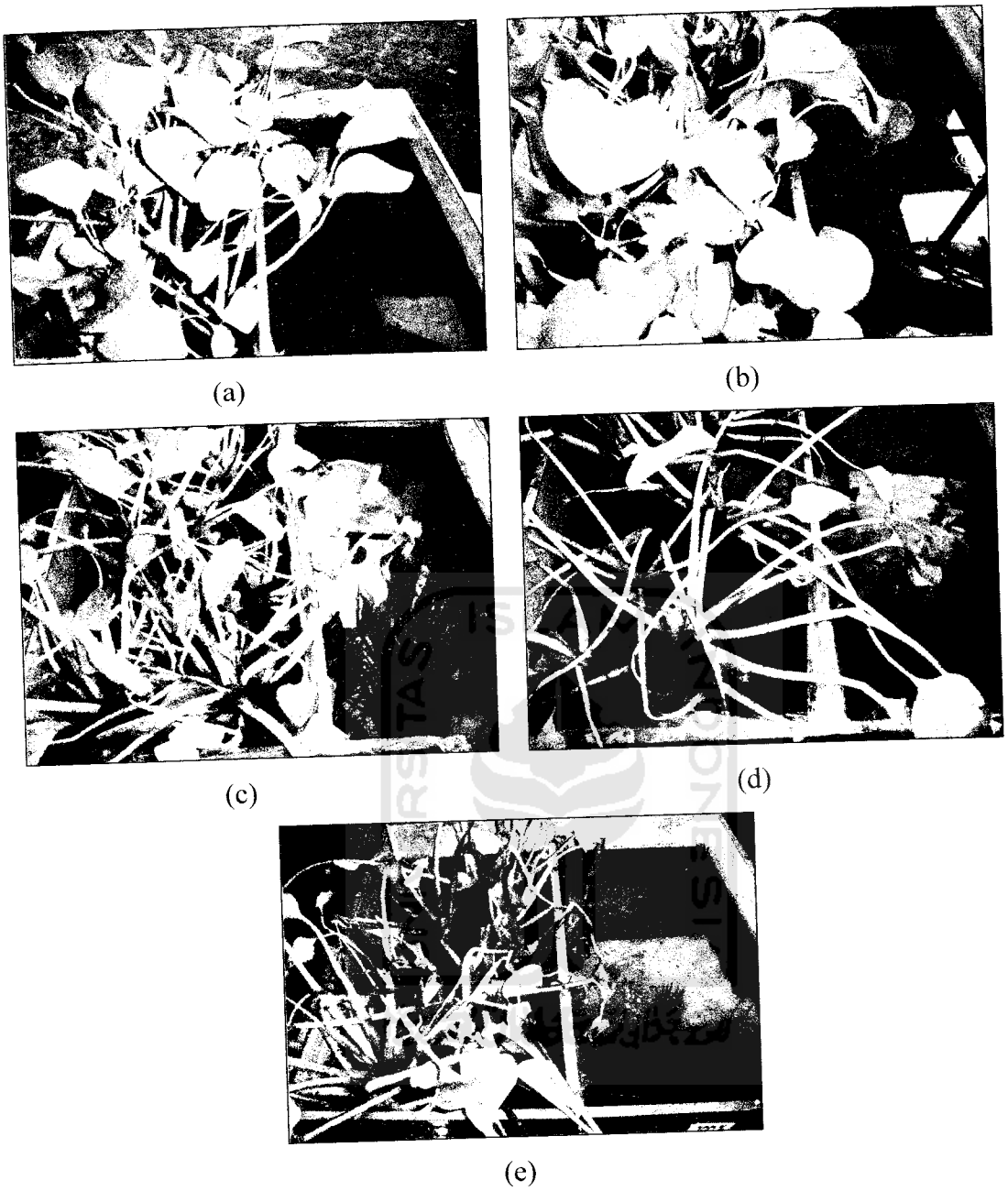


(c) (d)



(e)

Gambar.4 Reaktor Pengolahan Constructed Wetland Hari ke-6 dengan Konsentrasi Limbah : (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75%, (e) 100%



Gambar.5 Reaktor Pengolahan Constructed Wetland Hari ke-9 dengan Konsentrasi Limbah : (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75%, (e) 100%

Reaktor

Konsentı

100%

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	NAMA	NO MHS	PRODI
1	Dian Widyanti	02513004	Teknik Lingkungan
2			

JUDUL TUGAS AKHIR : Penurunan Konsentrasi Hg Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan UII dengan Constructed Wetland Menggunakan Enceng Gondok (Eichornia Crassipes)

PERIODE : IV
TAHUN : 2005/2006

No	kegiatan	Bulan Ke ;											
		Mei		Juni		Juli		Agt		Sep		Nov	
1	Pendaftaran												
2	Penentuan Dosen pembimbing												
3	Pembuatan Proposal												
4	Seminar proposal												
5	Konsultasi Penyusunan TA												
6	Sidang - sidang												
7	Pendadaran												

DOSEN PEMBIMBIG I : Ir. H. Kasam, MT
DOSEN PEMBIMBING II : Eko Siswoyo, ST
DOSEN PEMBIMBING III ;



Yogyakarta, 14 Oktober 2006
Koordinator TA

(Eko Siswoyo, ST)

Catatan

Seminar :.....
Sidang : .....
Pendadaran :.....



Gambar.6 Reaktor Pengolahan Constructed Wetland Hari ke-12 dengan Konsentrasi Limbah : (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75%, (e) 100%

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

No	Tanggal	Catatan Konsultasi	Tanda Tangan	
			Pemb I	Pemb II
1.	21.03.07	• Ditambahkan kajian yang memiliki topik yang sama • Ditambahkan penelitian terdahulu ttg semakin besar konsentrasi, maka semakin kecil penurunan. • Perbaiki redaksional		
	4/4'07	- Kesimpulan, dst. Sesuaikan dgn tujuan dr penelitian - Abstrak disempurnakan		
	8/4'07	- Gambar 1 dst beri nomor - Siap seminar		
	9/4'07	Siap jilid		



(a) (b) (c) (d) (e)

Gambar.6 Reaktor Pengolahan Constructed Wetland Hari ke-12 dengan Konsentrasi Limbah : (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75%, (e) 100%