

TA/TL/2007/0187

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELE	
TGL. TERIMA :	21 Juni 2007
NO. JUDUL :	CD 24 70
NO. INV. :	S120002471001
NO. INDIK. :	

**TUGAS AKHIR**

**TINGKAT PENURUNAN MERKURI (Hg) PADA LIMBAH CAIR  
 LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UNIVERSITAS  
 ISLAM INDONESIA DENGAN SISTEM *CONSTRUCTED  
 WETLANDS* MENGGUNAKAN TANAMAN ECENG GONDOK  
 (*Eichornia crassipes*)**

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



*Disusun Oleh :*

Nama : Mirna Oktaviana  
 No. MHS : 02 513 030

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



627  
 044  
 t

*Handwritten notes and signatures in the bottom right corner, including a signature that appears to be 'Mirna Oktaviana'.*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TINGKAT PENURUNAN MERKURI (Hg) PADA LIMBAH  
CAIR LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA DENGAN SISTEM  
*CONSTRUCTED WETLANDS* MENGGUNAKAN TANAMAN  
ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)**

**Nama** : Mirna Oktaviana  
**No. Mahasiswa** : 02 513 030  
**Program Studi** : Teknik Lingkungan

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

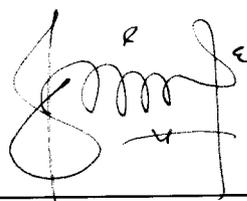
**Dosen Pembimbing I**

**Ir. H. Kasam, MT.**

  
\_\_\_\_\_  
**Tanggal :** 6-5-2007

**Dosen Pembimbing II**

**Eko Siswoyo, ST.**

  
\_\_\_\_\_  
**Tanggal :**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

### ALLAH SWT

Segala puji bagi ALLAH yang maha dahulu dan maha pertama  
Allah Yang maha besar dengan segala keagungan milik -Mu  
Allah Yang maha besar dengan segala puji untuk -Mu  
Dzat abadi yang takkan pernah berubah  
yang tak tersentuh oleh jaman, masa, dan tidak diingkari oleh terjadinya siang  
maupun malam  
Dzat yang menjadikan ada dari tiada  
Sang pencipta dari segala kehidupan  
Tiada yang kita sembah kecuali dia yang memiliki kemuliaan dan ke agungan  
engkaulah maha pengampun dari segala dosa  
Semoga engkau dapat mengampuni segala dosa dan segala khilaf hamba-mu ini  
Segala dosa hanya milikku dan segala maaf hanya bagi -Mu amin. ....

### NABI MUHAMMAD SAW

Pembawa risalah ketuhanan, pencerah seluruh umat manusia  
Pembawa cahaya terang benderang bagi umat manusia  
Ya Rasul kau berikan kami cahaya yang terang dan kau bebaskan kami dari ke  
jahiliya  
Ya Rasul kami rindu kami eghayamu  
Ya Rasul pemimpin kami semoga selalu tercurah rahmat bagimu  
Semoga Allah SWT selalu memberkatimu yang menjadi

*Hamba dan Rasul Nya*

*Begitu pula atas seluruh keluarganya dan para sahabatnya  
Semoga Allah selalu memberi keselamatan kepada mereka semua sampai hari  
kebangkitan*

### **PAPA DAN MAMA TERCINTA**

*Yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, dan mengajarkan*

*Semua tentang arti hidup*

*Begitu banyak cinta dan kasih sayangmu kau taburkan lebih dari bintang di langit*

*Begitu tulus ilmu yang kau tanamkan mengisi jiwaku tuk bekal hidup*

*Begitu dalam laut di samudra sedalam perhatian yang kau berikan padaku*

*Begitu luas lautan seluas kesabaran engkau membesarkanku*

*Helai rambutmu boleh memutih, kulitmu boleh keriput, tatap matamu boleh lelah*

*Tapi cinta dan kasih sayangmu jangan sampai hilang dalam diriku ini*

*Begitu tinggi langit di angkasa ini tetapi lebih tinggi rasa cinta dan*

*Hormatku padamu*

*Ya Allah ijinakan aku untuk membahagiakan mereka....amin*

### **KAKAK DAN ADIKKU TERCINTA**

*Tengkyu banget untuk kakakku yang selalu setia mendengarkan semua keluhan*

*kesahku selama mengerjakan TA ini,*

*dan matur nuwun banget atas semua saran, nasehat, kritikan yang diberikan*

*Ayobo yang semangat kuliahnya, dah ditunggu papa n mama tuh..*

*Love you bRooo...sory ya adek duluan lulus...*

*Dek Indah yang manja...*

*belajar yang rajin ya...Jangan manja terus ke papa n mama*

*Love you so much*



## MOTO

*Aku akan melewati jalan ini hanya sekali saja  
Karena setiap perbuatan baik ataupun kebaikan yang dapat ku lakukan  
Biarkanlah aku melakukannya sekarang  
Jangan biarkan aku untuk menundanya  
Karena mungkin aku tidak akan melewati jalan ini lagi*

*Rahmat sering datang kepada kita  
dalam bentuk kesakitan, kehilangan, dan kekecewaan  
tetapi kalau kita sabar kita akan segera melihat bentuk aslinya*

*Hari yang mendatang tak akan  
memberikan sembarang makna  
jika kegagalan semalam tidak di jadikan teladan  
untuk hari besok*

*Sabar jika dipandang dalam permasalahan seseorang  
adalah ibarat kepala dari suatu tubuh  
Jika kepalanya hilang maka keseluruhan tubuh itu akan membusuk  
Sama halnya, jika kesabaran hilang  
maka seluruh permasalahan akan rusak  
Sabar memiliki dua sisi, sisi yang satu adalah sabar, sisi yang lain adalah bersyukur  
kepada Allah.*

*Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil tapi berusahalah menjadi  
manusia yang berguna.*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb

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

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

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

1. 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 Ir. H. Kasam, MT selaku pembimbing Tugas Akhir, yang telah bersedia meluangkan waktu dan membimbing, mendukung serta mencurahkan pikirannya untuk memberi masukan-masukan kepada penulis.
5. Bapak Eko Siswoyo, ST selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu dan membimbing, mendukung serta mencurahkan pikirannya untuk memberi masukan-masukan kepada penulis.
6. Bapak Lukman Hakim, ST., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
7. Dosen-dosen Teknik Lingkungan lain yang telah membagi banyak ilmu untuk saya.
8. Bapak Agus Adi Prananto, SP selaku staf Jurusan Teknik Lingkungan.
9. Mas Iwan Amd selaku laboran di laboratorium kualitas lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan, yang telah banyak memberi masukan dan membantu dalam analisa laboratorium.
10. Mba' Yanti selaku laboran BLK yang telah membantu dalam analisa laboratorium.
11. Papah, Mamah, Kakak dan Adikku atas segala doa, bantuan, dan dorongan semangat yang telah diberikan.
12. *All crew D-24* (Kak Anton, Kak Tharye, Bang Piyu, Tia, Bang Fitrah, Mas Agung) yang selalu setia mendengarkan celotehanku dan terima kasih atas semua bantuannya.

13. Saudara-saudaraku Cemara 7 (Maya, Dian, Reni, Uchi, Egi, Ria) Chayoo...  
*“Walaupun jarak memisahkan kita, persahabatan kita tetap satu”*
14. My partner TA (Andy Rais) *“thank’s ya atas kerja samanya...”*
15. Para pejuantan tangguh (Blewa, Rino, Welli, Ucup, Heru, Ajiz, Dodo, Rian, B’ Koko, B’ Anto, B’ Bobi, B’Lai, Mbah Modo, Mas Indras, K’ Dede, dll) terima kasih atas semua bantuan dan tenaga yang telah dicurahkan.
16. Major Tegi *“dibalik kegilaanmu yang g’ jelas ternyata tersimpan kata-kata yang indah...thank’s for all”*
17. Barack community (Gama, Rori, Ridho, Juntak, Sony, Aming, Gori, Suneo, Edo, B’ ismet, B’ Mukri, B’ Ucok, B’Anca, B’ Febri, dll) terima kasih atas bantuannya.  
*(jalan-jalan lagi yuk...)*
18. Dek Ara Bonje (calon arsitek) *“terima kasih atas translet Bahasa Inggrisnya ya...”*
19. Semua pihak yang telah memberi bantuan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

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

Sebagai penutup semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca yang berkepentingan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Jogjakarta, Mei 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	ii
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	vii
<b>DAFTAR ISI</b>	xi
<b>DAFTAR TABEL</b>	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xvii
<b>INTISARI</b>	xix
<b>ABSTRACT</b>	xx
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Tugas akhir	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Sistem Lahan Basah ( <i>Wetland Treatment</i> )	6
2.1.1 Mekanisme Pengolahan	9

2.1.2	Faktor – faktor yang Mempengaruhi Proses Pengolahan	10
2.1.3	Keunggulan Sistem <i>Constructed Wetlands</i> dari Sistem Pengolahan Konvensional Lainnya	12
2.2	Fitoremediasi	13
2.3	Tanaman Eceng Gondok ( <i>Eichornia Crassipes</i> )	16
2.3.1	Ciri – ciri Morfologis	17
2.3.2	Pertumbuhan Eceng Gondok	18
2.3.3	Ciri-ciri Fisiologis Eceng Gondok	19
2.3.4	Sifat-sifat Eceng Gondok	21
2.3.5	Mekanisme Penyerapan Logam Oleh Eceng Gondok	24
2.3.6	Kemampuan Penyerapan Logam Berat Oleh Tanaman Eceng Gondok Pada Limbah Dengan Organik Tinggi Dan Organik Rendah	25
2.3.7	Proses Penyerapan Zat-Zat Kimia Dalam Air oleh Eceng Gondok	26
2.4	Logam berat	31
2.5	Toksisitas Logam Berat Pada Tanaman	33
2.5.1	Urutan Toksisitas Logam Berat Pada Tanaman	34
2.6	Merkuri (Hg)	36
2.6.1	Sifat-sifat Merkuri	36
2.6.2	Kegunaan Merkuri	37
2.6.3	Pencemaran Merkuri di dalam Air dan Lingkungan	38
2.6.4	Pemecahan Masalah Polusi Merkuri	38

2.6.5	Dampak Pencemaran Merkuri (Hg) Bagi Kesehatan	40
2.7	Penelitian Tentang Eceng Gondok	40
2.8	Hipotesa	42

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Lokasi Penelitian	45
3.2	Waktu Penelitian	45
3.3	Persiapan Alat dan Bahan	45
3.4	Desain <i>Constructed Wetlands</i>	46
3.5	Parameter Penelitian	48
3.6	Metode Pelaksanaan Penelitian	49
3.7	Metode Analisa Laboratorium	51
3.8	Metode Analisa Data	52

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1.	Konsentrasi Awal Logam Merkuri (Hg) dalam Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan	54
4.2	Analisa Kondisi Air Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan	54
4.3	Analisa Parameter Merkuri (Hg)	58
4.3.1	Efisiensi Removal Konsentrasi Hg Dengan Tanaman Eceng Gondok	58

4.3.2	Mekanisme Penurunan (Removal) Logam dalam <i>Constructed Wetlands</i> .	62
4.3.3	Efisiensi Removal Konsentrasi Hg Tanpa Tanaman Eceng Gondok	64
4.4	Perbandingan Efisiensi Penurunan Konsentrasi Logam Hg Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok dan Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok	67
4.5	Analisa Tanaman Eceng Gondok ( <i>Eichornia Crassipes</i> )	68
4.6	Hubungan Antara Tingkat Penurunan Logam Hg Dengan Penyerapan Kandungan Logam Hg Pada Limbah Cair Laboratorium	72
4.7	Uji Statistik Parameter Merkuri (Hg)	
4.7.1	Uji Statistik Parameter Hg Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok	74
4.7.2	Uji Statistik Parameter Hg Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok	75

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	78

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kriteria desain untuk <i>Constructed Wetlands</i> tipe FWS	8
Tabel 2.2	Kriteria mutu air pada PP No. 82 Tahun 2001	39
Tabel 3.1	Persamaan reaktor awal	47
Tabel 3.2	Variasi konsentrasi limbah cair	49
Tabel 4.1	Hasil pengujian awal konsentrasi merkuri (Hg)	54
Tabel 4.2	Kondisi air limbah reaktor kontrol 100 %	55
Tabel 4.3	Kondisi air limbah reaktor kontrol 75 %	56
Tabel 4.4	Kondisi air limbah reaktor kontrol 50 %	56
Tabel 4.5	Kondisi air limbah reaktor kontrol 25 %	57
Tabel 4.6	Kondisi air limbah reaktor kontrol 0 %	57
Tabel 4.7	Pengujian konsentrasi Hg dengan tanaman <i>Eceng gondok</i>	58
Tabel 4.8	Efisiensi removal konsentrasi Hg dengan tanaman <i>Eceng gondok</i>	59
Tabel 4.9	Pengujian konsentrasi Hg tanpa tanaman <i>Eceng gondok</i>	63
Tabel 4.10	Efisiensi removal konsentrasi Hg tanpa tanaman <i>Eceng gondok</i>	64
Tabel 4.11	Hasil pertumbuhan <i>Eceng gondok</i>	70
Tabel 4.12	Hasil perubahan kondisi tanaman <i>Eceng gondok</i>	71
Tabel 4.13	Tingkat penurunan logam Hg	71
Tabel 4.14	Tingkat penyerapan logam Hg	72

Tabel 4.15	Pengaruh variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu pengambilan terhadap penurunan kadar Hg dengan tanaman	73
Tabel 4.16	Pengaruh variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu pengambilan terhadap penurunan kadar Hg tanpa tanaman	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Constructed Wetlands</i> tipe FWS	7
Gambar 2.2	<i>Constructed Wetlands</i> tipe SSF	8
Gambar 2.3	Reaktor sistem <i>Constructed Wetlands</i>	10
Gambar 2.4	Enzim yang memutus rantai makanan pada senyawa organik	14
Gambar 2.5	Proses-proses fitoremediasi pada tumbuhan	15
Gambar 2.6	Fitoekstraksi terhadap kontaminan inorganik	15
Gambar 2.7	Eceng gondok	31
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian	44
Gambar 3.2	Reaktor tampak atas	47
Gambar 3.3	Reaktor tampak samping	48
Gambar 4.1	Hubungan konsentrasi Hg (mg/L) limbah cair laboratorium kualitas lingkungan terhadap waktu dengan menggunakan tanaman	58
Gambar 4.2	Efisiensi penurunan konsentrasi Hg (%) limbah cair laboratorium dengan tanaman Eceng gondok	59
Gambar 4.3	Hubungan konsentrasi Hg (mg/L) limbah cair laboratorium kualitas lingkungan terhadap waktu tanpa tanaman Eceng gondok	63
Gambar 4.4	Efisiensi penurunan konsentrasi Hg (%) limbah cair laboratorium dengan tanaman Eceng gondok	64

Gambar 4.5 Hubungan Efisiensi Penurunan Konsentrasi Hg Dengan Tanaman dan Tanpa Tanaman 66

**TINGKAT PENURUNAN MERKURI (Hg) PADA LIMBAH CAIR  
LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UNIVERSITAS ISLAM  
INDONESIA DENGAN SISTEM CONSTRUCTED WETLANDS  
MENGUNAKAN TANAMAN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)**

*Kasam<sup>1</sup>, Eko Siswoyo<sup>2</sup>, Mirna Oktaviana<sup>3</sup>*

**INTISARI**

*Dalam kegiatan laboratorium, air yang telah digunakan (air limbah laboratorium kualitas lingkungan) tidak bisa langsung dibuang ke lingkungan karena dapat menyebabkan pencemaran. Air limbah tersebut harus diolah terlebih dahulu agar mempunyai kualitas yang sama dengan kualitas air lingkungan yang tidak bersifat toksik bagi organisme maupun bagi manusia yang memanfaatkannya. Secara umum sistem pengolahan limbah cair dikategorikan kedalam tiga sistem pengolahan yaitu secara fisik, kimia, dan biologi. Constructed Wetlands merupakan salah satu alternatif pengolahan air buangan sebelum dibuang ke badan air penerima yang memanfaatkan mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam areal tersebut sebagai media tumbuh bagi mikroorganisme dengan tanaman eceng gondok. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya efisiensi optimum penurunan konsentrasi Hg terhadap limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII oleh tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*), serta untuk mengetahui tingkat produktifitas tanaman eceng gondok pada pengolahan limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII.*

*Penelitian ini menggunakan reaktor dengan sistem batch yang terbuat dari kayu dan dilapisi plastik sebagai lapisan kedap air yang berjumlah 10 buah reaktor dengan ukuran reaktor 1 m x 0,5 m dan dilakukan di dalam rumah tanaman. Setiap reaktor diberi tanah sebagai media tanam eceng gondok dengan ketebalan 5 cm dan diberi air setinggi 10 cm dari permukaan tanah dimana air tersebut merupakan pencampuran antara air dengan limbah. Konsentrasi limbah yang di uji adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dengan variasi waktu penelitian hari ke 0, hari ke 3, hari ke 6, hari ke 9, dan hari ke 12. Pengujian Hg yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode AAS.*

*Dari hasil penelitian diperoleh bahwa tanaman eceng gondok dapat menurunkan Hg pada limbah cair laboratorium lingkungan UII dengan efisiensi penurunan optimal dengan menggunakan tanaman terjadi pada konsentrasi limbah 25% sebesar 100% dihari ke 9, sedangkan tanpa tanaman sebesar 75,72% di hari ke 9*

*Kata kunci: Constructed Wetlands, Eceng gondok, limbah laboratorium kualitas lingkungan UII  
Jogjakarta, Merkuri (Hg).*

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia  
<sup>1</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia  
<sup>1</sup> Mahasiswa, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia

**DECREASING LEVEL MERCURY (Hg) CONCENTRATION IN THE  
LIQUID WASTE OF UII LABORATORY OF ENVIRONMENT QUALITY BY  
CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM USING WATER HYACINTH PLANT  
(*Eichornia crassipes*)**

Kasam <sup>1</sup>, Eko Siswoyo <sup>2</sup>, Mirna Oktaviana <sup>3</sup>

**ABSTRACT**

*On the laboratory practices, the used water (the lab's waste water) must not be directly thrown away to surrounding environment because it causes pollution. In fact, the waste water must be treated first so that it has the same quality with the water in the natural surrounding environment that doesn't have toxic character for the organisms live within and human being. Generally, the treatment systems for the liquid waste can be classified into three methods: physical, chemical and biological method. Constructed wetland is one alternative of the waste water treatment system that use soil microorganisms and water hyacinth plant on soil are as a growing medium for the microorganisms. The aim of this research was to find out the quantities of the optimum Mercury (Hg) concentration decrease efficiency at the liquid waste of the Laboratory of Environment Quality environment, using the water hyacinth. As well to find out the productivity level of the water hyacinth while being put to the Lab's liquid waste*

*This research was using reactors with a batch system made by woods and covered by plastic as a water resistant layer for 10 reactors with the size of 1 m x 0,5 m for each reactor and took place inside of plant house. Each reactor was given 5 cm thick soil as a growing medium for the water hyacinth and water of 10 cm above the soil surface where the water was the combination between pure water and the waste. The concentration of the waste tested were 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, and 100 % with vary time of research on 0, 3<sup>rd</sup>, 6<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> day. The Mercury analysis used in this research was AAS Method.*

*From the result of the research, water hyacinth plant could decrease Mercury (Hg) concentration in waste water of the Laboratory of Environment Quality, Islamic University of Indonesia with optimum decreasing efficiency using water hyacinth plant at waste concentration 25% was 100% on 9<sup>th</sup> day, while without plant was 75,72% on 9<sup>th</sup> day.*

*Keywords: Constructed Wetlands, water hyacinth, Laboratory of Environment Quality of the Islamic University of Indonesia liquid waste, Mercury (Hg)*

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia  
<sup>1</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia  
<sup>1</sup> Mahasiswa, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam kegiatan laboratorium, air yang telah digunakan (air limbah laboratorium kualitas lingkungan) tidak bisa langsung dibuang ke lingkungan karena dapat menyebabkan pencemaran. Air limbah tersebut harus diolah terlebih dahulu agar mempunyai kualitas yang sama dengan kualitas air lingkungan yang tidak bersifat toksik bagi organisme maupun bagi manusia yang mememanfaatkannya. Secara umum sistem pengolahan limbah cair dikategorikan kedalam tiga sistem pengolahan yaitu secara fisik, kimia, dan biologi.

*Constructed Wetlands* 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 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.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang masalah di atas diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah sistem *Constructed Wetlands* dengan memanfaatkan tanaman eceng gondok dapat menurunkan konsentrasi Hg pada limbah cair laboratorim kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.
2. Pada konsentrasi limbah berapakah terjadi efisiensi penurunan optimum untuk menurunkan konsentrasi Hg dan yang terjadi di dalam *Constructed Wetlands* dengan tanaman eceng gondok.

## 1.3 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah dalam pelaksanaan tugas akhir ini yaitu :

1. Sistem yang digunakan untuk mengolah limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia yaitu dengan *Constructed Wetlands* yang menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*).
2. Pada penelitian ini sistem yang digunakan adalah FWS (*Free Water Surface*).
3. Limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah dari laboratorium kualitas lingkungan.
4. Tanaman yang digunakan yaitu tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dengan berat yang sama.
5. Penelitian ini untuk mengetahui efisiensi penurunan optimum guna menurunkan konsentrasi Hg pada limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia.
6. Penelitian ini akan dilakukan dalam skala laboratorium.
7. Waktu pengujian konsentrasi Hg dilakukan pada : 0 hari, 3 hari, 6 hari, 9 hari, dan 12 hari.
8. Konsentrasi limbah pada reaktor adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besarnya efisiensi optimum penurunan konsentrasi Hg terhadap limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas

Islam Indonesia oleh tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dengan menggunakan *Constructed Wetlands*.

2. Mengetahui tingkat produktifitas tanaman eceng gondok pada pengolahan limbah cair laboratorium kualitas lingkungan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dalam tugas akhir ini :

1. Meminimalisasi konsentrasi Hg yang terkandung dalam limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia dengan memanfaatkan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*).
2. Mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi Hg yang optimal oleh tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap limbah cair laboratorium.
3. Diperolehnya sistem pengolahan air limbah yang sederhana, mudah, murah serta mempunyai efisiensi yang tinggi.
4. Meminimalisasi pencemaran di badan air, akibat limbah cair laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia.
5. Dapat mengetahui apakah tanaman eceng gondok mampu menurunkan konsentrasi Hg dalam limbah cair laboratorium secara maksimal.

### **1.6 Sistematika Tugas Akhir**

Pada tugas akhir ini dibagi dalam lima bab yang dimaksudkan untuk memberikan suatu kerangka tentang isi dari tugas akhir ini, sehingga dapat

dihubungkan antara bab yang satu dengan yang lainnya. Sistematika penulisan Tugas Akhir secara garis besar adalah sebagai berikut :

#### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini merupakan pengantar permasalahan yang dibahas, seperti latar belakang masalah, identifikasi masalah, perumusan masalah, identifikasi masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian.

#### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini merupakan penjelasan mengenai teori – teori yang dipergunakan sebagai landasan untuk pemecahan permasalahan.

#### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bab ini berisikan mengenai metode – metode yang digunakan oleh peneliti dalam melakukan penelitian, mulai dari pengumpulan data sekunder dan primer, sampai pada tahapan pengerjaan.

#### **BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan data – data hasil sampling, hasil pengolahan data dengan berbagai metode perhitungan yang diperoleh dari analisa laboratorium.

#### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan bagian terakhir yang berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang dianjurkan untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Lahan Basah (*Wetland Treatment*)

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

Pengolahan limbah dengan *constructed wetlands* memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam area tersebut. Sistem ini terjadi aktivitas pengolahan seperti sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan pengolahan biologis karena aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas tanaman untuk proses *photosintesis*, *photooksidasi* dan *plant uptake* (Metcalf & Eddy, 1993).

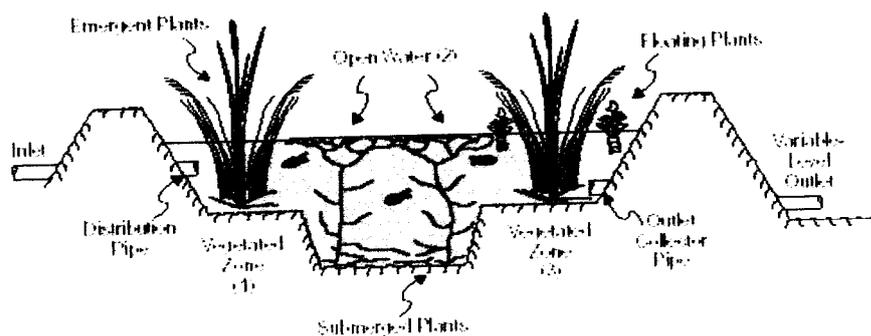
*Constructed wetlands* dapat diartikan sebagai suatu jenis pengolahan yang strukturnya direncanakan. Variabel-variabel yang direncanakan meliputi debit yang mengalir, beban organiknya tertentu, kedalaman media tanah maupun air serta adanya pemeliharaan tanaman selama proses pengolahan.

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

a. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

Sistem ini berbentuk kolam atau saluran yang dilapisi dengan lapisan *impermeable* alami atau lapisan tanah, yang mana kandungan air pada sistem ini dangkal. Lapisan ini berfungsi untuk mencegah terjadinya perembesan air limbah atau keluarnya air limbah dari kolam atau saluran tersebut. Komposisi utama pada sistem *Free Water Surface* (FWS) adalah tanah sebagai substrat untuk tempat hidupnya tanaman air. Pada sistem ini biasanya tanaman yang digunakan berupa *cattail*, *reed*, *seadage*, dan *rush*. Kondisi yang harus diperhatikan dalam sistem ini adalah :

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



Gambar 2.1 *Constructed Wetlands* tipe FWS

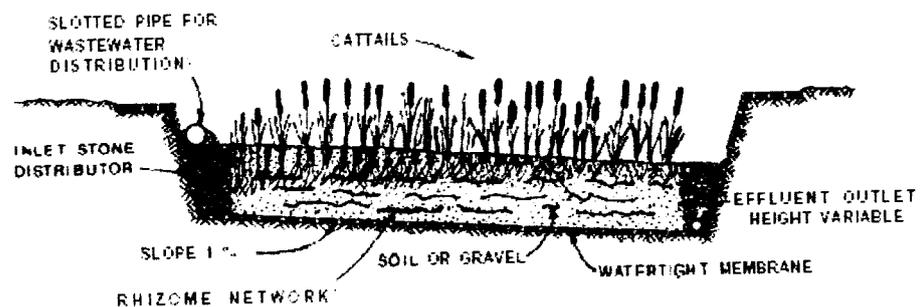
**Table 2.1 Kriteria desain untuk *constructed wetlands* tipe FWS**

Desain	Satuan	Tipe FWS
Waktu tinggal hidrolis	Hari	4 – 15
Kedalaman air	M	0,0914 – 0,609
Laju beban BOD <sub>5</sub>	Kg / ha / hr	< 112
Laju beban hidrolis	M <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> .hr	0.01 – 0.05
Luas spesifik	Ha / m <sup>3</sup> .d	0,002 – 0.014
Lebar : Panjang	-	1 : 2 - 10

(Dal Cin, 2000)

b. Sistem *Sub Surface Flows* (SSF)

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



**Gambar 2.2 *Constructed Wetlands* tipe SSF**

### 2.1.1 Mekanisme Pengolahan

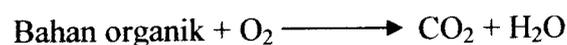
Pengolahan limbah dengan *constructed wetlands* memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman dalam area tersebut. Adapun air limbah yang akan diolah biasanya mengandung *solid* dan bahan organik dalam jumlah tertentu dengan mekanisme pengolahan sebagaimana berikut :

#### 1. *Solid* (padatan)

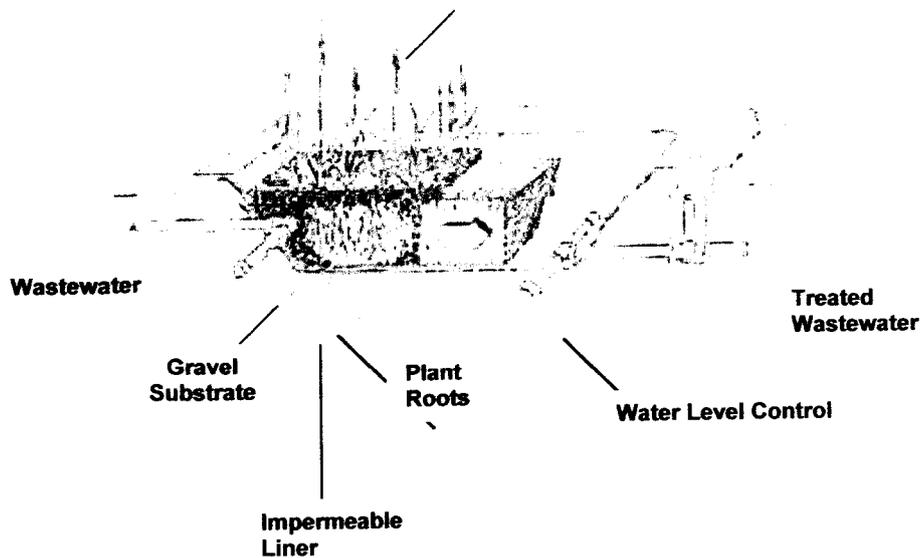
Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada sistem *constructed wetlands* ini air limbah mengalir melewati partikel-partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup, kedalaman media dan kecepatan tertentu, sehingga akan memberikan kesempatan partikel-partikel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

#### 2. Bahan Organik

BOD terlarut dapat dihilangkan karena aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *constructed wetlands*. Proses pengolahan biologis dalam *constructed wetlands* 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 Wetlands* untuk mengeluarkan oksigen (Gopal, 1999). Mekanisme pengolahan yang terjadi adalah :



**Wetland Plants**



**Gambar 2.3** Reaktor sistem *Constructed Wetlands*

### **2.1.2 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Proses Pengolahan**

Dalam proses pengolahan dengan sistem *constructed wetlands* ada beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu :

#### **1. Tanaman**

Tanaman air merupakan komponen terpenting dari *wetlands* dan memberikan dukungan berupa transformasi nutrisi melalui proses fisik, kimia dan *microbial*. Tanaman mengurangi kecepatan aliran, meningkatkan waktu detensi dan memudahkan pengendapan dari partikel *suspended*. Mulai dari jenis *duckweed* sampai tanaman berbulu (*reeds, cattail*) dan alang-alang dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pada sistem *constructed wetlands*. Jika menggunakan tanaman *cattail* atau *reeds* akan lebih praktis, karena tanaman ini dapat dibersihkan hanya satu kali dalam setahun.

## 2. Media Reaktor

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

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

Pengolahan air limbah dipengaruhi oleh waktu detensi, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak lebih lama antara mikroorganisme, oksigen yang 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 dalam sistem ini adalah mikroorganisme *heterotropik aerobic*, sebab pengolahan dengan mikroorganisme ini dapat berjalan lebih cepat dibanding secara *anaerobic* (Vymazal,1999 dalam Siswoyo, 2002). Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanam tanaman *cattail*. Dengan jarak yang diatur sedemikian rupa diharapkan tanaman *cattail* akan mampu memberikan transfer oksigen yang cukup bagi kehidupan mikroorganisme yang hidup dalam tanah.

#### 4. Temperatur

Temperatur dari air limbah berpengaruh pada kualitas *effluent* air limbah karena mempengaruhi waktu detensi air limbah dalam reaktor dan aktivitas mikroorganisme dalam pengolahan air limbah. Temperatur yang cocok untuk *Constructed Wetlands* dengan menggunakan tanaman *cattail* adalah 20<sup>0</sup>C - 30<sup>0</sup>C (Wood,1993).

#### 2.1.3 Keunggulan Sistem *Constructed Wetlands* dari Sistem Pengolahan Konvensional Lainnya

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

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

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

Kendala-kendala di atas dapat diatasi dengan sistem *constructed wetlands* karena sistem ini mempunyai beberapa keunggulan yaitu :

1. Sistem pengolahan yang di dalam tanah, genangan air akan dapat diminimalkan sehingga timbulnya bau dapat dihindari.
2. Tingkat *removal* atau efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus dalam prosesnya.
4. Sistem pengolahannya mudah dan murah.

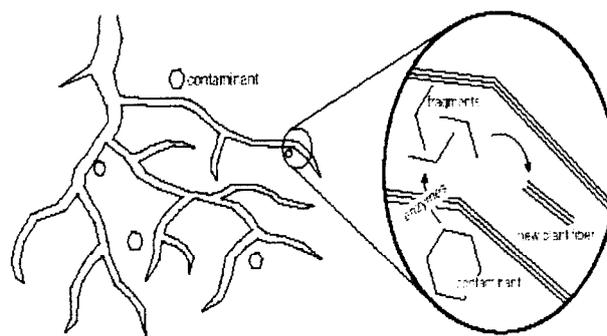
Keuntungan pengolahan dengan sistem *constructed wetlands* adalah biaya pengolahan dan perawatan lebih murah, mampu mengolah air limbah domestik dan industri dimana kualitas effluent yang dihasilkan terbukti baik dan sistem manajemen dan kontrol yang mudah (Grambel, 1994). Sistem *constructed wetlands*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

## 2.2 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari kata inggris yaitu *phytoremediation*. *Phytoremediation* ini terbagi menjadi dua istilah yaitu *phyto* dan *remediation*. *Phyto* berasal dari kata Yunani yaitu *phyton* adalah tumbuhan, sedangkan *remediation* berasal dari kata Latin yaitu *remedium* yang artinya menyembuhkan. Jadi, fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik ataupun anorganik. Ada beberapa metode fitoremediasi, yaitu :

a) 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.



**Gambar 2.4 Enzim yang memutus rantai karbon pada senyawa organik**

b) Rhizofiltrasi

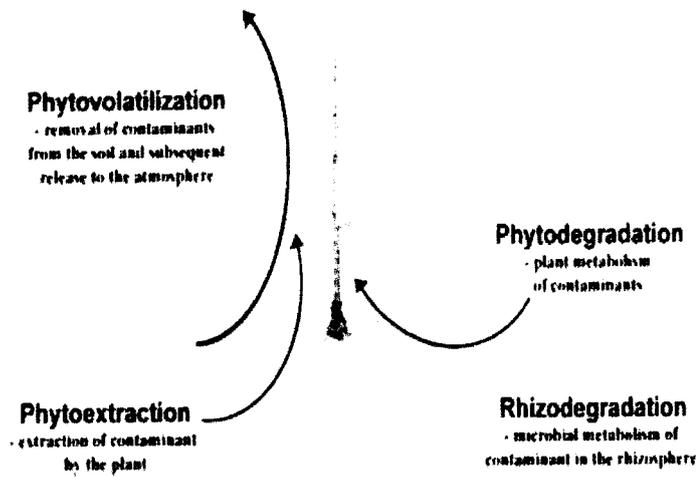
Merupakan suatu proses dimana akar tanaman menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi senyawa kimia pada air limbah.

c) Fitostabilisasi

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

d) Fitovolatilisasi

Suatu penyerapan dari transpirasi suatu kontaminan oleh tanaman yang dilakukan dengan cara melepaskan kontaminan tersebut. Dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepaskan lewat daun (Priyanto & Prayitno, 2004).

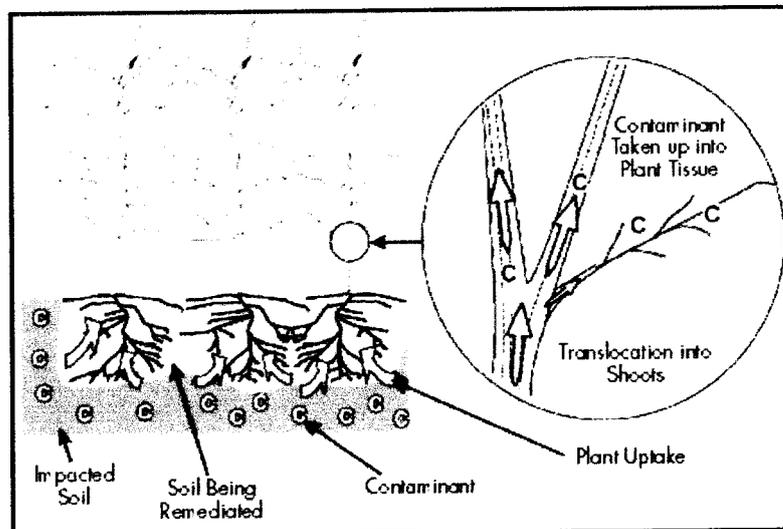


*Drawing of tree & root system by Lazar Drazeta*

**Gambar 2.5** Proses – proses fitoremediasi pada tumbuhan

e) Fitoekstraksi

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



**Gambar 2.6** Fitoekstraksi terhadap kontaminan inorganik

## 2.3 Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

### A. 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*

### B. Deskripsi tanaman

**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, kelopakanya 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)

### **2.3.1 Ciri – ciri Morfologis**

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

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.

### **2.3.2 Pertumbuhan Eceng Gondok**

Eceng gondok yang berasal dari Amerika ini memiliki pertumbuhan yang sangat cepat. Hal ini dimungkinkan karena sifatnya yang cepat berkembang dan toleran terhadap lingkungan. Di Asia Tenggara umumnya di Indonesia, eceng

gondok merupakan gulma air yang jumlahnya paling besar diantara 10 gulma air yang diteliti ( Soerjani, 1975 ).

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

#### 1. *Cahaya matahari, pH dan suhu*

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

#### 2. *Ketersediaan nutrien*

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

### **2.3.3 Ciri-ciri Fisiologis Eceng Gondok**

Eceng gondok mempunyai data adaptasi yang besar terhadap berbagai macam hal disekelilingnya dan dapat berkembang baik dengan cepat. Eceng

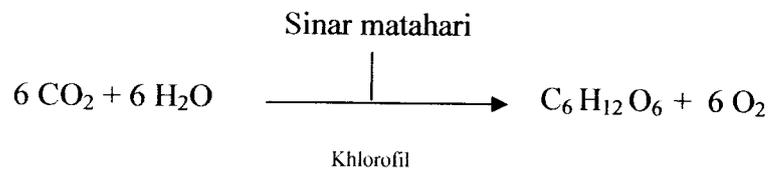
gondok dapat hidup ditanah yang selalu tertutup air dan banyak mengandung makanan. Di air bersih eceng gondok akan segera mati, tetapi di air payau dan dimuara-muara sungai Eceng gondok masih dapat hidup agak lama. Eceng gondok dapat hidup ditanah asam dan tanah yang basah ( Anonim, 1996 ).

### ***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 kuantitas 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 CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dimana Hg akan ikut bersama H<sub>2</sub>O dalam proses ini, 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<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> ) diubah menjadi zat-zat yang lebih sederhana dengan disertai pembebasan energi, dengan reaksi sebagai berikut ( Tjitrosomo, 1983 ):



Dalam proses respirasi ini glukosa dan O<sub>2</sub> diubah menjadi CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O dan energi yang akan dilepas ke udara beserta HgO yang ikut H<sub>2</sub>O.

### **2.3.4 Sifat-sifat 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, telah dicoba pemanfaatannya sebagai pakan ternak, media penanam jamur merang, bahan dasar handicraft, bahan pembuat kertas dan sebagainya. Disamping itu juga memiliki potensi untuk menanggulangi pencemaran air yang disebabkan oleh logam berat. ( Anonim, 1990 ).

Beberapa kajian ilmiah bahwa Eceng gondok dapat menetralsir kandungan logam berat yang ada di dalam air, tempat bernaungnya ikan, tempat

bertelurnya ikan dan lain-lain. Dari segi teknologi bahwa eceng gondok memiliki kadar serat yang tinggi. Serat tersebut dapat dimanfaatkan secara komersil baik secara tradisional sampai industri yang mutakhir.

Eceng gondok merupakan herba yang mengapung, kadang-kadang berarak dalam tanah, menghasilkan tunas merayap yang keluar dari ketiak daun yang dapat tumbuh lagi menjadi tumbuhan baru dengan tinggi 0,4-0,8 m, tumbuhan ini memiliki bentuk fisik berupa daun-daun yang tersusun dalam bentuk radikal (roset). Setiap tangkai pada helaian daun yang dewasa memiliki ukuran pendek dan berkerut. Helaian daun berbentuk bulat telur lebar dengan tulang daun yang melengkung rapat panjang 7-25 cm, gundul dan warna daun hijau licin mengkilat (Moenandir, 1990).

Muramoto dan Oki dalam Sudibyo (1989) menjelaskan, bahwa eceng gondok dapat digunakan untuk menghilangkan polutan, karena fungsinya sebagai sistem filtrasi biologis, menghilangkan nutrisi mineral, untuk menghilangkan logam berat seperti cuprum, aurum, cobalt, strontium, merkuri, kadmium, dan nikel.

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

1. mempunyai sifat biologis penyaring air yang tercemar oleh berbagai bahan kimia buangan industri.

2. sebagai bahan penutup tanah (*mulch*) dan kompos dalam kegiatan pertanian dan perkebunan.
3. sebagai sumber gas yang antara lain berupa gas ammonium sulfat, gas hydrogen, 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.

### **2.3.5 Mekanisme Penyerapan Logam Oleh Eceng Gondok**

Penyerapan zat-zat yang terdapat pada air limbah dilakukan melalui ujung-ujung akar eceng gondok dengan jaringan meristem karena adanya gaya tarik menarik oleh molekul-molekul air yang ada pada tumbuhan. Zat-zat yang telah diserap akan masuk kedalam batang melalui pembuluh pengangkut (xilem), kemudian diteruskan ke daun ( Anonim, 1996 ).

Daun Eceng gondok mempunyai kloroplast yang banyak didalam sel epidermis dan berguna dalam proses fotosintesa. Permukaan sebelah atas daun banyak dijumpai stomata yang berguna untuk penguapan dan transpirasi. Zat-zat yang diserap sebagian didalam tubuh sebagai cadangan makanan, sebagian lagi zat-zat yang diserap dibuang ke udara setelah melalui proses fotosintesis, respirasi dan transpirasi oleh daun ( Anonim, 1996 ).

Logam berat yang diserap oleh akar dikumpulkan dalam gelembung oksida, dari gelembung-gelembung oksida tersebut akhirnya akan bersatu dengan

yang lainnya untuk selanjutnya membungkus timbunan logam, timbunan logam yang terbungkus tersebut kemudian diselimuti oleh suatu membran yang berpindah keluar dari dinding sel, membran tersebut kemudian bergabung dengan dinding sel bagian luar. Hasil dari proses ini adalah suatu kumpulan timbunan logam pada dinding sel diluar plasma lema. Timbunan serupa juga terjadi dalam jaringan batang dan daun yang diangkat dan ditimbun dengan cara yang sama. Pada tanaman eceng gondok logam berat disimpan dalam sel hypodermis, jaringan stelekolenkim, parenkim, dan sel epidermis ( Anonim, 1996 ).

Lapisan epidermis pada daun eceng gondok selain berfungsi sebagai alat pelindung jaringan, juga berfungsi untuk mengabsorpsi gas-gas secara langsung, untuk mengisi ruang-ruang udara yang terdapat pada akar, batang, dan daun sebagai alat pengapung dalam air ( Anonim, 1996 ).

### **2.3.6 Kemampuan Penyerapan Logam Berat Oleh Tanaman Eceng Gondok Pada Limbah Dengan Organik Tinggi Dan Organik Rendah.**

Bahan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau 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.

Pada penyerapan logam berat oleh tanaman pada limbah organik tinggi yaitu terjadinya proses penguraian secara besar-besaran oleh mikroorganisme pada air limbah tersebut sehingga tanaman akan lebih dahulu menyerap unsur-unsur yang diuraikan oleh mikroorganisme sebelum menyerap logam berat yang

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

### **2.3.7 Proses Penyerapan Zat-Zat Kimia Dalam Air oleh Eceng Gondok**

Tingkat penguapan air dari daun makrofita eceng gondok yang berada diatas permukaan air dapat melakukan aktivitas transpirasi yang melebihi laju penguapan dari perairan terbuka dalam luas yang sama. Peristiwa ini dapat dinyatakan sebagai evapotranspirasi/evaporasi. Nilai evapotranspirasi/evaporasi tanaman eceng gondok sebesar 2,5 – 7,8. hal ini berarti bahwa proses transpirasi aktif dari tumbuhan eceng gondok menyebabkan kehilangan air sekurang-kurangnya dua kali jumlah air yang hilang melalui penguapan (evaporasi) saja. Besarnya air dalam evaporasi menunjukkan tingkat penyerapan air beserta zat-zat terlarut didalamnya cukup besar, sesuai dengan sifatnya yang mirip spons,

sehingga Eceng gondok efektif dalam menyerap unsur-unsur pencemar dalam air (Sastroutomo, 1991).

Menurut Geider (1984), proses penyerapan unsur-unsur kimia oleh eceng gondok dilakukan melalui sel secara osmosis dan difusi. Kation dari unsur-unsur kimia tersebut terdapat dalam molekul air dan dikelilingi oleh molekul-molekul air lainnya. Jadi jumlah ion yang berdifusi ke bulu akar tergantung pada jumlah molekul air yang berdifusi ke membran sel. Semakin banyak molekul air yang terserap eceng gondok, berarti makin besar unsur yang masuk ke tanaman tersebut. Seluruh substansi yang terlarut pada air dapat terserap oleh akar-akar Eceng gondok, seperti layaknya spons yang menyerap suatu cairan beserta zat yang terlarut didalamnya tanpa terseleksi.

Unsur-unsur yang tersedia untuk diambil oleh eceng gondok berada dalam bentuk kation dan anion, yang dilakukan oleh ujung-ujung akarnya. Penyerapan melalui ujung akar dan lapisan meristem terhadap air serta garam-garam mineral berlangsung dalam jumlah yang kecil. Penyerapan terbesar terjadi pada bulu-bulu akar yang berjumlah sangat banyak dan setiap tumbuhan biasanya terdapat 200 – 300 bulu akar per mm<sup>2</sup>, dengan panjang rata-rata 0,1 – 10 mm. Dari sini jelas bahwa permukaan yang luas dan berkesempatan kontak langsung dengan air memudahkan proses penyerapan unsur-unsur dalam jumlah yang besar (Dwidjoseputro, 1992).

Pada lapisan epidermis tidak lagi ditumbuhi bulu-bulu akar tetapi merupakan dinding sel kulit luar yang tebal dan berlapis zat kayu atau zat gabus, sehingga tidak mungkin terjadi proses penyerapan. Proses penyerapan air

dan zat-zat terlarutnya terjadi melalui bulu-bulu akar, sel kulit (korteks), sel epidermis, periskel dan pembuluh angkut. Jalannya penyerapan digerakan oleh energi kinetis yang berasal dari gerakan molekul-molekul yang berada pada perairan yang berkonsentrasi lebih pekat atau hipotermis (Dwidjoseputro, 1992).

Pertukaran ion terjadi oleh adanya peresapan bulu-bulu akar terhadap perairan sehingga ion-ion yang terlarut terbawa masuk kedalam sel-sel akar dan ion-ion dalam tanaman akan terbawa keluar karena adanya perbedaan tekanan. Akar yang masih muda berpotensi tinggi menyerap ion-ion dalam jumlah besar. Proses penyerapan ini juga dipengaruhi oleh respirasi yang menghasilkan energi dan kemungkinan akan mempengaruhi jumlah ion yang terbawa masuk (Dwidjoseputro,1992).

Dwidjeseputro (1992), menyebutkan bila penyerapan tersebut dipengaruhi pula oleh transpirasi tanaman. Transpirasi terbesar terjadi pada daun, karena daun berkontak langsung dengan penyinaran matahari. Hal ini mengakibatkan kehilangan air lebih besar terjadi pada daun dibandingkan dengan bagian-bagian tanaman lainnya. Kegiatan transpirasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran daun, ketebalan daun, bulu permukaan daun, jumlah stomata, suhu, radiasi, kelembaban udara, angin, dan kondisi perairan.

Bedasarkan komponen-komponen yang diserap oleh eceng gondok dari air limbah maka penyerapan dibagi dalam empat bagian yaitu :

*a. Penyerapan Nutrien*

Beberapa faktor yang secara potensial berpengaruh terhadap penyerapan nutrien adalah konsentrasi nutrien dalam jaringan serta tersedianya nutrien.

Demikian juga tentang unsur tanaman, tempat tumbuh, musim, dan posisi tumbuhnya (Coolley *et al*, 1980, Cit. Neis, 1989).

Penelitian Champbell *et al* (19820 dan Gopal (1987) , pada perairan daerah pertanian di Florida menunjukkan pertumbuhan eceng gondok mempunyai potensi penyerapan 730 kg/ha/hari Nitrogen dan 158 kg/ha/hari Phospat. Sedangkan penelitian lain menyebutkan bahwa penyerapan nitrogen sebesar 15 % dan Phospat sebesar 55 %.

#### *b. Penyerapan Logam Berat*

Analisis jaringan tanaman dari sumber yang berada menunjukkan bahwa Eceng gondok mengakumulasi beberapa macam lgam berat dari lingkungan perairan tercemar, seperti Fe, Co, Ag, Mg, Zn, Al, Cd, Pb, Ni, Sr, Cr, Cu, Hg dan lain-lain.

Konsentrasi yang luar biasa tinggi dari kadar logam berat dalam eceng gondok menandakan bahwa tanaman tersebut mampu dipakai untuk penyerapan logam berat dari bahan-bahan yang berada pada larutan limbah.

Menurut Widiyanto (1977), kecepatan dan banyaknya penyerapan unsur dari dalam air oleh eceng gondok dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis zat tercemar, insur terlarut dan ukuran tanaman.

#### *c. Penyerapan senyawa organik*

Eceng gondok dapat menyerap sejumlah senyawa organik termasuk pestisida dari limbah. Pada penelitian Woverton dan Mc Kwon (1976), menyatakan bahwa eceng gondok mampu memindahkan sampai 34,6 mg phenol per gram berat kering. Kejadian yang hampir sama pada penelitian di India,

ternyata juga mampu memindahkan 87,4 % phenol dari air limbah selama 3 – 7 hari. Hal tersebut mengingatkan bahwa mungkin sel-sel khusus untuk phenol terdapat pada jaringan daun dan beberapa asam phenol ditemukan dalam daun.

Eceng gondok juga dapat menyerap sejumlah pewarna organik walaupun tanaman tersebut memperlihatkan penyerapan secara selektif. Dalam penelitian tersebut terlihat Eceng gondok mampu menyerap warna sampai 96 % dari limbah tekstil yang mengandung pewarna yang berbeda-beda (Orozco, 1979 Cit. Gopal, 1987).

#### *d. Penyerapan Organisme Patogen*

Dalam sejumlah penelitian menggunakan kolam pengolahan limbah sekunder, penurunan sebagian besar terjadi pada akumulasi bakteri disekeliling serabut akar. Dalam penelitian tersebut akan mengamati distribusi *Vibrio Cholera* biotipe di Bangladesh. Dari pengamatan tentang hubungan antara Eceng gondok dan bakteri dihasilkan 32 % sampel dari lapangan ternyata air dan Eceng gondok terkontaminasi. Dalam penelitian ekperimental ditemukan konsentrasi yang signifikan dari perkembangan bakteri disekeliling akar terjadi selama empat hari. Kepadatan bakteri pada daun lebih rendah, dan populasi bakteri meningkat 300 kali dalam air disekitarnya pada hari ke lima. Kemudian diamati pula bahwa pada saat tanaman dipindahkan dan ditempatkan dilingkungan air yang bersih, jumlah bakteri yang hidup menurun. Tetapi jumlah populasinya masih jauh lebih besar dibandingkan dengan yang ada pada eceng gondok. Hal ini menunjukkan adanya aktivitas penyerapan dari eceng gondok terhadap *Vibrio Cholera*. Oleh karena itu

tanaman tersebut potensial untuk mengurangi jumlah bakteri dalam air yang terkontaminasi (Gopal, 1987).



**Gambar 2.7 Eceng gondok**

#### **2.4 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, Cd, 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.

## **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 (Elizabeth, MI, 1992)

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 membranplasma sel akar sehingga akar menjadi lemah dan berkurangnya kemampuan seleksinya.
3. menghambat fotosintesis dan respirasi
4. menurunkan aktivitas enzim metabolic.

Ambang batas tanaman terhadap logam berat berbeda-beda untuk tiap tanaman. Bila ambang batas melampaui maka menyebabkan meningkatnya aktivitas enzim dan protein dalam pembentukan khelat bersifat toksik konsentrasi logam yang melampaui batas maksimum dapat 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, 1994)

Logam dapat menyebabkan keracunan adalah jenis logam berat saja. Logam ini termasuk logam yang esensial seperti Cu, Zn, dan Se dan yang non esensial 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 esensial saja, walaupun tidak menutup kemungkinan adanya keracunan logam non esensial yang melebihi dosis (Darmono, 1994 dalam TA Najichah )

### **2.5.1 Urutan Toksisitas Logam Berat Pada Tanaman**

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

Toksisitas merkuri (Hg) lebih tinggi dari pada kadmium (Cd), timbal (Pb), dan tembaga (Cu), kromium (Cr), mangan (Mn), barium (Ba), Zinc (Zn), dan besi (Fe).

Merkuri adalah unsur renik pada kerak bumi, merupakan satu-satunya logam yang berada dalam bentuk cairan pada suhu normal. Merkuri terserap dalam bahan-bahan partikulat dan mengalami presipitasi.

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

nikel (Ni), dan kobalt (Co) (Sutamihardja dkk, 1982). Menurut Darmono (1995) daftar urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkonsumsi ikan adalah sebagai berikut  $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$ . Sedangkan, menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, sedangkan bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

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

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

## **2.6 Merkuri ( Hg )**

### **2.6.1 Sifat-sifat Merkuri**

Merkuri merupakan elemen alami, oleh karena itu sering mencemari lingkungan. Kebanyakan merkuri yang ditemukan di alam terdapat dalam bentuk gabungan dengan elemen lainnya dan jarang ditemukan dalam elemen terpisah. Komponen merkuri banyak tersebar di karang-karang, tanah, udara, air dan organisme hidup melalui proses-proses isik, kimia, dan biologi yang kompleks.

Merkuri dan komponen-komponen merkuri banyak digunakan oleh manusia untuk berbagai keperluan. Sifat-sifat kimia dan fisik merkuri membuat logam tersebut banyak digunakan untuk keperluan ilmiah dan industri. Beberapa sifat tersebut adalah sebagai berikut :

1. Merkuri merupakan satu-satunya logam yang terbentuk cair pada suhu kamar ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dan mempunyai titik beku terendah dari semua logam, yaitu  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
2. Kisaran suhu di mana merkuri terdapat dalam bentuk cair sangat lebar, yaitu  $396\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan pada kisaran suhu ini merkuri mengembang secara merata.
3. Merkuri mempunyai volatilitas yang tertinggi dari semua logam.
4. Ketahanan listrik merkuri sangat rendah sehingga merupakan konduktor yang terbaik dari semua logam.
5. Banyak logam yang dapat larut di dalam merkuri membentuk komponen yang disebut amalgam ( alloy ).
6. Merkuri dan komponen-komponennya bersifat racun terhadap semua makhluk hidup.

Hampir semua merkuri diproduksi dengan cara pembakaran merkuri sulfida (HgS) di udara, dengan reaksi sebagai berikut :



Merkuri dilepaskan sebagai uap, yang kemudian mengalami kondensasi, sedangkan gas-gas lainnya mungkin terlepas di atmosfer atau dikumpulkan.

### 2.6.2 Kegunaan Merkuri

Merkuri digunakan dalam berbagai bentuk dan untuk berbagai keperluan, misalnya industri klor-alkali, alat-alat listrik, cat, instrumen, sebagai katalis, kedokteran gigi, pertanian dan lain sebagainya. Penggunaan merkuri yang terbesar adalah dalam *industri klor-alkali*, di mana diproduksi klorin dan soda kaustik dengan cara elektrolisis larutan garam NaCl. Kedua bahan tersebut sangat banyak kegunaannya, oleh karena itu diproduksi dalam jumlah tinggi setiap tahun. Fungsi merkuri dalam proses ini adalah sebagai katode dari sel elektrolisis. merkuri dalam bentuk film bergerak membentuk amalgam dengan natrium dengan natrium yang dilepaskan dari larutan garam pada katodeselama elektrolisis. Amalgam kemudian dipisahkan dari sel elektrolisis dan bereaksi dengan air membentuk larutan NaOH, dan merkuri yang dilepaskan dapat digunakan kembali untuk produksi berikutnya. Kegunaan merkuri dalam proses ini adalah didasarkan pada sifatnya yang berbentuk cair , konduktivitas listriknya, dan kemampuannya untuk membentuk amalgam dengan logam natrium.

### **2.6.3 Pencemaran Merkuri di dalam Air dan Lingkungan**

Penggunaan merkuri di dalam industri-industri sering menyebabkan pencemaran lingkungan, baik melalui air buangan maupun melalui sistem ventilasi udara. Merkuri yang terbuang ke sungai, pantai atau badan air di sekitar industri-industri tersebut kemudian dapat terkontaminasi ikan-ikan dan makhluk air lainnya termasuk ganggang dan tanaman air. Selanjutnya ikan-ikan kecil dan makhluk air lainnya akan di makan oleh ikan-ikan atau hewan air lainnya yang lebih besar atau masuk ke dalam tubuh melalui insang. Kerang juga dapat mengumpulkan merkuri di dalam rumahnya. Ikan dan hewan tersebut kemudian di konsumsi oleh manusia sehingga manusia dapat mengumpulkan merkuri di dalam tubuhnya. Penggunaan merkuri di bidang pertanian sebagai pelapis benih dapat mencemari tanah-tanah pertanian yang berakibat pencemaran terhadap hasil-hasil pertanian terutama sayur-sayuran. FDA menetapkan batasan kandungan merkuri maksimum adalah 0,005 ppm untuk air dan 0,5 untuk makanan, sedangkan WHO menetapkan batasan maksimum yang lebih rendah yaitu 0,0001 ppm untuk air.

### **2.6.4 Pemecahan Masalah Polusi Merkuri**

Sumber pencemaran merkuri di lingkungan mudah di deteksi dari industri-industri yang menggunakan merkuri di dalam prosesnya. Masalah yang dihadapi adalah bagaimana mencegah terjadinya pencemaran merkuri tersebut. Kesulitan dalam mencegah terjadinya polusi merkuri disebabkan merkuri mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Merkuri bersifat volatil sehingga dapat mencemari udara

2. Merkuri berbentuk cair sehingga mudah menyebar di permukaan air dan sulit untuk dikumpulkan.
3. Merkuri mengalami translokasi didalam tanaman dan hewan.
4. Merkuri atau komponen merkuri dapat diubah oleh mikroorganisme yang terdapat didalam laut, sungai atau danau menjadi komponen metil merkuri yang sangat beracun, dimana dengan adanya rantai makanan memungkinkan terkumpul di dalam tubuh hewan dan manusia.

**Tabel 2.2 Kriteria mutu air pada PP No 82 Tahun 2001**

Parameter	Satuan	Golongan			
		I	II	III	IV
Temperatur	o C	-	-	-	-
Residu terlarut	mg/ L	1000	1000	1000	2000
Residu tersuspensi	mg/ L	50	50	400	400
pH		6-9	6-9	6-9	5-9
BOD	mg/ L	2	3	6	12
COD	mg/ L	10	25	50	100
DO	mg/ L	6	4	3	0
Total fosfat sbg P	mg/ L	0.2	0.2	1	5
NO <sub>3</sub> , sbg N	mg/ L	10	10	20	20
Arsen	mg/ L	0.05	1	1	1
Kadmium	mg/ L	0.01	0.01	0.01	0.01
Khrom	mg/ L	0.05	0.05	0.05	1
Besi	mg/ L	0.3	-	-	-
Air Raksa (Hg)	mg/ L	0.001	0.002	0.002	0.005

### **2.6.5 Dampak Pencemaran Merkuri (Hg) Bagi Kesehatan**

Merkuri anorganik mempunyai tendensi untuk terakumulasi di dalam jaringan ginjal dan hati. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan tersebut, akan tetapi pembuangan keluar tubuh juga lebih cepat melalui sistem urine (Kristanto 2002).

Metil merkuri pada umumnya terakumulasi pada sistem jaringan saraf pusat. Akumulasi yang paling tinggi ditemukan pada bagian *cortex* dan *cerebellum*, yaitu merupakan bagian otak. Seperti yang terjadi pada kasus minamata, senyawa alkali merkuri masuk bersama makanan melalui plasenta karena dibawa oleh peredaran darah ke janin sehingga pada saat lahir bayi menjadi cacat.

### **2.7 Penelitian Tentang Eceng Gondok**

Penelitian untuk mengetahui kemungkinan pemanfaatan eceng gondok sudah banyak diketahui orang baik untuk pengolahan air maupun pemanfaatan lainnya.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan antara lain dilakukan oleh Wolveston dan MC. Donalds, (1975) yang menyatakan hasil penelitiannya, eceng gondok mampu menyerap 0,176 mg Pb/gram dan 0,150 mg Pb/gram berat kering tumbuhan pada aquades dan air sungai selama periode waktu 24 jam, ditambahkannya bahwa dalam 1 area (0,4 ha) eceng gondok mampu menyerap 105 gram Pb/hari dan 90 gram Pb/hari. Tirtosoedirjo dan Sastroutomo, (1991) melaporkan hasil penelitiannya, eceng gondok mampu menyerap Cd 3,92

mg/gram berat kering tumbuhan/hari dan juga mampu menyerap Pb 0,93 mg/gram berat kering tumbuhan/hari selama periode waktu 14 hari. Dilaporkannya lagi pada periode 28 hari kemampuan penyerapan menjadi berkurang. Pada periode tersebut Cd dan Pb hanya diserap eceng gondok sebesar 0,25 mg/gram berat kering tumbuhan/hari.

Faisal, (2005) telah melakukan penelitiannya dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk mengolah limbah dari industri tapioka. Tanaman eceng gondok ini dipilih karena tanaman ini tahan terhadap limbah kandungan organik tinggi, suhu untuk tumbuhnya tanaman ini adalah 25° - 30°, dengan pH berkisar antara 7 – 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-bahan organik dan anorganik yang terdapat di dalam limbah cair industri tapioka yang dimanfaatkan sebagai energi dan nutrient 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 dalam di dalam sistem pengolahan *constructed wetlands* adalah sebagai media yang menguraikan bahan-bahan organik dalam air limbah industri tapioka menjadi nutrient bagi pertumbuhan dan sebagai tempat tumbuhnya berbagai mikroorganisme pengurai limbah.

Irma Tania, (2006) telah melakukan penelitiannya dengan menggunakan tanaman Kiapu (*Pistia stratiotes*) untuk mengolah limbah industri penyamakan

kulit. Tanaman kiapu digunakan dalam penelitian untuk mengolah limbah dari industri penyamakan kulit karena memiliki keunggulan daya kecambah yang tinggi, tahan terhadap ganggang tempat hidup yang baru, pertumbuhan cepat, tidak peka terhadap suhu, tingkat absorpsi/penyerapan unsur hara dan air besar, daya adaptasi yang tinggi terhadap iklim. Pada penelitian dengan limbah penyamakan kulit ini tanaman kiapu digunakan untuk menurunkan TSS, Cr, dan pH. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan penurunan TSS, Cr, dan pH dalam constructed wetlands terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dan tanaman kiapu yang mengolah bahan organik/anorganik yang terdapat dalam limbah cair industri penyamakan kulit sebagai nutrient dan energi. Peranan tanaman didalam sistem pengolahan constructed wetlands adalah sebagai media yang menguraikan bahan organik dalam air limbah cair industri penyamakan kulit menjadi nutrient bagi pertumbuhan dan sebagai media tumbuhnya mikroorganisme pengurai limbah. Effisiensi penurunan parameter diatas dengan waktu detensi 12 hari adalah TSS 51,85% dan Cr 74,29%. Distribusi logam Cr ini terjadi pada seluruh bagian tanaman terutama pada akar dan daun tanaman. Kapasitas terbesar penyerapan terjadi pada bagian akar hal ini karena akar merupakan media pertama yang dilalui Cr.

## **2.8 Hipotesa**

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut :

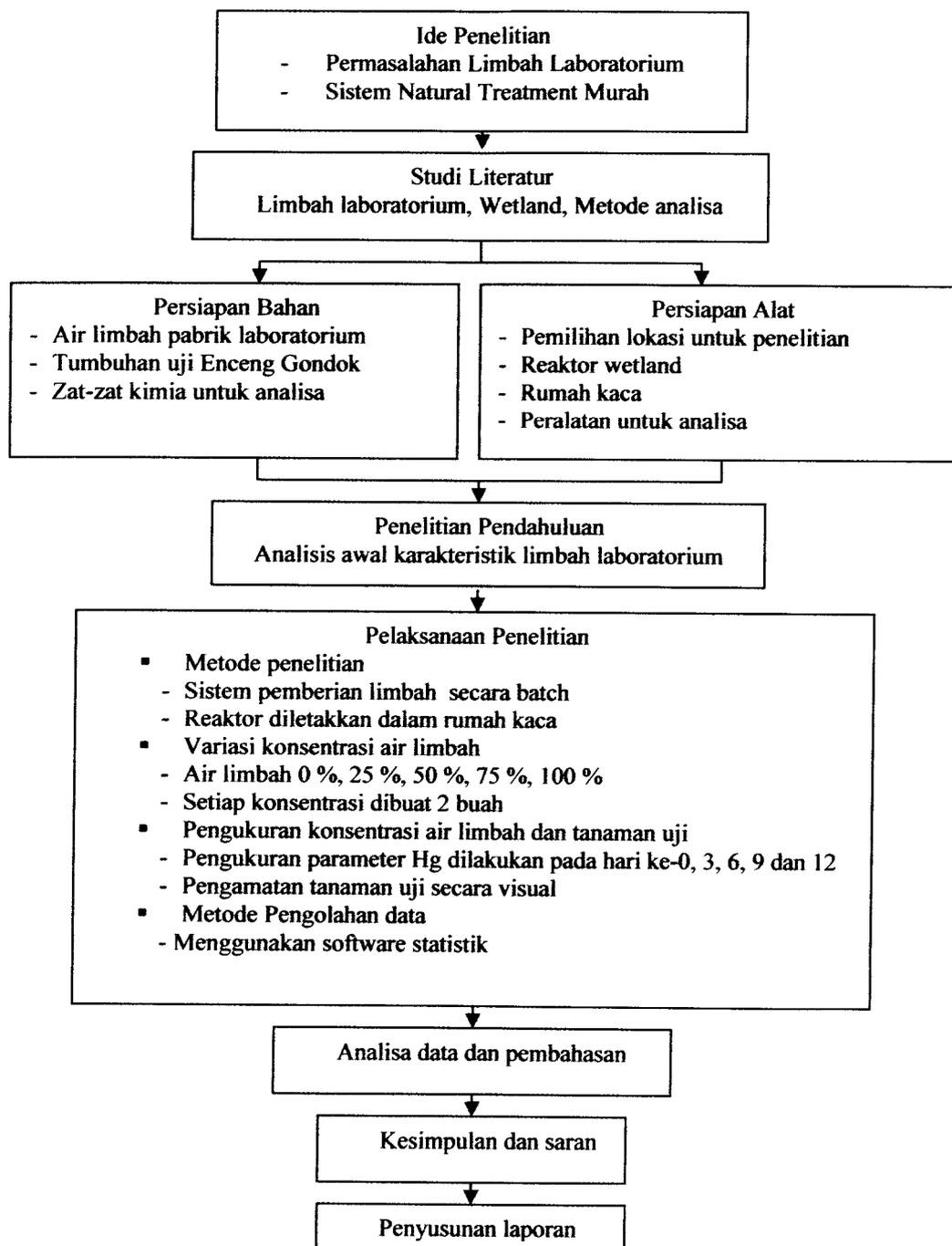
- a. *Constructed wetlands* dengan menggunakan tanaman eceng gondok dapat menurunkan konsentrasi merkuri ( Hg ).

- b. Pemanfaatan tanaman eceng gondok untuk penurunan Hg berpengaruh terhadap tingkat pertumbuhan tanaman.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

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



Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian



### 3.1 Lokasi Penelitian

Pengambilan sample dilaksanakan di laboratorium kualitas lingkungan yang dihasilkan dari kegiatan praktikum. Limbah yang dihasilkan tersebut ditampung dalam drum-drum. Setelah air limbah yang dibutuhkan telah sesuai, kemudian air limbah tersebut dimasukkan ke dalam reaktor dengan konsentrasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Penelitian dilakukan di halaman belakang FTSP, UII, Sleman, Jogjakarta dengan menggunakan reaktor *constructed wetlands* berukuran 1 m x 0.5 m yang ditanami tanaman Eceng gondok, sedang untuk analisis parameter kualitas air limbah dilakukan di laboratorium kualitas lingkungan UII Jogjakarta.

### 3.2 Waktu Penelitian

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

### 3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini dipergunakan reaktor berupa lahan yang dikonstruksi sedemikian rupa, sehingga tidak terjadi kontak langsung dengan tanah. Caranya yaitu dengan melapisi reaktor dengan plastik. Sedangkan untuk mencegah masuknya air hujan ke dalam reaktor, maka dibuat rumah pelindung. Untuk dimensi reaktor *batch constructed wetlands* adalah sebagai berikut :

### 3.4 Desain *Constructed Wetlands*

Pembuatan reaktor *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.

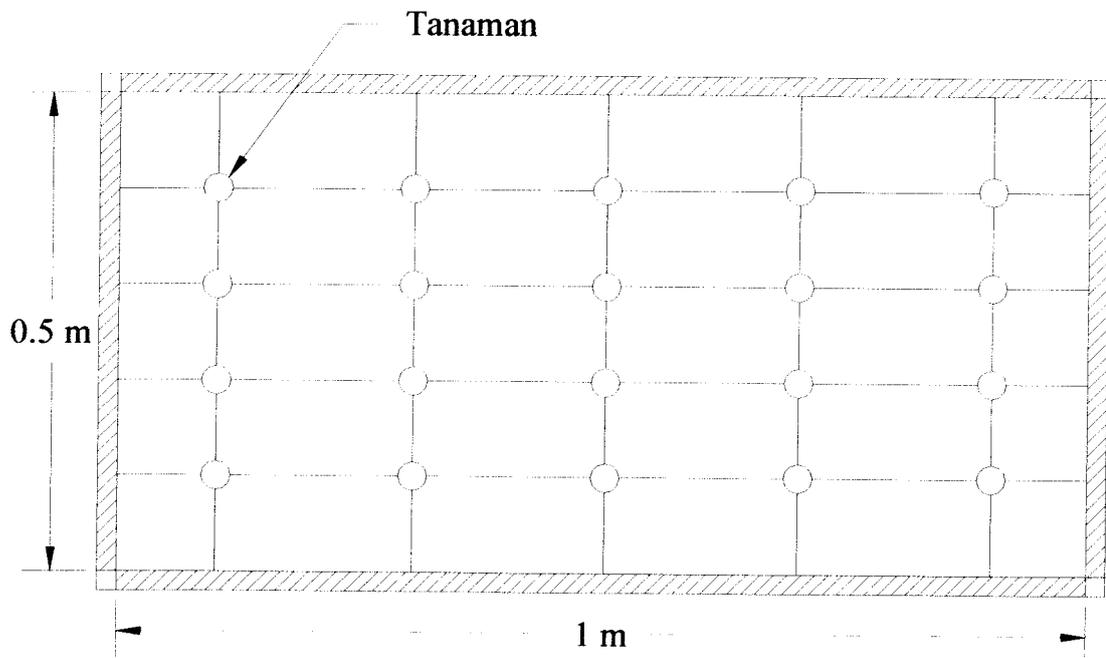
b. Dimensi Reaktor

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.

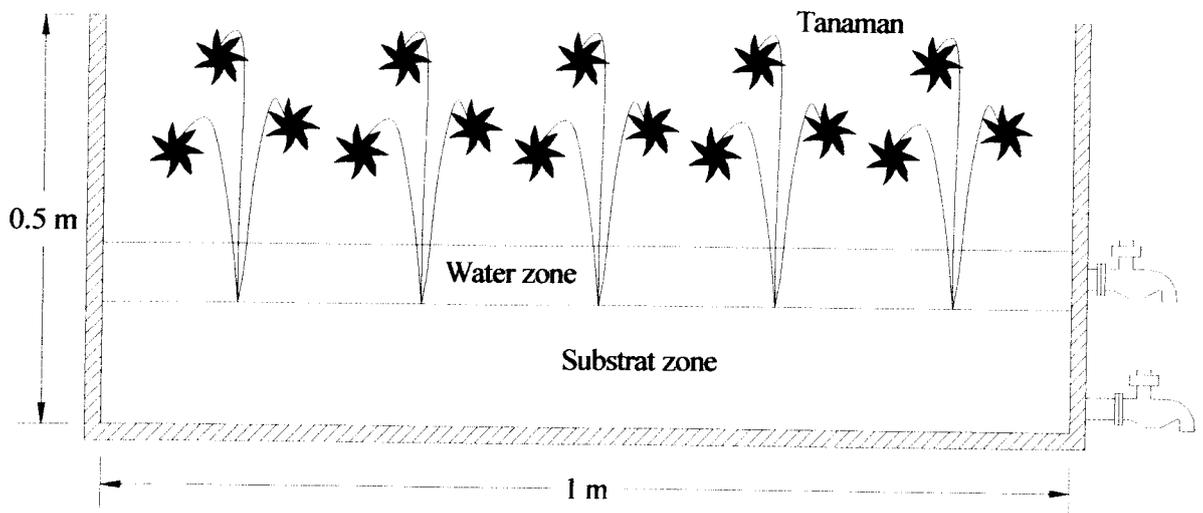
Adapun perhitungan dimensi reaktor *batch constructed wetlands* adalah sebagai berikut :

**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	$A = \frac{\text{volume}}{H_{air}}$	



**Gambar 3.2 Reaktor tampak atas (tanpa skala)**



**Gambar 3.3 Reaktor tampak samping (tanpa skala)**

### 3.5 Parameter Penelitian

Penelitian ini dilakukan analisa pengukuran dan pengujian parameter limbah Merkuri (Hg) laboratorium berdasarkan tingkat konsentrasi dan variasi waktu penelitian. Alasan mengambil limbah Hg karena limbah cair laboratorium kualitas lingkungan belum ada treatment/pengolahan yang lebih lanjut, sehingga limbah tersebut langsung dibuang ke lingkungan.

Konsentrasi limbah yang di uji adalah 0 %, 25 %, 50 %, 75 % dan 100 % dengan variasi waktu penelitian hari ke 0, hari ke 3, hari ke 6, hari ke 9, dan hari ke 12. Metode analisa yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode AAS.

### 3.6 Metode Pelaksanaan Penelitian

#### ➤ 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

#### ➤ Tanaman Eceng Gondok

Tanaman eceng gondok diperoleh di sawah-sawah maupun di perairan lainnya, yang kemudian dicuci dan ditanam dengan air sumur sebelum diuji pada

reaktor. Ketentuan jarak tanaman air tidak ditentukan, dan yang terpenting permukaan air tidak tertutup seluruhnya dengan tanaman.

➤ **Desain Sampling**

Pengambilan sampel dilaksanakan pada hari ke 0, 3, 6, 9, dan 12. pengambilan sampling pada hari ke nol dilakukan pada saat sampel akan dimasukkan dalam reaktor. Sedang pada hari ke 3, 6, 9, dan 12 sampel diambil pada outlet reaktor.

➤ **Pengambilan Sampling**

Pengambilan sampling meliputi :

- a. Sampel diambil dari saluran awal dengan menggunakan jerigen plastik.
- b. Jerigen plastik bagian dalam dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan air bersih.
- c. Air sampel ditampung di jerigen yang sudah bersih.
- d. Setelah penuh jerigen ditutup.

➤ **Analisa AAS**

Penentuan kandungan logam Hg dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat spektrofotometer serapan atom model AA-782 Nippon Jarel Ash. Adsorbansi logam Hg 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 Hg dengan konsentrasi yang telah diketahui.

Perhitungan konsentrasi hasil pengukuran (C regresi) dengan metode standar kalibrasi dilakukan dengan cara memasukan harga serapan sampel Y, sehingga :

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

kadar unsur dalam sampel dihitung dengan persamaan :

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

dengan :

x = kadar unsur (mg/ml)

C regresi = konsentrasi unsur yang diperoleh dari kurva kalibrasi standar

V = volume larutan sampel ( ml )

P = faktor pengenceran

G = sarat sampel

### 3.7 Metode Analisa Laboratorium

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 3, 6, 9, 12 dan 15 yang diambil

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

### 3.8 Metode Analisa Data

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

Data-data tersebut diolah dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan tingkat signifikansi  $\alpha = 0,05$  menggunakan software SPSS 12 yang diawali dengan Between – Subject Factors dengan tujuan untuk melihat jumlah data antara 2 faktor. Untuk Test of Between – Subject Effects digunakan hipotesis :

- i.  $H_0$  = tidak ada pengaruh waktu detensi / variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.
- ii.  $H_1$  = ada pengaruh waktu detensi / variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang diuji.

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- Sig  $\alpha < 0,05$  maka  $H_0$  di tolak
- Sig  $\alpha > 0,05$  maka  $H_0$  di terima

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Aktivitas laboratorium merupakan salah satu aktivitas yang menghasilkan limbah beracun yang apabila tanpa pengolahan lebih lanjut akan sangat berbahaya bagi lingkungan. Salah satu parameter yang terkandung dari limbah laboratorium tersebut adalah Merkuri (Hg).

Penelitian dimulai dengan melakukan penanaman tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) di dalam reaktor perlakuan dimana tanaman eceng gondok tersebut akan diberi perlakuan limbah dari Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta. Waktu detensi pengujian yaitu 3, 6, 9, 12 hari, dan variasi konsentrasi limbah yaitu 100 %, 75 %, 50 %, 25 %, dan 0%. Setelah 3 hari sampel diambil dan diuji langsung.

Pemanfaatan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk pengolahan limbah cair laboratorium dengan variasi konsentrasi limbah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dengan total volume 250 L menunjukkan kemampuan yang berbeda-beda dalam menurunkan parameter Hg (merkuri) begitu juga dengan reaktor non eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Untuk mengetahui penurunan parameter yang diuji dapat digunakan rumus :

$$\text{Efisiensi (\%)} = \{(S_0 - S_1)/S_0\} \times 100 \%$$

Dimana:  $S_0$  = Kadar pencemar sebelum perlakuan

$S_1$  = Kadar pencemar sesudah perlakuan

#### **4.1 Konsentrasi Awal Logam Merkuri (Hg) dalam Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan**

Sebelum dilakukan penelitian, limbah cair laboratorium kualitas lingkungan terlebih dahulu dilakukan pengujian awal untuk mengetahui konsentrasi Hg pada limbah tersebut. Konsentrasi awal dari logam Hg dalam limbah cair laboratorium kualitas lingkungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 4.1 Hasil pengujian awal konsentrasi Merkuri (Hg)**

No	Parameter	Konsentrasi (mg/L)	Metode
1	<b>Merkuri</b>	0,2963	AAS

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa kadar Hg pada limbah cair laboratorium kualitas lingkungan sebelum diberi perlakuan melebihi ambang batas yaitu 0,001 mg/L yang ditetapkan pada Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001.

#### **4.2 Analisa Kondisi Air Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan**

Pengamatan pada kondisi air limbah ini hanya sebagai data pendukung, yang meliputi kondisi air, warna, bau dan pH. Dari hasil analisa kondisi air limbah menunjukkan bahwa air limbah mulai mengalami pembusukkan pada hari ke 1 di reaktor kontrol dengan konsentrasi limbah 100 % dengan pH antara 7,5 – 8, konsentrasi limbah 75 % dengan pH antara 7 – 8, konsentrasi limbah 50 % dengan pH antara 7 – 8, dan konsentrasi limbah 25 % dengan pH 7. Pada reaktor kontrol dengan konsentrasi limbah 0 % kondisi air normal sampai hari ke 2,

kemudian pada hari ke 3 sampai hari ke 6 kondisi air agak berbusa dan pada hari ke-7 kondisi air terlihat normal kembali dengan pH 7 (analisa kondisi air limbah secara visual dalam reaktor dapat dilihat pada lampiran 4)

Berdasarkan pengamatan kondisi air, timbulnya proses pembusukan pada reaktor menimbulkan bau yang menyengat, hal ini dikarenakan oleh faktor oksigen dan sinar matahari yang sangat sedikit masuk kedalam air limbah. Fase perubahan warna air limbah menjadi coklat kekuningan merupakan salah satu tanda proses pembusukan. Selain proses pembusukan juga timbulnya lapisan lendir dipermukaan air yang mempengaruhi masuknya sinar matahari dan kandungan oksigen sehingga timbul bau.

Hasil pengamatan kondisi air limbah kualitas lingkungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel 4.2 Kondisi air limbah reaktor kontrol 100 %**

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

**Tabel 4.3 Kondisi air limbah reaktor kontrol 75 %**

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

**Tabel 4.4 Kondisi air limbah reaktor kontrol 50 %**

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

**Tabel 4.5 Kondisi air limbah reaktor kontrol 25 %**

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
	25 %	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	Coklat kekuningan	7
Hari ke-3	Terjadi pembusukan, air sedikit berlemak	Berbau	Kuning	7
Hari ke-6	Terjadi pembusukan, tumbuh jentik, lemak pada air mulai berkurang	Berbau	Jernih kekuningan	7
Hari ke-9	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Kuning jernih keemasan	7
Hari ke-12	Terjadi pembusukan, air terdapat banyak jentik	Berbau	Jernih	7

**Tabel 4.6 Kondisi air limbah reaktor kontrol 0 %**

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
	0 %	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-3	Normal, agak berbusa	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-6	Normal, agak berbusa	Tidak berbau	Bening	6,5
Hari ke-9	Normal	Tidak berbau	Bening	7
Hari ke-12	Normal	Tidak berbau	Bening	7

### 4.3 Analisa Parameter Merkuri (Hg)

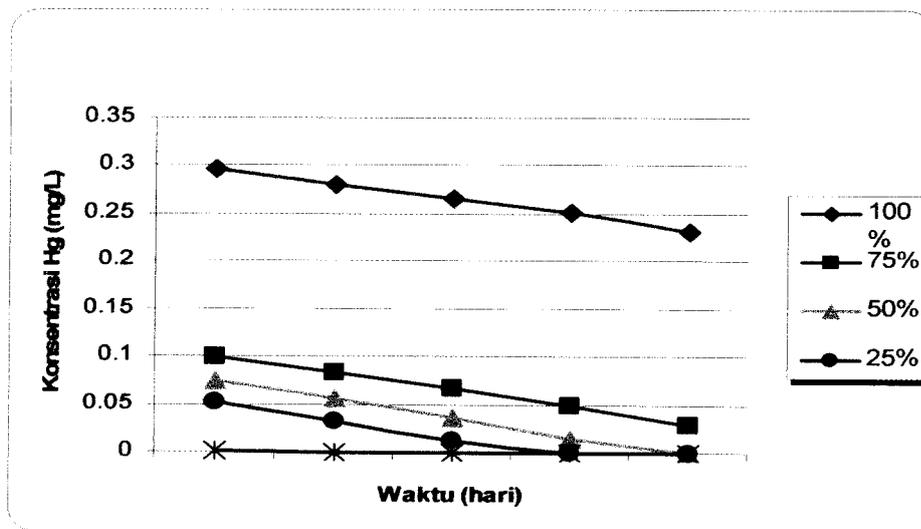
#### 4.3.1 Efisiensi Removal Konsentrasi Hg Dengan Tanaman Eceng Gondok

Untuk hasil analisa konsentrasi Hg dengan tanaman dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 4.7 Pengujian konsentrasi Hg dengan tanaman eceng gondok.**

Konsentrasi	Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12
100%	0.2963	0.2802	0.2661	0.2507	0.2310
75%	0.0998	0.0835	0.0671	0.0493	0.0290
50%	0.0742	0.0559	0.0359	0.0150	ttd
25%	0.0523	0.0325	0.0123	ttd	ttd
0%	0.0021	Ttd	ttd	ttd	ttd

\* Ket : ttd = tidak terdeteksi



**Gambar 4.1 Hubungan konsentrasi Hg (mg/L) limbah cair laboratorium kualitas lingkungan terhadap waktu dengan tanaman Eceng gondok.**

Dari hasil penelitian besarnya efisiensi removal penurunan konsentrasi Hg pada limbah cair laboratorium ini dapat dihitung efisiensinya dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi (\%)} = \{(S_0 - S_1)/S_0\} \times 100 \%$$

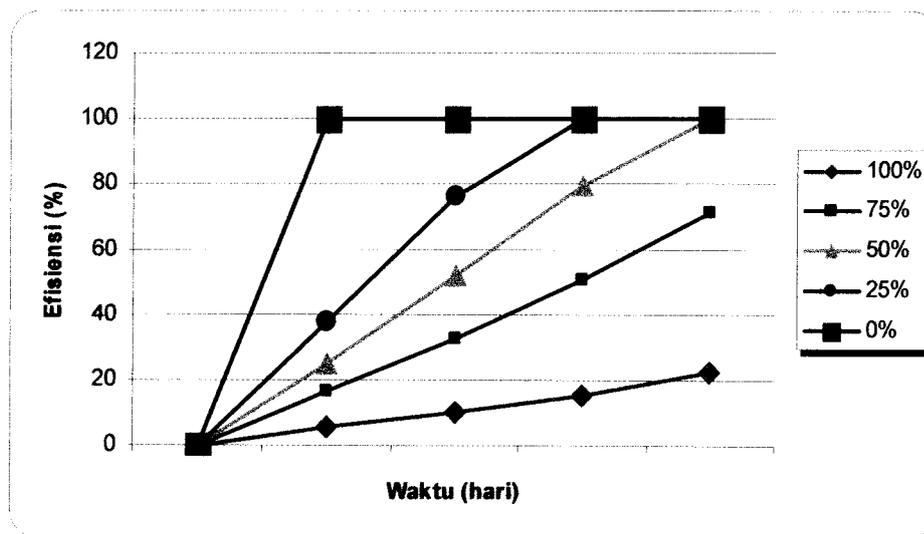
Dimana:  $S_0$  = Kadar pencemar sebelum perlakuan

$S_1$  = Kadar pencemar sesudah perlakuan

Dari rumus di atas dapat diketahui besarnya efisiensi removal pada tabel berikut ini :

**Tabel 4.8 Efisiensi removal konsentrasi Hg dengan tanaman eceng gondok.**

Konsentrasi	Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12
100%	0	5.61	10.39	15.56	22.18
75%	0	16.37	32.73	50.60	70.98
50%	0	24.71	51.66	79.78	100
25%	0	37.92	76.48	100	100
0%	0	100	100	100	100



**Gambar 4.2 Efisiensi penurunan konsentrasi Hg (%) limbah cair laboratorium kualitas lingkungan dengan tanaman Eceng gondok.**

Dari Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 dapat terlihat penurunan konsentrasi Hg dari hari ke 3 sampai hari ke 12, ini terlihat pada reaktor yang menggunakan tanaman eceng gondok efisiensi penurunan yang terjadi pada konsentrasi limbah 0 % tidak terdeteksi karena batas minimum pembacaan alat (AAS), untuk konsentrasi limbah 25 % efisiensi penurunannya sebesar 76,48 % sampai hari ke 6 dengan konsentrasi awal 0,0523 mg/L menjadi 0,0123 mg/L, di hari ke 9 sudah tidak dapat terdeteksi lagi. Konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunannya sebesar 79,78 % sampai hari ke 9 dengan konsentrasi awal 0,0742 mg/L menjadi 0,0150 mg/L, dihari ke 12 sudah tidak dapat terdeteksi. Pada konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunannya sebesar 70,98 % sampai hari ke 12 dengan konsentrasi awal 0,0998 mg/L menjadi 0,0290 mg/L, dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya sebesar 22,18 % sampai hari ke 12 dengan konsentrasi awal 0,2969 mg/L menjadi 0,2310 mg/L.

Pada hasil analisa di atas menunjukkan bahwa efisiensi penurunan kadar Hg yang terkecil terjadi pada konsentrasi limbah 100% sedangkan efisiensi penurunan kadar Hg terbesar terjadi pada konsentrasi limbah 25% karena di hari ke-6 tanaman sudah mampu menurunkan kadar Hg.

Secara umum di dapat bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi air limbah yang digunakan maka akan semakin rendah kemampuan removal yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan sifat dan karakteristik air limbah laboratorium yang sangat bervariasi dimana salah satunya kandungan merkuri (Hg) yang sangat tinggi. Hasil dari penelitian ini diperkuat dengan hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya yaitu pada penelitian Irma Tania (2006) yang meneliti logam Cr

dengan menggunakan tanaman kiapu, pada konsentrasi 100 % penurunan Cr sebesar 66,67 % sedangkan pada konsentrasi 25 % penurunannya sebesar 74,29 %, pada penelitian Ully Andriyani (2004) yang meneliti penurunan logam Fe menggunakan tanaman kangkung air, pada penelitian tersebut pada konsentrasi 100 % penurunan Fe sebesar 40,91 % sedangkan pada konsentrasi 25% penurunannya sebesar 54,47 %.

Penurunan kadar Hg oleh tanaman Eceng gondok dimulai dengan aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *Constructed Wetlands*. Proses pengolahan dalam *Constructed Wetlands* 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 Wetlands* untuk mengeluarkan oksigen (Gopal, 1999, dalam Ully Andriyani, 2004).

Pada penelitian ini terjadi proses *rhizofiltrasi* yaitu pemanfaatan kemampuan akar tanaman menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam-logam pada aliran limbah dan proses *fitovolatilisasi* yaitu suatu penyerapan dari transpirasi suatu kontaminan oleh tanaman yang dilakukan dengan cara melepaskan kontaminan tersebut. Dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepaskan lewat daun. *Rhizofiltrasi* dan *fitovolatilisasi* 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 (Schnoor, 2002)

Hubungan mekanisme teoritis dengan hasil penelitian yaitu tingkat penguapan air dari daun makrofita eceng gondok yang berada diatas permukaan air dapat melakukan aktivitas transpirasi yang melebihi laju penguapan dari perairan terbuka dalam luas yang sama. Peristiwa ini dapat dinyatakan sebagai evapotranspirasi/evaporasi. Hal ini berarti bahwa proses transpirasi aktif dari tumbuhan eceng gondok menyebabkan kehilangan air sekurang-kurangnya dua kali jumlah air yang hilang melalui penguapan (evaporasi) saja. Besarnya kehilangan air dalam evaporasi menunjukkan tingkat penyerapan air beserta zat-zat terlarut didalamnya cukup besar, sesuai dengan sifatnya yang mirip spons, sehingga eceng gondok efektif dalam menyerap unsure-unsur pencemar dalam air (Sastroutomo, 1991, dalam Dedi Afandi, STTL 2004).

#### **4.3.2 Mekanisme Penurunan (Removal) Logam dalam *Constructed Wetlands*.**

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

Mekanisme yang terjadi di dalam *wetlands* 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. Pada penurunan logam Hg itu sendiri proses removal yang lebih dominan terjadi yaitu pada proses kimiawi yang mana pada proses ini terjadi adanya aktivitas dari mikroorganisme yang dapat memakan logam-logam berat seperti Pb, Al, Fe, Cd, dan Zn. Selain itu aktivitas penyerapan pada tanaman juga sangat mempengaruhi proses removal pada logam Hg hal ini dapat diketahui karena pada reaktor yang menggunakan tanaman efisiensi removalnya lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor yang tidak menggunakan tanaman.

Fenomena yang terjadi pada proses penyerapan Hg yaitu logam berat yang diserap oleh akar dikumpulkan dalam gelembung oksida, dari gelembung-gelembung oksida tersebut akhirnya akan bersatu dengan yang lainnya untuk selanjutnya membungkus timbunan logam, timbunan logam yang terbungkus tersebut kemudian diselimuti oleh suatu membran yang berpindah keluar dari dinding sel, membran tersebut kemudian bergabung dengan dinding sel bagian luar. Hasil dari proses ini adalah suatu kumpulan timbunan logam pada dinding sel diluar plasma lema. Timbunan serupa juga terjadi dalam jaringan batang dan daun yang diangkat dan ditimbun dengan cara yang sama. Pada tanaman eceng gondok logam berat disimpan dalam sel hypodermis, jaringan stelekolenkim, parenkim, dan sel epidermis ( Anonim, 1996 ).

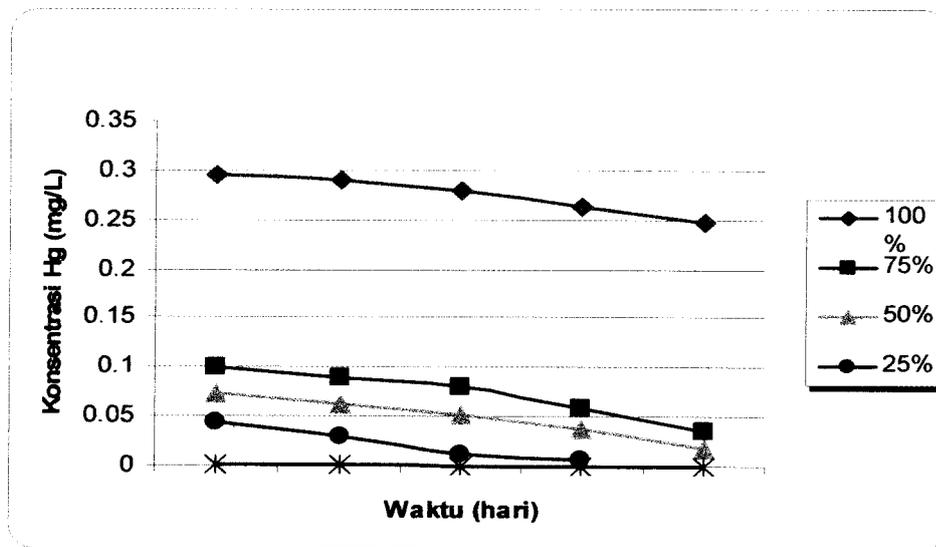
### 4.3.3 Efisiensi Removal Konsentrasi Hg Tanpa Tanaman Eceng Gondok

Untuk hasil analisa konsentrasi Hg tanpa tanaman dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 4.9 Pengujian Konsentrasi Hg Tanpa Tanaman Eceng Gondok**

Konsentrasi	Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12
100%	0.2963	0.2913	0.2792	0.2641	0.2483
75%	0.0998	0.0893	0.0805	0.0586	0.0352
50%	0.0742	0.0626	0.0514	0.0369	0.0186
25%	0.0523	0.0451	0.0308	0.0127	0.0073
0%	0.0021	0.0015	Ttd	ttd	ttd

Ket : ttd = tidak terdeteksi



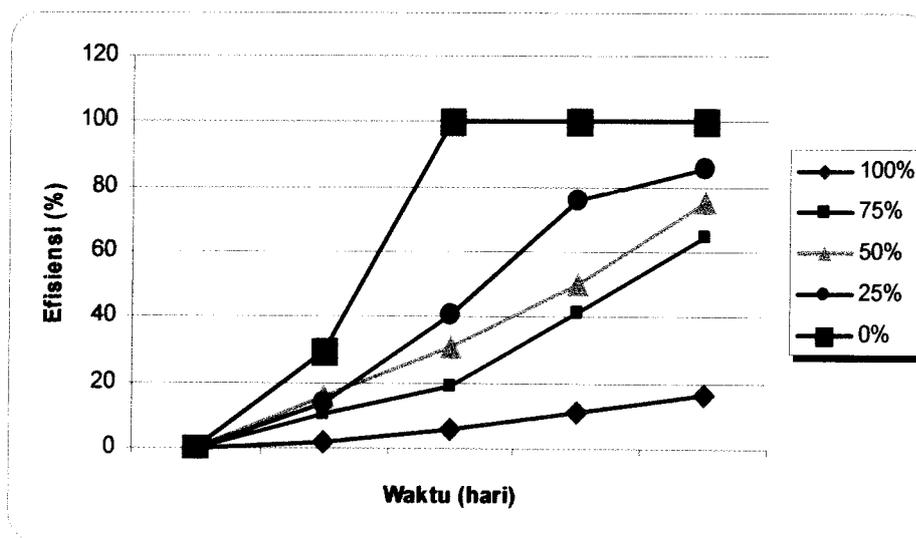
**Gambar 4.3 Hubungan konsentrasi Hg (mg/L) limbah cair laboratorium kualitas lingkungan terhadap waktu tanpa tanaman Eceng gondok.**

Adanya variasi konsentrasi limbah diharapkan dapat diketahui efisiensi penurunan yang optimal pada bak perlakuan yang tanpa menggunakan tanaman eceng gondok dan mampu menurunkan kadar Hg pada limbah cair laboratorium.

Efisiensi penurunan konsentrasi logam Hg pada limbah cair berdasarkan konsentrasi limbah, dapat dilihat pada gambar di bawah:

**Tabel 4.10 Efisiensi removal konsentrasi Hg tanpa tanaman Eceng gondok.**

Konsentrasi	Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12
100%	0	1.89	5.96	11.05	16.37
75%	0	10.52	19.34	41.28	64.73
50%	0	15.63	30.73	50.27	74.93
25%	0	13.77	41.11	75.72	86.04
0%	0	30	100	100	100



**Gambar 4.4 Efisiensi penurunan konsentrasi Hg limbah cair laboratorium kualitas lingkungan tanpa tanaman Eceng gondok.**

Dari Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 dapat terlihat penurunan konsentrasi Hg dari hari ke 3 sampai hari ke 12, ini terlihat pada reaktor tanpa menggunakan tanaman

eceng gondok dengan konsentrasi 0 % efisiensi penurunannya sebesar 30 % sampai hari ke 3 dengan konsentrasi awal 0,0021 mg/L menjadi 0,0015 mg/L, dihari ke 6 sudah tidak dapat terdeteksi lagi. Sedangkan pada konsentrasi limbah 25 % efisiensi penurunannya sebesar 86,04 % sampai hari ke 12 dengan konsentrasi awal 0,0523 mg/L menjadi 0,0073 mg/L, untuk konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunannya sebesar 74,93 % sampai hari ke 12 dengan konsentrasi awal 0,0742 mg/L menjadi 0,0186 mg/L, untuk konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunannya sebesar 64,73 % sampai hari ke 12 dengan konsentrasi awal 0,0998 mg/L menjadi 0,0352 mg/L, dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya sebesar 16,37% sampai hari ke 12 dengan konsentrasi awal 0,2969 mg/L menjadi 0,2483 mg/L.

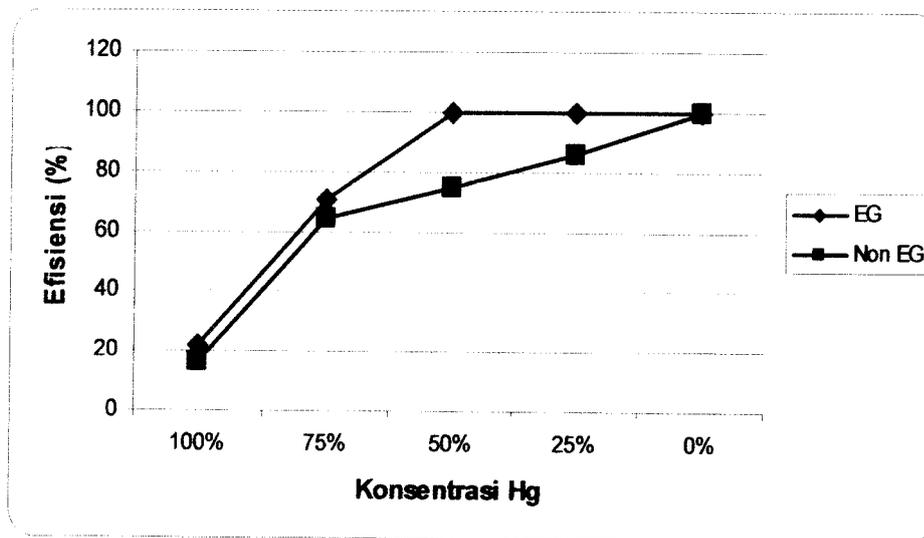
Berdasarkan hasil analisa di atas menunjukkan bahwa pada konsentrasi limbah 100 % terjadi efisiensi penurunan kadar Hg terkecil sedangkan efisiensi penurunan kadar Hg terbesar terjadi pada konsentrasi limbah 25 % .

Dalam penelitian ini dapat dilihat tanpa penanaman eceng gondok pun konsentrasi Hg dalam limbah dapat berkurang. Hal ini diakibatkan oleh faktor fisika yaitu penguapan. Ini dilihat dari karakteristik logam Hg itu sendiri yaitu mudah menguap selain itu juga proses penurunan kadar Hg ini terjadi karena adanya peranan media tanah, dan mikroorganisme dalam reaktor. Proses-proses yang terjadi akibat dari adanya media tanah dalam *constructed wetland* adalah proses-proses fisik antara lain : proses sedimentasi, filtrasi dan intersepsi. Adapun fungsi dari media tanah pada sistem ini adalah sebagai tempat hidup dan tumbuhnya tanaman, sebagai tempat berkembangbiaknya mikroorganisme,

sebagai tempat terjadinya proses fisik, yaitu proses sedimentasi dalam penurunan konsentrasi *solid* air limbah.

#### 4.4 Perbandingan Efisiensi Penurunan Konsentrasi Logam Hg Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok dan Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

Pada penelitian ini perbandingan antara efisiensi penurunan logam Hg dengan tanaman dan tanpa tanaman dalam limbah cair laboratorium dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 4.5 Hubungan Efisiensi Penurunan Konsentrasi Hg Dengan Tanaman dan Tanpa Tanaman**

Dalam penelitian ini tanaman eceng gondok memiliki pengaruh nyata terhadap kadar Hg dalam limbah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 yaitu pada reaktor 100 % dengan tanaman eceng gondok, kadar Hg menurun dari 5,61 %

sampai 22,18 %, sedangkan reaktor 100 % tanpa tanaman eceng gondok, kadar Hg menurun dari 1,89 % sampai 16,37 %.

Dari hasil analisa pada uji reaktor dengan tanaman eceng gondok, penurunan konsentrasi Hg dipengaruhi proses pengendapan/sedimentasi, proses penguapan (evaporasi) karena salah satu sifat dari logam Hg yaitu mempunyai volatilitas yang tinggi, proses penyerapan dan transpirasi dipengaruhi oleh luas permukaan daun dan jumlah akar yang dimiliki oleh tanaman eceng gondok. Sedangkan pada uji reaktor tanpa tanaman eceng gondok, penurunan konsentrasi Hg disebabkan oleh adanya peranan dari media tanah yang secara fisik mampu menurunkan pencemar melalui proses filtrasi, sedimentasi, dan aktifitas dari mikroorganisme dalam mentransformasikan bahan organik dan anorganik menjadi nutrient dan energi.

Berdasarkan hasil penelitian bahwa penurunan logam Hg yang terjadi di reaktor dengan tanaman dan tanpa tanaman hampir sama. Hal dikarenakan mekanisme yang lebih dominan pada penurunan Hg ini yaitu pada proses evaporasi (penguapan) sehingga perbedaan yang terjadi antara reaktor yang menggunakan tanaman dengan reaktor yang tanpa menggunakan tanaman tidak terlalu terlihat.

#### **4.5 Analisa Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)**

Untuk dapat hidup tanaman memerlukan zat makanan (unsur hara) yang diambil molekul melalui daun, tetapi umumnya unsur hara diambil oleh tanaman dalam bentuk ion-ion molekul dari dalam tanah. Makin panjang akar tanaman,

maka makin tersedia unsur hara bagi tanaman, demikian juga bila makin besar sistem perakaran dan penambahan volume percabangan akar, akan meningkatkan penyerapan unsur hara (Irma Tania, 2006).

Adanya air limbah laboratorium memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan daun *Eceng gondok*. Hal ini dapat dilihat selama proses penanaman *eceng gondok* selama 12 hari. Pertumbuhan tanaman *eceng gondok* tidak mengalami pertumbuhan yang baik dibandingkan dengan tanaman yang ditanam pada reaktor tanpa air limbah.

Berdasarkan hasil analisa kondisi tanaman secara visual dapat terlihat perubahan morfologi tanaman sebelum diberi perlakuan dan setelah diberi perlakuan. Pada konsentrasi limbah 0% dan 25% pertumbuhan akar dan batang terjadi pada hari ke 3, sedangkan konsentrasi limbah 50%, 75%, 100% pertumbuhan akar terjadi pada hari ke 6.

Pertumbuhan pada akar, batang, dan daun terlihat lambat. Terhambatnya pertumbuhan *eceng gondok* ini dapat dipengaruhi oleh faktor – faktor sebagai berikut, tingginya kandungan merkuri pada air limbah laboratorium yang menghambat pertumbuhan akar *eceng gondok* sehingga berpengaruh pada pertumbuhan batangnya, tingginya partikel solid air limbah sehingga mempengaruhi sinar matahari untuk masuk kedalam air dan menghalangi proses absorben nutrisi oleh akar, serta bahan organik yang tinggi sehingga menimbulkan proses pembusukan yang mengurangi dan menghambat proses terbentuknya oksigen, dan berakibat terhalangnya pelepasan gas – gas yang dihasilkan oleh akar tanaman ke permukaan air karena adanya lapisan lendir

(bifilm) dipermukaan air dari hasil proses pembusukan, timbulnya jenis mikroorganisme anaerob yang membuat air bau.

Pada kondisi tanaman sebelum penelitian untuk konsentrasi limbah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% warna daun tampak berwarna hijau segar kemudian setelah penelitian terlihat adanya perubahan pada konsentrasi limbah 50% warna daun menjadi kuning, konsentrasi limbah 75% warna daun menjadi coklat, dan konsentrasi limbah 100% warna daun menjadi coklat kering, sedangkan pada konsentrasi limbah 0% dan 25% warna daun tetap berwarna hijau segar. Pada analisa kondisi tanaman ini, terlihat kondisi akar sebelum penelitian berwarna hitam kecoklatan pada konsentrasi limbah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% kemudian setelah penelitian kondisi akar berubah pada konsentrasi limbah 25% warna akar menjadi coklat tua, konsentrasi limbah 50% warna akar menjadi coklat tua, konsentrasi limbah 75% warna akar menjadi coklat muda, konsentrasi limbah 100% warna akar menjadi coklat muda, sedangkan pada konsentrasi limbah 0% warna akar tidak terjadi perubahan ( kondisi tanaman secara visual dapat dilihat pada lampiran 2 ).

Perubahan warna pada daun dan akar pada tanaman ini disebabkan oleh pencemaran bahan organik. Akar merupakan bagian tumbuhan yang pertama kali berinteraksi secara langsung pada air limbah, maka akar akan rusak terlebih dahulu dibandingkan dengan bagian lain dari tumbuhan sebagai respon terhadap racun dari luar tubuh tanaman terutama bagian tanaman yang hidup di air.

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 tanaman lainnya. Kegiatan tranpirasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran daun, bulu permukaan daun, jumlah stomata, suhu, radiasi, kelembaban, dan kondisi perairan. (Dwidjoseputro, 1992 dalam Faisal, 2005)

Hasil analisa kondisi tanaman dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel 4.11 Hasil pertumbuhan Eceng gondok**

Fisik	Konsentrasi limbah (%)	Variasi morfologi tanaman				
		0	3	6	9	12
Panjang akar (cm)	0	16	16.3	17	17.5	18
	25	16	16.3	16.5	17	17.5
	50	16	16	16.3	16.5	17
	75	16	16	16.3	16.5	17
	100	16	16	16.3	16.5	16.5
		0	40	40.5	41.5	42
Panjang batang (cm)	25	40	41	41.5	42	42
	50	40	40	40.5	42	42
	75	40	40	40	40	40
	100	40	40	40	40	40
		0	14x13	14x14	14x14,5	14,5x16
Luas daun (cm)	25	14x13	14x13	14x13	14x14	14x14
	50	14x13	14x13	14x11,5	13x11	13x11
	75	14x13	14x12,5	13x10	12,5x7,5	12,5x7,5
	100	14x13	14x12,5	13x9	12,5x7	12,5x7

**Tabel 4.12 Hasil perubahan kondisi tanaman Eceng gondok**

<b>Fisik</b>	<b>konsentrasi limbah (%)</b>	<b>Sebelum penelitian</b>	<b>Sesudah penelitian</b>
	0	segar, hijau	segar, hijau
	25	segar, hijau	segar, hijau
Daun	50	segar, hijau	Kuning
	75	segar, hijau	Coklat
	100	segar, hijau	coklat, kering
	0	hitam kecoklatan	hitam kecoklatan
	25	hitam kecoklatan	coklat tua
Akar	50	hitam kecoklatan	coklat tua
	75	hitam kecoklatan	coklat muda
	100	hitam kecoklatan	coklat muda

(analisa kondisi tanaman secara visual untuk setiap dapat dilihat pada lampiran 5)

#### **4.6 Hubungan Antara Tingkat Penurunan Logam Hg Dengan Penyerapan Kandungan Logam Hg Pada Limbah Cair Laboratorium**

Pada penelitian ini perbandingan antara tingkat penurunan logam Hg dengan tingkat penyerapan logam Hg limbah cair laboratorium dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel 4.13 Tingkat penurunan logam Hg**

<b>TOTAL</b>	<b>Tingkat penurunan (mg/l)</b>				
	<b>hari ke-0</b>	<b>hari ke-3</b>	<b>hari ke-6</b>	<b>hari ke-9</b>	<b>hari ke-12</b>
<b>100%</b>	0	0.0167	0.0142	0.0154	0.0197
<b>75%</b>	0	0.0163	0.0163	0.0178	0.0203
<b>50%</b>	0	0.0183	0.0200	0.0209	0.0150
<b>25%</b>	0	0.0198	0.0202	0.0123	0.0000
<b>0%</b>	0	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000

**Tabel 4.14 Tingkat penyerapan logam Hg**

TOTAL	Tingkat penyerapan (mg/l)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
100%	0	0.0077	0.0049	0.0015	0.0032
75%	0	0.0065	0.0010	0.0013	0.0020
50%	0	0.0080	0.0022	0.0011	0.0047
25%	0	0.0082	0.0014	0.0038	0.0081
0%	0	0.0046	0.0035	0.0043	0.0024

Dari Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa adanya perbedaan hasil antara tingkat penurunan logam dan tingkat penyerapan logam dalam limbah cair laboratorium pada hari ke-3 dari konsentrasi 25% dengan tingkat penurunan sebesar 0,0198 mg/l dan tingkat penyerapan eceng gondok sebesar 0,0082 mg/l. Ini menunjukkan kandungan logam Hg dalam air dapat terserap eceng gondok sebesar 0,0082 mg/l dan sisanya mengendap di zona substrat, begitu juga pada konsentrasi limbah 50 %, 75 %, 100 % tingkat penyerapan logam lebih kecil dibandingkan tingkat penurunan logam, ini dikarenakan adanya penguapan pada limbah dan juga dikarenakan adanya penyerapan logam oleh tanah. Zona substrat pada *Constructed Wetlands* yaitu tanah, ternyata juga berpengaruh pada penelitian ini. Namun pada penelitian ini kandungan logam yang terdapat di tanah tidak dilakukan penelitian.

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)

#### 4.7 Uji Statistik Parameter Merkuri (Hg)

Uji statistik ANOVA bertujuan untuk mengetahui atau menguji berlaku atau tidaknya asumsi uji statistik ANOVA terhadap sampel dari parameter-parameter penelitian yang berasal dari nilai varian yang sama berdasarkan tingkat probabilitas diterima  $< 0,05 >$  ditolak. Tujuan dilakukannya uji statistik terhadap kadar parameter yang diteliti dalam penelitian ini adalah untuk memperkuat ketepatan hasil perhitungan analisa laboratorium yang di dapat. Berikut hasil uji statistik ANOVA terhadap parameter Hg :

##### 4.7.1 Uji Statistik Parameter Hg Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

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

**Tabel 4.15 Pengaruh variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu pengambilan terhadap penurunan kadar Hg**

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: air

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.240 <sup>a</sup>	8	.030	198.846	.000
Intercept	.150	1	.150	989.495	.000
WAKTU	.009	4	.002	14.788	.000
LIMBAH	.232	4	.058	382.904	.000
Error	.002	16	.000		
Total	.392	25			
Corrected Total	.243	24			

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

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah diatas maka didapatkan :

- a. Nilai F dihitung untuk konsentrasi limbah sebesar 382,904 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Hg diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F dihitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 14,788 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Hg diantara variasi pengambilan air limbah.

#### 4.7.2 Uji Statistik Parameter Hg Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

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

**Tabel 4.16 Pengaruh variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu pengambilan terhadap penurunan kadar Hg**

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: air

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.247 <sup>a</sup>	8	.031	312.921	.000
Intercept	.183	1	.183	1857.169	.000
WAKTU	.006	4	.002	15.555	.000
LIMBAH	.240	4	.060	610.288	.000
Error	.002	16	.000		
Total	.431	25			
Corrected Total	.248	24			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .990)

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah diatas maka didapatkan :

- a. Nilai F dihitung untuk konsentrasi limbah sebesar 610,288 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Hg diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F dihitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 15,555 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$  yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Hg diantara variasi pengambilan air limbah.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari seluruh rangkaian penelitian dapat disimpulkan :

- a. Efisiensi penurunan optimal logam Hg dengan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) terjadi pada konsentrasi limbah 25 % sebesar 100 % di hari ke 9, begitu juga efisiensi penurunan yang optimal tanpa tanaman eceng gondok terjadi pada konsentrasi limbah 25 % sebesar 75,72 % di hari ke 9.
- b. Semakin tinggi tingkat konsentrasi limbah, maka semakin rendah kemampuan removal yang dihasilkan, sehingga dapat menyebabkan tanaman layu atau mati.
- c. Pada sistem *constructed wetlands* dengan menggunakan tanaman eceng gondok ini menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok memiliki pengaruh terhadap penurunan kandungan Hg dalam limbah cair laboratorium kualitas lingkungan UII Jogjakarta.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi.D, 2004, *Pengaruh Waktu Tinggal dan Tanaman Ecen Gondok (Eichornia crassipes) Terhadap Penurunan Kadar Hg Dalam Limbah Pencucian Emas*, Skripsi STTL, Yayasan Lingkungan, Yogyakarta.
- Ahmady.D, 1993, *Efektivitas Penyerapan Hg dan Pengaruhnya Pada Eceng Gondok*, skripsi Fakultas Biologi, UGM, Yogyakarta.
- Andriyani.U, 2005, *Studi pengolahan limbah cair industri pengalengan jamur dengan reaktor Constructed Wetland menggunakan tanaman kangkung air (Ipomoea aquatica Forsk)*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Anonim dalam Faisal, 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 pollutant*, A Willey Interscience Publication, New York.
- Darmono, 1994, *Logam dalam sistem biologi makhluk hidup*, UI Press, Jakarta
- Dhahiyat, 1974, *Aspek Ekologi Gulma Air Dalam analisa Dampak Lingkungan*, Kursus Dasar-dasar Analisa Lingkungan, Lembaga Ekologi Universitas Padjajaran, Bandung.
- Diana.B.A, 2007, *Pengolahan air limbah pabrik tahu dengan memanfaatkan tanaman kangkung air (Ipomea Aquatica Forks) dalam Constructed Wetland*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Dwidjoseputro, 1992, *Fisiologi Tumbuhan*, PT.Gramedia, Jakarta.
- Faisal, 2005, *Penurunan Konsentrasi Limbah Cair Industri Tapioka Dengan Constructed Wetland Menggunakan Eceng Gondok*, Skripsi TL, FTSP UII, Yogyakarta
- Effendi. H, 2003, *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Kanisius, Yogyakarta

- Gopal.P., 1987, *Water And Waste Water Technology*, S1- Vertion John Willey And Sens Inc. New York
- Grambel, R.P. and W.H. Patrick Jr, 1978, *Chemical and microbiological Properties of Anaerobic Soils and Sediments*, MS Thesis In Biological SystemEngineering, Blacksburg
- Kristanto, Philip, 2002, “ *Ekologi Industri*”, Andi Yogyakarta, Jogjakarta
- Metcalf, and Eddy, 1993, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 3<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, New York.
- Najichah, 2006, *Toksisitas logam berat pada tanaman*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta
- Palar.Drs. Heryando, 1994, *Pencemaran dan toksikologi logam berat*, Rineka Cipta, Jakarta
- Priyanto.B dan Prayitno.J, 2004, *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat*, jurnal purifikasi, <http://www.itl,bppt.com/sublab/ifloral.htm>
- Sastroutomo, 1991, *Ekologi Gulma*, PT.Gramedia, Jakarta.
- Sita.A.M, 2005, *Penyerapan logam berat oleh Eceng Gondok*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta
- Soerjani.S.W, 1975, *Eceng Gondok Sebagai Penyerap Pencemar*, SEAMEO, Biotrop, Bogor
- 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, *Pemurunan konsentrasi BOD, COD, TSS DAN pH limbah cair industri pembuatan tahu dengan Constructed Wetland yang menggunakan tanamn paku air (Azolla Pinnata)*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Tirtosoepomo.G., 1981, *Penelitian Gulma Air Waduk Sempor*, Departemen PU Dirjen Pengairan Pembangunan, Kedu Sleman, Sempor. Gombang

U.S. environmental Protection Agency, 1988, *Design Manual, Constructed Wetlands And Aquatic Plant System For Municipal Waste Water Treatment*, EPE/625/1-88/022, Center for Environmental Research Information. Cincinnati. OH 45268

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

Weaver, J.E and F.E Cleament, 1980, *Plant Ecology*, Mc Graw-hill Inc., New Delhi.

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.

# LAMPIRAN 1

## STANDAR AIR BUANGAN

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

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Badan Air Kelas I *)	Teknik Pengujian
	<b>FISIKA</b>			
1	Temperatur	°C	-	Temperatur
2	Zat padat terlarut	mg/l	1000	Gravimetri
3	Zat padat Tersuspensi	mg/l	50	Gravimetri
	<b>KIMIA ANORGANIK</b>			
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 <sub>3</sub> -N	mg/l	10	Spektrofotometri (Brusin)
10	NH <sub>3</sub> -N	mg/l	0.5	Spektrometri (Nesler)
11	Arsen (As)	mg/l	0.05	-
12	Kobalt (Co)	mg/l	0.2	AAS
13	Barium (Ba)	mg/l	1	-
14	Boron (B)	mg/l	1	-
15	Selenium (Se)	mg/l	0.01	AAS
16	Kadmium (Cd)	mg/l	0.01	AAS
17	Khrom (VI)	mg/l	0.05	AAS
18	Tembaga (Cu)	mg/l	0.02	AAS

19	Besi (Fe)	mg/l	0.3	AAS
20	Timbal (Pb)	mg/l	0.03	AAS
21	Mangan (Mn)	mg/l	0.1	AAS
22	Air Raksa (Hg)	mg/l	0.001	AAS
23	Seng (Zn)	mg/l	0.05	AAS
24	Khlorida (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	600	Titrimetri
25	Sianida (CN)	mg/l	0.02	Destilasi
26	Flourida (F)	mg/l	0.5	Spektrofotometri
27	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/l	0.06	Spektrofotometri (NED)
28	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	400	Spektrofotometri
29	Khlorin Bebas (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	0.03	Titrimetri
30	Belerang sebagai H <sub>2</sub> S	mg/l	0.002	Spektrofotometri
	<b>KIMIA ORGANIK</b>			
31	Minyak dan Lemak	mg/l	1000	Ekstraksi/gravimetri
32	Detergen sebagai MBAS	mg/l	200	Spektrofotometri
33	Fenol	mg/l	1	Titrimetri
	<b>MIKROBIOLOGI</b>			
34	Fecal Coliform	Jumlah per 100 ml	100	MPN
35	Total Coliform	Jumlah per 100 ml	1000	MPN

f



DINAS KESEHATAN PROPINSI DIY  
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA  
Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp 378187

SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN

Nama Pengirim : Mirna Oktaviana  
Alamat : UII Jl. Kaliurang Km. 14,4 Yogyakarta  
Jenis Contoh Uji : Limbah Cair  
Diambil/diterima Tgl : 04 Januari 2007  
Parameter uji : Merkuri (Hg)  
Tanggal pengujian : 04 Januari 2007

Hari ke 0

NO	Kode Sampel	Consentrasi mg/l	Abs
1	100 % Air	0,2963	0,0382
2	75 % Air	0,0998	0,0245
3	50% Air	0,0742	0,0227
4	25 % Air	0,0523	0,0211
5	0 % Air	0,0021	0,0176

Hari ke 3

NO	Kode Sampel	Consentrasi mg/l	Abs
1	100 % Air	0,2913	0,0378
2	75 % Air	0,0893	0,0237
3	50 % Air	0,0626	0,0219
4	25 % Air	0,0451	0,0206
5	0 % Air	0,0015	0,0176
6	100 % Air + Tanaman	0,2802	0,0371
7	75 % Air + Tanaman	0,0835	0,0233
8	50 % Air + Tanaman	0,0559	0,0214
9	25 % Air + Tanaman	0,0325	0,0198
10	0% Air + Tanaman	Ttd	

Hari ke 6

NO	Kode Sampel	Consentrasi mg/l	Abs
1	100 % Air	0,2789	0,0370
2	75 % Air	0,0805	0,0231
3	50 % Air	0,0514	0,0211
4	25 % Air	0,0308	0,0196
5	0% Air	ttd	
6	100 % Air + Tanaman	0,2661	0,0361
7	75 % Air + Tanaman	0,0671	0,0222
8	50 % Air + Tanaman	0,0359	0,0200
9	25 % Air + Tanaman	0,0123	0,0184
10	0 % Air + Tanaman	ttd	

Catatan : Hasil Pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji

Yogyakarta, 26 Januari 2007  
Penanggung Jawab Pemeriksaan

Yanti Purwaningsih, ST



DINAS KESEHATAN PROPINSI DIY  
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA  
Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN

Nama Pengirim : Mirna Oktaviana  
Alamat : UII Jl. Kaliuarang Km. 14,4 Yogyakarta  
Jenis Contoh Uji : Limbah Cair  
Diambil/diterima Tgl : 04 Januari 2007  
Parameter uji : Merkuri (Hg)  
Tanggal Pengujian : 04 Januari 2007

Hari Ke 9

NO	Kode Sampel	Consentrasi	Abs
1	100 % Air	0,2621	0,0358
2	75 % Air	0,0586	0,0216
3	50 % Air	0,0369	0,0201
4	25 % Air	0,0127	0,0184
5	0 % Air	Ttd	
6	100 % Air + Tanaman	0,2507	0,0350
7	75 % Air + Tanaman	0,0493	0,0209
8	50 % Air + Tanaman	0,015	0,0185
9	25 % Air + Tanaman	Ttd	
10	0 % Air + Tanaman	Ttd	

Hari ke 12

NO	Kode Sampel	Consentrasi mg/l	Abs
1	100 % air	0,2483	0,035
2	75 % air	0,0352	0,0200
3	50 % air	0,0186	0,0188
4	25 % air	0,0073	0,0180
5	0 % Air	Ttd	
6	100 % Air + Tanaman	0,0231	0,0191
7	75% Air + Tanaman	0,029	0,0195
8	50 % Air + Tanaman	Ttd	
9	25 % Air + Tanaman	Ttd	
10	0 % Air + Tanaman	Ttd	

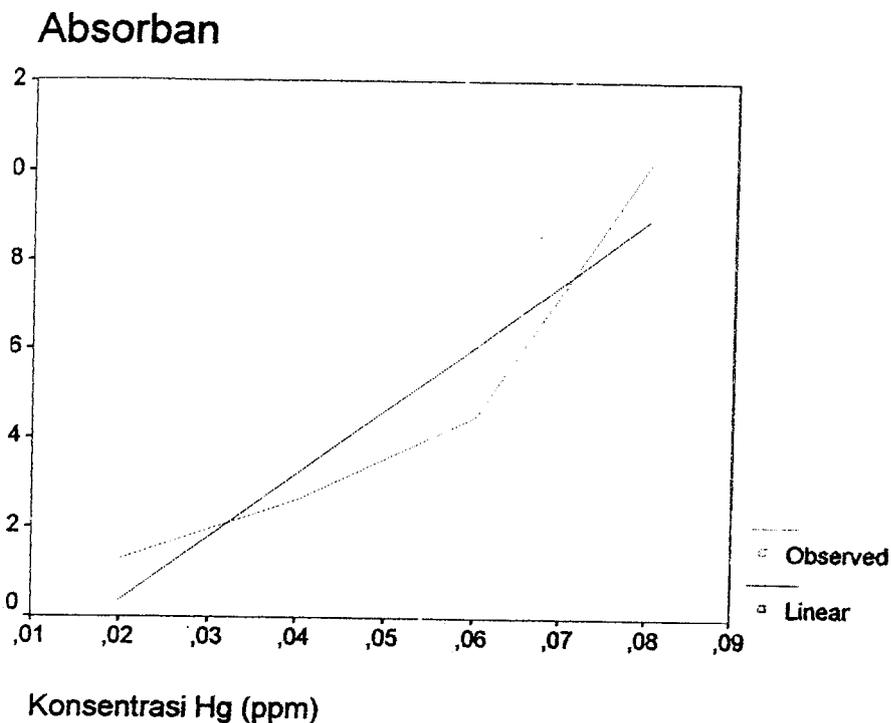
Catatan : Hasil Pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji

Yogyakarta, 26 Januari 2007  
Penanggung Jawab Pemeriksaan

Yanti Purwaningsih, ST

ependent: KONSHG

ependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1
ABSORBAN	LIN	,885	2	15,38	,059	-,2505	14,3200



### gression

#### Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

odel	Variables Entered	Variables Removed	Method
	Absorban <sup>a</sup>		Enter

- 1. All requested variables entered.
- 2. Dependent Variable: Konsentrasi Hg (ppm)

#### Model Summary

odel	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
	,941 <sup>a</sup>	,885	,827	,010728

- 1. Predictors: (Constant), Absorban

ANOVA<sup>b</sup>

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1,770E-03	1	1,770E-03	15,378	,059 <sup>a</sup>
Residual	2,302E-04	2	1,151E-04		
Total	2,000E-03	3			

a. Predictors: (Constant), Absorban

b. Dependent Variable: Konsentrasi Hg (ppm)

Coefficients<sup>a</sup>

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	2,123E-02	,009		2,337	,144
Absorban	6,180E-02	,016	,941	3,921	,059

a. Dependent Variable: Konsentrasi Hg (ppm)

# LAMPIRAN 3

## ANALISA STATISTIK

## Univariate Analysis of Variance

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
WAKTU	.00	0 Hari	5
	1.00	3 Hari	5
	2.00	6 Hari	5
	3.00	9 Hari	5
	4.00	12 Hari	5
LIMBAH	1.00	100%	5
	2.00	75%	5
	3.00	50%	5
	4.00	25%	5
	5.00	0%	5

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hg.Air

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.247 <sup>a</sup>	8	.031	312.921	.000
Intercept	.183	1	.183	1857.169	.000
WAKTU	.006	4	.002	15.555	.000
LIMBAH	.240	4	.060	610.288	.000
Error	.002	16	.000		
Total	.431	25			
Corrected Total	.248	24			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .990)

## Post Hoc Tests

### WAKTU

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Hg.Air

	(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0 Hari	3 Hari	.007100	.0062775	.788	-.012132	.026332
		6 Hari	.016680	.0062775	.106	-.002552	.035912
		9 Hari	.030600*	.0062775	.001	.011368	.049832
		12 Hari	.043180*	.0062775	.000	.023948	.062412
	3 Hari	0 Hari	-.007100	.0062775	.788	-.026332	.012132
		6 Hari	.009580	.0062775	.561	-.009652	.028812
		9 Hari	.023500*	.0062775	.013	.004268	.042732
		12 Hari	.036080*	.0062775	.000	.016848	.055312
	6 Hari	0 Hari	-.016680	.0062775	.106	-.035912	.002552
		3 Hari	-.009580	.0062775	.561	-.028812	.009652
		9 Hari	.013920	.0062775	.223	-.005312	.033152
		12 Hari	.026500*	.0062775	.005	.007268	.045732
	9 Hari	0 Hari	-.030600*	.0062775	.001	-.049832	-.011368
		3 Hari	-.023500*	.0062775	.013	-.042732	-.004268
		6 Hari	-.013920	.0062775	.223	-.033152	.005312
		12 Hari	.012580	.0062775	.308	-.006652	.031812
	12 Hari	0 Hari	-.043180*	.0062775	.000	-.062412	-.023948
		3 Hari	-.036080*	.0062775	.000	-.055312	-.016848
		6 Hari	-.026500*	.0062775	.005	-.045732	-.007268
		9 Hari	-.012580	.0062775	.308	-.031812	.006652
Bonferroni	0 Hari	3 Hari	.007100	.0062775	1.000	-.013314	.027514
		6 Hari	.016680	.0062775	.172	-.003734	.037094
		9 Hari	.030600*	.0062775	.002	.010186	.051014
		12 Hari	.043180*	.0062775	.000	.022766	.063594
	3 Hari	0 Hari	-.007100	.0062775	1.000	-.027514	.013314
		6 Hari	.009580	.0062775	1.000	-.010834	.029994
		9 Hari	.023500*	.0062775	.018	.003086	.043914
		12 Hari	.036080*	.0062775	.000	.015666	.056494
	6 Hari	0 Hari	-.016680	.0062775	.172	-.037094	.003734
		3 Hari	-.009580	.0062775	1.000	-.029994	.010834
		9 Hari	.013920	.0062775	.414	-.006494	.034334
		12 Hari	.026500*	.0062775	.006	.006086	.046914
	9 Hari	0 Hari	-.030600*	.0062775	.002	-.051014	-.010186
		3 Hari	-.023500*	.0062775	.018	-.043914	-.003086
		6 Hari	-.013920	.0062775	.414	-.034334	.006494
		12 Hari	.012580	.0062775	.623	-.007834	.032994
	12 Hari	0 Hari	-.043180*	.0062775	.000	-.063594	-.022766
		3 Hari	-.036080*	.0062775	.000	-.056494	-.015666
		6 Hari	-.026500*	.0062775	.006	-.046914	-.006086
		9 Hari	-.012580	.0062775	.623	-.032994	.007834

Based on observed means.

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

## Homogeneous Subsets

Hg.Air

	WAKTU	N	Subset		
			1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	12 Hari	5	.061880		
	9 Hari	5	.074460	.074460	
	6 Hari	5		.088380	.088380
	3 Hari	5			.097960
	0 Hari	5			.105060
	Sig.		.308	.223	.106

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: Hg.Air

	(I) LIMBAH	(J) LIMBAH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	100%	75%	.203280*	.0062775	.000	.184048	.222512
		50%	.227220*	.0062775	.000	.207988	.246452
		25%	.246320*	.0062775	.000	.227088	.265552
		0%	.275240*	.0062775	.000	.256008	.294472
	75%	100%	-.203280*	.0062775	.000	-.222512	-.184048
		50%	.023940*	.0062775	.011	.004708	.043172
		25%	.043040*	.0062775	.000	.023808	.062272
		0%	.071960*	.0062775	.000	.052728	.091192
	50%	100%	-.227220*	.0062775	.000	-.246452	-.207988
		75%	-.023940*	.0062775	.011	-.043172	-.004708
		25%	.019100	.0062775	.052	-.000132	.038332
		0%	.048020*	.0062775	.000	.028788	.067252
	25%	100%	-.246320*	.0062775	.000	-.265552	-.227088
		75%	-.043040*	.0062775	.000	-.062272	-.023808
		50%	-.019100	.0062775	.052	-.038332	.000132
		0%	.028920*	.0062775	.002	.009688	.048152
	0%	100%	-.275240*	.0062775	.000	-.294472	-.256008
		75%	-.071960*	.0062775	.000	-.091192	-.052728
		50%	-.048020*	.0062775	.000	-.067252	-.028788
		25%	-.028920*	.0062775	.002	-.048152	-.009688
Bonferroni	100%	75%	.203280*	.0062775	.000	.182866	.223694
		50%	.227220*	.0062775	.000	.206806	.247634
		25%	.246320*	.0062775	.000	.225906	.266734
		0%	.275240*	.0062775	.000	.254826	.295654
	75%	100%	-.203280*	.0062775	.000	-.223694	-.182866
		50%	.023940*	.0062775	.015	.003526	.044354
		25%	.043040*	.0062775	.000	.022626	.063454
		0%	.071960*	.0062775	.000	.051546	.092374
	50%	100%	-.227220*	.0062775	.000	-.247634	-.206806
		75%	-.023940*	.0062775	.015	-.044354	-.003526
		25%	.019100	.0062775	.078	-.001314	.039514
		0%	.048020*	.0062775	.000	.027606	.068434
	25%	100%	-.246320*	.0062775	.000	-.266734	-.225906
		75%	-.043040*	.0062775	.000	-.063454	-.022626
		50%	-.019100	.0062775	.078	-.039514	.001314
		0%	.028920*	.0062775	.003	.008506	.049334
	0%	100%	-.275240*	.0062775	.000	-.295654	-.254826
		75%	-.071960*	.0062775	.000	-.092374	-.051546
		50%	-.048020*	.0062775	.000	-.068434	-.027606
		25%	-.028920*	.0062775	.003	-.049334	-.008506

Based on observed means.

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

## Homogeneous Subsets

Hg.Air

	LIMBAH	N	Subset			
			1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	0%	5	.000720			
	25%	5		.029640		
	50%	5		.048740		
	75%	5			.072680	
	100%	5				.275960
	Sig.		1.000	.052	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

## Univariate Analysis of Variance

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
WAKTU	.00	0 Hari	5
	1.00	3 Hari	5
	2.00	6 Hari	5
	3.00	9 Hari	5
	4.00	12 Hari	5
LIMBAH	1.00	100%	5
	2.00	75%	5
	3.00	50%	5
	4.00	25%	5
	5.00	0%	5

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hg.TNM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.240 <sup>a</sup>	8	.030	198.846	.000
Intercept	.150	1	.150	989.495	.000
WAKTU	.009	4	.002	14.788	.000
LIMBAH	.232	4	.058	382.904	.000
Error	.002	16	.000		
Total	.392	25			
Corrected Total	.243	24			

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

## Post Hoc Tests

### WAKTU

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Hg.TNM

	(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0 Hari	3 Hari	.014640	.0077762	.365	-.009184	.038464
		6 Hari	.028780*	.0077762	.014	.004956	.052604
		9 Hari	.042060*	.0077762	.000	.018236	.065884
		12 Hari	.053060*	.0077762	.000	.029236	.076884
	3 Hari	0 Hari	-.014640	.0077762	.365	-.038464	.009184
		6 Hari	.014140	.0077762	.397	-.009684	.037964
		9 Hari	.027420*	.0077762	.020	.003596	.051244
		12 Hari	.038420*	.0077762	.001	.014596	.062244
	6 Hari	0 Hari	-.028780*	.0077762	.014	-.052604	-.004956
		3 Hari	-.014140	.0077762	.397	-.037964	.009684
		9 Hari	.013280	.0077762	.457	-.010544	.037104
		12 Hari	.024280*	.0077762	.045	.000456	.048104
	9 Hari	0 Hari	-.042060*	.0077762	.000	-.065884	-.018236
		3 Hari	-.027420*	.0077762	.020	-.051244	-.003596
		6 Hari	-.013280	.0077762	.457	-.037104	.010544
		12 Hari	.011000	.0077762	.628	-.012824	.034824
	12 Hari	0 Hari	-.053060*	.0077762	.000	-.076884	-.029236
		3 Hari	-.038420*	.0077762	.001	-.062244	-.014596
		6 Hari	-.024280*	.0077762	.045	-.048104	-.000456
		9 Hari	-.011000	.0077762	.628	-.034824	.012824
Bonferroni	0 Hari	3 Hari	.014640	.0077762	.781	-.010648	.039928
		6 Hari	.028780*	.0077762	.019	.003492	.054068
		9 Hari	.042060*	.0077762	.001	.016772	.067348
		12 Hari	.053060*	.0077762	.000	.027772	.078348
	3 Hari	0 Hari	-.014640	.0077762	.781	-.039928	.010648
		6 Hari	.014140	.0077762	.878	-.011148	.039428
		9 Hari	.027420*	.0077762	.028	.002132	.052708
		12 Hari	.038420*	.0077762	.001	.013132	.063708
	6 Hari	0 Hari	-.028780*	.0077762	.019	-.054068	-.003492
		3 Hari	-.014140	.0077762	.878	-.039428	.011148
		9 Hari	.013280	.0077762	1.000	-.012008	.038568
		12 Hari	.024280	.0077762	.066	-.001008	.049568
	9 Hari	0 Hari	-.042060*	.0077762	.001	-.067348	-.016772
		3 Hari	-.027420*	.0077762	.028	-.052708	-.002132
		6 Hari	-.013280	.0077762	1.000	-.038568	.012008
		12 Hari	.011000	.0077762	1.000	-.014288	.036288
	12 Hari	0 Hari	-.053060*	.0077762	.000	-.078348	-.027772
		3 Hari	-.038420*	.0077762	.001	-.063708	-.013132
		6 Hari	-.024280	.0077762	.066	-.049568	.001008
		9 Hari	-.011000	.0077762	1.000	-.036288	.014288

Based on observed means.

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

## Homogeneous Subsets

Hg.TNM

WAKTU	N	Subset			
		1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a,b</sup> 12 Hari	5	.052000			
9 Hari	5	.063000	.063000		
6 Hari	5		.076280	.076280	
3 Hari	5			.090420	.090420
0 Hari	5				.105060
Sig.		.628	.457	.397	.365

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: Hg.TNM

	(I) LIMBAH	(J) LIMBAH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	100%	75%	.199240*	.0077762	.000	.175416	.223064
		50%	.228780*	.0077762	.000	.204956	.252604
		25%	.245560*	.0077762	.000	.221736	.269384
		0%	.264560*	.0077762	.000	.240736	.288384
	75%	100%	-.199240*	.0077762	.000	-.223064	-.175416
		50%	.029540*	.0077762	.012	.005716	.053364
		25%	.046320*	.0077762	.000	.022496	.070144
		0%	.065320*	.0077762	.000	.041496	.089144
	50%	100%	-.228780*	.0077762	.000	-.252604	-.204956
		75%	-.029540*	.0077762	.012	-.053364	-.005716
		25%	.016780	.0077762	.245	-.007044	.040604
		0%	.035780*	.0077762	.002	.011956	.059604
	25%	100%	-.245560*	.0077762	.000	-.269384	-.221736
		75%	-.046320*	.0077762	.000	-.070144	-.022496
		50%	-.016780	.0077762	.245	-.040604	.007044
		0%	.019000	.0077762	.154	-.004824	.042824
	0%	100%	-.264560*	.0077762	.000	-.288384	-.240736
		75%	-.065320*	.0077762	.000	-.089144	-.041496
		50%	-.035780*	.0077762	.002	-.059604	-.011956
		25%	-.019000	.0077762	.154	-.042824	.004824
Bonferroni	100%	75%	.199240*	.0077762	.000	.173952	.224528
		50%	.228780*	.0077762	.000	.203492	.254068
		25%	.245560*	.0077762	.000	.220272	.270848
		0%	.264560*	.0077762	.000	.239272	.289848
	75%	100%	-.199240*	.0077762	.000	-.224528	-.173952
		50%	.029540*	.0077762	.016	.004252	.054828
		25%	.046320*	.0077762	.000	.021032	.071608
		0%	.065320*	.0077762	.000	.040032	.090608
	50%	100%	-.228780*	.0077762	.000	-.254068	-.203492
		75%	-.029540*	.0077762	.016	-.054828	-.004252
		25%	.016780	.0077762	.465	-.008508	.042068
		0%	.035780*	.0077762	.003	.010492	.061068
	25%	100%	-.245560*	.0077762	.000	-.270848	-.220272
		75%	-.046320*	.0077762	.000	-.071608	-.021032
		50%	-.016780	.0077762	.465	-.042068	.008508
		0%	.019000	.0077762	.265	-.006288	.044288
	0%	100%	-.264560*	.0077762	.000	-.289848	-.239272
		75%	-.065320*	.0077762	.000	-.090608	-.040032
		50%	-.035780*	.0077762	.003	-.061068	-.010492
		25%	-.019000	.0077762	.265	-.044288	.006288

Based on observed means.

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

## Homogeneous Subsets

Hg.TNM

LIMBAH	N	Subset			
		1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a,b</sup> 0%	5	.000420			
25%	5	.019420	.019420		
50%	5		.036200		
75%	5			.065740	
100%	5				.264980
Sig.		.154	.245	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

# LAMPIRAN 4

## TABEL PENGAMATAN KONDISI AIR

**TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 100 %**

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

**TABEL KONDISI AIR LIMBAH RAKTOR KONTROL 75 %**

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

**TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 50 %**

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

**TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 25 %**

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

**TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 0 %**

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

# LAMPIRAN 5

## TABEL PENGAMATAN KONDISI TANAMAN

### Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok Pada Konsentrasi Limbah 100%

Hari pada limbah	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna putih, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Normal, berwarna putih, panjang batang rata-rata 40 cm	5-6 helai, jumlah daun 10 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 14x13 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	Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 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 14x13 cm	0	13	7.5
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, 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, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	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 14x13 cm	0	13	8
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna hitam kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	8
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Agak layu, berwarna hitam kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13 cm	0	13	8

Hari ke-10	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Layu, basah, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Coklat, basah, 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

## Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok Pada Konsentrasi Limbah 75%

Hari pada limbah	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 14x13 cm	0	13	7
Hari ke-3	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	7.5
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 14x13 cm	0	13	7.5
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, sebagian hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x11 cm	0	13	8
Hari ke-6	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, sebagian hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x11 cm	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, sebagian coklat tua, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x9 cm	0	13	8
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.3 cm.	Agak layu, berwarna coklat tua, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x9 cm	0	13	8
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 40 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun	0	13	7.5

	rata-rata 16.5 cm.		cm			
Hari ke-10	Berwarna , 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	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, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x7.5cm	0	13	7.5

### Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok Pada Konsentrasi Limbah 50%

Hari pada limbah	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.	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-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 14x11.5 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 14x11.5 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, sebagian hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x11.5 cm	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 hitam kecoklatan, akar 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-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 41 cm	Mulai layu, sebagian hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun	0	13	7

	rata-rata 16.5 cm.		cm			
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, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x11cm	0	13	7
Hari ke-11	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-12	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

### Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok Pada Konsentrasi Limbah 25%

Hari pada limbah	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.	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-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, 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 cm	0	13	7
Hari ke-8	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41.5 cm	Segar, hijau, ada tunas baru, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13.5 cm	0	13	7
Hari ke-9	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 16.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41.5 cm	Segar, hijau, ada tunas baru, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x13.5 cm	0	13	7

	rata-rata 17 cm.	rata 42cm	daun			
Hari ke-10	Normal, berwarna coklat tua, akar 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 14x14cm	0	13	7
Hari ke-11	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-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

### Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok Pada Konsentrasi Limbah 0%

Hari pada limbah	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 40.5 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 16.5 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 41 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, 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 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 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 41.5 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 14x14 cm	0	13	6.5
Hari ke-8	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, 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 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 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-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 cm	0	13	6.5

# LAMPIRAN 6

## DOKUMENTASI REAKTOR PENELITIAN



**(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%**

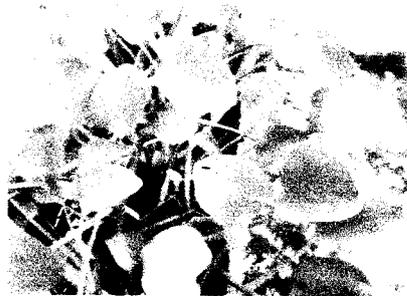


**(d) Konsentrasi 75%**



**(e) Konsentrasi 100%**

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



**(a) Konsentrasi 0%**



**(b) Konsentrasi 25%**



**(c) Konsentrasi 50%**



**(d) Konsentrasi 75%**

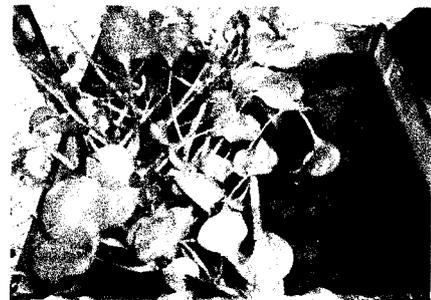


**(e) Konsentrasi 100%**

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



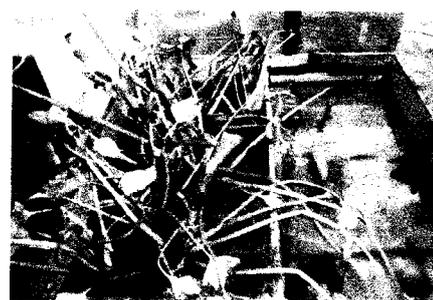
**(a) Konsentrasi 0%**



**(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%

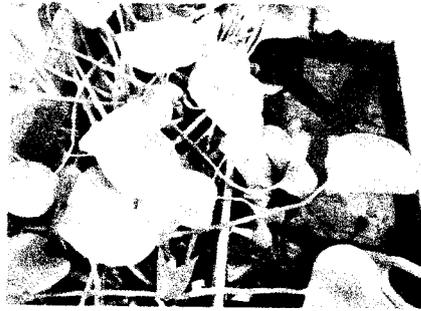


(d) Konsentrasi 75%



(e) Konsentrasi 100%

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



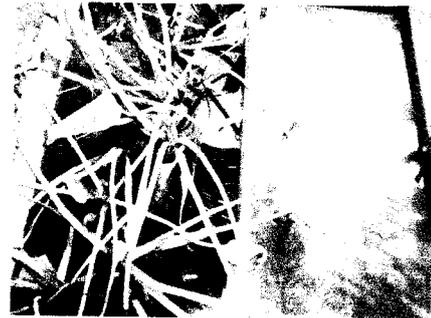
(a) Konsentrasi 0%



(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	TEKNIK
1	Mirna Oktaviana	08513030	Teknik Lingkungan

**JUDUL TUGAS AKHIR** Penurunan Konsentrasi Polutan Limbah Cair Laboratorium di Wilayah Lingkungan Ull dengan Constructed Wetland Menggunakan Pencil Gondok (Eichhornia crassipes)

**PERIODE**  
**TAHUN 2005/2006**

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

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

Yogyakarta, 14 Oktober 2005  
Koordinator TA



(Eko Siswoyo, ST)

Catatan  
Seminar  
Sidang  
Pengadaran

CATATAN REVISI HASIL KUSAS AKHIR

No. Revisi	Catatan Revisi	Tanda Tangan	
		Pemb. I	Pemb. II
	Menambahkan referensi / kutipan yang relevan / spesifik Ditambahkan referensi terdahulu Hulu Hg yang relevan / konsisten Eksis maka pada bagian penulisan Perbaiki redaksi / penulisan		
1/4/07	Resmipula & sebelumnya kepada pembuat Abstrak & hasil		
2/4/07	Perbaiki Abstrak Gambar dan keti dalam foto dan ada eff dr Alex pd penulisan seblanga Scap. Jember		