

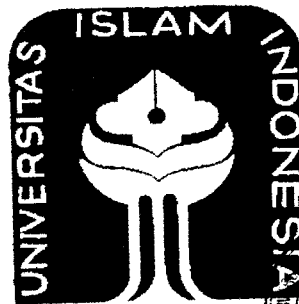
TA/TL/2007/0186

TUGAS AKHIR

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HABIS/LEBI	
TGL. TERIMA :	21 Jun 2007
NO. JUDUL :	002468
NO. INV. :	52000466001
NO. INDUK :	

**PENYERAPAN TIMBAL (Pb) DARI LIMBAH CAIR
LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA DENGAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLANDS*
MENGUNAKAN TANAMAN ECENG GONDOK
(*Eichornia crassipes*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia
Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Memperoleh
Derajat Sarjana Strata-1 Teknik Lingkungan**



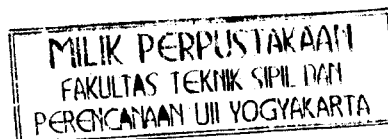
Disusun Oleh :

Nama : MERI MAYASARI

NIM : 02 513 011

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

2007



LEMBAR PENGESAHAN

**PENYERAPAN TIMBAL (Pb) DARI LIMBAH CAIR LABORATORIUM
KUALITAS LINGKUNGAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
DENGAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLANDS* MENGGUNAKAN
TANAMAN ECENG GONDOK
(*Eichornia crassipes*)**


Nama : Meri Mayasari

No. MHS : 02 513 011

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

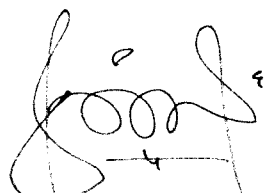
Dosen pembimbing I

Ir. H. Kasam, MT


Tanggal : 6-5-2007

Dosen pembimbing II

Eko Siswoyo, ST


Tanggal : 6-5-2007

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadirat Allah SWT, penguasa setiap hembus nafas, pemilik jiwa yang penuh cinta, dan teramat sayang pada hamba-hamba. Segala puji bagi Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang pemilik segala ilmu pengetahuan, yang senantiasa memberikan jalan bagi setiap insannya. Shalawat serta salam tercurah dan terlimpah kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW.

Alhamdulillahirobbil'alamin atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya juga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENYERAPAN TIMBAL (Pb) DARI LIMBAH CAIR LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA DENGAN SISTEM CONSTRUCTED WETLANDS MENGGUNAKAN TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)”**.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

Penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat dorongan, motivasi, bantuan, bimbingan dan arahan, serta adanya kerja sama dari berbagai pihak. Untuk itu perkenankanlah penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Allah SWT.
2. Rasulullah Muhammad SAW, keluarga dan para sahabatnya.
3. Bapak Dr. Ir. H. Ruzardi MS. selaku dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Lukman Hakim, ST, Msi selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
5. Bapak Ir. H. Kasam, MT selaku dosen pembimbing I, yang telah bersedia meluangkan waktu dan membimbing, mendukung serta memberi masukan-masukan kepada penulis.
6. Bapak Eko Siswoyo, ST, selaku koordinator Tugas Akhir dan selaku dosen pembimbing II, atas arahan dan bimbingannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Hudori, ST, Bapak Andik Yulianto, ST, Bapak Widodo, Ibu Yureana Wijayanti, MSc, Ibu Ani Yulianti, ST, MSc selaku dosen Jurusan Teknik Lingkungan.

8. Mas Agus Adi Prananto, SP yang banyak membantu dalam berbagai administrasi Tugas Akhir ini.
9. Mas Iwan Ardiyanta, Amd selaku laboran di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan, atas bimbingannya selama saya berada di Laboratorium Lingkungan.
10. Ayah dan Ibu-ku tercinta, Adikku dan semua keluarga besar di Bengkulu atas dorongan dan dukungannya, baik dalam material dan spiritualnya.
11. Semua pihak yang telah memberi bantuan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhirnya penyusun sangat berharap agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penyusun sendiri maupun bagi semua pihak yang menggunakan laporan ini.

Wassalamu alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, April 2007

Penyusun

Penguasa setiap hembus nafas, pemilik alam semesta...
Hanya dari, oleh dan untuk_Nya, dunia ini bermula-berproses-berakhir
Allah SWT.

Orang Tua_ku tercinta
Yang telah mendo'akan, membesarkan, mendidikku dan menanamkan
nilai-nilai pemaknaan hidup
Menjaga amanah_Nya dengan penuh cinta dan kasih sayang

Adik_ku tersayang Arif Baswantara
Celotehan, ledekan, dorongan dan semangat telah memberikan
makna dari persaudaraan

Datuk Bangsawan (alm) dan Emak Sopiah...
Yang selalu mendo'akan "yie..(panggilan kesayanganku)"

Segenap Keluarga Besar di **Bumi Rafflesia "Bengkulu"**
(Pakde-Bukde, Paman-Bunda, Bucik-Pakcik)

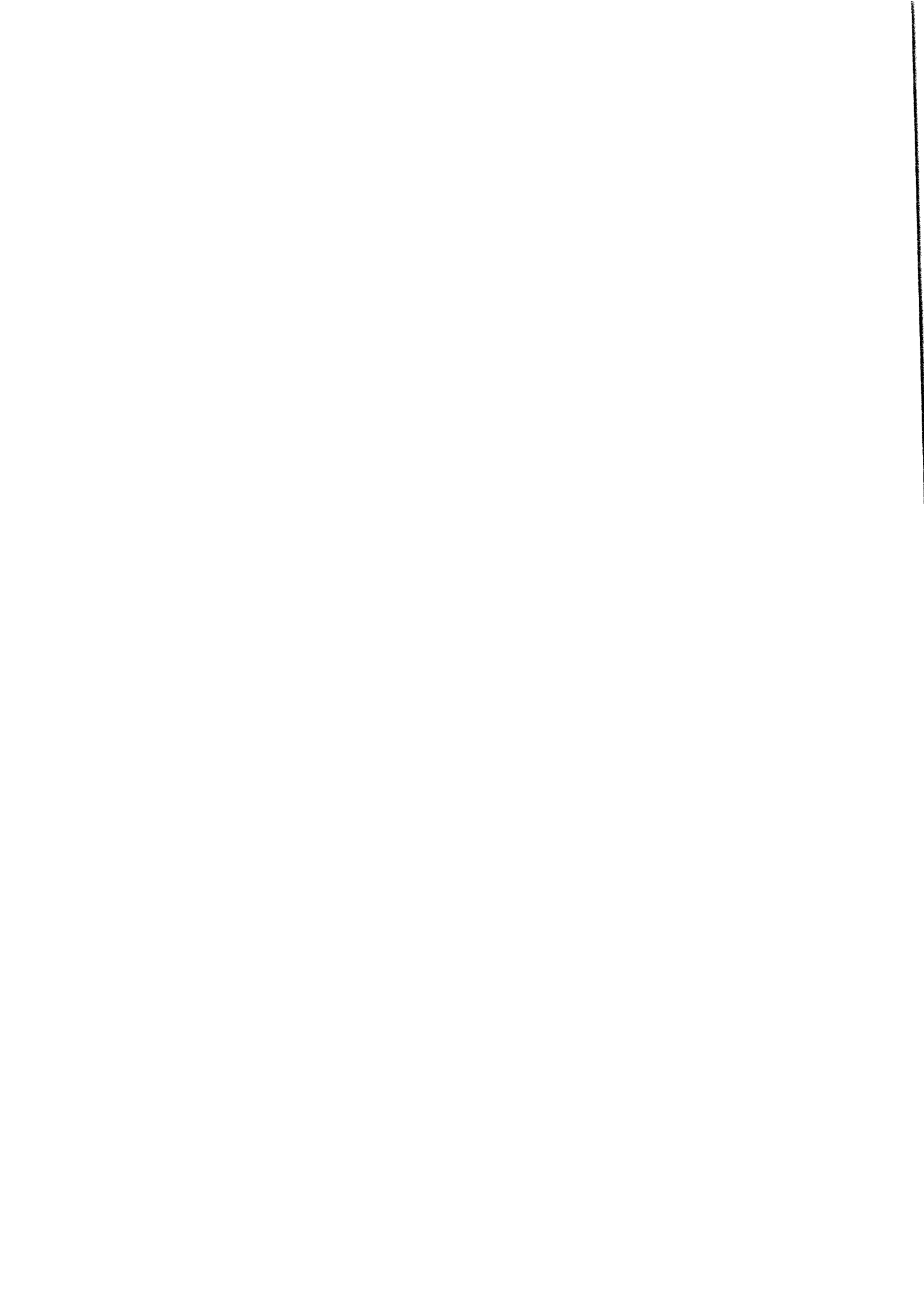
Sepupu-sepupu kecilku
Apriawan, Angga, Hafiz, Haris, Adam, Ariel, Alya

CEMARA 7

(♥ Dian, ♥ Mirna, ♥ Reni, ♥ Uci, ♥ Ria, ♥ Egi)
Bersama...qta pernah menangis dan tertawa.
Kalian semua telah memberikan arti pentingnya sebuah
"PERSAHABATAN"

Ka'i "Andy Rais"...salah satu patner TA_ku

Welli Zuandi
Yang selalu setia menemaniku, tempat berbagi suka_duka
" ingat mimpi-mimpi kita "
.....makasih untuk semuanya.....



Para Pejantan Tangguh

(Bang Aksa "Blewah", Rino "Bemo", Mas Heru,
Bang Yono "Tegi", Hanung, Dodo, Bang KKG, Bang Lay, Bang Ismed
'Capten Jack' Babe 'Ndras, Pak Ketua "Ucup_Bosok" dkk)
Terimakasih atas semua dorongan dan semangat kalian
"TRAGEDI 5 DESEMBER '06"

F4 (Bang Anto, Bang Koko, Bang Bobby 'n Ryan jambi)
HIDUP WETLAND....!!!!!!

Temen-Temen Gank Xinting

Diahkoy, Dinakoy, Lindakoy, Liakoy, Arikoy, Vitakoy
"CHAYO..."
=> diah *puzzle*, makasih ya...dah setia menemaniku test TOEFL.

Segenap Teman Seperjuangan

"Angkatan 2002 is the best"
(Menikmati indahny bangku kuliah.....)

Keluarga Besar Teknik Lingkungan - FTSP

Red House Girl's

"Emak mence, mpiect (mantan tetangga dpn kamar_ku), ernol, mama
ulil, upik abu, via_ayu, nora, ayu ma'i, mb' miemie, ariend_dul, idariyem,
Lia_lioy, wien_dut, reni, sofa, q-q, latifah, rahma"
.....Tawa canda kalian selalu menemani hari-hariku.....

"My Komputer..."

Selalu setia menemaniku tanpa lelah

"Almamater^ku"

Semua Pihak Yang Telah Membantu Kelancaran Tugas Akhir_ku
Terima Kasih yach.....



Motto

*Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya
(Q.S Al-Baqarah : 286)*

*Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhan-Mu lah hendaknya kamu berharap.
(Q.S Al-Insyrah : 6-8)*

*"Apabila kamu tidak dapat memberikan kebaikan kepada orang lain dengan kekayaanmu, berilah mereka kebaikan dengan wajahmu yang berseri-seri, serta akhlak yang baik.
(Nabi Muhammad SAW)*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
INTISARI	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sistem Constructed Wetland	6
2.1.1. Mekanisme Pengolahan	7
2.1.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi	9
2.1.3. Keunggulan Sistem Constructed Wetland	11
2.2. Eceng Gondok (<i>Eichornia Crassipes</i>)	14

2.2.1	Kedudukan dan Taksonomi	14
2.2.2	Deskripsi Tanaman	14
2.2.3	Ciri-ciri Morfologi	17
2.2.4	Ciri-ciri Fisiologis	18
2.2.5	Kerugian dan Manfaat Eceng Gondok	20
2.2.6	Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Eceng Gondok	22
2.3	Logam dan Logam Berat	23
2.3.1.	Logam	23
2.3.2.	Logam Berat	26
2.3.3	Interaksi Antar Logam	28
2.3.4	Interaksi Antara Pb dengan Logam Lain	29
2.4	Logam Timbal (Pb)	30
2.4.1	Pb di Udara	32
2.4.2	Pb di Dalam Air dan Makanan	34
2.4.3	Keracunan oleh Logam Timbal (Pb)	35
2.5	Toksisitas Logam Berat Pada Tanaman	42
2.5.1	Toksisitas Logam Timbal (Pb)	43
2.6	Fitoremediasi	44
2.6.1	Fitoremediasi Logam Pb Dengan Tanaman Eceng Gondok	46
2.6.2	Kemampuan Penyerapan Logam Berat dan Organik Oleh Tanaman	49
2.7	Spektrofotometer Serapan Atom	50
2.8	Penelitian Dengan Memanfaatkan Tanaman Air dalam Sistem Constructed Wetland	51

2.9	Hipotesis	53
-----	-----------	----

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Metode Penelitian	54
3.2	Lokasi Penelitian	55
3.3	Waktu Penelitian	55
3.4	Parameter Penelitian	55
3.5	Desain Constructed Wetland	56
3.6	Metode Pelaksanaan Penelitian	58
3.6.1	Kualitas Air Limbah	58
3.6.2	Tanaman Eceng Gondok	59
3.6.3	Desain Sampling	60
3.6.4	Pengambilan Sampling	60
3.6.5	Destruksi	61
3.7	Analisa AAS	61
3.8	Metode Analisa Laboratorium	62
3.9	Metode Analisa Pertumbuhan Tanaman	63
3.10	Metode Analisa Data	63

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1.	Analisa Konsentrasi Timbal (Pb) dalam Limbah Cair Laboratorium	64
4.2	Analisa Konsentrasi Timbal (Pb) pada Limbah Cair Setelah Perlakuan	65
4.2.1	Analisa Konsentrasi Timbal (Pb) pada Akar Tanaman Eceng Gondok	66

4.2.2	Analisa Konsentrasi Timbal (Pb) pada Daun Tanaman Eceng Gondok	69
4.3	Analisa Tingkat Penyerapan Logam Pb oleh Tanaman Eceng Gondok	74
4.3.1	Analisa Tingkat Penyerapan Logam Pb oleh Akar Eceng Gondok	74
4.3.2	Analisa Tingkat Penyerapan Logam Pb oleh Daun Eceng Gondok	76
4.3.3	Analisa Tingkat Penyerapan Logam Pb oleh Tanaman Eceng Gondok	78
4.3.4	Analisa Tingkat Penyerapan Tanaman Eceng Gondok Dengan Tingkat Penurunan Kandungan Logam Pb pada Air Limbah	81
4.4	Fitoremediasi Dengan Tanaman Eceng Gondok	86
4.5	Efisiensi Serapan Logam Timbal (Pb) oleh Tanaman Eceng Gondok	87
4.6	Analisa Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok	88
4.6.1	Analisa Pertumbuhan Dan Daya Serap akar	88
4.6.2	Analisa Pertumbuhan Panjang Tanaman	90
4.6.3	Analisa Pertumbuhan Luas Daun Tanaman	91
4.7	Analisa Statistik Parameter Pencemar	93
4.7.1	Analisa Statistik Logam Pb pada Akar Tanaman	93
4.7.2	Analisa Statistik Logam Pb pada Daun Tanaman	96

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

98

5.2. Saran

99

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Persamaan Reaktor Awal	57
Tabel 3.2	Variasi Konsentrasi Limbah Cair	59
Tabel 4.1	Konsentrasi Timbal Pada Tanaman Sebelum Perlakuan	65
Tabel 4.2	Konsentrasi Pb Dalam Akar Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan	66
Tabel 4.3	Konsentrasi Pb Dalam Tiap 1 gr Akar Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan	66
Tabel 4.4	Konsentrasi Pb Dalam Daun Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan	70
Tabel 4.5	Konsentrasi Pb Dalam Tiap 1 gr Daun Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan	70
Tabel 4.7	Konsentrasi Timbal (Pb) Total Pada Tanaman Eceng Gondok	72
Tabel 4.8	Konsentrasi Pb Dalam Tiap 1 gr Tanaman Eceng Gondok	72
Tabel 4.9	Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Akar Tanaman Eceng Gondok	74
Tabel 4.10	Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Tiap 1 gr Akar Eceng Gondok	75

Tabel 4.11	Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Daun Tanaman Eceng Gondok	77
Tabel 4.12	Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Tiap 1 gr Daun Eceng Gondok	77
Tabel 4.13	Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Tanaman (Akar dan Daun) Eceng Gondok	79
Tabel 4.14	Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Tiap 1 gr Tanaman Eceng Gondok(Akar dan Daun).	79
Tabel 4.15	Tingkat Penurunan Kandungan Logam Timbal Pada Limbah	82
Tabel 4.16	Hasil Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Akar dan Daun Tanaman Eceng Gondok Di Hari Ke-12	85
Tabel 4.17	Efisiensi Penyerapan Logam Timbal (Pb) Oleh Tanaman Eceng Gondok	86
Tabel 4.18	Hasil Pengamatan Pertumbuhan Akar Eceng Gondok	88
Tabel 4.19	Hasil Pengamatan Pertumbuhan Batang Eceng Gondok	90
Tabel 4.20	Hasil Pengamatan Pertumbuhan Daun Eceng Gondok	92
Tabel 4.21	Tabel <i>Tests of Between-Subjects Effects</i> Kandungan Timbal (Pb) Pada Akar Tanaman	94
Tabel 4.22	Tabel <i>Tests of Between-Subjects Effects</i> Kandungan Timbal (Pb) Pada Daun Tanaman	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Reaktor Sistem <i>Constructed Wetland</i>	8
Gambar 2.2	Mekanisme penguraian bahan organik pada <i>Constructed Wetland</i> (Kadlec & Knight, 1995)	9
Gambar 2.3	Eceng gondok	16
Gambar 2.4	Proses – proses fitoremediasi pada tumbuhan	46
Gambar 2.5	Penyerapan logam Pb pada tanaman Eceng Gondok	48
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	54
Gambar 3.2	Reaktor Tampak Atas (tanpa skala)	57
Gambar 3.3	Reaktor Tampak Samping (tanpa skala)	58
Gambar 4.1	Grafik Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Akar Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan	68
Gambar 4.2	Grafik Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Daun Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan	71
Gambar 4.3	Grafik Konsentrasi Timbal Total (akar dan daun) Pada Tanaman Eceng Gondok	73
Gambar 4.4	Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Akar Tanaman Eceng Gondok	75

Gambar 4.5	Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Daun Tanaman Eceng Gondok	78
Gambar 4.6	Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Tanaman (Akar dan Daun) Eceng Gondok	80
Gambar 4.7	Grafik Efisiensi (%) Penyerapan Kandungan Logam Timbal Oleh Tanaman Eceng Gondok	87

**PENYERAPAN TIMBAL (Pb) DARI LIMBAH CAIR LABORATORIUM
KUALITAS LINGKUNGAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA DENGAN
SISTEM *CONSTRUCTED WETLANDS* MENGGUNAKAN
TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)**

Kasam¹⁾, Eko Siswoyo²⁾, Meri Mayasari³⁾

INTISARI

Kegiatan praktikum yang dilakukan mahasiswa di Laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia sebagian besar menggunakan bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan apabila limbah cair tidak diolah terlebih dahulu. Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang terdapat pada limbah cair ini. Untuk mengatasi pencemaran lingkungan diperlukan pengolahan secara biologis. *Constructed Wetland* merupakan salah satu alternatif pengolahan air buangan sebelum dibuang ke badan air penerima. Tanaman yang digunakan adalah eceng gondok (*Eichornia Crassipes*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas serapan yang dilakukan oleh tanaman Eceng Gondok terhadap kandungan logam Pb dalam limbah cair laboratorium kualitas lingkungan dan mengetahui apakah limbah cair tersebut akan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*).

Penelitian ini menggunakan reaktor yang terbuat dari kayu yang dilapisi dengan plastik sebagai lapisan kedap air dengan ukuran reaktor 0,5 m x 1,0 m. Reaktor *Constructed Wetland* ini terdiri dari eceng gondok sebagai zona tanaman, tanah sebagai zona substrat dan limbah cair laboratorium sebagai zona air. Penyerapan logam Pb oleh tanaman eceng gondok dilihat dari konsentrasi limbah (0%, 25%, 50%, 75% dan 100%) dengan waktu sampling (0, 3, 6, 9 dan 12) dan pengamatan visual (akar, daun dan batang).

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh penyerapan paling besar terdapat pada konsentrasi limbah 50% yaitu sebesar 0,0000824 mg/gr. Efisiensi penyerapan selama waktu detensi 12 hari adalah sebesar 3,9833% pada kondisi normal, sebesar 10,8782% pada konsentrasi air limbah 25%, sebesar 11,5019% pada konsentrasi air limbah 50%, sebesar 9,5803% pada konsentrasi air limbah 75% dan sebesar 8,2737% pada konsentrasi air limbah 100%.

Kata kunci: *constructed wetland*, limbah cair laboratorium, eceng gondok, timbal (Pb)

¹ Staf Pengajar, Jurusan Teknik lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

² Staf Pengajar, Jurusan Teknik lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

³ Mahasiswa, Jurusan Teknik lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

**ABSORPTION OF Pb METAL FROM WASTEWATER IN INDONESIA
ISLAMIC UNIVERSITY LABORATORY OF ENVIRONMENT QUALITY
WITH *CONSTRUCTED WETLAND* SYSTEM USING
WATER HYACINTH (*Eichornia crassipes*) PLANT**

Kasam¹⁾, Eko Siswoyo²⁾, Meri Mayasari³⁾

ABSTRACT

*The activity in Indonesia Islamic University laboratory of environment quality using chemical for the environment if not processed first. Plumbum (Pb) is one of heavy metal in this wastewater. Biological treatment can solve the environment pollution. Constructed wetland is one of processing alternative of the wastewater before removed to water body. The plants used is water hyacinth (*Eichornia crassipes*). The objective of research is to know how much absorption capacity of water hyacinth (*Eichornia crassipes*) to Pb metal content on the wastewater in laboratory of environment quality and does wastewater of will influence the growth of water hyacinth (*Eichornia crassipes*) plant.*

*This research used reactor made from wood that covered with plastic as a permeable barrier with dimension of reactor is 0,5 m as width and 1,0 m as length. Constructed Wetland reactor consist of water hyacinth (*Eichornia crassipes*) as a plant zone, soil in substrate zone and wastewater from laboratory as a water zone. The absorption of plumbum metal by water hyacinth (*Eichornia crassipes*) was studied from wastewater concentration (0%, 25%, 50%, 75% dan 100%) with sampling time (0, 3, 6, 9 dan 12) and visual studied (root, leaves and stem).*

The result of analysis, it was found that optimum absorption in wastewater with concentration 50% that is 0,0000824 mg/gr. Absorption efficiency as long as 12 days are 3,9833% in normal condition, 10,8782% in wastewater with concentration 25%, 11,5019% in concentration 50%, 9,5803% in concentration 75% dan in concentration 100% that is 8,2737%.

*Key Words: constructed wetland, laboratory wastewater, water hyacinth (*Eichornia crassipes*), plumbum (Pb)*

¹ Staf Pengajar, Jurusan Teknik lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

² Staf Pengajar, Jurusan Teknik lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

³ Mahasiswa, Jurusan Teknik lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

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 ke badan air penerima. Pengolahan limbah dengan *Constructed Wetlands* memanfaatkan mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam areal tersebut. Dalam sistem ini terjadi aktivitas pengolahan seperti sedimentasi, filtrasi, gas traser, adsorpsi, pengolahan kimia dan pengolahan biologis karena aktivitas mikroorganisme 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 *wetlands* 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 dapat digunakan pada *constructed wetland* adalah dari jenis tanaman air dan hasil penelitian menunjukkan ada beberapa tanaman air yang mampu menyerap logam berat antara lain eceng gondok, typha, wlingi (*scirpus*) dan kayu apu (*Pistia statiotes L*).

Pada penelitian ini tanaman air yang digunakan untuk menyerap logam berat adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). 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 mampu menyerap logam-logam berat seperti Cr, Pb, Hg, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn dengan baik, kemampuan menyerap logam Eceng Gondok lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua (Widiyanto dan Suselo,1977).

Rangkaian penelitian seputar kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam berat yang telah dilakukan sebelumnya. Pada percobaan Chossi dan Husin (1977) diketahui eceng gondok mampu menyerap residu dari larutan yang mengandung 0,50 ppm 2.4-D sebanyak 0,296 ppm dan 2,00 ppm 2.4-D sebanyak 0,830 ppm dalam waktu 96 jam.

Pada penelitian Dr Hasim DEA Dosen Biokimia dan Tokikologi FMIPA dan Pascasarjana IPB (2000) melihat kemampuan eceng gondok menyerap timbal (Pb) dilakukan sebagai berikut. Satu, tiga, lima rumpun eceng gondok ditempatkan di dalam ember plastik berisi air sumur dan larutan Pb(NO₃) sebesar 5 ppm. Konsentrasi Pb diukur ketika hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28 dengan spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 217 nm. Kadar logam Pb menurun 5,167 ppm (96,4 persen) pada perlakuan satu rumpun eceng gondok, menurun 5,204 ppm (98,7 persen) pada perlakuan tiga rumpun, dan menurun 6,019 ppm (99,7 persen) pada perlakuan lima rumpun dari konsentrasi hari ke-0. Analisis pada hari-hari selanjutnya (hari ke-14, 21, dan 28) menunjukkan perubahan kadar Pb tidak terlalu jauh dengan kadar logam Pb pada hari ke-7. Eceng gondok terbukti mampu menurunkan kadar polutan Pb dan Fe.

1.2 Rumusan Masalah

1. Seberapa besar kapasitas serapan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) terhadap kandungan logam Timbal (Pb) pada limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia.

2. Apakah limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia akan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pengolahan limbah cair laboratorium kualitas lingkungan dengan *constructed wetlands* ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui seberapa besar kapasitas serapan yang dilakukan oleh tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) terhadap kandungan logam Timbal (Pb) dalam limbah cair laboratorium kualitas lingkungan.
2. Untuk mengetahui apakah limbah cair laboratorium kualitas lingkungan akan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman Eceng Gondok. (*Eichornia Crassipes*)

1.4 Batasan Masalah

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

1. Pengolahan yang digunakan untuk mengolah limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia yaitu sistem *Constructed Wetlands* dengan tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*).
2. Pada penelitian ini jenis *reactor wetlands* yang digunakan adalah *Free Water Surface* (FWS).

3. Tanaman yang digunakan berupa tanaman Eceng Gondok dengan berat yang sama.
4. Bahan baku limbah berasal dari laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia.
5. Parameter yang akan diuji pada penelitian ini adalah konsentrasi Pb.
6. Penelitian ini akan dilakukan dengan skala laboratorium.
7. Konsentrasi limbah pada reaktor dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.
8. Waktu pengujian konsentrasi Pb dilakukan pada hari ke 0, 3, 6, 9, dan 12.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Meningkatkan keilmuan peneliti dalam bidang pengolahan air limbah
2. Memberikan salah satu alternatif pengolahan terhadap limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia.
3. Meminimalisasi terjadinya pencemaran di badan air, akibat limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia.
4. Dapat mengetahui apakah tanaman Eceng Gondok ini mampu menurunkan konsentrasi logam Pb secara maksimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem *Constructed Wetland*

Definisi dari *constructed wetlands* secara umum adalah tanah di mana kejenuhan air merupakan faktor dominan dari perkembangan tanah dan tipe dari tanaman dan binatang yang hidup padanya. Yang kondisinya dibuat sesuai dengan bentuk *wetlands* alaminya, dengan tujuan untuk meminimalisasikan kandungan konsentrasi air limbah yang berpotensi menyebabkan pencemaran air.

Definisi *wetlands* lainnya berupa tanah transisi antara bagian daratan dan perairan di mana sebagian besar komposisinya berupa air. *Natural treatment wetlands* ini efektif untuk mengolah air limbah di mana prinsip pengolahan limbah cair dengan *constructed wetlands* 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 (*vegetation*) air di area tersebut. Proses pengolahan yang terjadi di dalam *wetlands* tersebut berupa sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorpsi atau disebut juga dengan proses pengolahan fisik, untuk pengolahan secara kimiawi dan biologi pada *constructed wetlands* terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas dari tanaman yaitu berupa proses fotosintesis (Metcalf & Eddy, 1993)

Constructed wetlands 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.

2.1.1 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 sebagai berikut :

a. *Solid* (padatan)

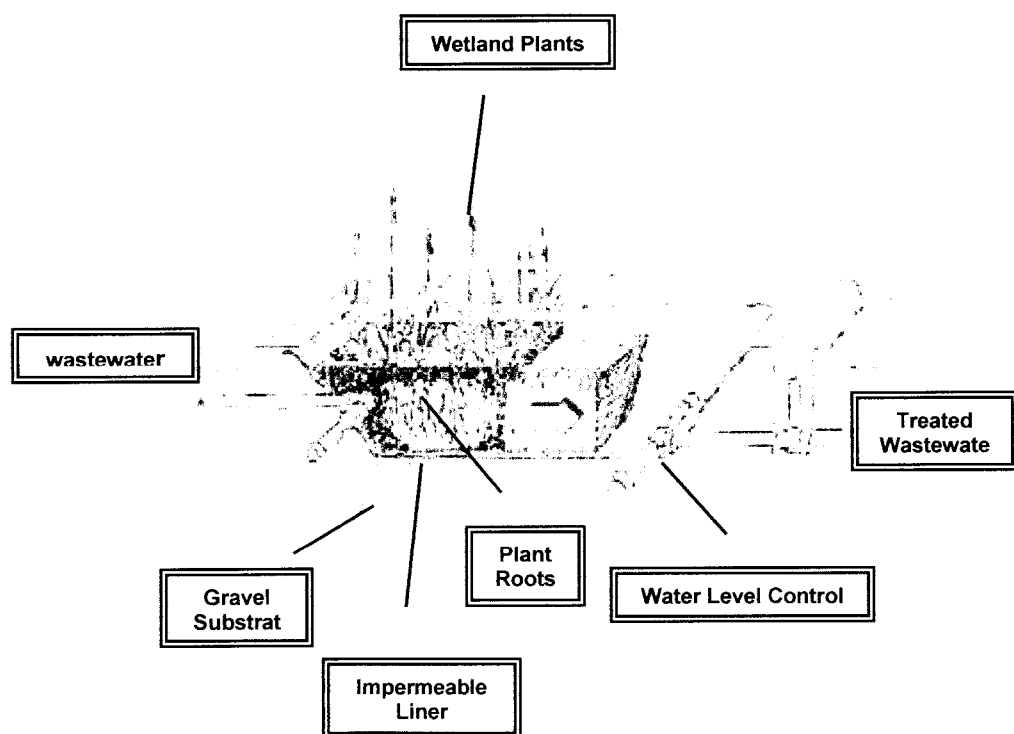
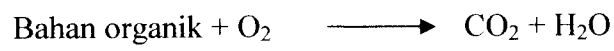
Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada sistem *Constructed wetland* ini air limbah mengalir melewati partikel-partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup. Kedalaman media dan kecepatan tertentu, sehingga akan memberikan kesempatan partikel-partikel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

b. Bahan Organik

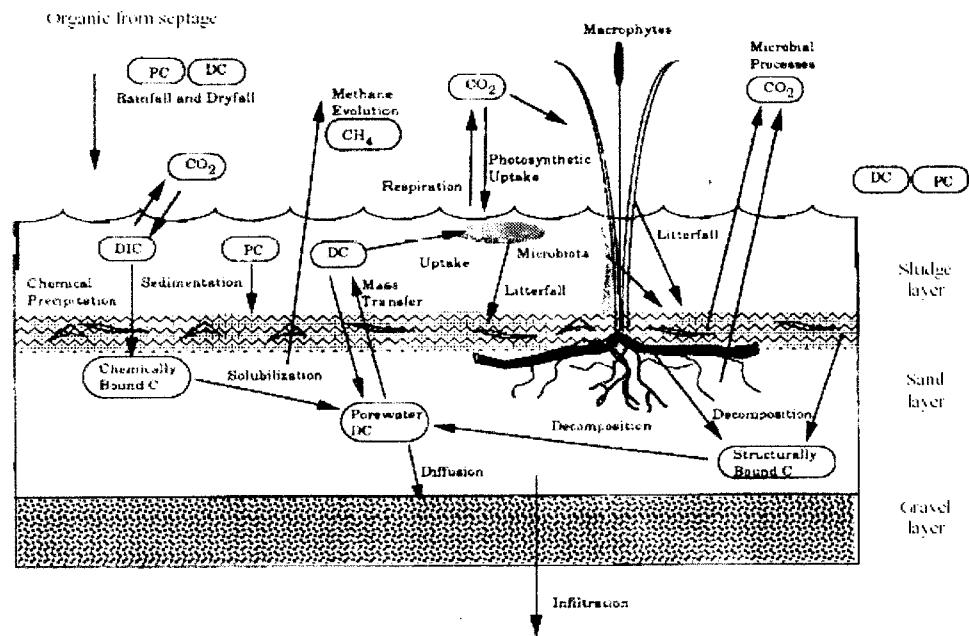
BOD terlarut dapat dihilangkan karena aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *Constructed wetland*. Proses pengolahan biologis dalam *Constructed wetland* sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aktivitas mikroorganisme

ini sangat bergantung pada aktivitas akar tanaman dalam sistem *Constructed wetland* untuk mengeluarkan oksigen (Gopal, 1999 dalam Siswoyo, 2002).

Mekanisme pengolahan yang terjadi adalah :



Gambar 2.1 Reaktor Sistem *Constructed Wetland*



Gambar 2.2 Mekanisme penguraian bahan organik pada *Constructed Wetland* (Kadlec & Knight, 1995)

2.1.2 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 memberi dukungan berupa transformasi nutrient melalui proses fisik, kimia dan mikrobiologi. 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* dan *reeds* akan lebih praktis karena tanaman ini dapat dibersihkan satu kali dalam setahun (Vymazal, 1998).

2. Media Tanam

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

1. Sebagai tempat hidup dan tumbuh tanaman.
2. Sebagai tempat berkembang biaknya mikroorganisme.
3. Sebagai tempat terjadinya proses fisik, yaitu sedimentasi untuk penurunan konsentrasi solid dalam air limbah.

Pengolahan air limbah dipengaruhi oleh waktu detensi, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak lebih lama antara mikroorganisme, oksigen yang akan dikeluarkan akar tanaman dan air limbah. Keadaan tanah seperti permeabilitas tanah dan konduktivitas hidrolis sangat berpengaruh pada waktu detensi air limbah (Wood, 1993).

3. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan dapat berkembang biak dalam sistem ini adalah mikroorganisme heterotropik aerobik, sebab pengolahan

dengan mikroorganisme ini dapat berjalan lebih cepat dibanding anaerobik (Vymazal, 1999). Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanaman. Dengan jarak yang diatur sedemikian rupa diharapkan tanaman akan mampu memberikan transfer oksigen yang cukup tinggi 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 mengolah air limbah. Temperatur yang cocok untuk *constructed wetland* dengan menggunakan tanaman *cattail* adalah $20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ (Wood,1993)

2.1.3 Keunggulan Sistem *Constructed Wetland*

Selama ini pengolahan air buangan seringkali menggunakan sistem konvensional, yaitu dengan menggunakan *ponds* atau *lagoons*. Kedua jenis pengolahan tersebut seringkali menimbulkan kendala-kendala antara lain:

1. Timbulnya bau dan aroma yang tidak enak.
2. Seringkali menjadi tempat hidup lalat dan insekta lainnya.
3. Tingkat removal yang kurang optimal.

Sedangkan sistem lainnya yang sering digunakan adalah dengan menggunakan pengolahan biologis seperti *Activated sludge* atau *oxidation*

ditch. Kedua sistem diatas memerlukan perawatan khusus dan memerlukan biaya yang cukup tinggi untuk operasional aerasinya.

Jika menggunakan sistem *Constructed wetland*, maka kendala-kendala di atas akan dapat diatasi. Hal ini karena sistem *Constructed wetland* ini mempunyai beberapa keunggulan antara lain:

1. Karena sistem pengolahan di dalam tanah, genangan air akan dapat diminimalkan sehingga timbulnya bau akan dapat dihindarkan.
2. Tingkat removal atau efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus dalam prosesnya.
4. Merupakan sistem pengolahan yang 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 kontrol yang mudah. 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 EPA dan *Water Pollution Control Federation*, sistem *Constructed wetland* dikategorikan menjadi dua tipe, yaitu :

1. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

Secara umum sistem FWS berupa kolam atau saluran yang dilapisi lapisan impermeabel alami atau tanah liat yang berfungsi untuk mencegah merembesnya air keluar kolam atau saluran. Kolam-kolam tersebut berisi tanah sebagai tempat hidup tanaman air.

Tanaman yang biasa digunakan dalam sistem ini adalah *cattail*, *reed*, *sedge* dan *rush* (Crites dan Tchobanoglous, 1998 dalam Diana, AB 2007). Pada sistem ini penurunan limbah terjadi ketika air limbah melalui akar tanaman diserap oleh bakteri dan tanaman.

2. Sistem *Sub Surface Flows* (SSF)

Pada sistem SSF, pengolahan terjadi ketika air limbah mengalir secara perlahan melalui tanaman yang ditanam pada media berpori. Media yang digunakan mempunyai batasan dari kerikil sampai pasir kasar (Crites dan Tchobanoglous, 1998). Proses yang terjadi adalah filtrasi, adsorpsi oleh mikroorganisme dan adsorpsi terhadap tanah dan bahan organik oleh akar tanaman,. Jenis tanaman yang digunakan dalam pengolahan sama dengan yang digunakan pada sistem FWS.

2.2. Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*)

2.2.1 Kedudukan dan taksonomi

Menurut Lawrence (1985), eceng gondok mempunyai kedudukan dan taksonomi sebagai berikut:

- ✓ Divisi : Spermatophyta
- ✓ Subdivisi : Angiospermae
- ✓ Kelas : Monocotyledoneae
- ✓ Ordo : Farinosae
- ✓ Familia : Pontederiaceae
- ✓ Genus : *Eichornia*
- ✓ Spesies : *Eichornia crassipes*

2.2.2 Deskripsi tanaman

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 mampu menyerap logam-logam berat seperti Cr, Pb, Hg, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn dengan baik, kemampuan menyerap logam Eceng Gondok lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua (Widiyanto dan Suselo,1977).

Adapun bagian-bagian dari tanaman tersebut adalah sebagai berikut :

Akar : Akar tumbuhan ini adalah akar serabut. Akar eceng gondok mempunyai rambut berjumlah banyak sesuai dengan fungsinya yaitu menyerap zat hara yang terkandung dalam air.

Batang : Batang sangat pendek dan tidak mempunyai percabangan dengan jaringan palisade yang berupa jaringan bunga karang, berfungsi sebagai rongga udara.

Daun : Daun terbentuk dalam roset, helaian daun bulat telur pada yang muda dan berbentuk jantung pada yang dewasa, sedangkan tulang daun melengkung rapat. Permukaan daunnya dilapisi oleh zat lilin sebagai pelindung terhadap kelimpahan air ditempat hidupnya. Pada daun dan tangkai daun terdapat aerenkim yang berfungsi sebagai alat

pengapung tubuh dan dapat melakukan fotosintesis karena adanya klorofil.

Bunga : Bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopaknya berbentuk tabung, bertangkai panjang dan berbunga 6 – 35, tangkai bunga dengan dua daun pelindung (spatha) yang duduknya sangat dekat. Bagian pangkal berwarna hijau, perigonium tersusun atas 2 lingkaran masing-masing dengan 3 tepala berwarna ungu.

Distribusi tanaman ini meliputi daerah yang sangat luas, karena didukung oleh sifatnya yang dengan mudah memisahkan diri dari kelompok (Daubermine, 1974 ; Weaver, 1980 dalam Yunarsih 2006)



Gambar 2.3 Eceng gondok

2.2.3 Ciri-ciri morfologis

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

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 (Widiyanto, 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 (Dauberminr, 1974 ; Weaver 1980). Ciri-ciri morfologis yang demikianlah yang memungkinkan eceng gondok melangsungkan kehidupannya dengan baik.

2.2.4 Ciri-ciri fisiologis

Eceng gondok mempunyai data adaptasi yang besar terhadap berbagai macam hal disekelilingnya dan dapat berkembang baik dengan cepat. Eceng gondok dapat hidup ditanah yang selalu tertutup air dan banyak mengandung makanan. Di air bersih eceng gondok akan segera mati, tetapi di air payau dan dimuara-muara sungai eceng gondok masih dapat hidup agak lama

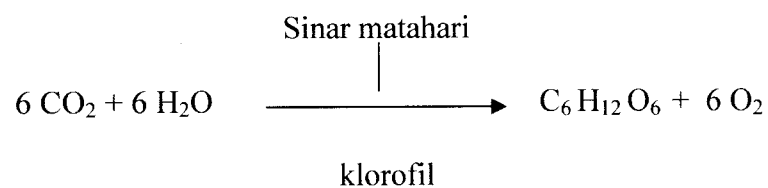
Transpirasi

Jumlah air yang digunakan dalam proses tumbuhan hanyalah memerlukan sebagian kecil jumlah air yang diabsorpsi atau sebagian besar dari air yang masuk ke dalam tumbuhan meninggalkan daun dan batang sebagai uap air. Proses tersebut dinamakan transpirasi, sebagian menyerap melalui batang tapi kehilangan air umumnya berlangsung melalui daun. Laju hilangnya air dari tumbuhan dipengaruhi kwntitas sinar matahari dan musim. Laju transpirasi ditentukan oleh struktur eceng gondok dan beberapa faktor lingkungan. Struktur daun eceng gondok yang lebar dan terbuka terhadap sinar matahari. Permukaan daun yang luas mempunyai stomata yang lebih

banyak, sehingga pada waktu transpirasi air menguap dari permukaan dan melalui stomata ke udara akan lebih besar. Faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap laju transpirasi yaitu suhu, kelembaban, udara, cahaya, dan angin (Anonim, 1996).

Fotosintesa

Fotosintesa adalah sintesa karbohidrat dari karbondioksida dan air oleh klorofil, menggunakan cahaya energi dengan oksigen sebagai produk tambahan. Reaksinya dapat dilihat sebagai berikut (Sastroutomo, 1991):



Dalam proses fotosintesa ini tanaman membutuhkan CO₂ dan H₂O dan dengan bantuan sinar matahari akan menghasilkan glukosa dan oksigen meskipun senyawa organik lainnya juga dihasilkan. Karbondioksida yang digunakan dalam proses ini berasal dari udara dan energi cahaya matahari. Oksigen yang terbentuk dilepas di udara sebagai tambahan yang digunakan tanaman dan hewan (Sastroutomo, 1991).

Respirasi

Sel tumbuhan dan hewan mempergunakan energi untuk membangun dan memelihara protoplasma, membran plasma dan dinding sel. Energi

tersebut dihasilkan dari pembakaran senyawa-senyawa. Didalam respirasi molekul gula biasanya glukosa ($C_6H_{12}O_6$) diubah menjadi zat-zat yang lebih sederhana dengan disertai pembebasan energi, dengan reaksi sebagai berikut (Tjitrosomo, 1983):



Dalam proses respirasi ini glukosa dan O_2 diubah menjadi CO_2 H_2O dan energi yang akan dilepas ke udara.

2.2.5 Kerugian dan manfaat Eceng Gondok

Seperti telah dikemukakan diatas bahwa eceng gondok mempunyai sifat-sifat cepat berkembang dan toleran terhadap lingkungan sehingga gulma ini memiliki kecepatan tumbuh dan berkembang biak, daya adaptasi terhadap lingkungan baru sangat besar, sehingga merupakan gangguan kronis dan sukar dikendalikan (Tirtosoepmo, 1981).

Bila dilihat dari sifatnya eceng gondok lebih banyak merugikan manusia daripada keuntungannya. Oleh karena itu mengapa orang lebih sering berpikir untuk memberantasnya daripada memanfaatkannya.

Kerugian yang dapat ditimbulkan oleh eceng gondok antara lain :

1. Bagian tanaman yang mati akan menyebabkan pencemaran pada air.

2. Menghalangi penetrasi sinar matahari ke air sehingga mengganggu ekosistem yang ada didalam air tersebut.
3. Akumulasi dan sedimentasi lumpur pada akarnya menyebabkan lambat laun akan terjadi pendangkalan.
4. Penguapan air melalui daunnya akan mengurangi volume air.
5. Jika tumbuh pada saluran akan menghambat aliran air.
6. Mengurangi produktifitas badan air dengan mengambil ruang unsur makanan, mengurangi daya tampung waduk.

Namun selain kerugian-kerugian yang ditimbulkan oleh tanaman ini, Eceng Gondok 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.

7. Sebagai media penanam jamur merang,
8. Sebagai bahan dasar handicraft (Anonim, 1990).

2.2.6 Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan eceng gondok:

1. 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.

2. 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.

3. Cahaya matahari, pH dan suhu

Eceng gondok sangat memerlukan sinar matahari dengan suhu optimum 25°C - 30°C. Untuk pertumbuhan yang lebih baik Eceng Gondok memerlukan pH 7 - 7,5 jika pH kurang dari 4 pertumbuhannya akan mengalami keterlambatan dan terhambat demikian juga bila pH tinggi

4. Unsur hara

Eceng Gondok ini sangat tahan terhadap kadar unsur hara yang rendah dalam air tetapi responnya terhadap kadar hara tinggi juga sangat besar, N

dan P seringkali merupakan faktor pembatas, kedua unsur hara ini adalah unsur yang sangat penting dan diperlukan dalam jumlah yang besar.

5. Salinitas

Eceng Gondok sampai 100 m dari pantai dalam kondisi air sungai yang mempunyai salinitas kurang lebih 1% masih dapat tumbuh.

6. Faktor biotik

Pertumbuhan massal suatu jenis gulma air tergantung dari jenis tumbuhan lain yang bersamanya. Eceng Gondok yang berasal dari Amerika Serikat ini dapat tumbuh baik di Indonesia.

2.3. Logam dan logam berat

2.3.1 Logam

Istilah logam biasanya diberikan kepada semua unsur-unsur kimia dengan ketentuan atau kaidah-kaidah tertentu. Unsur ini dalam kondisi suhu kamar, tidak selalu berbentuk padat melainkan ada yang berbentuk cair. Logam-logam cair, contohnya adalah air raksa atau hidrargyrum (Hg), serium (Ce) dan gallium (Ga).

Melihat kepada bentuk dan kemampuan atau daya yang ada pada setiap logam, maka dapatlah diketahui bahwa setiap logam haruslah :

- a. memiliki kemampuan baik sebagai penghantar daya listrik (konduktor).
- b. memiliki kemampuan sebagai penghantar panas yang baik.
- c. memiliki repatan yang tinggi.

d. dapat membentuk alloy dengan logam lainnya.

e. untuk logam yang padat, dapat ditempa dan dibentuk

Disamping itu, setiap unsur logam baik yang padat maupun yang berbentuk cair, akan memberikan ion positif (+) apabila senyawanya dilarutkan dalam air. Sedangkan oksida dari senyawa tersebut akan membentuk hidroksida bila bertemu dengan air.

Hampir 75 % dari unsur-unsur yang terdapat dalam tabel periodik unsur merupakan unsur logam. Unsur logam tersebut, ditemukan hampir pada setiap golongan kecuali pada golongan VII A dan golongan VIII A dari tabel periodik unsur. Unsur-unsur logam tersebut dikelompokkan pula atas golongan-golongan sesuai dengan karakteristiknya. Pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Golongan logam alkali.
- b. Golongan logam alkali tanah.
- c. Golongan logam transisi.
- d. Golongan logam mulia.
- e. Golongan logam tanah.
- f. Golongan logam tanah jarang.
- g. Golongan logam lantanida dan aktinida.

Ahrland et.al.(1958) mengusulkan untuk mengelompokkan logam kedalam 3 kategori, yang berdasarkan pada konstanta kesetimbangan, pada

pembentukan ion logam atau kompleks logam dalam larutan. Pengelompokan itu adalah :

- a. Kategori kelas A
- b. Kategori kelas B
- c. Kategori kelas antara (transisi)

Secara kimiawi, logam bereaksi menuju tingkat stabil (biasanya dengan cara membentuk garam atau bentuk unsur stabil). Unsur logam akan bereaksi sebagai aseptor elektron (asam lewis) dan berpasangan dengan donor elektron (basa lewis) membentuk bermacam-macam senyawa, seperti pasangan ion, kompleks logam, senyawa koordinasi dan kompleks donor aseptor. Semakin besar konstanta kesetimbangan dari suatu logam, maka makin stabil pula kompleks logam tersebut dalam larutannya. Sebagai contoh, logam-logam transisi pada deret elektron 3 d, menunjukkan kenaikan stabilitas kompleksnya sebagai berikut : $Mn^{2+} < Fe^{2+} < Co^{2+} < Ni^{2+} < Cu^{2+} > Zn^{2+}$ yang lebih dikenal dengan deret irving-william. Pendekatan ini selanjutnya dikembangkan untuk mengelompokkan pasangan-pasangan elektron donor aseptor menjadi kelompok asam-basa kuat dan asam-basa lemah. Asam kuat seperti, Mg^{2+} , Ca^{2+} dan Al^{3+} akan berikatan kuat dengan oksida asam kuat (basa kuat) seperti O^{2-} atau CO_3^{2-} , sedangkan asam lemah seperti, Hg^{2+} atau Hg^{2+} dan unsur logam Pb^{2+} lebih cenderung untuk berikatan dengan basa-basa lemah seperti S^{2-} .

2.3.2 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 kompleks 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 akuatis.

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, Sb, 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 :

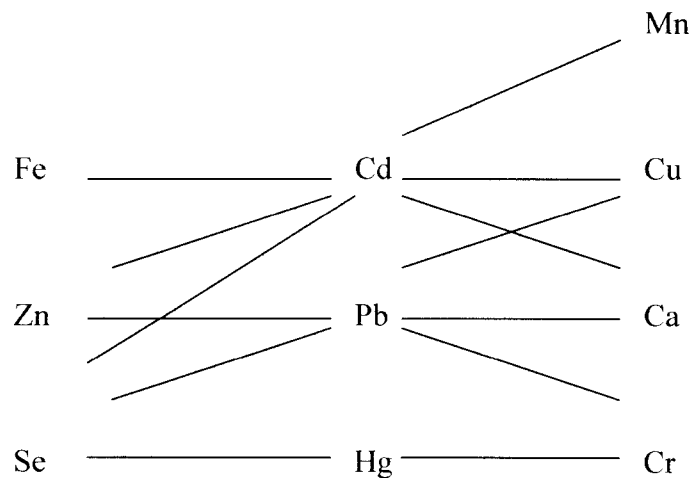
- a. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan oxygen- seeking metal.
- b. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang (sulfur) atau disebut juga nitrogen/ sulfur 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 esensial ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn) dan nikel (Ni).

2.3.3 Interaksi antar logam

Mempelajari interaksi antar logam esensial dan nonesensial dapat membantu mempelajari mekanisme toksisitas logam tersebut. Interaksi antar logam tersebut banyak diteliti di laboratorium dan kemudian diaplikasikan di lapangan, ternyata kejadiannya hampir sama dengan di lapangan secara alamiah baik pada hewan maupun pada manusia. Daya keracunan dari logam berat nonesensial dapat meningkatkan atau menjadi menurun oleh karena atau absennya logam esensial.



Di samping adanya interaksi antar logam esensial dengan nonesensial, diantara logam esensial juga terjadi peristiwa interaksi. Hal ini terjadi jika salah satu mineral esensial defisiensi dipengaruhi oleh naiknya kandungan beberapa unsur mineral esensial lainnya (antagonisme). Pada kebanyakan kasus antagonisme tersebut sejumlah elemen yang saling berinteraksi mempunyai sifat yang hampir sama sehingga terjadi kompetisi dalam menduduki ikatannya dalam protein.

2.3.3 Interaksi antara Pb dengan logam lain

Timbal dalam bentuk anorganik yang biasanya mencemari lingkungan merupakan Pb yang bersifat reaktif dalam berinteraksi dengan logam lain. Daya toksisitas dari Pb banyak dipengaruhi oleh hadirnya logam esensial 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.

2.4. Timbal (Pb)

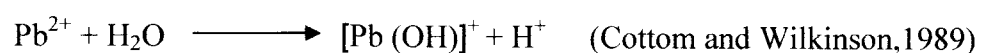
Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dinamakan Plumbum. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik. Timbal mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 (Palar,1994). Penyebaran logam Timbal 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.

Unsur Pb yang masuk ke dalam lingkungan tidak langsung membahayakan kehidupan makhluk hidup, logam tersebut membahayakan metabolisme makhluk jika berada dalam batas melebihi ambangnya. Unsur Pb merupakan unsur logam yang sangat toksik pada tanaman. Unsur Pb dapat dimanfaatkan sebagai pelapis keramik (*glaze*), pelapis pita, kabel, film, baterai, pelapis pipa dan solder. Unsur Pb resistan terhadap bahan korosi, 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).

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

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



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

2.4.1 Timbal (Pb) di udara

Jumlah Pb di udara mengalami peningkatan yang sangat drastis sejak dimulainya revolusi industri di Benua Eropa. Asap yang berasal dari cerobong pabrik sampai pada knalpot kendaraan telah melepaskan Pb ke udara. Hal ini berlangsung terus-menerus sepanjang hari, sehingga kandungan Pb di udara naik secara mencolok sekali. Kenyataan ini secara dramatis dibuktikan dengan suatu hasil penelitian terhadap kandungan Pb yang terdapat pada lapisan es di Greenland pada tahun 1969.

Arus angin ternyata telah menerbangkan debu-debu dan partikulat-partikulat yang mengandung logam Pb ke daerah kutub. Debu dan partikulat tersebut menumpuk pada lapisan atmosfer di kutub, dan kemudian dibawa turun oleh salju untuk selanjutnya membentuk lapisan es. Sampel-sampel yang diambil pada kedalaman tertentu pada lapisan es di Greenland, dimana setiap lapisan mewakili umur sample yang juga berarti merupakan umur dari endapan logam Pb pada daerah tersebut di ketahui bahwa kandungan Pb mulai mengalami peningkatan setelah revolusi industri, yaitu sekitar abad ke-18.

Emisi Pb kedalam lapisan atmosfer bumi dapat berbentuk gas dan partikulat. Emisi Pb yang masuk dalam bentuk gas, terutama sekali berasal dari buangan gas kendaraan bermotor. Emisi tersebut merupakan hasil samping dari pembakaran yang terjadi dalam mesin-mesin kendaraan. Pb yang merupakan hasil samping dari pembakaran ini berasal dari senyawa tetrametil-Pb dan tetraetil-Pb yang selalu ditambahkan dalam bahan bakar kendaraan bermotor dan berfungsi sebagai anti ketuk (*anti-knock*) pada mesin-mesin kendaraan.

Di samping itu, dalam bahan bakar kendaraan bermotor biasanya ditambahkan pula bahan *scavenger*, yaitu etilendibromida ($C_2H_4Br_2$) dan etilendiklorida ($C_2H_4Cl_2$). Senyawa ini dapat mengikat residu Pb yang dihasilkan setelah pembakaran, sehingga di dalam gas buangan terdapat senyawa Pb dengan halogen.

Sumber-sumber lain yang menyebabkan Pb dapat masuk ke udara ada bermacam-macam. Di antara sumber alternatif ini yang tergolong besar adalah pembakaran batu bara. Asap dari pabrik-pabrik yang mengolah senyawa alkil-Pb, Pb-oksida, peleburan biji Pb dan transfer bahan bakar kendaraan bermotor. Karena senyawa alkil-Pb yang terdapat dalam bahan bakar tersebut dengan sangat mudah menguap.

2.4.2 Timbal (Pb) di Dalam Air dan Makanan

Pb (timah hitam/timbal) dan persenyawaannya dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktivitas 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.

Pb yang masuk kedalam badan perairan sebagai dampak dari aktivitas kehidupan manusia ad bermacam bentuk. Di antaranya adalah air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan dari pertambangan biji timah hitam dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut akan jatuh pada jalur-jalur perairan seperti anak-anak sungai untuk kemudian akan dibawa terus menuju lautan. Umumnya jalur buangan dari bahan sisa perindustrian yang menggunakan Pb akan merusak lingkungan perairan yang dimasukinya (menjadikan sungai dan alurnya tercemar).

Dalam air minum juga dapat ditemukan senyawa Pb bila air tersebut disimpan atau dialirkan melalui pipa yang merupan 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 pengolahannya. Beberapa studi terbatas juga telah menemukan Pb pada daun tumbuhan.

2.4.3 Keracunan oleh Logam Timbal (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 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 diikuti 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)

1. 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 asam 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.

2. 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.

3. 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 Glomerulus yang merupakan bagian dari ginjal. Dalam Glomerulus 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.

4. 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.

5. 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^{131} (yodium isotop 131).

6. 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.

7. Efek Pb terhadap Gastroenteritis

Hal ini disebabkan oleh reaksi rangsangan garam Pb pada mukosa saluran pencernaan sehingga menyebabkan pembengkakan dan gerak kontraksi rumen dan usus berhenti, peristaltik usus menurun sehingga terjadi konstipasi dan kadang-kadang diare.

2.5. 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.

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. mengganggu kontak air dengan tanaman sehingga menyebabkan tanaman mengalami gangguan metabolisme.
2. meningkatkan permeabilitas membran plasma 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 menyebabkan 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 makhluk hidup hampir selalu menyebabkan unsure-unsur logam di dalamnya (Darmono, 1995)

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

2.5.1 Toksisitas Logam Timbal

Kadar dan toksisitas timbal dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas dan kadar oksigen. Timbal diserap baik oleh tanah sehingga pengaruhnya terhadap tanaman relatif kecil. Kadar timbal pada kerak bumi sekitar 15 mg/kg. (Moore, 1991 dalam Effendi. H, 2003)

Timbal tidak termasuk unsur yang essential bagi makhluk hidup, bahkan unsur ini bersifat toksik hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang. Toksisitas timbal terhadap tumbuhan relatif lebih rendah dibandingkan dengan unsur renik yang lain.

Toksisitas timbal terhadap organisme akuatik berkurang dengan meningkatnya kesadahan dan kadar oksigen terlarut. Toksisitas timbal (Pb) lebih rendah daripada kadmium (Cd), merkuri (Hg) dan tembaga (Cu), akan tetapi toksisitasnya lebih tinggi daripada kromium (Cr), mangan (Mn), barium (Ba), zinc (Zn) dan besi (Fe).

2.6. Fitoremediasi

Istilah fitoremediasi berasal dari kata Inggris *phytoremediation*; kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata Yunani *phyton* (= "tumbuhan") dan *remediation* yang berasal dari kata Latin *remedium* (= "menyembuhkan", dalam hal ini berarti juga "menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan") (Anonymous, 1999). Dengan demikian fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik.

Fitoremediasi dapat dibagi menjadi :

1. Fitoekstraksi

Suatu proses penyerapan/ pengambilan kontaminan oleh akar tumbuhan dan ditranslokasikan atau pemindahan transportasi senyawa tersebut ke bagian atas tumbuhan baik batang ataupun daun.



2. Rizofiltrasi

Merupakan suatu proses pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah.

3. Fitodegradasi

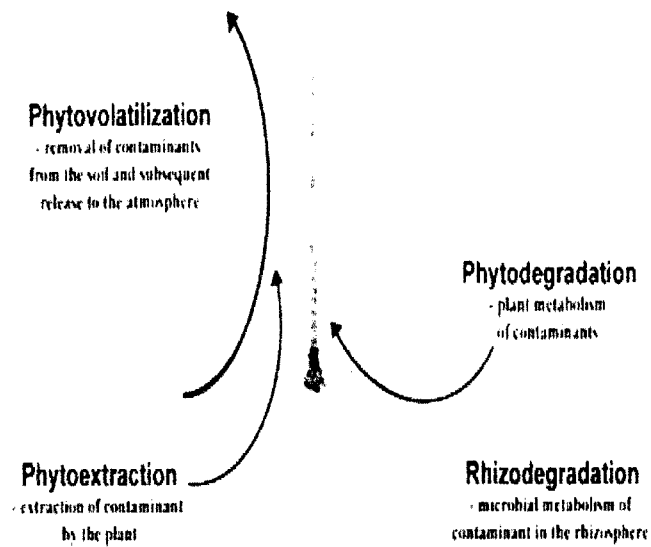
Suatu proses dimana kontaminan diurai lalu diserap oleh tanaman melalui suatu proses metabolisme atau kontaminan tersebut diurai oleh tanaman melalui suatu pengaruh produksi senyawa tertentu. Contoh enzim dehalogenase dan oksigenase.

4. Fitostabilisasi

Suatu proses dalam tanaman yang mampu melakukan proses stabilisasi terhadap suatu senyawa kimia.

5. Fitovolatilisasi

Suatu proses yang terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun, dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun.



Drawing of tree & root system by Lazar Drazeta

Gambar 2.4 Proses – proses fitoremediasi pada tumbuhan

2.6.1 Fitoremediasi Logam Pb dengan Tanaman 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)

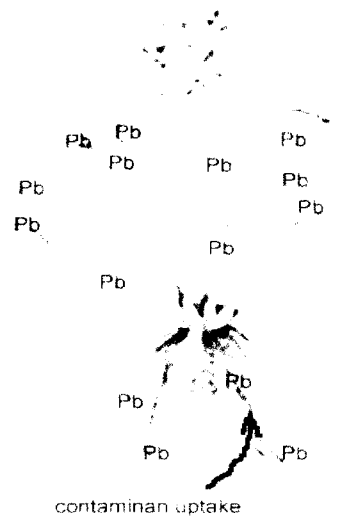
Sel-sel akar tanaman umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari pada medium sekitarnya yang biasanya bermuatan negative. Penyerapan ini melibatkan energi, sebagai konsekuensi dan keberadaannya, kation memperlihatkan adanya kemampuan masuk ke dalam sel secara pasif ke dalam gradient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

Absorpsi Pb melalui penyerapan akar kemudian diendapkan di permukaan akar, Pb secara perlahan-lahan akan mengumpul dalam sel yaitu diktiosma (badan golgi) dari gelombang diktiosma akan bermigrasi ke dinding sel dan akhirnya Pb terakumulasi dalam dinding daun dan akar. Untuk konsentrasi daya serap logam pada tanaman, tumbuhan melakukan suatu tahapan yang dinamakan tahapan imeliorasi yaitu suatu tahapan dimana melakukan penaggulangan untuk meminimumkan pengaruh toksik pada tanaman.

Akar mempunyai peran dalam penyerapan yang diperlukan oleh sel-sel tanaman, sel-sel yang berfungsi yaitu xilem yang berfungsi menyalurkan air dan mineral, sedangkan floem berfungsi untuk menyalurkan bahan makanan dari batang dan daun.

Air yang digunakan oleh tumbuhan sebenarnya sangat kecil sekitar 99% air yang diserap meninggalkan daun sebagai uap air. Proses tersebut disebut transpirasi. Ada dua jenis transpirasi yaitu transpirasi stomata dan

transpirasi kutikula. Pada umumnya air menguap melalui daun. Sebagian dari air lepas melalui stomata, kehilangan air melalui kutikula hanya mencapai 5-10% saja.



Gambar 2.5 Penyerapan logam Pb pada tanaman Eceng Gondok

Pada gambar diatas terlihat bahwa adanya kemampuan terhadap konsentrasi daya serap dipengaruhi oleh kemampuan membentuk khelat, sehingga ikatan kompleks terbentuk dari ion logam Pb ligen pengkhelat yang ada pada tanaman. Mekanisme tahapan tanaman dalam menyerap logam yang diserapnya yang dimulai dari akar dikarenakan jumlah kadar logam terbanyak berasal dari tanah disamping itu pula pada daerah-daerah perakaran merupakan daerah yang proaktif dalam proses penyerapan, pada daerah tersebut hidup organisme tertentu yang berperan dalam pengangkutan bahan-

bahan organik maupun anorganik pada daerah sekitar perakaran, kemudian pada batang dan terakhir pada daun. Menurut Conelldan Miller (1984) menyatakan bahwa, konsentrasi logam yang akan diserap oleh tanaman masuk kedalam melalui 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 tanaman membuka, sedangkan unsur Pb terabsorpsi oleh akar pada saat akan mengabsorpsi air dan unsur hara.

2.6.2 Kemampuan Penyerapan Logam Berat dan Organik Oleh Tanaman

Bahan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi 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.

Penyerapan logam berat oleh tanaman pada limbah organik tinggi yaitu terjadinya proses penguraian secara besar-besaran oleh mikroorganisme, sehingga tanaman akan lebih dahulu menyerap unsur-unsur yang diuraikan oleh mikroorganisme sebelum menyerap logam berat yang terdapat pada limbah. Hal ini tidak menutup kemungkinan logam berat yang terserap oleh tanaman tidak terlalu besar karena harus menyerap unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman terlebih dahulu. Ini terjadi dikarenakan ion-ion

nitrat, fosfat, karbon dan hidrogen termasuk dalam elemen makro, yaitu 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 mikroorganismenyahanya sedikit dibandingkan dengan organik tinggi, sehingga unsur-unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dari proses penguraian mikroorganisme tersebut terserap cepat dan logam berat dapat terserap lebih banyak dibandingkan dengan organik tinggi.

2.7. Spektrofotometer Serapan Atom

Dalam penelitian ini digunakan pengukuran Spektrofotometer Serapan Atom dengan system pengatoman dengan menggunakan nyala api dan campuran bahan bakar gas dan oksidan. Metode pengukuran AAS menjadi alat yang canggih dalam analisis, hal ini disebabkan diantaranya oleh kecepatan analisisnya, ketelitian sampai tingkat rumit, tidak memerlukan pemisahan pendahuluan karena penentuan suatu unsur dengan kehadiran unsur yang lain dapat dilakukan asalkan lampu katoda berongga yang diperlukan tersedia.

King menyatakan bahwa disamping eceng gondok mampu membersihkan air, zat-zat yang dapat diserap dan disaringnya dari air antara lain logam-logam berbahaya seperti timah hitam (Pb), arsen (As), cadmium (Cd), serta pestisida. Eceng gondok diduga masih merupakan satu-satunya

jenis tumbuhan air yang dapat menghilangkan pestisida. Disamping itu, ada juga suatu eksperimen yang menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok dapat menyerap nutrient-nutrien logam dan substansi trace organic dari air (Anonymous,1981)

2.8 Penelitian Dengan Memanfaatkan Tanaman Air dalam Sistem Constructed Wetland

Jenis tanaman air yang dapat dimanfaatkan dalam sistem *constructed wetland* sebagai tanaman pengurai limbah dan telah diteliti nilai efisiensinya adalah:

1. Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) untuk mengolah limbah dari Industri Tapioka, adapun hasil penelitian dengan memanfaatkan tanaman eceng gondok ini adalah:

Tanaman eceng gondok ini dipilih karena tanaman ini tahan terhadap limbah dengan kandungan organik tinggi, suhu untuk tumbuhnya tanaman ini adalah 25-30°C, dengan pH berkisaran antara 6 - 7,5. Dalam penelitian dengan menggunakan limbah tapioka ini tanaman eceng gondok dimanfaatkan untuk menurunkan kandungan BOD, COD, TSS dan Sianida (CN). Turunnya kandungan parameter tersebut terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dan tanaman eceng gondok yang mengolah bahan-bahn organik dan anorganik yang terdapat di dalam limbah cair industri tapioka yang dimanfaatkan sebagai energi dan nutrien dalam

bentuk karbon dan nitrogen dengan tingkat efisiensi pengolahan limbah cair selama waktu detensi 10 hari, BOD 97,94%, COD 84,35%, TSS 45,62% dan CN 99,87%. Peran tanaman eceng gondok di dalam system *constructed wetland* adalah sebagai media yang menguraikan bahan-bahan organik dalam air limbah industri tapioka menjadi nutrisi bagi pertumbuhan dan sebagai tempat tumbuhnya berbagai mikroorganisme pengurai limbah. (Faisal, 2005)

2. Tanaman Kangkung Air (*Ipomea aquatica forsk*) untuk mengolah limbah dari Pabrik Tahu. Penelitian ini menggunakan 5 reaktor dengan konsentrasi limbah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dengan waktu sampling 0, 3, 6, 9 dan 12. Dalam penelitian dengan menggunakan limbah pabrik tahu ini tanaman kangkung air dimanfaatkan untuk menurunkan pH, konsentrasi BOD₅, Nitrat dan Total Fosfat. Karakteristik limbah pada hari ke-12 sudah lebih stabil sehingga memungkinkan mikroorganisme bekerja secara optimal untuk mereduksi limbah. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini untuk konsentrasi 100% untuk tiap-tiap parameter pada hari ke-12 adalah:

1) Reaktor dengan kangkung air

- pH input 4 dan pH output 4,5
- BOD₅ input 1147,3 mg/l dan BOD₅ output 777,3 mg/l, dengan efisiensi 32,25%
- Nitrat input 150,33 mg/l dan Nitrat output 97,7 mg/l, efisiensi 35%

- Total P input 100,18 mg/l dan Total P output 3,14 mg/l, dengan efisiensi 96,86%

2) Reaktor tanpa kangkung air

- pH input 4 dan pH output 3,5
- BOD₅ input 1147,3 mg/l dan BOD₅ output 1263,4 mg/l, dengan efisiensi -10,12%
- Nitrat input 150,33 mg/l dan Nitrat output 86,68 mg/l, efisiensi 42,34%
- Total P input 100,18 mg/l dan Total P output 3,67 mg/l, dengan efisiensi 103,66% (*Baiq Diana Amalia, 2007*)

2.9 Hipotesis

Berdasarkan teori yang telah dikemukakan, maka dapat diambil beberapa hipotesa, yaitu :

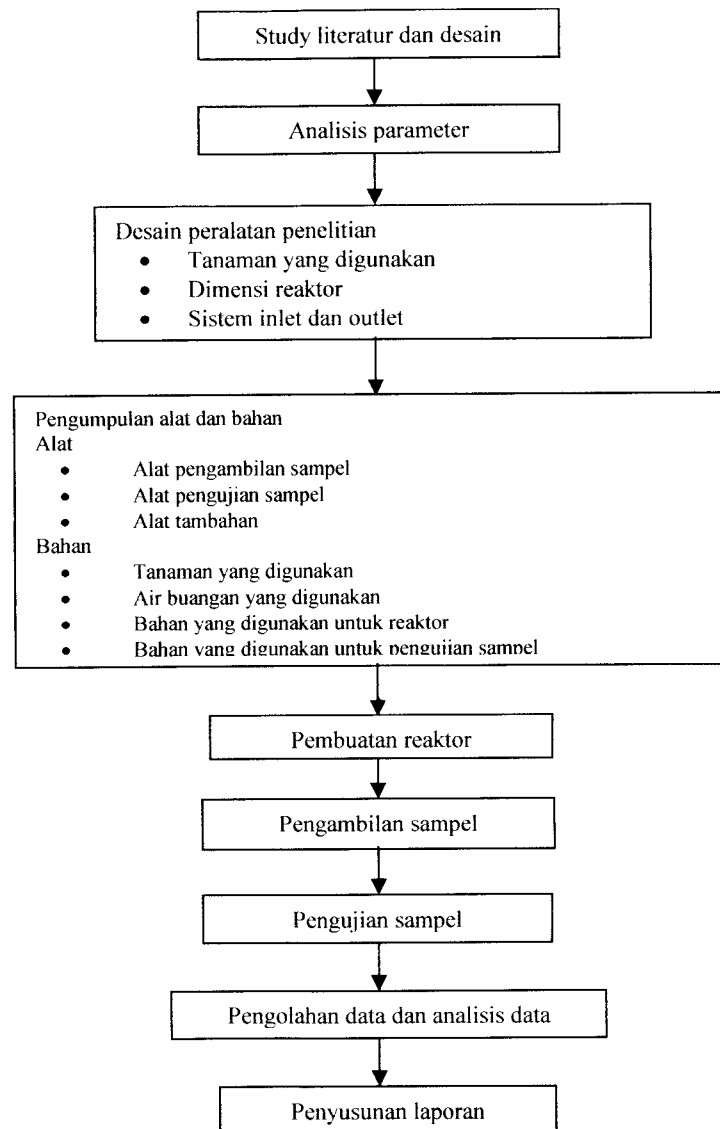
- a) Bahwa system *constructed wetland* dengan menggunakan tanaman Eceng Gondok dapat menurunkan konsentrasi logam Pb pada limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia
- b) Kapasitas serapan pada tanaman Eceng Gondok terhadap kandungan logam Pb dapat dipergunakan untuk pengolahan limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia yang aman, murah dan efisien.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

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



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

1. Laboratorium Kualitas Lingkungan, FTSP Universitas Islam Indonesia
Merupakan tempat pengambilan sampel. Sampel berasal dari limbah praktikum yang dibuang ke tempat penampungan berupa tong-tong plastik.
2. Halaman belakang Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Universitas Islam Indonesia Jogjakarta
Merupakan tempat penelitian berlangsung
3. Laboratorium Kualitas Kesehatan Lingkungan Universitas Islam Indonesia dan Balai Pengujian Konstruksi dan Lingkungan (Dinas KIMPRASWIL)
Merupakan tempat penelitian dan pemeriksaan kandungan logam timbal (Pb) pada tanaman Eceng Gondok.

3.3 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 sample air limbah, pemeriksaan di laboratorium, analisa data dan penyusunan laporan.

3.4 Parameter Penelitian

Penelitian ini dilakukan analisa pengukuran dan pengujian parameter limbah Laboratorium berdasarkan tingkat konsentrasi dan variasi waktu penelitian yang meliputi:

1. Pengamatan visual (pengukuran panjang akar, panjang batang dan luas daun)
2. Pengujian kadar logam timbal (Pb) yang terserap oleh akar tanaman eceng gondok
3. Pengujian kadar logam timbal (Pb) yang terserap oleh daun tanaman eceng gondok

3.5 Desain Constructed Wetlands

Pembuatan reactor *batch Constructed Wetlands* 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

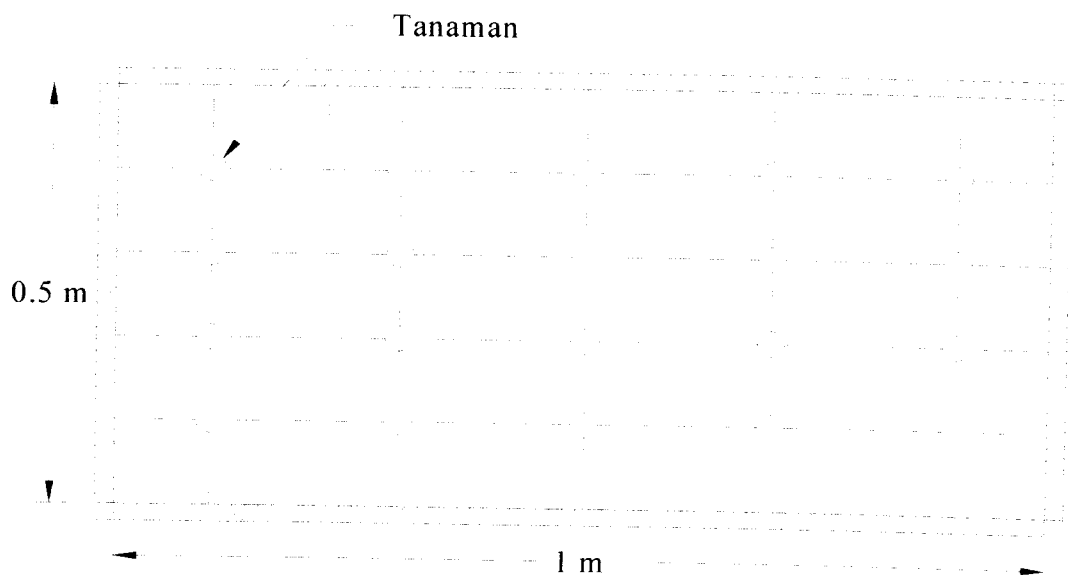
Reaktor terbuat dari kayu dan dilapisi plastik sebagai lapisan kedap air. Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 10 buah reaktor. Tiap reaktor akan diberi perlakuan konsentrasi limbah yang berbeda. Reaktor

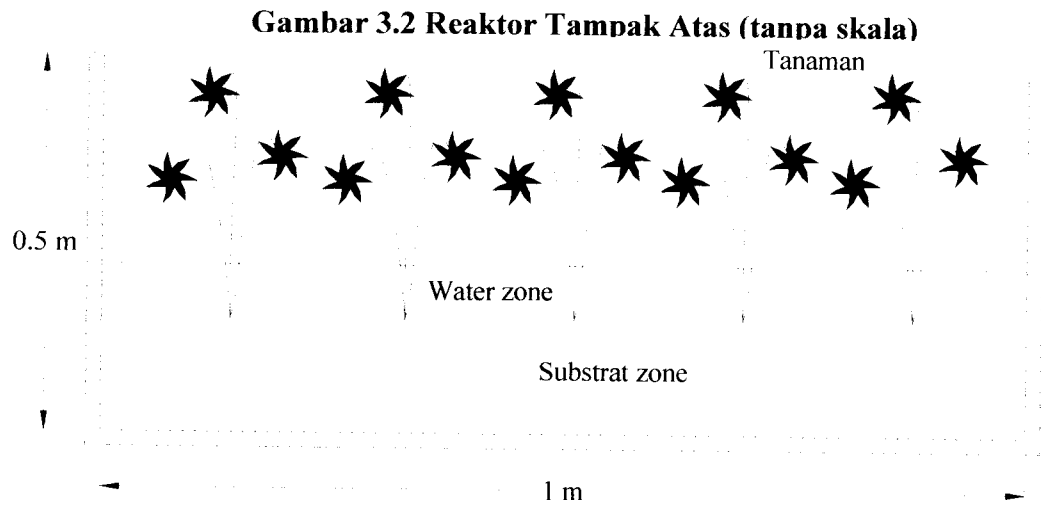
diatas terbagi atas reaktor kontrol, dimana reaktor ini diberi limbah namun tidak ditanami tanaman Eceng Gondok dan reaktor uji yang mana reaktor diberi limbah dan ditanami Eceng Gondok.

Adapun perhitungan dimensi reaktor *batch constructed wetlands* 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 3.3 Reaktor Tampak Samping (tanpa skala)

3.6 Metode Pelaksanaan Penelitian

3.6.1 Kualitas air limbah

Penelitian ini dilakukan dengan proses pengaliran *batch*, dengan variasi konsentrasi limbah cair laboratorium, 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 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

3.6.2 Tanaman Eceng Gondok

Tanaman Eceng Gondok diperoleh dari tempat yang sama, kemudian dicuci dan didestilasi selama 3 hari. Eceng gondok dianggap mempunyai ukuran sama yaitu dengan tinggi batang rata-rata 40 cm, panjang akar 16 cm dan jumlah daun antara 5-6 helai. Setiap reaktor memanfaatkan tanaman eceng gondok sebanyak 13 batang. Ketentuan jarak tanaman air tidak ditentukan, dan yang terpenting permukaan air tidak tertutup seluruhnya dengan tanaman.

3.6.3 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 dari reaktor pada hari berikutnya. Lokasi pengambilan sampel sama pada 10 buah reaktor, kemudian sampel dianalisa di laboratorium.

3.6.4 Pengambilan Sampling

Pengambilan sampling meliputi :

- a. Sampel diambil dari reaktor dengan menggunakan ember plastik.
- b. Ember plastik bagian dalam dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan air bersih.
- c. Sampel ditampung di ember yang sudah bersih.
- d. Setelah itu sampel dipotong-potong.
- e. Sampel di pisahkan antara akar dengan daun
- f. Sampel di timbang.
- g. Sampel di masukan ke dalam oven selama 3-4 jam
- h. Dilakukan destruksi
- i. Masuk ke dalam alat agitator selama 18 jam
- j. Air sampel di saring dengan menggunakan kertas saring.
- k. Di masukan ke dalam botol.

3.6.5 Destruksi

Pada analisis dengan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), cuplikan harus dalam bentuk larutan. Apabila cuplikan berbentuk padatan agar dapat dianalisis maka dilakukan destruksi basah atau kering.

3.7 Analisa AAS

Penentuan kandungan logam Pb (timbal) dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat spektrofotometer serapan atom model AA-782 Nippon Jarel Ash. Absorbansi 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 :

$$Y = bx$$

$$x = \frac{Y}{b}$$

kadar unsur dalam sampel dihitung dengan persamaan :

$$x = \frac{C \text{ regresi} \times V \times P}{g}$$

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

3.8 Metode Analisa Laboratorium

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 reaktor *Constructed Wetlands* dan setiap sample dilakukan dua kali pengujian laboratorium.

3.9 Metode Analisa Pertumbuhan Tanaman

Pada tanaman juga dilakukan pengamatan, pengamatan dilakukan secara visual terhadap tanaman uji yang meliputi tingkat pertumbuhan (panjang daun, lebar daun, panjang batang, dan panjang akar) dan daya tahan tanaman terhadap air limbah. Hasil pengamatan ini hanya digunakan sebagai data pendukung. Sedangkan pengamatan sesungguhnya adalah pengamatan kapasitas serapan tanaman eceng gondok terhadap kandungan logam Pb (timbal) pada limbah laboratorium kualitas lingkungan UII

3.10 Metode Analisa Data

Untuk mengetahui tingkat efisiensi dari reaktor yang sedang diteliti, maka dilakukan analisa data yang diperoleh dari hasil pengamatan, baik data utama (tingkat removal) maupun data pendukung (kondisi tanaman uji). Sedangkan untuk memudahkan dalam pengolahan data, maka dipergunakan *software* statistik, misalnya analisa varians (ANOVA).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dimulai dengan melakukan penanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) di dalam reaktor perlakuan dimana eceng gondok tersebut akan diberi perlakuan limbah dari Laboratorium Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan, UII Yogyakarta.

Reaktor ditanami dengan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) yang memiliki berat, panjang serta ukurannya diperkirakan sama yaitu tinggi tanaman 40 cm, panjang akar 16 cm, lebar daun 13 cm dan panjang daun 14 cm. Tanaman eceng gondok tersebut dibiarkan beradaptasi dengan lingkungannya selama 3 hari. Penyiraman limbah dilakukan dengan konsentrasi limbah yang berbeda-beda yaitu konsentrasi limbah 25 %, 50 %, 75 % dan 100 %.

4.1 Analisa Konsentrasi Timbal (Pb) Dalam limbah Cair Laboratorium

Dari hasil pengujian awal parameter yang akan diamati yaitu logam Timbal (Pb) pada limbah laboratorium kualitas air yang berasal dari proses aktifitas laboratorium menghasilkan limbah cair. Yang mana konsentrasi awal logam Pb ini adalah **0,2397 mg/L**. Ini diambil dari hari ke 0 dengan konsentrasi 100% atau tanpa ada proses pengenceran terlebih dahulu. Adapun gunanya sebagai perbandingan atau efisiensi penyerapan tanaman terhadap limbah laboratorium.

Sebelum penelitian dari hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas air buangan laboratorium kualitas air teknik lingkungan UII Yogyakarta untuk parameter timbal (Pb) belum memenuhi atau masih jauh dari syarat untuk dapat dibuang ke badan air atau sungai yaitu berada diatas 0,003 mg/L. Yang mana melebihi dari Baku Mutu Limbah Cair berdasarkan Keputusan Menteri, Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.82 tahun 2001.

Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) diambil dari daerah Maguwo Sleman. Pada tanaman itu sendiri ternyata sudah terdapat kandungan logam timbal. Dapat dilihat dari Tabel 4.1 konsentrasi timbal sebelum perlakuan dibawah ini :

Tabel 4.1 Konsentrasi Timbal Pada Tanaman Sebelum Perlakuan

No	Sampel	Parameter	Hasil Pengukuran (mg/L)	Metode
1	Akar	Pb	0,0168	Atomic Absorption Spect
2	Daun	Pb	0,001	Atomic Absorption Spect

4.2 Analisa Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Setelah Perlakuan.

Penelitian percobaan ini dilakukan selama 12 hari dengan pengambilan pengamatan dilakukan setiap hari, akan tetapi untuk pengambilan sampelnya dilakukan selang 3 hari, ini bertujuan untuk bisa lebih mengetahui perbandingan penyerapannya yang lebih signifikan.

4.2.1 Analisa Konsentrasi Timbal Pada Akar Tanaman Eceng Gondok

Pengambilan sampel pada setiap rektor dilakukan pada hari ke-0 (pengujian awal), hari ke-3, hari ke-6, hari ke-9 dan hari ke-12. Kemampuan daya serap akar pada tanaman eceng gondok dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2 Konsentrasi Pb Dalam Akar Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan

No	Variasi Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)				
			0	3	6	9	12
1	0%	mg/L	0,0168	0,0172	0,0188	0,0197	0,0212
2	25%	mg/L	0,0168	0,0248	0,0259	0,0304	0,0325
3	50%	mg/L	0,0168	0,0235	0,0275	0,0336	0,0349
4	75%	mg/L	0,0168	0,0215	0,0259	0,0289	0,0316
5	100%	mg/L	0,0168	0,0211	0,0248	0,0273	0,0294

Tabel 4.3 Konsentrasi Pb Dalam Tiap 1 gr Akar Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan

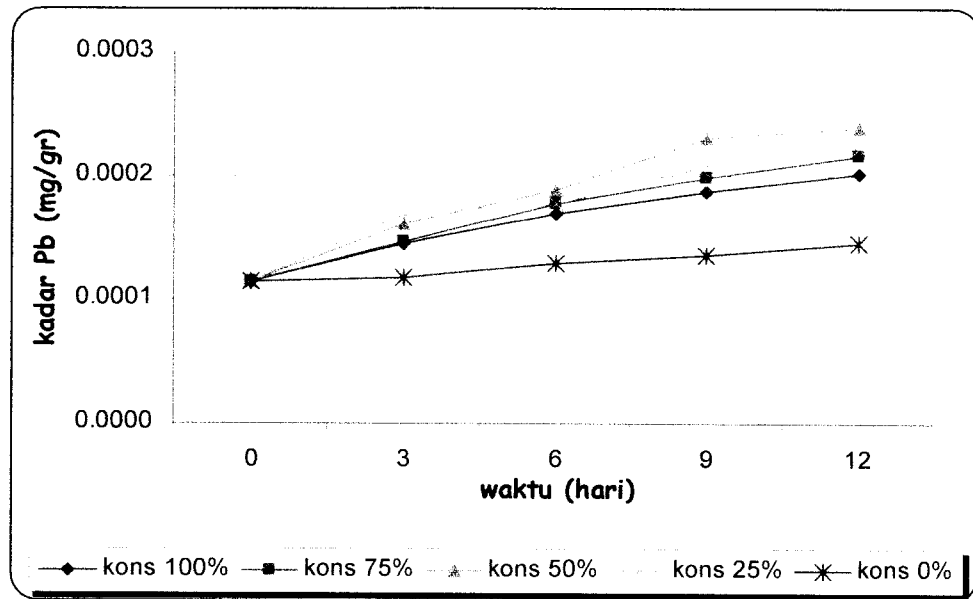
No	Variasi Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)				
			0	3	6	9	12
1	0%	mg/gr	0,00012	0,000118	0,000129	0,000135	0,000145
2	25%	mg/gr	0,00012	0,000170	0,000177	0,000208	0,000223
3	50%	mg/gr	0,00012	0,000161	0,000188	0,000230	0,000239
4	75%	mg/gr	0,00012	0,000147	0,000177	0,000198	0,000216
5	100%	mg/gr	0,00012	0,000145	0,000170	0,000187	0,000201

Dari data diatas dapat dilihat adanya peningkatan kadar logam Pb pada akar tanaman eceng gondok. Setiap reaktor variasi konsentrasi limbah memiliki kemampuan daya serap akar tanaman terhadap kandungan logam Pb yang berbeda-beda.

Adapun proses penyerapan yang paling tertinggi terdapat pada konsentrasi 50% dengan kandungan logam Pb sebesar 0,0168 mg/L pada hari ke-0, sebesar 0,0235 mg/L pada hari ke-3, sebesar 0,0275 mg/L pada hari ke-6, sebesar 0,0336 mg/L pada hari ke-9 dan sebesar 0,0349 mg/L pada hari ke-12. Ini berarti dalam 1 gr akar eceng gondok mengandung logam Pb sebesar 0,00012 mg/gr pada hari ke-0, sebesar 0,000161mg/gr pada hari ke-3, sebesar 0.000188 mg/gr pada hari ke-6, sebesar 0,00023 mg/gr pada hari ke-9 dan sebesar 0,000239 mg/gr pada hari ke-12. Hal ini menunjukkan bahwa daya serap eceng gondok ini dapat dipengaruhi oleh pekatnya suatu limbah. Semakin pekat konsentrasi limbah akan membuat tanaman ini semakin sulit untuk menyerap kandungan logam yang terdapat pada air limbah.

Pada penelitian *Jody Moenandir dan Murgito*, Dosen Fakultas Pertanian Brawijaya dan UPN Surabaya menunjukkan pada limbah kepekatan 10% - 50% serapan terjadi sampai akhir percobaan (hari ke-56), kepekatan 60% serapan berhenti pada hari ke-35, kepekatan 70% - 80% serapan berhenti pada hari ke-28 dan pada kepekatan 90% - 100% serapan berhenti pada hari ke-21. Ini menunjukkan kepekatan air limbah mempengaruhi daya serap tanaman eceng gondok.

Untuk mempermudah mengetahui daya serap akar eceng gondok, dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini:



Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Akar Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan

Gambar diatas menunjukkan kenaikan serapan akar pada setiap harinya. Akar mempunyai peran dalam penyerapan yang diperlukan oleh sel-sel tanaman. Konsentrasi logam yang akan diserap oleh tanaman masuk melalui sistem perakaran, unsur timbal masuk melalui stomata, dimana timbal yang dihasilkan dari proses alam maupun proses industri akan bergabung dengan partikel-partikel udara dan masuk kedalam tanaman pada saat stomata tanaman membuka, sedangkan unsur timbal (Pb) terabsorpsi oleh akar pada saat akan mengabsorpsi air dan unsur hara. (Conell dan Miller 1984)

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu penyerapan oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Penyerapan oleh akar, tumbuhan membentuk suatu zat khelat. Mekanisme penyerapan logam lewat pembentukan suatu zat khelat disebut fitosiderofor. Molekul fitosiderofor yang terbentuk ini akan mengikat (mengkhelat) logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif Fitosiderofor. Translokasi di dalam tubuh tumbuhan berupa logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu xilem dan floem, ke bagian tumbuhan lain. Lokalisasi logam pada jaringan untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, maka tumbuhan akan melakukan mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (Priyanto dan Prayimo, 2004).

4.2.2 Analisa Konsentrasi Timbal Pada Daun Tanaman Eceng Gondok

Logam timbal terabsorpsi melalui akar yang kemudian diendapkan dipermukaan akar, timbal secara berlahan-lahan akan mengumpul dalam sel diktioma (badan golgi) dan bermigrasi ke dinding sel dan akhirnya akan terakumulasi pada dinding daun.

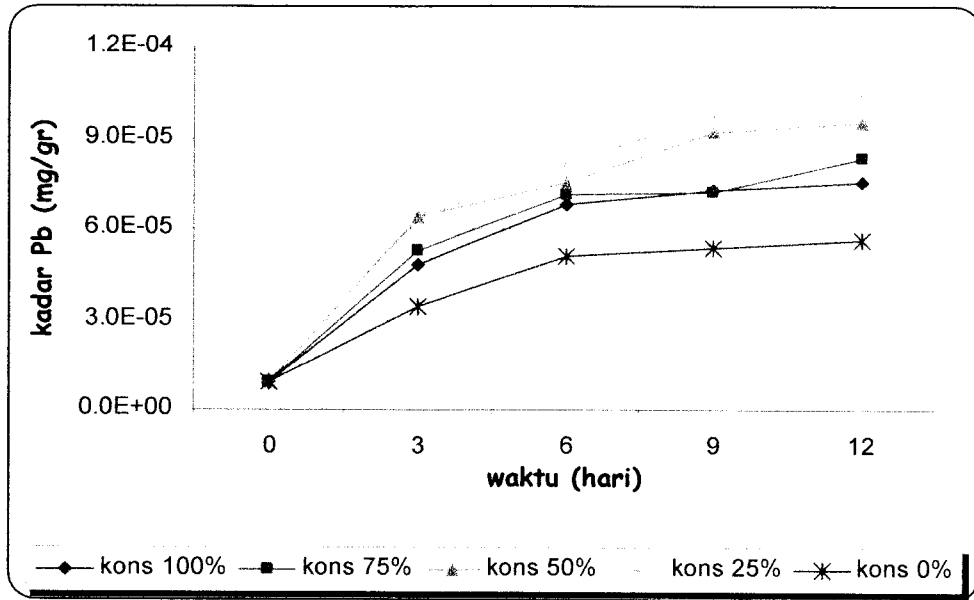
Tabel 4.4 Konsentrasi Pb Dalam Daun Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan

NO	Variasi Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)				
			0	3	6	9	12
1	0%	mg/L	0.001	0.00378	0.00564	0.00591	0.00615
2	25%	mg/L	0.001	0.00694	0.00907	0.01064	0.01138
3	50%	mg/L	0.001	0.00705	0.00825	0.01008	0.01047
4	75%	mg/L	0.001	0.00581	0.00777	0.00791	0.00916
5	100%	mg/L	0.001	0.00528	0.00744	0.00799	0.00823

Tabel 4.5 Konsentrasi Pb Dalam Tiap 1 gr Daun Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan

No	Variasi Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)				
			0	3	6	9	12
1	0%	mg/gr	9,091E-06	0,000034	0,000051	0,000054	0,000056
2	25%	mg/gr	9,091E-06	0,000063	0,000082	0,000097	0,000103
3	50%	mg/gr	9,091E-06	0,000064	0,000075	0,000092	0,000095
4	75%	mg/gr	9,091E-06	0,000053	0,000071	0,000072	0,000083
5	100%	mg/gr	9,091E-06	0,000048	0,000068	0,000073	0,000075

Data diatas menunjukkan serapan daun tertinggi pada konsentrasi limbah 25%. Serapan daun mengalami kenaikan setiap harinya pada masing-masing konsentrasi. Penyerapan daun tanaman eceng gondok dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Daun Tanaman Eceng Gondok Setelah Perlakuan

Berdasarkan gambar diatas terlihat kadar logam Pb pada daun tanaman eceng gondok terus menerus meningkat, kadar logam timbal tersebut terakumulasi.

Peranan eceng gondok dalam menguraikan kandungan pencemar dalam air limbah salah satunya melalui proses transpirasi oleh tanaman. Transpirasi terbesar oleh tanaman dilakukan oleh daun eceng gondok karena daun berkontak langsung dengan penyinaran matahari. Kontak langsung ini mengakibatkan kehilangan air lebih besar terjadi pada daun tanaman dibandingkan bagian-bagian lain pada tanaman.

Timbal merupakan salah satu dari golongan logam maka tidak mudah ikut pada proses transpirasi pada tanaman. Ini menyebabkan kadar timbal pada daun akan terus bertambah atau terakumulasi hingga tanaman tersebut layu bahkan mati.

Untuk konsentrasi total (akar dan daun) dari tanaman eceng gondok dapat terlihat pada Tabel 4.4 berikut ini:

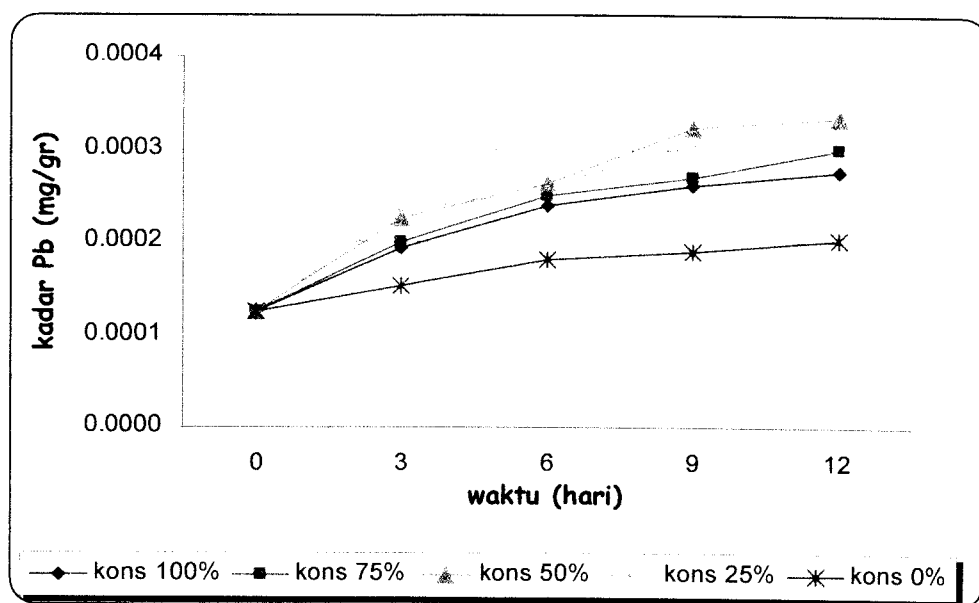
Tabel 4.7 Konsentrasi Timbal (Pb) Total Pada Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0.0178	0.02098	0.02444	0.02561	0.02735
25%	0.0178	0.03174	0.03497	0.04104	0.04388
50%	0.0178	0.03055	0.03575	0.04368	0.04537
75%	0.0178	0.02731	0.03367	0.03681	0.04076
100%	0.0178	0.02638	0.03224	0.03529	0.03763

Tabel 4.8 Konsentrasi Pb Dalam Tiap 1 gr Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0,000124	0,000152	0,000180	0,000189	0,000201
25%	0,000124	0,000233	0,000259	0,000305	0,000326
50%	0,000124	0,000225	0,000263	0,000322	0,000334
75%	0,000124	0,000200	0,000248	0,000270	0,000300
100%	0,000124	0,000192	0,000238	0,000260	0,000276

Dari tabel diatas maka dapat dibuat grafik konsentrasi timbal (Pb) total baik pada akar maupun pada daun oleh tanaman eceng gondok yang didapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini :



Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Timbal Total (akar dan daun) Pada Tanaman Eceng Gondok

Kemampuan tanaman eceng gondok menyerap logam timbal pada konsentrasi 75% dan 100% tidak sebesar pada konsentrasi 25% dan 50%, ini disebabkan oleh tanaman eceng gondok mengalami kejenuhan dalam menyerap air limbah yang memiliki konsentrasi tinggi sehingga semakin lama kemampuan eceng gondok menyerap logam Pb semakin menurun. Daya serap pada tanaman eceng gondok tidak sama antara satu dengan yang lainnya.

4.3 Analisa Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Tanaman Eceng Gondok

Setelah mengetahui konsentrasi logam timbal pada akar dan daun tanaman eceng gondok untuk setiap pengambilan sampel, maka dapat pula diketahui tingkat penyerapan dari tanaman eceng gondok tersebut .

4.3.1 Analisa Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Akar Eceng Gondok

Berikut ini adalah tingkat penyerapan daun tanaman eceng gondok pada setiap waktu pengambilan sampel.

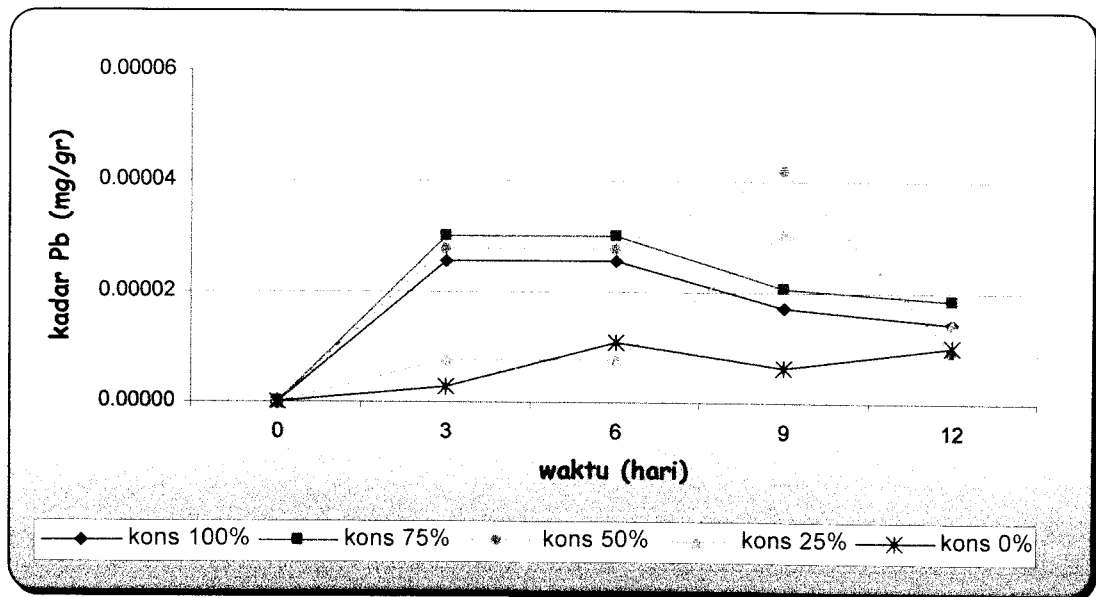
Tabel 4.9 Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Akar Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi limbah	Tingkat penyerapan (mg/L)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0.00040	0.00160	0.00090	0.00150
25%	0	0.00110	0.00110	0.00450	0.00210
50%	0	0.00400	0.00400	0.00610	0.00130
75%	0	0.00440	0.00440	0.00300	0.00270
100%	0	0.00370	0.00370	0.00250	0.00210

Tabel 4.10 Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Tiap 1 gr Akar Eceng Gondok

Konsentrasi limbah	Tingkat penyerapan (mg/gr)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0,0000027	0,0000110	0,0000062	0,0000103
25%	0	0,0000075	0,0000075	0,0000308	0,0000144
50%	0	0,0000274	0,0000274	0,0000418	0,0000089
75%	0	0,0000301	0,0000301	0,0000205	0,0000185
100%	0	0,0000253	0,0000253	0,0000171	0,0000144

Dari tabel diatas menunjukkan 1 gr akar tanaman eceng gondok mampu menyerap logam timbal maksimal 0,0000418 mg/gr pada konsentrasi limbah 50%. Untuk mengetahui perbedaan dari tingkat penyerapan akar eceng gondok pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4.4 Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Akar Tanaman Eceng Gondok

Dari gambar diatas, tingkat penyerapan oleh akar tanaman eceng gondok berbeda-beda. Pada hari ke-3 akar tanaman eceng gondok mampu menyerap limbah untuk semua konsentrasi yang ada sebesar 0,0000027 mg/gr pada konsentrasi normal, sebesar 0,0000075 mg/gr pada konsentrasi limbah 25%, sebesar 0,0000274 mg/gr pada konsentrasi limbah 50%, sebesar 0,0000301mg/gr pada konsentrasi limbah 75% dan sebesar 0,000025 mg/gr pada konsentrasi limbah 100%. Pada hari berikutnya penyerapan akar dianggap stabil. Selanjutnya, di hari ke-9 pada konsentrasi limbah 100% dan konsentrasi limbah 75% mengalami penurunan tingkat penyerapan akar tanaman eceng gondok sedangkan pada konsentrasi limbah 50% dan konsentrasi limbah 25% mengalami peningkatan tingkat penyerapan akar tanaman eceng gondok. Hal ini disebabkan akar tanaman eceng gondok pada konsentrasi limbah 100% dan konsentrasi limbah 75% mengalami kejenuhan yang mengakibatkan daya serap akar di hari ke-9 semakin menurun. Berbeda dengan akar tanaman eceng gondok pada konsentrasi limbah 50% dan konsentrasi limbah 25%, akar menyerap maksimal pada hari ke-9 yang kemudian stabil hingga akhir penelitian.

4.3.2 Analisa Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Daun Eceng Gondok

Pada daun terjadi penyerapan di masing-masing konsentrasi limbah sebagai berikut:

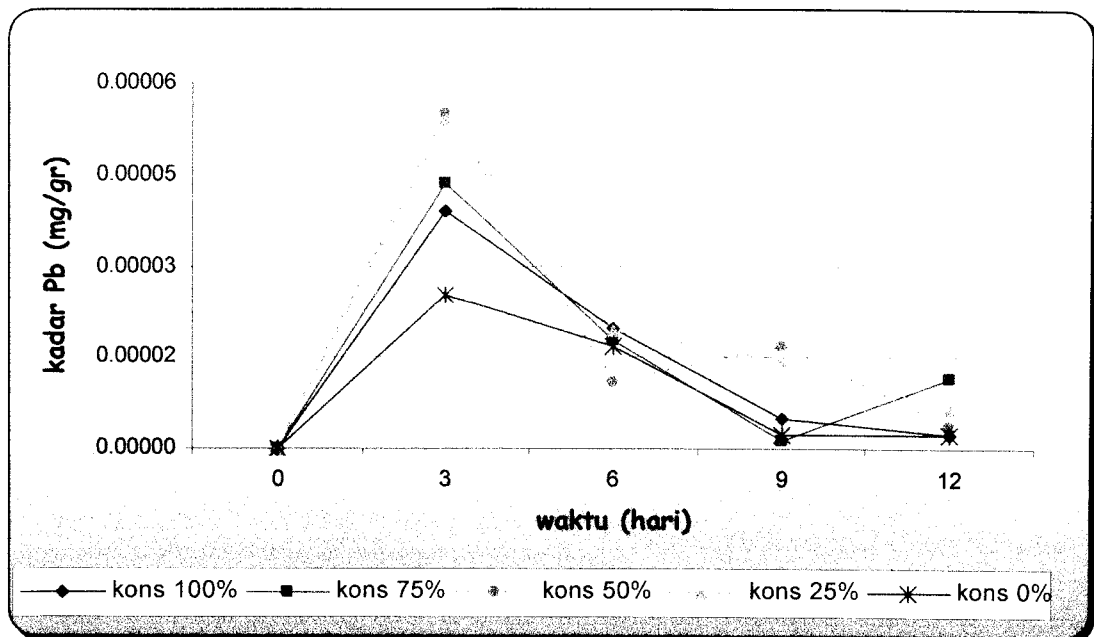
Tabel 4.11 Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Daun Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi limbah	Tingkat penyerapan (mg/L)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0.00278	0.00186	0.00027	0.00024
25%	0	0.00594	0.00212	0.00158	0.00074
50%	0	0.00605	0.00120	0.00183	0.00039
75%	0	0.00481	0.00197	0.00014	0.00125
100%	0	0.00428	0.00217	0.00055	0.00024

Tabel 4.12 Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Tiap 1 gr Daun Eceng Gondok

Konsentrasi limbah	Tingkat penyerapan (mg/gr)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0,0000253	0,0000169	0,0000025	0,0000022
25%	0	0,0000540	0,0000193	0,0000143	0,0000067
50%	0	0,0000550	0,0000109	0,0000166	0,0000035
75%	0	0,0000437	0,0000179	0,0000013	0,0000114
100%	0	0,0000389	0,0000197	0,0000050	0,0000022

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa dalam berat 1 gr daun tanaman eceng gondok mampu menyerap logam timbal 0,0000013 mg/gr – 0,0000550 mg/gr dari limbah. Untuk mengetahui perbedaan dari tingkat penyerapan daun eceng gondok pada masing-masing reaktor secara jelas dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini:



**Gambar 4.5 Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Daun
Tanaman Eceng Gondok**

4.3.3 Analisa Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Tanaman (Akar dan Daun) Eceng Gondok

Dari tingkat penyerapan pada akar dan tingkat penyerapan daun, maka diketahui tingkat penyerapan dari tanaman eceng gondok secara keseluruhan dalam menyerap kandungan logam. Di bawah ini adalah tingkat penyerapan pada tanaman eceng gondok terhadap kandungan logam Pb pada tiap-tiap konsentrasi limbah.

Tabel 4.13 Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Tanaman (Akar dan Daun) Eceng Gondok

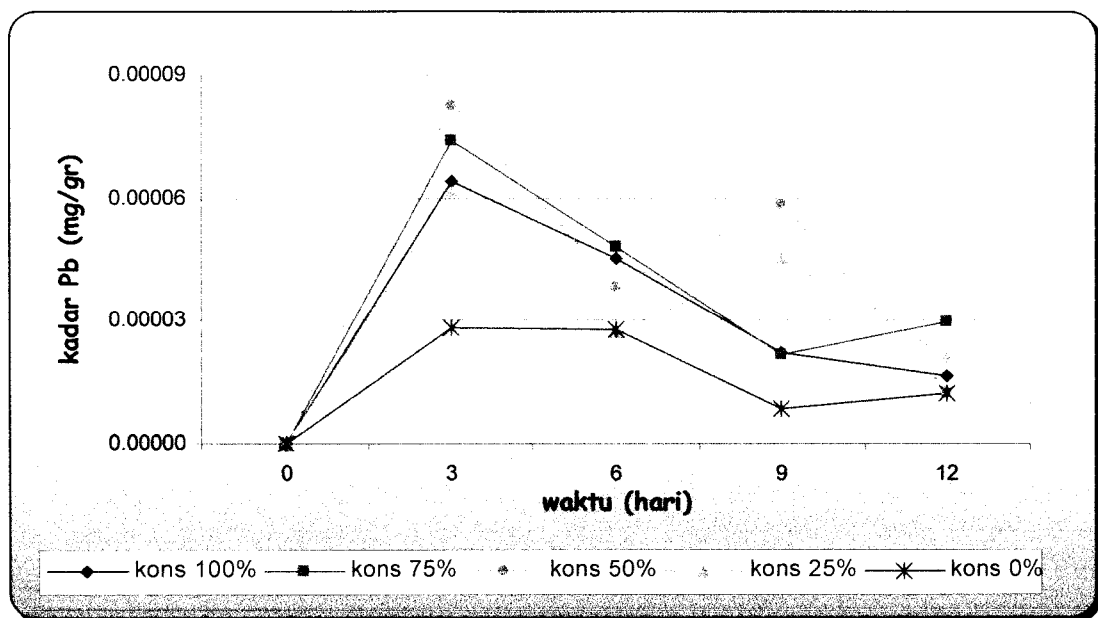
Konsentrasi Limbah	Tingkat penyerapan (mg/L)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0.00318	0.00346	0.00117	0.00174
25%	0	0.00704	0.00322	0.00608	0.00284
50%	0	0.01005	0.00520	0.00793	0.00169
75%	0	0.00921	0.00637	0.00314	0.00395
100%	0	0.00798	0.00587	0.00305	0.00234

Tabel 4.14 Tingkat Penyerapan Logam Timbal (Pb) Tiap 1 gr Tanaman Eceng Gondok(Akar dan Daun).

Konsentrasi Limbah	Tingkat penyerapan (mg/gr)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0,0000280	0,0000278	0,0000086	0,0000124
25%	0	0,0000616	0,0000268	0,0000451	0,0000211
50%	0	0,0000824	0,0000383	0,0000584	0,0000124
75%	0	0,0000738	0,0000480	0,0000218	0,0000299
100%	0	0,0000642	0,0000450	0,0000221	0,0000166

Dapat dilihat bahwa tingkat penyerapan kandungan timbal dalam tanaman (akar dan daun) eceng gondok mengalami kenaikan dari hari ke-3. Ini berarti secara keseluruhan eceng gondok mampu menyerap logam timbal pada setiap konsentrasi limbah. Namun di hari ke-6 sampai hari ke-12 terjadi perubahan tingkat penyerapan pada setiap konsentrasi limbah..

Berdasarkan Tabel 4.7 di atas dapat dibuat gambar hubungan antara tingkat penyerapan Pb dengan variasi konsentrasi limbah dan variasi waktu kontak setelah proses pengolahan. Dari Gambar 4.6 dapat kelihatan perbedaan tingkat penyerapan pada masing-masing konsentrasi limbah sebagai berikut:



Gambar 4.6 Tingkat Penyerapan Logam Timbal Oleh Tanaman (Akar dan Daun) Eceng Gondok

Hasil analisis pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa tingkat penyerapan tanaman (akar dan daun) eceng gondok logam Pb mengalami naik-turun. Pada konsentrasi limbah 50% dan 25% tingkat penyerapan naik di hari ke-3 dimana tanaman eceng gondok mengalami adaptasi dan mulai menyerap kandungan logam

timbal. Namun menurun di hari ke-6 dan ke-12 dimana faktor pengambilan sampel berpengaruh disini, pada setiap reaktor terdapat 13 eceng gondok yang dapat memiliki daya serap yang berbeda-beda. Pada hari ke-9 tingkat penerapan tanaman eceng gondok kembali meningkat.

Pada konsentrasi limbah 50% dan 25% tingkat penyerapan naik di hari ke-3 dimana tanaman eceng gondok mengalami adaptasi dan mulai menyerap kandungan logam timbal. Namun mengalami penurunan tingkat penyerapan pada hari-hari berikutnya. Sedangkan untuk konsentrasi 0% atau kondisi normal, tingkat penyerapan tanaman eceng gondok relatif sama di setiap variasi waktu kontakannya.

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

Dari Tabel 4.13 mengenai tingkat penyerapan logam timbal (Pb) oleh tanaman eceng gondok, dapat kita bandingkan dengan penelitian mengenai penurunan kandungan logam timbal (Pb) itu sendiri pada limbah laboratorium. Penurunan kandungan Pb tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.15 di bawah ini:

Tabel 4.15 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

Dari hasil perbandingan antara Tabel 4.13 dengan Tabel 4.15, dapat terlihat ketidaksamaan antara hasil tingkat serapan eceng gondok dengan tingkat penurunan kandungan logam timbal pada limbah.

Dapat terlihat pada hari ke-3 dari konsentrasi 25% dengan tingkat penurunan sebesar 0,0133 mg/L dan tingkat penyerapan eceng gondok sebesar 0,00704 mg/L. Ini menunjukkan kandungan logam Pb dalam air terserap oleh eceng gondok sebesar 0,00704 mg/L dan sisanya mengendap di zona substrat atau tanah.

Namun pada konsentrasi 75% dengan tingkat penurunan sebesar 0,0078 mg/L dan tingkat penyerapan eceng gondok sebesar 0,00921 mg/L. Disini terlihat tingkat penyerapan eceng gondok lebih besar dibandingkan dengan tingkat penurunan limbah. Hal ini menunjukkan eceng gondok mampu menyerap kandungan logam Pb dari air limbah sebesar 0,0078 mg/L. Faktor yang membuat kandungan Pb meningkat pada tanaman eceng gondok tersebut adalah:

- 1) Kandungan Pb yang berasal dari zona substrat atau tanah itu sendiri

- 2) Emisi Pb yang masuk kedalam lapisan atmosfer bumi dapat berbentuk gas dan partikulat, terutama sekali berasal dari buangan gas kendaraan bermotor. Emisi tersebut merupakan hasil samping dari pembakaran yang terjadi dalam mesin-kendaraan.

Mengingat tempat penelitian ini berada di dekat tempat parkir, maka Pb di udara sedikit banyak mempengaruhi dari kandungan Pb yang terserap oleh tanaman eceng gondok.

4.4 Fitoremediasi Dengan Tanaman Eceng Gondok

Fitoremediasi dapat dibagi menjadi :

2. Fitoekstraksi

Suatu proses penyerapan/ pengambilan kontaminan oleh akar tumbuhan dan ditranslokasikan atau pemindahan transportasi senyawa tersebut ke bagian atas tumbuhan baik batang ataupun daun.

2. Rhizofiltrasi

Merupakan suatu proses pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah.

3. Fitodegradasi

Suatu proses dimana kontaminan diurai lalu diserap oleh tanaman melalui suatu proses metabolisme atau kontaminan tersebut diurai oleh tanaman

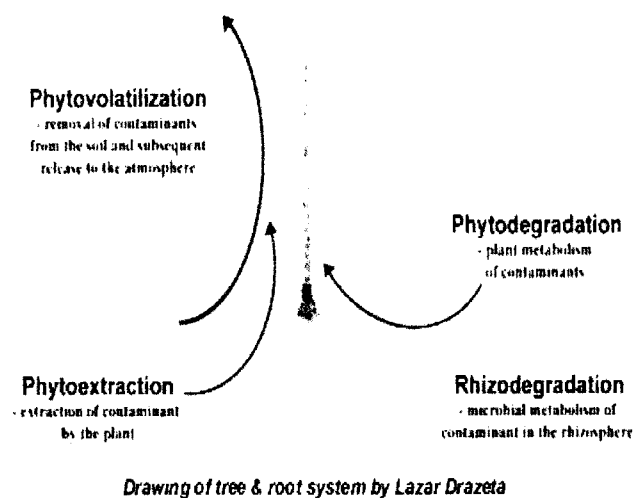
melalui suatu pengaruh produksi senyawa tertentu. Contoh enzim dehalogenase dan oksigenase.

4. Fitostabilisasi

Suatu proses dalam tanaman yang mampu melakukan proses stabilisasi terhadap suatu senyawa kimia.

5. Fitovolatilisasi

Suatu proses yang terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun, dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun.



Gambar 4.7 Proses – proses fitoremediasi pada tumbuhan

Pada hasil penelitian ini menunjukkan kapasitas serapan kandungan logam timbal dalam limbah laboratorium pada akar lebih besar dari pada yang ada di daun. Hal ini disebabkan karena akar merupakan media pertama yang dilalui oleh logam timbal (Pb) dan akar melalui bulu akar akan ditransport menuju daun melalui pembuluh kayu (xylem) (Dwidjoseputro, 1986). Dapat dilihat perbedaan serapan eceng gondok pada hari ke-12 pada Tabel 4.16 berikut ini:

Tabel 4.16 Hasil Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Akar dan Daun Tanaman Eceng Gondok Di Hari Ke-12

Konsentrasi Limbah	Serapan terhadap logam timbal (mg/)	
	Akar	Daun
0%	0,0000124	0,0000022
25%	0,0000211	0,0000067
50%	0,0000124	0,0000035
75%	0,0000299	0,0000114
100%	0,0000166	0,0000022

Dari tabel diatas terlihat 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 membedakan 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).

Rhizofiltrasi berhubungan dengan pemanfaatan akar tanaman untuk menyerap dan menghimpun logam yang terkontaminasi baik pada lahan basah atau pada air tanah. Dalam hal ini, akar tanaman mampu menyerap logam dari air tanah atau pada zona akar dalam jumlah besar (Dushkenov and Kapulnik et al, 2000 cit. Schnoor, 2002).

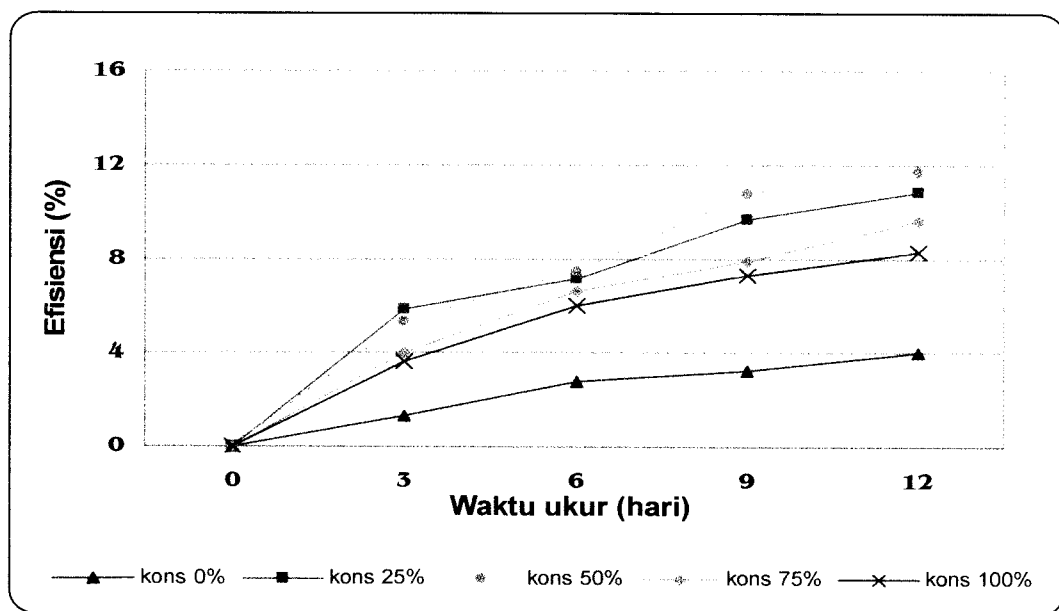
4.5 Efisiensi Serapan Logam Timbal (Pb) Oleh Tanaman Eceng Gondok

Dari hasil penelitian besarnya serapan logam timbal (Pb) oleh tanaman maka dapat dicari efisiensinya dengan cara yang dapat dilihat pada lampiran dan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.17 Efisiensi Penyerapan Logam Timbal (Pb) Oleh Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi limbah	Satuan	Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12
0%	%	0	1.3283	2.7701	3.2582	3.9833
25%	%	0	5.8173	7.1610	9.6955	10.8782
50%	%	0	5.3191	7.4885	10.7968	11.5019
75%	%	0	3.9654	6.6208	7.9307	9.5803
100%	%	0	3.5774	6.0242	7.2966	8.2737

Dari tabel diatas maka dapat dibuat grafik efisiensi penyerapan logam timbal (Pb) oleh tanaman eceng gondok yang didapat dilihat pada Gambar 4.8 dibawah ini :



Gambar 4.8 Grafik Efisiensi (%) Penyerapan Kandungan Logam Timbal Oleh Tanaman Eceng Gondok

Berdasarkan gambar grafik efisiensi (%) diatas terlihat kenaikan yang stabil pada setiap harinya untuk masing-masing konsentrasi. Efisiensi penyerapan tanaman eceng gondok ini menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok mampu menyerap kandungan logam timbal (Pb) pada limbah laboratorium.

4.6 Analisa Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok

Penelitian ini selain untuk mengetahui kandungan logam timbal (Pb) yang terdapat pada limbah, juga dapat mengetahui pengaruh limbah terhadap tanaman eceng gondok pada setiap konsentrasi. Analisa terhadap tanaman dilakukan secara visual. Setiap harinya dilakukan pengukuran panjang akar, panjang akar, panjang dan lebar daun serta perubahan fisik yang terjadi pada limbah dan tanaman eceng gondok.

4.6.1 Analisa Pertumbuhan Dan Daya Serap Akar

Pengaruh kadar air limbah terhadap pertumbuhan dan daya serap akar secara umum memberikan dampak negatif dibandingkan dengan pertumbuhan akar tanaman yang tidak diberi limbah. Pertumbuhan akar pada setiap reaktor masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.18 Hasil Pengamatan Pertumbuhan Akar Eceng Gondok

Hari pada reaktor	Pertumbuhan panjang akar (cm)				
	Kons 0%	Kons 25%	Kons 50%	Kons 75%	Kons 100%
0	16	16	16	16	16
1	16	16	16	16	16
2	16,3	16	16	16	16
3	16,3	16,3	16	16	16
4	16,5	16,3	16,3	16	16
5	16,5	16,5	16,3	16,3	16,3
6	17	16,5	16,3	16,3	16,3
7	17	16,5	16,3	16,3	16,3
8	17	17	16,5	16,5	16,5
9	17,5	17	16,5	16,5	16,5
10	17,5	17	16,5	16,5	16,5
11	18	17,5	17	17	16,5
12	18	17,5	17	17	16,5

Terlihat pada tabel diatas bahwa pertumbuhan akar tanaman eceng gondok sangat tergantung pada tingkat konsentrasi limbah yang digunakan, dimana semakin kecil konsentrasi limbah maka akar tanaman akan semakin panjang. Selain faktor kandungan logam yang terdapat pada limbah, pengaruh kadar oksigen dalam air limbah juga mempengaruhi pertumbuhan daya serap akar.

Timbulnya bakteri-bakteri dalam reaktor menimbulkan proses pembusukan. Proses pembusukan ditandai dengan terbentuknya lapisan kental yang menutupi permukaan air sehingga akan menurunkan kandungan oksigen yang terdapat di dalam air limbah.

Pengaruh konsentrasi air limbah pada akar terlihat dari perubahan warna dan kesegaran akar tanaman. Akar tanaman di reaktor dengan konsentrasi limbah 0% atau normal berwarna hitam kecoklatan dan pada hari ke-8 tumbuh akar-akar baru serta pertumbuhan yang sangat baik yaitu panjang akar mencapai 18 cm pada hari ke-12. Akar tanaman di reaktor dengan konsentrasi limbah 100% berubah menjadi warna coklat tua pada hari ke-5 dan coklat muda pada hari ke-10, akar juga nyaris tidak mengalami pertumbuhan dengan terlihatnya panjang akar hanya mencapai 16,5 cm pada hari ke-12.

Terjadi juga perubahan pH tanaman yang sering terjadi di sekitar daerah perakaran. Di dalam akar terjadi perubahan pH diakibatkan adanya penimbunan logam pada membran sel akar yang membentuk suatu zat pengikat, sehingga apabila penyerapan yang terlalu tinggi atau rendah dapat menaikkan atau menurunkan pH dari tanaman.

4.6.2 Analisa Pertumbuhan Panjang Tanaman

Adanya air limbah dalam reaktor memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan dari batang tanaman eceng gondok. Pertumbuhannya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.19 Hasil Pengamatan Pertumbuhan Batang Eceng Gondok

Hari pada reaktor	Pertumbuhan panjang batang (cm)				
	Kons 0%	Kons 25%	Kons 50%	Kons 75%	Kons 100%
0	40	40	40	40	40
1	40	40	40	40	40
2	40,5	40	40	40	40
3	40,5	41	40	40	40
4	41	41	40	40	40
5	41,5	41,5	40,5	40	40
6	41,5	41,5	40,5	40	40
7	42	41,5	41	40	40
8	42	42	42	40	40
9	42	42	42	40	40
10	42,5	42	42	40	40
11	43	42	42	40	40
12	43	42	42	40	40

Berdasarkan tabel diatas terlihat sama seperti pertumbuhan pada akar tanaman. Batang eceng gondok mengalami pertambahan pada konsentrasi 50%, 25% dan kondisi air normal sedangkan pada konsentrasi 75% dan 100% pertumbuhan eceng gondok sangat terhambat.

Kondisi batang pada konsentrasi 100% yaitu pada hari ke-2 batang mulai melayu dan berlahan berwarna hijau kekuningan, pada hari ke-9 batang sudah layu dengan warna kecoklatan hingga akhirnya pada hari ke-10 batang mengering (mati).

Kondisi batang pada konsentrasi 50%, 25% dan air normal masih segar bahkan tumbuh tunas dan akar baru. Hanya beberapa eceng gondok sedikit layu di reaktor 50% pada hari ke-4 namun masih mengalami pertumbuhan.

4.6.3 Analisa Pertumbuhan Luas Daun Tanaman

Pengaruh air limbah pada reaktor juga memberikan dampak yang negatif terhadap pertumbuhan daun eceng gondok. Perubahan luas daun tanaman setiap harinya dapat diketahui melalui data pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.20 Hasil Pengamatan Pertumbuhan Daun Eceng Gondok

Hari pada reaktor	Pertumbuhan panjang dan lebar daun (cm)				
	Kons 0%	Kons 25%	Kons 50%	Kons 75%	Kons 100%
0	14x13	14x13	14x13	14x13	14x13
1	14x13	14x13	14x13	14x13	14x13
2	14x13	14x13	14x13	14x12,5	14x12,5
3	14x14	14x13	14x13	14x12	14x12
4	14x14	14x13	14x12	14x11	14x10
5	14x14	14x13	14x12	14x11	14x10
6	14x14,5	14x13	14x11,5	13x10	13x9
7	14x15	14x13,5	14x11,5	13x9	13x8
8	14x15	14x13,5	13x11,5	13x9	12,5x7,5
9	14,5x16	14x14	13x11	12,5x7,5	12,5x7
10	14,5x16	14x14	13x11	12,5x7,5	12,5x7
11	14,5x16	14x14	13x11	12,5x7,5	12,5x7
12	14,5x16,5	14x14	13x11	12,5x7,5	12,5x7

Pada kondisi normal dan konsentrasi air limbah 25%, luas daun mengalami pertumbuhan dimana luas awal daun tanaman eceng gondok adalah 14x13 cm menjadi 14,5x16,5 cm di hari ke-12 pada air normal dan 14x14 cm pada konsentrasi air limbah 25%. Sedangkan pada air limbah konsentrasi 50%, 75% dan 100% luas daun tanaman mengalami penurunan. Pada air limbah konsentrasi 50% memiliki luas awal daun 14x13 cm kemudian mengalami penurunan menjadi 13x11 cm di hari ke-12. Pada air limbah konsentrasi 75% luas awal daun 14x13 cm kemudian mengalami penurunan menjadi 12,5x7,5 cm di hari ke-12. Dan pada air limbah konsentrasi 100%

luas awal daun 14x13 cm kemudian mengalami penurunan drastis hingga menjadi 12,5x7 cm, bahkan kondisi daun layu dan mengering (mati). Kematian eceng gondok membawa dampak bagi pertumbuhan mikroorganisme, karena setiap komponen eceng gondok yang mati sebagai tempat untuk berkembangbiaknya mikroba pengurai baru.

4.7 Analisa Statistik Parameter Pencemar

Uji statistik ANOVA bertujuan untuk mengetahui atau menguji berlaku atau tidaknya asumsi uji statistik ANOVA terhadap sampel dari parameter penelitian yang berasal dari nilai varian yang sama berdasarkan tingkat probabilitas diterima $< 0,05 >$ ditolak (Santoso, 2003 dalam Faisal 2005). Tujuan dilakukan uji statistik terhadap kadar parameter yang diteliti dalam penelitian ini adalah untuk memperkuat ketepatan hasil perhitungan analisa laboratorium yang didapat.

4.7.1 Analisa Statistik Logam Timbal (Pb) Pada Akar Tanaman

Hasil analisa kandungan logam timbal terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan adalah :

No	Variasi Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)				
			0	3	6	9	12
1	0%	ppm	0.0168	0.0172	0.0188	0.0197	0.0212
2	25%	ppm	0.0168	0.0248	0.0259	0.0304	0.0325
3	50%	ppm	0.0168	0.0235	0.0275	0.0336	0.0349
4	75%	ppm	0.0168	0.0215	0.0259	0.0289	0.0316
5	100%	ppm	0.0168	0.0211	0.0248	0.0273	0.0294

Untuk mengetahui pengaruh dari variasi konsentrasi air limbah pada setiap reaktor dan waktu pengambilan sampel terhadap kadar penyerapan logam timbal oleh tanaman eceng gondok maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut:

Tabel 4.21 Tabel *Tests of Between-Subjects Effects* Kandungan Timbal (Pb) Pada Akar Tanaman

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.AKAR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	8	.000	18.980	.000
Intercept	.015	1	.015	2921.755	.000
WAKTU	.000	4	.000	10.833	.000
LIMBAH	.001	4	.000	27.126	.000
Error	.000	16	.000		
Total	.015	25			
Corrected Total	.001	24			

a. R Squared = .905 (Adjusted R Squared = .857)

Analisa statistik, dengan menggunakan *Tests of Between-Subjects Effects* digunakan hipotesa :

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

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

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- $\text{sig} < \alpha$, maka H_0 ditolak
 - $\text{sig} > \alpha$, maka H_0 diterima
- ($\alpha = 0,05$)

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

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 27,126 dengan probabilitas 0,000 dan signifikansi 0,05. Oleh karena, probabilitas $< 0,05$ maka H_0 ditolak, ini berarti variasi konsentrasi air limbah mempunyai pengaruh terhadap perbedaan penyerapan logam Pb oleh akar.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 10,833 dengan probabilitas 0,001 dan signifikansi 0,05. Oleh karena, probabilitas $< 0,05$ maka H_0 ditolak, ini berarti variasi waktu pengambilan air limbah mempunyai pengaruh terhadap perbedaan penyerapan logam Pb oleh akar.

4.7.2 Analisa Statistik Logam Timbal (Pb) Pada Daun Tanaman

Pada pengujian anova pada daun eceng gondok tiap variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu detensi diperoleh perbedaan rata-rata kenaikan kadar Pb pada daun eceng gondok .Uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut:

Tabel 4.22 Tabel *Tests of Between-Subjects Effects* Kandungan Timbal (Pb) Pada Daun Tanaman

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.DAUN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	8	.000	44.817	.000
Intercept	.001	1	.001	1485.429	.000
WAKTU	.000	4	.000	12.188	.000
LIMBAH	.000	4	.000	77.446	.000
Error	.000	16	.000		
Total	.001	25			
Corrected Total	.000	24			

a. R Squared = .957 (Adjusted R Squared = .936)

Analisa statistik, dengan menggunakan *Tests of Between-Subjects Effects* digunakan hipotesa :

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

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

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- $\text{sig} < \alpha$, maka H_0 ditolak

- $\text{sig} > \alpha$, maka H_0 diterima

($\alpha = 0,05$)

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

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 77,446 dengan probabilitas 0,000 dan signifikansi 0,05. Oleh karena, probabilitas $< 0,05$ maka H_0 ditolak, ini berarti variasi konsentrasi air limbah mempunyai pengaruh terhadap perbedaan penyerapan logam Pb oleh daun.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 12,188 dengan probabilitas 0,001 dan signifikansi 0,05. Oleh karena, probabilitas $< 0,05$ maka H_0 ditolak, ini berarti variasi waktu pengambilan air limbah mempunyai pengaruh terhadap perbedaan penyerapan logam Pb oleh daun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Efektifitas penyerapan logam timbal (Pb) oleh tanaman eceng gondok dipengaruhi oleh konsentrasi air limbah. Serapan tanaman eceng gondok terhadap logam Pb terbesar terjadi pada konsentrasi air limbah 50% sebesar 0,0000824 mg/gr
2. Efisiensi penyerapan kandungan logam timbal (Pb) pada limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia oleh tanaman eceng gondok selama waktu detensi 12 hari adalah 3,9833% pada kondisi normal, 10,8782% pada konsentrasi air limbah 25%, 11,5019% pada konsentrasi air limbah 50%, 9,5803% pada konsentrasi air limbah 75% dan 8,2737% pada konsentrasi air limbah 100%.
3. Proses penyerapan logam Pb oleh tanaman eceng gondok mempengaruhi pertumbuhannya. Hal ini terlihat dari perubahan kondisi ukuran luas daun, panjang batang dan panjang akar.

5.2 Saran

1. Perlu adanya pengembangan dari pengolahan dengan sytem constructed wetland ini menggunakan tanaman-tanaman air lainnya.
2. Diharapkan adanya penelitian mengenai zona substrat atau tanah yang mempengaruhi tingkat penyerapan tanaman eceng gondok dan tingkat penurunan air limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani U, 2005, *Studi pengolahan limbah cair industri pengalengan jamur dengan reaktor Constructed Wetland menggunakan tanaman kangkung air (Ipomoea aquatica Forsk)*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Anonim, 1996, *Penurunan Kadar Cu Pada Limbah Pencucian Perak dengan Eceng Gondok*, Skripsi STTL YLH, Yogyakarta
- 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 A.B, 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.
- Effendi. H, 2003, *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*, Kanisius, Yogyakarta

- Faisal, 2005, *Penurunan konsentrasi limbah cair industri tapioka dengan reaktor constructed wetland menggunakan tanaman eceng gondok (Eichornia Crassipes)*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Fardiaz. S, 1992, *Polusi air dan udara*, edisi ke tujuh, Kanisius, Yogyakarta
- Kadlec, R.H., and R.L.Knight, 1996, "*Treatment Wetlands*", CRC Press, Boca Raton, New York, London, Tokyo.
- Khalia .N, 2006, *Analisa Timbal dalam daun dan glodokan Tiang (polyalthia longifolia) Thwait pada kawasan lalulintas padat di DIY*, MIPA UII, Yogyakarta
- Metcalf, and Eddy, 1993, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 3th Edition, McGraw-Hill, New York.
- Metcalf, and Eddy, 2003, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4th Edition, McGraw-Hill, New York.
- Moenandir.J dan Murgito, 1992, *Kemampuan penyerapan logam berat oleh eceng, agrivita vol 17 no.2*, Pasca Sarjana Unibraw, Malang, jurnal purifikasi (diakses pada tanggal 7 februari 2007).
- Najichah, 2006, *Toksisitas logam berat pada tanaman*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta
- Palar.H., 1994, *Pencemaran dan toksikologi logam berat*, Rineka Cipta, Jakarta
- Priyanto B dan Prayitno J.,2004, *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat.*, <http://www.bppt.tripod.com/sublab/Iflorea.htm>. jurnal purifikasi (diakses pada tanggal 1 agustus 2004)

- Soerjani, S.W., 1975, *Eceng Gondok Sebagai Penyerap Pencemar*, SEAMEO, Biotrop, Bogor.
- Sita. A, 2005, *Penyerapan logam berat oleh Eceng Gondok*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta
- 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 tanaman paku air (Azolla Pinnata)*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Tjitrosomo. S.S dalam najichah, 1983, *Botani Umum II*, Angkasa Bandung
- Vymazal, J., 1999, "Removal of BOD in Constructed Wetland with Horizontal Sub Surface Flow : Czech Experience", *Water Science Technology*, volume 40, No. 3. 133-138
- Wood, A., 1990, "Constructed Wetland for Wastewater Treatment-Engineering and Design Consideration", Cooper, P. F. and Findlater, B. C. (eds), 481-494, Pergamon Press, Oxford, U. K.
- Widyanto, L dan Susilo, 1977, *Eceng Gondok sebagai penyerap air*, tropikal pest biologi program, SEAMEO-BIOTROP, Bogor.
- Yunarsih, 2006, *Fitoremediasi logam Pb dan Cd dengan tanaman Eceng Gondok (eichornia crasspies)*, MIPA UII, Yogyakarta.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

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	°C	-	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	Klorida (Cl ⁻)	mg/l	600	Titrimetri
25	Sianida (CN)	mg/l	0.02	Destilasi
26	Fluorida (F)	mg/l	0.5	Spektrofotometri
27	Nitrit (NO ₂)	mg/l	0.06	Spektrofotometri (NED)
28	Sulfat (SO ₄)	mg/l	400	Spektrofotometri
29	Klorin Bebas (Cl ₂)	mg/l	0.03	Titrimetri
30	Belerang sebagai H ₂ S	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 2

HASIL UJI LABORATORIUM

Hasil Perhitungan Konversi Kandungan Timbal

Berat tanaman eceng gondok dan Volume air yang digunakan

Akar eceng gondok = 36,5 gr

Daun eceng gondok = 27,5 gr

Air yang digunakan = 250 mL

Perhitungan Konversi Pb

Logam Pb yang terserap oleh tanaman eceng gondok dapat dihitung dengan rumus:

$$C2 = C1 * \left(\frac{V.air}{W.tan\ aman} \right)$$

Berikut ini adalah contoh perhitungannya:

Konsentrasi 100% pada akar hari ke-3

Diketahui: Berat akar eceng gondok = 36,5 gr

Volume air yang digunakan = 250 mL

Tingkat penyerapan = 0,0037 mg/L

Menghitung konversi Konsentrasi Pb pada tanaman

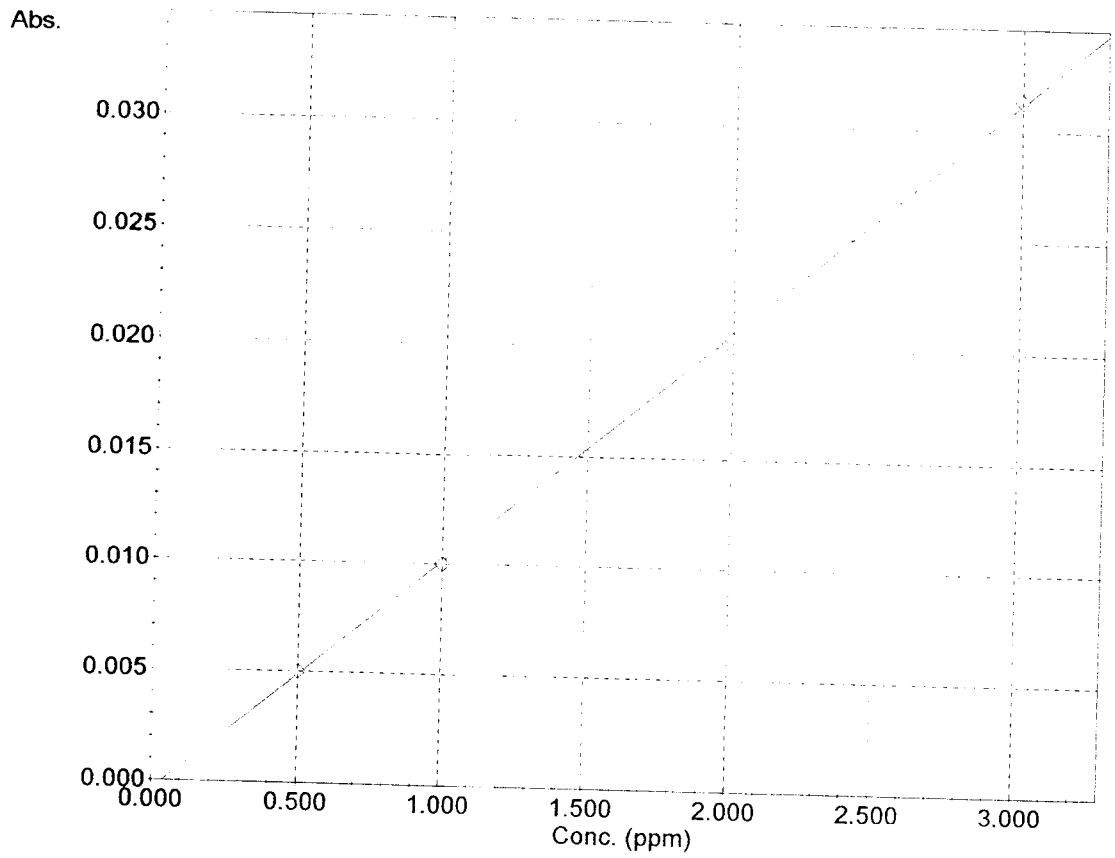
$$C2 = C1 * \left(\frac{V.air}{W.tan\ aman} \right)$$

$$C2 = 0,0037 \text{ mg/L} * \left(\frac{0,25L}{36,5gr} \right)$$

$$= 0,0000253 \text{ mg/gr}$$

Dari Tabel 2, Tabel 4 dan Tabel 6 dapat dilihat bahwa tanaman eceng gondok mempunyai kemampuan menyerap logam Pb. Pada konsentrasi limbah 100% di hari ke-3, 1 gr akar eceng gondok telah menyerap logam Pb sebesar 0,0000253 mg dan 1

gr daun telah menyerap logam Pb sebesar 0,0000389 mg. Sehingga diperoleh pada hari ke-3 penyerapan logam Pb per berat tanaman sebesar 0,0000642 mg/gr



$$\text{Abs.} = 0.0105309 \text{Conc.} - 0.000395596$$

$$r = 0.9993$$

Conc.	Abs.
0.0000	-0.0010
0.2000	0.0024
0.5000	0.0050
1.0000	0.0100
2.0000	0.0204
3.0000	0.0314



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

HASIL ANALISA TIMBAL

Pengirim : Meri Mayasari
Tanggal Penerimaan : Januari 2006.
Sample : Tanaman enceng gondok

No	Sample	Absorbans	Konsentrasi (ppm)
1	Akar	0,0020	0,0168
2	Daun	-0,0008	< 0,001

Keterangan :
tt = tidak terdeteksi

Mengetahui,
Kepala BPKL Kimpraswil

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 MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

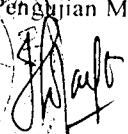
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

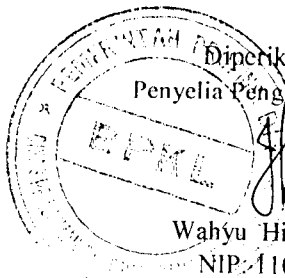
Pengirim : Meri Mayasari

Sample : (Akar) 3 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0002	0,0172	-0,0002	0,0169
2	25%	-0,0001	0,0248	-0,0001	0,0246
3	50%	-0,0002	0,0235	-0,0002	0,0233
4	75%	-0,0002	0,0215	-0,0002	0,0216
5	100%	-0,0002	0,0211	-0,0002	0,0196

Yogyakarta, Februari 2007

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 MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

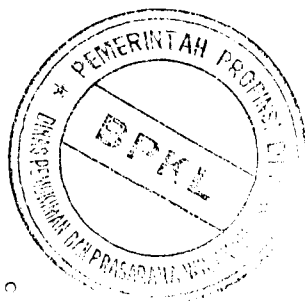
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Meri Mayasari

Sample : (Akar) 6 hari

No	Sampie	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0002	0,0188	-0,0002	0,0201
2	25%	-0,0001	0,0259	-0,0001	0,0252
3	50%	-0,0001	0,0275	-0,0001	0,0274
4	75%	-0,0001	0,0259	-0,0001	0,0253
5	100%	-0,0001	0,0248	-0,0001	0,0248

Yogyakarta, Februari 2007



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

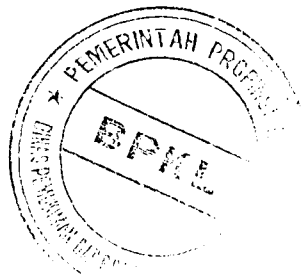
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Meri Mayasari

Sample : (Akar) 9 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0002	0,0197	-0,0002	0,0198
2	25%	-0,0001	0,0304	-0,0001	0,0289
3	50%	-0,0000	0,0336	-0,0000	0,0336
4	75%	-0,0001	0,0289	-0,0001	0,0287
5	100%	-0,0001	0,0273	-0,0001	0,0274

Yogyakarta, Februari 2007



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 MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Meri Mayasari


Sample : (Akar) 12 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0002	0,0212	-0,0002	0,0212
2	25%	-0,0001	0,0325	-0,0001	0,0323
3	50%	-0,0000	0,0349	-0,0000	0,0346
4	75%	-0,0001	0,0316	-0,0001	0,0317
5	100%	-0,0001	0,0294	-0,0001	0,0296

Yogyakarta, Februari 2007



Diperiksa Oleh:
Penyelia Pengujian Mutu Air


Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897



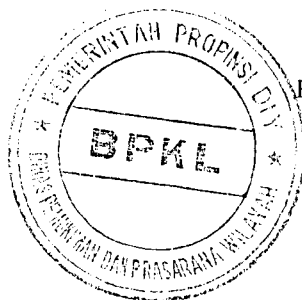
PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN
JL. RING ROAD UTARA MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Meri Mayasari
Sample : (Daun) 3 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0004	0,0038	-0,0004	0,0037
2	25%	-0,0003	0,0069	-0,0003	0,0070
3	50%	-0,0003	0,0071	-0,0003	0,0070
4	75%	-0,0003	0,0058	-0,0003	0,0059
5	100%	-0,0003	0,0053	-0,0003	0,0054

Yogyakarta, Februari 2007



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 MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Meri Mayasari

Sample : (Daun) 6 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0003	0,0056	-0,0003	0,0061
2	25%	-0,0003	0,0091	-0,0003	0,0091
3	50%	-0,0003	0,0083	-0,0003	0,0083
4	75%	-0,0003	0,0078	-0,0003	0,0078
5	100%	-0,0003	0,0074	-0,0003	0,0074

Yogyakarta, Februari 2007



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 MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

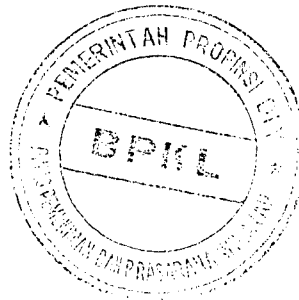
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Meri Mayasari

Sample : (Daun) 9 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0003	0,0059	-0,0003	0,0061
2	25%	-0,0003	0,0106	-0,0003	0,0107
3	50%	-0,0003	0,0101	-0,0003	0,0101
4	75%	-0,0003	0,0079	-0,0003	0,0079
5	100%	-0,0003	0,0080	-0,0003	0,0080

Yogyakarta, Februari 2007



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 MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

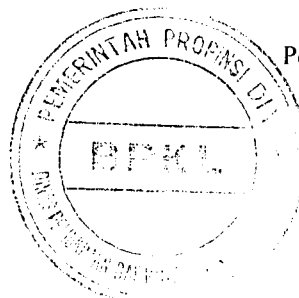
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : Meri Mayasari

Sample : (Daun) 12 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0003	0,0062	-0,0003	0,0062
2	25%	-0,0003	0,0114	-0,0003	0,0114
3	50%	-0,0003	0,0105	-0,0003	0,0105
4	75%	-0,0003	0,0092	-0,0003	0,0092
5	100%	-0,0003	0,0082	-0,0003	0,0081

Yogyakarta, Februari 2007



Diperiksa Oleh:
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

LAMPIRAN 3

HASIL PERHITUNGAN STATISTIK

PB AKAR

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.AKAR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	8	.000	18.980	.000
Intercept	.015	1	.015	2921.755	.000
WAKTU	.000	4	.000	10.833	.000
LIMBAH	.001	4	.000	27.126	.000
Error	.000	16	.000		
Total	.015	25			
Corrected Total	.001	24			

a. R Squared = .905 (Adjusted R Squared = .857)

Post Hoc Tests WAKTU

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.AKAR

	(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0 hari	3 hari	-.007340*	.0014146	.001	-.011674	-.003006
		6 hari	-.008520*	.0014146	.000	-.012854	-.004186
		9 hari	-.006200*	.0014146	.004	-.010534	-.001866
		12 hari	-.005140*	.0014146	.016	-.009474	-.000806
	3 hari	0 hari	.007340*	.0014146	.001	.003006	.011674
		6 hari	-.001180	.0014146	.916	-.005514	.003154
		9 hari	.001140	.0014146	.925	-.003194	.005474
		12 hari	.002200	.0014146	.544	-.002134	.006534
	6 hari	0 hari	.008520*	.0014146	.000	.004186	.012854
		3 hari	.001180	.0014146	.916	-.003154	.005514
		9 hari	.002320	.0014146	.495	-.002014	.006654
		12 hari	.003380	.0014146	.169	-.000954	.007714
	9 hari	0 hari	.006200*	.0014146	.004	.001866	.010534
		3 hari	-.001140	.0014146	.925	-.005474	.003194
		6 hari	-.002320	.0014146	.495	-.006654	.002014
		12 hari	.001060	.0014146	.941	-.003274	.005394
	12 hari	0 hari	.005140*	.0014146	.016	.000806	.009474
		3 hari	-.002200	.0014146	.544	-.006534	.002134
		6 hari	-.003380	.0014146	.169	-.007714	.000954
		9 hari	-.001060	.0014146	.941	-.005394	.003274
Bonferroni	0 hari	3 hari	-.007340*	.0014146	.001	-.011940	-.002740
		6 hari	-.008520*	.0014146	.000	-.013120	-.003920
		9 hari	-.006200*	.0014146	.005	-.010800	-.001600
		12 hari	-.005140*	.0014146	.022	-.009740	-.000540
	3 hari	0 hari	.007340*	.0014146	.001	.002740	.011940
		6 hari	-.001180	.0014146	1.000	-.005780	.003420
		9 hari	.001140	.0014146	1.000	-.003460	.005740
		12 hari	.002200	.0014146	1.000	-.002400	.006800
	6 hari	0 hari	.008520*	.0014146	.000	.003920	.013120
		3 hari	.001180	.0014146	1.000	-.003420	.005780
		9 hari	.002320	.0014146	1.000	-.002280	.006920
		12 hari	.003380	.0014146	.295	-.001220	.007980
	9 hari	0 hari	.006200*	.0014146	.005	.001600	.010800
		3 hari	-.001140	.0014146	1.000	-.005740	.003460
		6 hari	-.002320	.0014146	1.000	-.006920	.002280
		12 hari	.001060	.0014146	1.000	-.003540	.005660
	12 hari	0 hari	.005140*	.0014146	.022	.000540	.009740
		3 hari	-.002200	.0014146	1.000	-.006800	.002400
		6 hari	-.003380	.0014146	.295	-.007980	.001220
		9 hari	-.001060	.0014146	1.000	-.005660	.003540

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.AKAR

WAKTU	N	Subset	
		1	2
Tukey HSD ^{a,b} 0 hari	5	.018740	
12 hari	5		.023880
9 hari	5		.024940
3 hari	5		.026080
6 hari	5		.027260
Sig.		1.000	.169

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.AKAR

	(I) LIMBAH	(J) LIMBAH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0%	25%	-.004820*	.0014146	.026	-.009154	-.000486
		50%	-.007780*	.0014146	.000	-.012114	-.003446
		75%	-.011180*	.0014146	.000	-.015514	-.006846
		100%	-.013120*	.0014146	.000	-.017454	-.008786
	25%	0%	.004820*	.0014146	.026	.000486	.009154
		50%	-.002960	.0014146	.270	-.007294	.001374
		75%	-.006360*	.0014146	.003	-.010694	-.002026
		100%	-.008300*	.0014146	.000	-.012634	-.003966
	50%	0%	.007780*	.0014146	.000	.003446	.012114
		25%	.002960	.0014146	.270	-.001374	.007294
		75%	-.003400	.0014146	.165	-.007734	.000934
		100%	-.005340*	.0014146	.012	-.009674	-.001006
	75%	0%	.011180*	.0014146	.000	.006846	.015514
		25%	.006360*	.0014146	.003	.002026	.010694
		50%	.003400	.0014146	.165	-.000934	.007734
		100%	-.001940	.0014146	.653	-.006274	.002394
	100%	0%	.013120*	.0014146	.000	.008786	.017454
		25%	.008300*	.0014146	.000	.003966	.012634
		50%	.005340*	.0014146	.012	.001006	.009674
		75%	.001940	.0014146	.653	-.002394	.006274
Bonferroni	0%	25%	-.004820*	.0014146	.036	-.009420	-.000220
		50%	-.007780*	.0014146	.000	-.012380	-.003180
		75%	-.011180*	.0014146	.000	-.015780	-.006580
		100%	-.013120*	.0014146	.000	-.017720	-.008520
	25%	0%	.004820*	.0014146	.036	.000220	.009420
		50%	-.002960	.0014146	.527	-.007560	.001640
		75%	-.006360*	.0014146	.004	-.010960	-.001760
		100%	-.008300*	.0014146	.000	-.012900	-.003700
	50%	0%	.007780*	.0014146	.000	.003180	.012380
		25%	.002960	.0014146	.527	-.001640	.007560
		75%	-.003400	.0014146	.287	-.008000	.001200
		100%	-.005340*	.0014146	.017	-.009940	-.000740
	75%	0%	.011180*	.0014146	.000	.006580	.015780
		25%	.006360*	.0014146	.004	.001760	.010960
		50%	.003400	.0014146	.287	-.001200	.008000
		100%	-.001940	.0014146	1.000	-.006540	.002660
	100%	0%	.013120*	.0014146	.000	.008520	.017720
		25%	.008300*	.0014146	.000	.003700	.012900
		50%	.005340*	.0014146	.017	.000740	.009940
		75%	.001940	.0014146	1.000	-.002660	.006540

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.AKAR

LIMBAH	N	Subset			
		1	2	3	4
Tukey HSD ^{a,b} 0%	5	.016800			
25%	5		.021620		
50%	5		.024580	.024580	
75%	5			.027980	.027980
100%	5				.029920
Sig.		1.000	.270	.165	.653

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.

PB DAUN

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.DAUN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	8	.000	44.817	.000
Intercept	.001	1	.001	1485.429	.000
WAKTU	.000	4	.000	12.188	.000
LIMBAH	.000	4	.000	77.446	.000
Error	.000	16	.000		
Total	.001	25			
Corrected Total	.000	24			

a. R Squared = .957 (Adjusted R Squared = .936)

Post Hoc Tests WAKTU

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.DAUN

	(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0 hari	3 hari	-.003310	.0021187	.537	-.009650	.003030
		6 hari	-.002874	.0021187	.661	-.009214	.003466
		9 hari	-.001834	.0021187	.906	-.008174	.004506
		12 hari	-.001492	.0021187	.953	-.007832	.004848
	3 hari	0 hari	.003310	.0021187	.537	-.003030	.009650
		6 hari	.000436	.0021187	1.000	-.005904	.006776
		9 hari	.001476	.0021187	.955	-.004864	.007816
		12 hari	.001818	.0021187	.909	-.004522	.008158
	6 hari	0 hari	.002874	.0021187	.661	-.003466	.009214
		3 hari	-.000436	.0021187	1.000	-.006776	.005904
		9 hari	.001040	.0021187	.987	-.005300	.007380
		12 hari	.001382	.0021187	.964	-.004958	.007722
	9 hari	0 hari	.001834	.0021187	.906	-.004506	.008174
		3 hari	-.001476	.0021187	.955	-.007816	.004864
		6 hari	-.001040	.0021187	.987	-.007380	.005300
		12 hari	.000342	.0021187	1.000	-.005998	.006682
12 hari	0 hari	.001492	.0021187	.953	-.004848	.007832	
	3 hari	-.001818	.0021187	.909	-.008158	.004522	
	6 hari	-.001382	.0021187	.964	-.007722	.004958	
	9 hari	-.000342	.0021187	1.000	-.006682	.005998	
Bonferroni	0 hari	3 hari	-.003310	.0021187	1.000	-.009991	.003371
		6 hari	-.002874	.0021187	1.000	-.009555	.003807
		9 hari	-.001834	.0021187	1.000	-.008515	.004847
		12 hari	-.001492	.0021187	1.000	-.008173	.005189
	3 hari	0 hari	.003310	.0021187	1.000	-.003371	.009991
		6 hari	.000436	.0021187	1.000	-.006245	.007117
		9 hari	.001476	.0021187	1.000	-.005205	.008157
		12 hari	.001818	.0021187	1.000	-.004863	.008499
	6 hari	0 hari	.002874	.0021187	1.000	-.003807	.009555
		3 hari	-.000436	.0021187	1.000	-.007117	.006245
		9 hari	.001040	.0021187	1.000	-.005641	.007721
		12 hari	.001382	.0021187	1.000	-.005299	.008063
	9 hari	0 hari	.001834	.0021187	1.000	-.004847	.008515
		3 hari	-.001476	.0021187	1.000	-.008157	.005205
		6 hari	-.001040	.0021187	1.000	-.007721	.005641
		12 hari	.000342	.0021187	1.000	-.006339	.007023
12 hari	0 hari	.001492	.0021187	1.000	-.005189	.008173	
	3 hari	-.001818	.0021187	1.000	-.008499	.004863	
	6 hari	-.001382	.0021187	1.000	-.008063	.005299	
	9 hari	-.000342	.0021187	1.000	-.007023	.006339	

Based on observed means.

Homogeneous Subsets

Pb.DAUN

	WAKTU	N	Subset
			1
Tukey HSD ^{a, b}	0 hari	5	.004496
	12 hari	5	.005988
	9 hari	5	.006330
	6 hari	5	.007370
	3 hari	5	.007806
	Sig.		.537

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.DAUN

	(I) LIMBAH	(J) LIMBAH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0%	25%	-.003310	.0021187	.537	-.009650	.003030
		50%	-.002874	.0021187	.661	-.009214	.003466
		75%	-.001834	.0021187	.906	-.008174	.004506
		100%	-.001492	.0021187	.953	-.007832	.004848
	25%	0%	.003310	.0021187	.537	-.003030	.009650
		50%	.000436	.0021187	1.000	-.005904	.006776
		75%	.001476	.0021187	.955	-.004864	.007816
		100%	.001818	.0021187	.909	-.004522	.008158
	50%	0%	.002874	.0021187	.661	-.003466	.009214
		25%	-.000436	.0021187	1.000	-.006776	.005904
		75%	.001040	.0021187	.987	-.005300	.007380
		100%	.001382	.0021187	.964	-.004958	.007722
	75%	0%	.001834	.0021187	.906	-.004506	.008174
		25%	-.001476	.0021187	.955	-.007816	.004864
		50%	-.001040	.0021187	.987	-.007380	.005300
		100%	.000342	.0021187	1.000	-.005998	.006682
	100%	0%	.001492	.0021187	.953	-.004848	.007832
		25%	-.001818	.0021187	.909	-.008158	.004522
		50%	-.001382	.0021187	.964	-.007722	.004958
		75%	-.000342	.0021187	1.000	-.006682	.005998
Bonferroni	0%	25%	-.003310	.0021187	1.000	-.009991	.003371
		50%	-.002874	.0021187	1.000	-.009555	.003807
		75%	-.001834	.0021187	1.000	-.008515	.004847
		100%	-.001492	.0021187	1.000	-.008173	.005189
	25%	0%	.003310	.0021187	1.000	-.003371	.009991
		50%	.000436	.0021187	1.000	-.006245	.007117
		75%	.001476	.0021187	1.000	-.005205	.008157
		100%	.001818	.0021187	1.000	-.004863	.008499
	50%	0%	.002874	.0021187	1.000	-.003807	.009555
		25%	-.000436	.0021187	1.000	-.007117	.006245
		75%	.001040	.0021187	1.000	-.005641	.007721
		100%	.001382	.0021187	1.000	-.005299	.008063
	75%	0%	.001834	.0021187	1.000	-.004847	.008515
		25%	-.001476	.0021187	1.000	-.008157	.005205
		50%	-.001040	.0021187	1.000	-.007721	.005641
		100%	.000342	.0021187	1.000	-.006339	.007023
	100%	0%	.001492	.0021187	1.000	-.005189	.008173
		25%	-.001818	.0021187	1.000	-.008499	.004863
		50%	-.001382	.0021187	1.000	-.008063	.005299
		75%	-.000342	.0021187	1.000	-.007023	.006339

Based on observed means.

Homogeneous Subsets

Pb.DAUN

		N	Subset
LIMBAH			1
Tukey HSD ^{a,b}	0%	5	.004496
	100%	5	.005988
	75%	5	.006330
	50%	5	.007370
	25%	5	.007806
	Sig.		.537

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 4

HASIL PENGAMATAN VISUAL

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

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 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 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

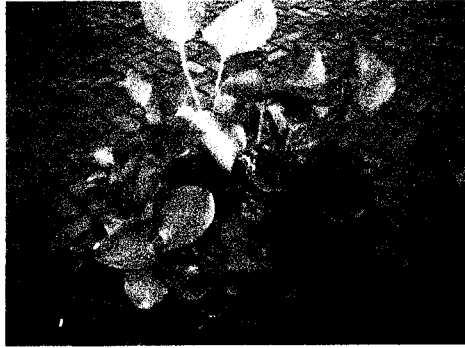
Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok

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

LAMPIRAN 5

DOKUMENTASI



(a) Tanaman eceng gondok



(b) Limbah laboratorium lingkungan UII

Gambar 1. Tanaman Eceng Gondok Dan Limbah Sebelum Perlakuan



(a) Konsentrasi 0%



(b) Konsentrasi 25%



(c) Konsentrasi 50%



(d) Konsentrasi 75%



(e) Konsentrasi 100%

Gambar 2. Reaktor Pengolahan *Constructed Wetlands* Hari Ke-0



(a) Konsentrasi 0%



(b) Konsentrasi 25%



(c) Konsentrasi 50%



(d) Konsentrasi 75%



(e) Konsentrasi 100%

Gambar 3. Reaktor Pengolahan *Constructed Wetlands* Hari Ke-3



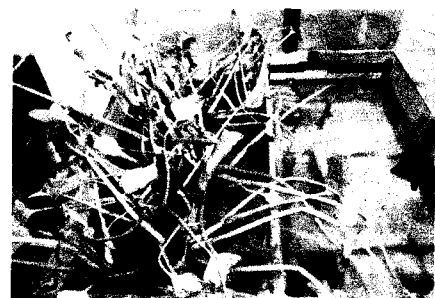
(a) Konsentrasi 0%



(b) Konsentrasi 25%



(c) Konsentrasi 50%



(d) Konsentrasi 75%



(e) Konsentrasi 100%

Gambar 4. Reaktor Pengolahan *Constructed Wetlands* Hari Ke-6



(a) Konsentrasi 0%



(b) Konsentrasi 25%



(c) Konsentrasi 50%



(d) Konsentrasi 75%



(e) Konsentrasi 100%

Gambar 5. Reaktor Pengolahan *Constructed Wetlands* Hari Ke-9



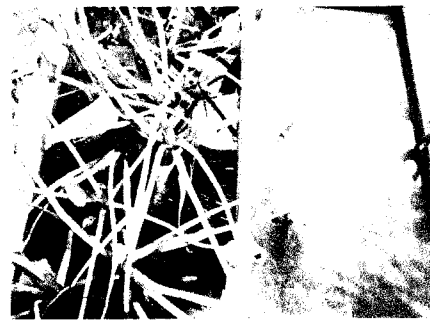
(a) Konsentrasi 0%



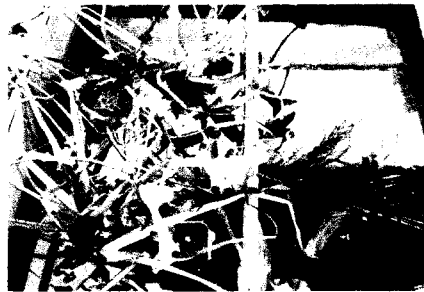
(b) Konsentrasi 25%



(c) Konsentrasi 50%



(d) Konsentrasi 75%



(e) Konsentrasi 100%

Gambar 6. Reaktor Pengolahan *Constructed Wetlands* Hari Ke-12

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	NAMA	NO MHS	PRODI
1	Meri Mayasari	02513011	Teknik Lingkungan
2			

JUDUL TUGAS AKHIR : Tingkat Penyerapan Padatan Limbah Cair Laboratorium Kualitas lingkungan UII dengan Sistem Constructed Wetland Menggunakan Tanaman air (Eichornia Crassipes)

PERIODE
TAHUN 2006/2006

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

DOSEN PEMBIMBING 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