

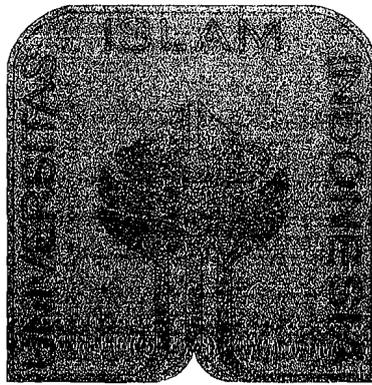
TA/TL/2007/0192

PERPUSTAKAAN FTSP UH	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	10-12-2007
NO. JUDUL :	2755
NO. INV. :	5120002755001
NO. INDUK :	002755

TINGKAT PENURUNAN TIMBAL (Pb)
LIMBAH CAIR TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA DENGAN
CONSTRUCTED WETLANDS MENGGUNAKAN
TANAMAN ECENG GONDOK
(Eichornia Crassipes)

R.
 628.4622
 Abd
 t
 1

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



Disusun oleh :

NAMA : L.M.SUBHAN ABDULLAH
 NIM : 02 513 023

2007, 154 p. bel 38

• Tel. Cgkr. limbah lga
 • Kadar Timbal (Pb)
 • wet. Constructed wetland

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

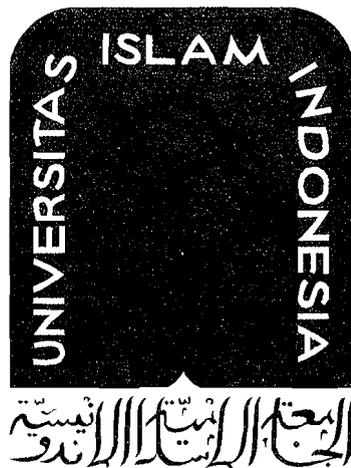
judul

MILIK PERPUSTAKAAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
 PERENCANAAN UIN YOGYAKARTA

TA/TL/2007/0192

TUGAS AKHIR
TINGKAT PENURUNAN TIMBAL (Pb)
LIMBAH CAIR TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA DENGAN
CONSTRUCTED WETLANDS MENGGUNAKAN TANAMAN
ECENG GONDOK
(*Eichornia Crassipes*)

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



Oleh:

L.M.SUBHAN ABDULLAH

02 513 023

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

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**TINGKAT PENURUNAN TIMBAL (Pb)
DARI LIMBAH CAIR TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA DENGAN
CONSTRUCTED WETLANDS MENGGUNAKAN TANAMAN
ECENG GONDOK
(*Eichornia Crassipes*)**



IR. H. KASAM, MT

Dosen Pembimbing I

Tanggal : 07-07-07

EKO SISWOYO, ST

Dosen Pembimbing II

Tanggal : 07-07-07

**Dengan Sepenuh Hati, Cinta
dan
Kasih Sayang
Kupersembahkan Tugas Akhir
ini Kepada:**

Allah S.W.T.

Karena segala yang ada hanyalah milik-Nya. "Dan kepunyaan Allah-Lah timur dan barat, maka kemanapun kamu menghadap, disitulah wajah Allah".

(Al-Baqarah:115)

Keluargaku

Kupersembahkan karya kecilku ini untuk kebahagiaan kedua orang tua-Ku 'n Kakak-kakaku yang merupakan anugerah illahi dalam hidupku, karena kalian-Lah aku bisa seperti sekarang.

Poetri Koe

"Kemarin aku katakan, hari ini kukatakan lagi, kalau kemarin, hari ini dan selamanya aku akan selalu menyayangimu".

Sahabatku

"Jadilah hijau terus agar selalu bertumbuh jangan pernah menjadi matang karena akan menjadi busuk"

"Persahabatan itu seperti tangan dengan mata. Saat tangan terluka, mata menangis. Saat mata menangis tangan menghapus"

MOTTO

*Sesungguhnya sholatku, ibadahku, hidupku, dan matiku hanyalah untuk Allah, Tuhan semesta Alam
(QS. Al. An'am : 162)*

*Sesungguhnya Allah telah membeli dari orang - orang mukmin, diri dan harta mereka dengan
memberikan surga untuk mereka (QS. At. Taubah : 111)*

*Dan Rabb kalian berfirman, " Memohonlah Kepada-Ku niscaya Aku akan mengabulkan untuk kalian
(QS. Al Mukmin : 60)*

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan (QS. Asy. Syarh : 6)

*Hai orang - orang yang beriman jika kalian menolong (agama) Allah, niscaya Dia akan menolong dan
meneguhkan kedudukan kalian (QS. Muhammad : 7)*

*Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah apa - apa yang ada pada suatu kaum sampai mereka
mengubah apa - apa yang ada pada diri mereka (QS. Ar Ra'du : 11)*

*Takut akan cinta adalah takut akan hidup. Dan siapa yang takut hidup berarti dia telah tiga
perempat mati (Bertrand Russel)*

Tengadah ke angkasa Ilmu Allah yang tak bertepi, Berpijaklah rendah hati di bumiNya

*Pilihlah kehilangan kekayaan daripada kehilangan kejujuran;
yang pertama akan mengganggu pikiran anda untuk sementara waktu;
yang belakangan akan mendatangkan penyesalan yang lama kepada anda
(Chilo)*

*Seorang patriot sejati tidak akan menangis dalam kesedihan tapi dia akan menagis dalam kebahagiaan
karena cita-citanya tercapai
(Ir. Soekarno)*

Jenius adalah 5% dari inspirasi dan 95% keringat

(Thomas A Edison)

Bukan kemampuan kita yang menunjukkan siapa diri kita,

Tapi pilihan kitalah yang menunjukkan

Siapa sebenarnya diri kita ini.

(Albus Dumbledore dalam Harry Potter an The Chambe Of Secrets)

“Sungguh Bersama Kesukaran Pasti Ada Kemudahan,

Dan Bersama Kesukaran Pasti Ada Kemudahan,

Bila Selesai Suatu Tugas,

Mulailah Tugas Yang Lain Dengan Sungguh-Sungguh,

Hanya Kepada Tuhanmu Hendaknya Kamu Berharap”.

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

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-NYA, sehingga penulisan tugas akhir dengan judul “ **Tingkat Penurunan Timbal (Pb) Dari Limbah Cair TPA Piyungan Dengan *Constructed Wetlands* Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*)** ” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk dapat menyelesaikan Program Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Disadari bahwa selama pelaksanaan Tugas akhir di lapangan dan di laboratorium sampai selesainya laporan ini banyak pengarahan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. II. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Luqman Hakim, ST, MSi, selaku Ketua Jurusan Teknik lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

3. Bapak Ir. H. Kasam, MT, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah memberikan masukan dan kesabaran hingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Eko Siswoyo, ST, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah memberikan kesempatan, bimbingan dan pengarahan kepada kami dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Andik Yulianto, ST, Bapak Hudori ST, Mas Agus dan seluruh Dosen yang mengajar di Jurusan Teknik Lingkungan, Terima kasih atas ilmunya selama ini.
6. Mas Iwan, terima kasih atas kerjasamanya di laboratorium.
7. Ibu Rosdiana dan staf BPKL, terima kasih atas semua pelayanan dalam menganalisis hasil penelitianku.
8. Dengan sepenuh hati, cinta dan sayang Kupersembahkan Tugas Akhir ini kepada Bapak, Ibu, Ma'Indink. Bu'wid, Ka'Ayu dan Ma'Olya tercinta atas dorongan, semangat, dukungan, naschat, pengertian, perhatian, kasih sayang dan cinta yang tiada pernah henti serta do'a untuk kebaikan dan keberhasilanku.
9. drh. Putri Widya Fia Ningsih yang selalu setia menemani dalam suka dan duka, semoga ALLAH menyatukan kita di dunia dan akhirat serta selalu memberi kita kemudahan dan perlindungan-Nya. Amien
10. Ponakanku Wiwid, Indri, Aman, Bayu, Olya dan Nayomi, terimakasih atas kasih sayang dan keceriaannya.
11. Sahabat seperjuangan (Anto ji, Koko cut dan Rian kul), terima kasih atas kerjasama dan pikirannya.

12. Tidak lupa buat Bu Kasnun yang telah memberikan tumpangan kost Pandawa Lima selama ini.
13. Sobat-sobatku Teknik Sipil 99 (Hendra, Boy, Burlian, Luqman Hakim, Saini, Sandra). Terimakasih atas motivasi untuk tetap berjuang di UII.
14. Anak-anak TL 2002 (Fadli tatang, Bang Lai, Pa kemat, Andi, Ria, Dian, Maya, Uci dan masih banyak lagi yang tidak bisa di sebutkan satu-persatu. Keep rocking guys (metalica tunggal ika)
15. Dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dengan keterbatasan kemampuan penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dan banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, untuk itu segala kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Teknik Lingkungan pada khususnya.

وَالشُّكْرُ لِلَّهِ وَالرَّحْمَةُ لِلَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Yogyakarta, Juli 2007

Penulis,

L.M.SUBHAN ABDULLAH

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
ABSTRAKSI.....	
ABSTRACT.....	
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sistem <i>Constructed Wetland</i>	7
A. Mekanisme Pengolahan.....	8

B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi proses Pengolahan.....	9
C. Keunggulan Sistem <i>Constructed Wetland</i> dari Sistem Konvensional Lainnya.....	11
2.2 Logam Berat.....	15
2.3 Toksisitas Logam Berat pada Tanaman.....	17
2.4 Urutan toksisitas logam berat pada tanaman.....	19
2.5 Timbal (Pb) <i>Constructed Wetland</i>	20
A. Absorpsi Pb.....	22
B. Toksisitas Pb.....	23
C. Keracunan oleh Logam Pb.....	24
D. Efek Pb dan Sintesa Haemoglobin.....	26
E. Efek Pb Pada Sistem Syaraf.....	28
F. Efek Pb Terhadap Sistem Urinaria.....	28
G. Efek Pb Terhadap Sistem Reproduksi.....	29
H. Efek Pb Terhadap Sistem Endoktrin.....	29
I. Efek Pb Terhadap Sistem Jantung.....	30
J. Interaksi Antara Pb dan Logam Lain.....	30
K. Pb di dalam Air dan Makanan.....	31
2.6 Tanaman Eceng Gondok (<i>Eichornia crassipes</i>)	32
A. Klasifikasi Eceng Gondok.....	32
B. Ciri-ciri Morfologis Eceng Gondok.....	35
C. Ciri-ciri fisiologis Eceng Gondok.....	37
D. Pertumbuhan Eceng Gondok.....	38

E. Manfaat dan Kerugian dari Eceng Gondok.....	40
F. Penyerapan Logam Berat oleh Eceng Gondok.....	41
G. Kemampuan penyerapan logam berat oleh tanaman eceng gondok pada limbah dengan organik tinggi dan organik rendah.....	43
2.7 Fitoremediasi.....	44
2.8 Penelitian-penelitian yang Menggunakan Tanaman Air.....	45
2.9 Lindi TPA Piyungan.....	48
2.10 Spektrofotometer Serapan Atom.....	51
1. Alat dan bahan.....	52
2. Pengendalian mutu analisis.....	53
3. Analisis.....	54
4. Perhitungan.....	58
2.11 Hipotesa.....	58
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	59
3.1 Lokasi Penelitian.....	59
3.2 Jenis Penelitian.....	59
3.3 Waktu Penelitian.....	59
3.4 Metode Penelitian.....	60
3.5 Desain <i>Constructed wetlands</i>	62
3.6. Metode Pelaksanaan Penelitian.....	64
3.6.1. Kualitas Air Limbah.....	64

3.6.2	Tanaman Eceng Gondok.....	65
3.6.3	Desain Sampling.....	65
3.6.4	Pengambilan Sampling.....	66
3.6.5	Spektrofotometer Serapan Atom.....	66
3.7	Metode Analisa Laboratorium.....	67
3.8	Metode Analisa Pertumbuhan Tanaman dan Penurunan Limbah	68
3.9	Metode Analisa Data.....	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		70
4.1	Konsentrasi Awal Logam Timbal (Pb) dalam Limbah Cair TPA Piyungan.....	70
4.2	Analisa Parameter Pb Pada Limbah Cair TPA Piyungan.....	72
4.3	Analisa Tingkat Penurunan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok.....	75
4.3.1	Analisa Tingkat Penurunan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok Dengan Tingkat Penyerapan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok.....	77
4.4	Effisiensi Penurunan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok..	78
4.5	Analisa Tanaman Eceng Gondok.....	80
4.5.1	Analisa Pertumbuhan Tanaman dan Air Limbah Dalam Reaktor.....	82
4.6	Pengaruh Konsentrasi Air Limbah TPA Piyungan Terhadap Daya Serap Akar Tanaman.....	97

4.7	Pengaruh Konsentrasi Air Limbah TPA Piyungan Terhadap Pertumbuhan Panjang Tanaman.....	97
4.8	Pengaruh Konsentrasi Air Limbah TPA piyungan Terhadap Pertumbuhan Luas Daun Tanaman.....	98
4.9	Uji Statistik Parameter Timbal (Pb).....	99
	A. Uji Statistik Parameter Pb Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok.....	99
	B. Uji Statistik Parameter Pb Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok.....	101
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	103
	5.1 Kesimpulan.....	103
	5.2 Saran.....	104
	DAFTAR PUSTAKA.....	
	LAMPIRAN.....	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Kriteria Desain Untuk <i>Constructed Wetland</i> 14
Tabel 2.1	Karakteristik Limbah Cair / Lindi TPA Piyungan Yogyakarta... 51
Tabel 3.1	Kriteria Dimensi Reaktor..... 63
Tabel 3.2	Variasi Konsentrasi Limbah Cair..... 65
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Awal Konsentrasi Timbal (Pb)..... 71
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Konsentrasi Awal pada Tanaman Eceng Gondok..... 61 71
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Konsentrasi Pb pada Reaktor Uji..... 72
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Konsentrasi Pb pada Reaktor Kontrol..... 73
Tabel 4.5	Tingkat Penurunan Pb pada Reaktor Uji..... 76
Tabel 4.6	Tingkat Penyerapan Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok..... 77
Tabel 4.7	Effisiensi Penurunan Pb pada Reaktor Kontrol..... 78
Tabel 4.8	Effisiensi Penurunan Pb pada Reaktor Uji..... 79
Tabel 4.9	Kondisi Air Limbah 100%..... 83
Tabel 4.10	Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok 100%..... 85
Tabel 4.11	Kondisi Air Limbah 75%..... 86
Tabel 4.12	Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok 75%..... 88
Tabel 4.13	Kondisi Air Limbah 50%..... 89
Tabel 4.14	Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok 50%..... 91
Tabel 4.15	Kondisi Air Limbah 25%..... 92
Tabel 4.16	Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok 25%..... 93

Tabel 4.17	Kondisi Air Limbah 0%.....	95
Tabel 4.18	Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok 0%.....	96
Tabel 4.19	Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Waktu Terhadap Kadar Penurunan Pb.....	100
Tabel 4.20	Pengaruh Variasi Konsentrasi air Limbah dan Waktu Terhadap Penurunan Kadar Pb.....	101

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Reaktor Sistem <i>Constructed Wetland</i>	9
Gambar 2.2 <i>Constructed Wetland</i> Tipe FWS.....	14
Gambar 2.3 <i>Constructed Wetland</i> Tipe SSF.....	15
Gambar 2.4 Eceng Gondok.....	38
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	61
Gambar 3.2 Reaktor Tampak Atas (Tanpa Skala).....	63
Gambar 3.3 Reaktor Tampak Samping (Tanpa Skala).....	64
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Konsentrasi Pb pada Reaktor Uji.....	73
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Konsentrasi Pb pada Reaktor Kontrol....	74
Gambar 4.3 Grafik Tingkat Penurunan Logam Pb pada Reaktor Uji.....	76
Gambar 4.4 Grafik Effisiensi Penurunan Logam Pb pada Reaktor Kontrol....	79
Gambar 4.5 Grafik Effisiensi Penurunan Logam Pb pada Reaktor Uji.....	80

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I

Standar Air Buangan

LAMPIRAN II

Hasil Uji Laboratorium

LAMPIRAN III

Hasil Perhitungan Statistik

LAMPIRAN IV

Hasil Pengamatan Visual

LAMPIRAN V

Dokumentasi

**PENURUNAN LOGAM TIMBAL (Pb)
PADA LIMBAH CAIR TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA DENGAN
CONSTRUCTED WETLANDS MENGGUNAKAN TANAMAN
ECENG GONDOK (*Eichornia Crassipes*)**

Kasam¹⁾, Eko Siswoyo²⁾, L.M.Subhan Abdullah³⁾

INTISARI

Salah satu permasalahan lingkungan yang ditimbulkan dari adanya lindi di TPA Piyungan yaitu pencemaran pada badan air, sungai dan air tanah. Untuk mengatasi permasalahan ini salah satunya dengan sistem *Constructed Wetlands* dengan menggunakan tanaman eceng gondok. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat penurunan konsentrasi Timbal (Pb) yang terdapat dalam limbah cair TPA Piyungan dengan *Constructed Wetlands* menggunakan tanaman eceng gondok dan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas serapan tanaman eceng gondok terhadap kandungan Timbal (Pb) dalam limbah cair TPA Piyungan.

Dalam penelitian ini digunakan reaktor terbuat dari kayu yang dilapisi dengan plastik dengan ukuran 0,5 m x 1,0 m. setiap reaktor diberi media tanah 5 cm, dan diberi tanaman sebanyak 14 buah. Reaktor tersebut diberi perlakuan dengan konsentrasi limbah yang bervariasi (100%, 75%, 50%, 25%, dan 0%), dan waktu pengambilan sampel (0, 3, 6, 9, 12 hari). Dengan menggunakan metode SSA (Spektrofotometri Serapan Atom)

Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa penurunan logam Pb pada limbah cair TPA Piyungan hari ke-12, yaitu sebesar 0.0501mg/L pada konsentrasi 100%, 0.0295mg/L pada konsentrasi 75%, 0.0267mg/L pada konsentrasi 50% dan 0.0041 mg/L pada konsentrasi 25%.

Kata kunci : *constructed wetlands*, eceng gondok, lindi, timbal (Pb)

¹ Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

² Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

³ Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

**DECREASING LEVEL OF PLUMBUM (Pb) CONCENTRATION
FROM LIQUID WASTE TPA PIYUNGAN
WITH CONSTRUCTED WETLANDS SYSTEM
USING WATER HYACINTH (*Eichhornia crassipes*) PLANT**

Kasam¹⁾, Eko Siswoyo²⁾, L.M.Subhan Abdullah³⁾

ABSTRACT

One of the environmental problem that caused by leachate in TPA Piyungan is causing a pollution in water body, like as river and ground water. To solve this problem one of the treatment that is with used constructed wetlands system using water hyacinth (*eichhornia crassipes*) plant. The purpose of research are to know the absorption capacities doing by *eichhornia crassipes* composition of plumbum in liquid waste, TPA Piyungan and to know the waste of TPA Piyungan may influenced growth of *eichhornia crassipes*.

This research use reactor made from wood that covered with plastics sized 0.5 m x 1.0 m. Soil was given to each of reactor which is 5 cm, and 14 plants. Reactor was given treatment with variation of liquid waste concentration (100%, 75%, 50%, 25%, dan 0%), and sampling time (0, 3, 6, 9, 12 days). Using AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometri*).

Based on the research received, the level of decreasing of Plumbum to the liquid waste of TPA Piyungan on the 12 days are at 100% concentration is equal to 0.0501mg/L, 75% concentration is equal to 0.0295 mg/L, 50% is equal to 0.0267mg/L and 25% concentration is equal to 0.0041 mg/L

Keyword: *constructed wetlands*, leachate, plumbum (Pb), water hyacinth (*eichhornia crassipes*)

¹ Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

² Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

³ Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam upaya mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh sampah, maka perlu adanya perhatian khusus terhadap pengelolaan sampah. Salah satu cara adalah dengan mencari berbagai alternatif pengolahan sampah yang murah, efektif dan efisien tetapi dapat mendatangkan manfaat yang besar.

Sampah merupakan bahan padat buangan dari kegiatan rumah tangga, pasar, perkotaan, industri dll. Jumlah timbunannya meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya kegiatan dan jumlah penduduk perkotaan. Dengan jumlah timbunan yang besar dan tanpa penanganan yang baik, sampah kota akan menimbulkan berbagai masalah sosial dan lingkungan yang sangat berat. Menyadari bahwa sampah telah menjadi masalah bersama, maka sebagian besar Pemerintah Daerah termasuk Kota Yogyakarta melaksanakan kerjasama pengelolaan prasarana dan sarana persampahan. (Kartamantul website, 10/12/2006)

Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) Kota Yogyakarta terletak di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pembangunan TPA ini dilakukan pada tahun 1992 dan mulai dioperasikan tahun 1995 di atas tanah seluas 12 hektar dengan kapasitas 2,7 juta

meter kubik sampah, dengan masa pakai diperkirakan mencapai 10 (sepuluh) tahun. (Heru Subaris, 2006)

Pada umumnya di TPA proses dekomposisi sampah organik yang akan menghasilkan gas-gas dan cairan yang disebut Lindi (*Leachate*). Lindi mengandung bahan-bahan kimia, baik organik maupun anorganik dan sejumlah bakteri patogen. Dalam lindi tersebut juga mengandung amoniak, timbal, khrom dan mikroba parasit seperti kutu air (*sarcoptes sp*) yang dapat menyebabkan gatal-gatal pada kulit. 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.

Salah satu alternatif pengolahan yang murah dan sederhana serta mempunyai tingkat efisiensi removal yang relatif tinggi yaitu dengan Natural Treatment (pengolahan air limbah secara alamiah) dengan system *Constructed Wetlands*. Menurut beberapa kajian tentang system *Constructed Wetlands*, maka diperoleh hasil penurunan logam Pb oleh tanaman eceng gondok di dalam sistem *Constructed Wetlands* pada konsentrasi air limbah 100% sebesar 17.31% (Widyanti, 2007)

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 transfer, adsorpsi, pengolahan kimia dan pengolahan biologis karena aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas tanaman untuk proses fotosintesis dan pengoksida (Metcalf & Eddy, 1993). Dalam beberapa hal sistem ini menguntungkan karena biayanya murah, sederhana, dan memiliki kemampuan proses meminimalisasi kadar limbah berbahaya yang tinggi.

Ada tiga fungsi dasar dari *Constructed wetlands* yang menjadikan sistem pengolahan limbah cair 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.

Pada penelitian ini tanaman air yang digunakan untuk menyerap logam berat adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Eceng gondok merupakan salah satu jenis tumbuhan air yang pertama kali ditemukan oleh Karl von Martius pada tahun 1824 di sungai Amazon, Brazilia karena kecepatan pertumbuhan eceng gondok yang

tinggi tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Pemanfaatan eceng gondok untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar relatif murah dan sederhana. Khususnya terhadap limbah domestik dan industri. Eceng gondok memiliki kemampuan menyerap zat pencemar yang tinggi dari pada jenis tumbuhan lainnya (Falan, 2004 dalam Imam, 2007).

1.2 Rumusan Masalah

- a. Apakah sistem *Constructed Wetlands* dengan menggunakan tanaman eceng gondok dapat menurunkan konsentrasi Pb yang terkandung dalam limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta?
- b. Berapakah efisiensi penurunan konsentrasi logam Pb pada limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan *Constructed Wetlands* ?
- c. Apakah limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta akan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*).

1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengolahan yang digunakan untuk mengolah limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta yaitu sistem *Constructed Wetlands* dengan tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*).

2. Pada penelitian ini jenis *reaktor wetlands* yang digunakan adalah *Free Water Surface* (FWS).
3. Tanaman yang digunakan berupa tanaman eceng gondok dengan berat yang sama.
4. Bahan baku limbah berasal dari TPA Piyungan Yogyakarta.
5. Parameter yang akan diuji pada penelitian ini adalah konsentrasi Pb.
6. Penelitian ini akan dilakukan dengan skala laboratorium.
7. Konsentrasi limbah pada reaktor dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.
8. Waktu pengujian konsentrasi Pb dilakukan pada hari ke 0, 3, 6, 9 dan 12.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pengolahan limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan *constructed wetlands* yang menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui tingkat penurunan konsentrasi Pb yang terdapat dalam limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan *Constructed Wetlands*.
2. Untuk mengetahui tingkat produktifitas tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) pada pengolahan limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta.
3. Untuk mengetahui pengaruh limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta terhadap tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Meningkatkan keilmuan peneliti dalam bidang pengolahan air limbah
2. Memberikan salah satu alternatif pengolahan terhadap limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta.
3. Meminimalisasi terjadinya pencemaran di badan air, akibat limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta.
4. Dapat mengetahui apakah tanaman eceng gondok ini mampu menurunkan konsentrasi logam Pb secara maksimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem *Constructed wetlands*

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 (Cowardin dkk, 1979 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.

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

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

A. 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 :

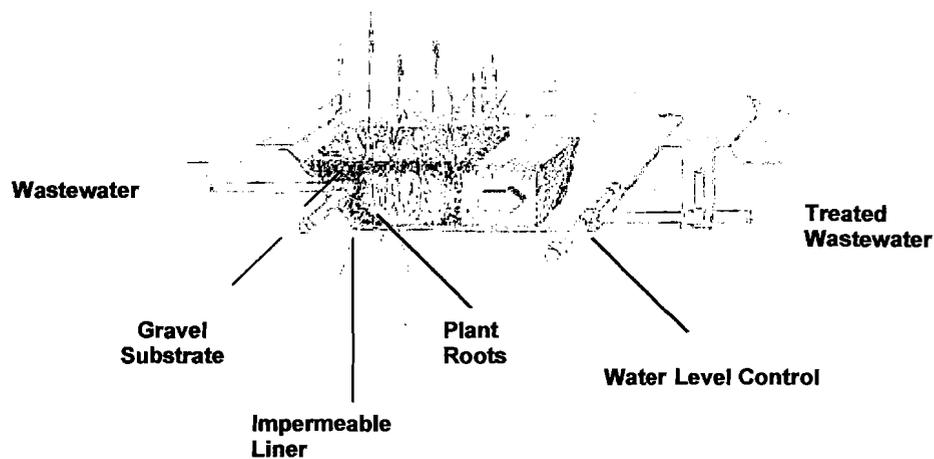
1. *Solid* (padatan)

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 dalam Fauzi, 2006).

2. Bahan Organik

BOD terlarut dapat dihilangkan karena aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *Constructed wetland*. 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 dalam Widyanti, 2007). Mekanisme pengolahan yang terjadi adalah :



Gambar 2.1 Reaktor Sistem *Constructed wetlands*

B. 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 (Vymazal, 1998 dalam Fauzi, 2006).

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

3. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan dapat berkembang dalam sistem ini adalah mikroorganisme *heterotropik aerobik*, sebab pengolahan dengan mikroorganisme ini dapat berjalan lebih cepat dibanding secara *anaerobik* (Vymazal, 1999 dalam Fepriyane, 2007). 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 20⁰C - 30⁰C (Wood,1993 dalam Fauzi, 2006).

C. 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.

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

Kendala-kendala diatas dapat diatasi dengan sistem *constructed 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 dalam Mayasari,2007). Sistem *Constructed wetlands* dikonstruksi sedemikian rupa dan diisi dengan batuan, tanah dan zat organik untuk mendukung tumbuhan seperti *reeds, cattail, eichornia*.

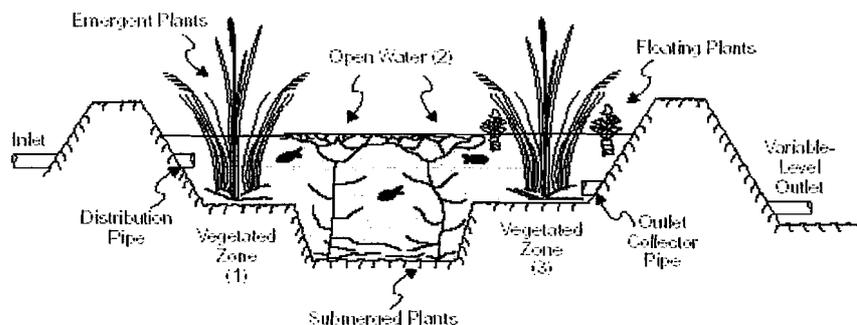
Mempertimbangkan hal-hal di atas tampak bahwa sistem *Constructed wetlands* merupakan salah satu alternatif pengolahan air limbah yang sangat potensial untuk diterapkan di Indonesia.

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*, *seedge*, dan *rush*. Kondisi yang harus diperhatikan dalam sistem ini adalah :

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



Gambar 2.2 *Constructed wetlands* tipe FWS

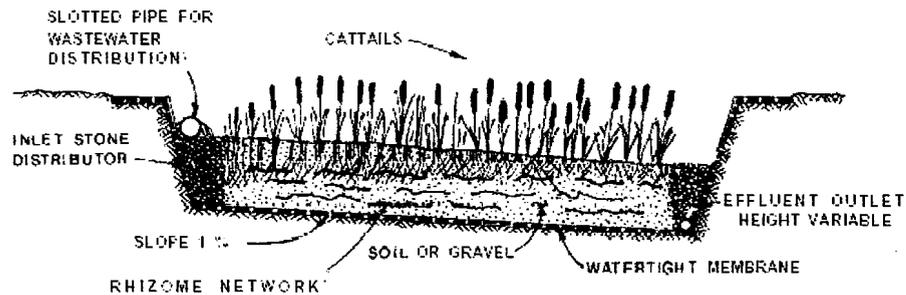
Table 2.1 Kriteria Desain Untuk *Constructed wetlands* Type FWS

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

(Dal Cin, 2000 dalam Tania,2006)

b. Sistem *Sub Surface Flows* (SSF)

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



Gambar 2.3 *Constructed wetlands tipe SSF*

2.2 Logam berat

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

Dalam perairan logam-logam dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Yang terlarut adalah ion logam bebas air dan logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik. Tidak terlarut adalah terdiri dari partikel yang berbentuk koloid dan senyawa racun terakumulasi.

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

Karakteristik logam berat sebagai berikut (Palar, 1994) :

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

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

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

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

- a. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan oxygen-seeking metal.
- b. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang (sulfur) atau disebut juga nitrogen/ sulfur seeking metal.

- c. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk logam-logam atau ion-ion logam dari kelas A dan logam dari kelas B.

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

2.3 Toksisitas Logam Berat Pada Tanaman.

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

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

1. 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 metabolik.

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 unsur-unsur logam di dalamnya (Darmono, 1995)

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 mahluk hidup kebanyakan terjadi karena logam berat non esensial saja, walaupun tidak menutup kemungkinan adanya keracunan logam non esensial yang melebihi dosis (Darmono, 1995)

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

Berdasarkan sifat kimia dan 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 Kementrian 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 yaitu:

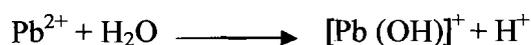
1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut
3. Mudah terakumulasi di 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

2.5 Timbal (Pb) *Constructed wetlands*

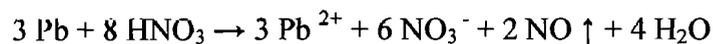
Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dinamakan Plumbum. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik. Timbal mempunyai

nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 (Palar,1994). Penyebaran logam Timbal di bumi sangat sedikit, jumlah timbal yang terdapat di seluruh lapisan bumi hanyalah 0,0002 % dari jumlah kerak bumi. Logam Pb merupakan logam lunak berwarna abu-abu atau putih kebiruan seperti perak, sangat berkilat jika baru dipotong dan jika kena udara akan menjadi kusam.

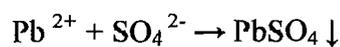
Timbal dalam bentuk terlarut dilam lingkungan biasanya hadir sebagai Pb²⁺. Ion plumbun (Pb²⁺) trihidrolisis sebagian dalam air dengan reaksi :



Pada konsentrasi yang rendah, Pb biasanya dalam bentuk Pb(OH)₂⁻ dan Pb(OH)₃⁻ juga dalam bentuk Pb₂(OH)₃³⁺ dan Pb₄(OH)₄⁴⁺. dalam keadaan tidak terlarut, Pb biasanya hadir dalam bentuk PbO, PbCO₃ dan Pb SO₄ (Natusch dan Hopke, 1982).



Pada asam sulfat encer terbentuk endapan putih, timbal sulfat.



Asam sulfat yang panas, pekat dapat melarutkan endapan karena terbentuk timbal hidrogel sulfat : PbSO₄ ↓ + H₂SO₄

Unsur Pb yang masuk ke dalam lingkungan tidak langsung membahayakan kehidupan mahluk hidup, logam tersebut membahayakan metabolisme mahluk jika berada dalam batas melebihi ambangnya. Unsur Pb merupakan unsur logam yang sangat toksik pada tanaman. Unsur Pb dapat dimanfaatkan sebagai pelapis keramik (*glaze*), pelapis pita, kabel, film, batrai,

pelapis pipa dan solder. Unsur Pb resistan terhadap bahan korosi, selain itu Pb digunakan sebagai campuran pewarna, dikarenakan Pb mempunyai berbagai warna, dan bersifat sebagai pelindung serta mempunyai nilai kelarutan yang kecil di dalam air (Fardiaz,1992 dalam Khalia,2006).

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

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

A. Absorpsi Pb

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

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

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

B. Toksisitas Pb

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

Logam berat dapat menimbulkan fitotoksitas dengan cara:

- ☆ Mengganggu kontak air dengan tanaman sehingga menyebabkan tanaman mengalami tekanan air (layu)
- ☆ Meningkatkan permeabilitas membran plasma sel akar sehingga akar menjadi lemah dan berkurang kemampuan seleksinya
- ☆ Menghambat fotosintesis dan respirasi

☆ Menurunkan aktivitas enzim metabolic

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

C. Keracunan Oleh Logam Pb

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

Bentuk-bentuk kimia dari senyawa-senyawa Pb, merupakan faktor penting yang mempengaruhi tingkah laku Pb dalam tubuh manusia. Senyawa-senyawa Pb organik relatif lebih mudah untuk diserap tubuh melalui selaput lendir atau

melalui lapisan kulit, bila di bandingkan dengan senyawa-senyawa Pb an-organik. Namun hal itu bukan berarti semua senyawa Pb dapat diserap oleh tubuh, melainkan hanya sekitar 5-10% dari jumlah Pb yang masuk melalui makanan dan atau sebesar 30% dari jumlah Pb yang terhirup yang akan diserap oleh tubuh. Dari jumlah yang terserap itu hanya 15% yang pada jaringan tubuh dan sisanya akan turut terhuang bersama bahan sisa metabolisme seperti urine dan feces.

Sebagian besar dari Pb yang terhirup pada saat bernafas akan masuk ke dalam pembuluh darah paru-paru. Tingkat penyerapan itu sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel dari senyawa Pb yang ada dan volume udara yang mampu dihirup pada saat peristiwa bernafas berlangsung. Makin kecil ukuran partikel debu, serta makin besarnya volume udara yang mampu terhirup, maka akan semakin besar pula konsentrasi Pb yang terserap oleh tubuh. Logam Pb yang masuk dalam paru-paru melalui peristiwa pernafasan akan terserap dan berikatan dengan darah untuk kemudian diedarkan keseluruh jaringan dan organ tubuh. Lebih dari 90% logam Pb yang terserap oleh darah berikatan dengan sel-sel darah merah.

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

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

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

D. Efek Pb dan sintesa Haemoglobin

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

Senyawa Pb yang terdapat dalam tubuh akan mengikat gugus aktif dari enzim ALAD. Ikatan yang terbentuk antara logam Pb dengan gugus ALAD

tersebut akan mengakibatkan pembentukan intermediet porphobilinogen dan kelanjutan dari proses reaksi ini tidak dapat berlanjut (terputus).

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

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

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

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

E. Efek Pb pada sistem syaraf

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

F. Efek Pb terhadap Sistem Urinaria

Senyawa-senyawa Pb yang terlarut dalam darah akan dibawa oleh darah ke seluruh sistem tubuh. Pada peredarannya, darah akan terus masuk ke Glomerulus yang merupakan bagian dari ginjal. Dalam Glomerulus tersebut terjadi proses pemisahan akhir dari semua bahan yang di bawa oleh darah, apakah masih berguna bagi tubuh atau harus dibuang karena sudah tidak diperlukan lagi. Ikut sertanya senyawa Pb yang terlarut dalam darah ke sistem urinaria (ginjal) dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada saluran ginjal. Kerusakan yang terjadi disebabkan oleh terbentuknya *intranuclear inclusion bodies* yang disertai dengan membentuk *aminociduria*, yaitu terjadinya kelebihan asam amino dalam urine.

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

G. Efek Pb terhadap Sistem Reproduksi

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

H. Efek Pb terhadap Sistem Endokrin

Efek yang dapat ditimbulkan dari keracunan Pb terhadap fungsi sistem endokrin mungkin merupakan yang paling sedikit yang pernah diteliti dibandingkan dengan sistem-sistem lain dari tubuh. Hal ini bisa disebabkan karena parameter pengujian yang akan dilakukan terhadap sistem endokrin lebih sulit ditentukan dan kurang variatif bila dibandingkan dengan sistem-sistem lainnya.

Pengukuran terhadap steroid dalam urine pada kondisi paparan Pb yang berbeda dapat digunakan untuk melihat hubungan penyerapan Pb oleh sistem endokrin. Dari pengamatan yang dilakukan dengan paparan Pb yang berbeda terjadi pengurangan pengeluaran steroid dan terus mengalami peningkatan dalam posisi minus. Kecepatan pengeluaran aldosteron juga mengalami penurunan selama pengurangan konsumsi garam pada orang yang keracunan Pb dari penyulingan alkohol. Endokrin lain yang diuji pada manusia adalah endokrin tiroid. Fungsi dari tiroid sebagai hormon akan mengalami tekanan bila manusia kekurangan *I 131*.

I. Efek Pb terhadap Jantung

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

J. Interaksi antara Pb dan logam lain

Timbal dalam bentuk anorganik yang biasanya mencemari lingkungan merupakan Pb yang bersifat reaktif dalam berinteraksi dengan logam lain. Daya toksisitas dari Pb banyak dipengaruhi oleh hadirnya logam esensial dalam pakan, seperti Fe, Ca, Zn, Se, Cu dan Co. Pada umumnya, defisiensi dari unsur-unsur

tersebut dapat menaikkan absorpsi Pb sehingga menjadi keracunan, sedangkan jika berlebihan akan dapat mencegah terjadinya keracunan.

K. Pb di Dalam Air dan Makanan

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

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

Selain kontaminasi Pb pada minuman, juga pada makanan olahan atau makanan kaleng. Makanan melarutkan Pb dari wadah atau alat-alat pengolahan juga telah menemukan Pb pada daun tumbuhan.

2.6 Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

A. Klasifikasi Eceng Gondok

Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledoneae
Suku	: Pontederiaceae
Marga	: Eichhornia
Jenis	: <i>Eichhornia crassipes</i> Solms

Orang lebih banyak mengenal tanaman ini tumbuhan pengganggu (gulma) diperairan karena pertumbuhannya yang sangat cepat. Awalnya didatangkan ke Indonesia pada tahun 1894 dari Brazil untuk koleksi Kebun Raya Bogor. Ternyata dengan cepat menyebar ke beberapa perairan di Pulau Jawa. Dalam perkembangannya, tanaman keluarga *Pontederiaceae* ini justru mendatangkan manfaat lain, yaitu sebagai biofilter cemaran logam berat, sebagai bahan kerajinan, dan campuran pakan ternak.

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

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

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

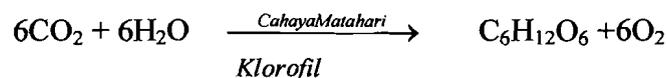
- Akar

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

- Daun

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

Reaksi fotosintesis :



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

- Tangkai

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

- Bunga

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

B. Ciri – ciri Morfologis Eceng Gondok

Tumbuhan eceng gondok juga memiliki ciri-ciri morfologi yang dapat diterangkan sebagai berikut : eceng gondok merupakan tumbuhan perennial (tumbuhan tahunan) yang hidupnya berada pada perairan terbuka, yang mengapung bila air tempat tumbuhnya cukup dalam, dan berakar didasar bila air dangkal, eceng gondok memiliki akar serabut, petiole pada yang dewasa panjang, pada yang muda pendek dan mempunyai gelembung udara. Helaihan daun bulat

telur pada yang muda , dan berbentuk jantung pada yang dewasa, sedang tulang daun melengkung rapat. (Van Steeniss *et al.*, 1981 dalam Afandi,2004).

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

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

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

C. Ciri-ciri Fisiologis Eceng Gondok

Eceng gondok memiliki daya adaptasi yang besar terhadap berbagai macam hal yang ada disekelilingnya dan dapat berkembang biak dengan cepat. Eceng gondok dapat hidup ditanah yang selalu tertutup oleh air yang banyak mengandung makanan. Selain itu daya tahan eceng gondok juga dapat hidup ditanah asam dan tanah yang basah. kemampuan eceng gondok untuk melakukan proses-proses sebagai berikut :

- **Transpirasi**

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

- **Fotosintesis**

Fotosintesis adalah sintesa karbohidrat dari karbondioksida dan air oleh klorofil. Menggunakan cahaya sebagai energi dengan oksigen sebagai produk tambahan. Dalam proses fotosintesis ini tanaman membutuhkan CO_2 dan H_2O

dan dengan bantuan sinar matahari akan menghasilkan glukosa dan oksigen dan senyawa-senyawa organik lain. Karbondioksida yang digunakan dalam proses ini berasal dari udara dan energi matahari (Sastroutomo, 1991).

- Respirasi

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



Gambar 2.4 Eceng gondok

D. 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 :

- Cara berkembang biak dan penyebarannya.

Gulma air ini mempunyai sifat pertumbuhan dan regenerasi yang cepat. Tumbuhan ini berkembang biak secara vegetatif yaitu potongan vegetatif yang terbawa air akan dapat berkembang. eceng gondok mempunyai pertumbuhan 2% - 20% perhari.

- Ketenangan air (fluktuasi air)

Dalam ombak yang cukup besar tumbuhan ini dapat hidup. Di bendungan yang berfluktuasi kurang lebih hanya 40 cm, banyak sekali tumbuh eceng gondok.

- *Cahaya matahari, pH dan suhu*

Eceng gondok sangat memerlukan cahaya matahari yang cukup, serta suhu optimum $25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$. 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).

- *Ketersediaan nutrien*

Pada umumnya 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).

E. Manfaat dan Kerugian dari Eceng Gondok

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

1. Mempunyai sifat biologis sebagai penyaring air yang tercemar oleh berbagai bahan kimia buatan industri.
2. Sebagai bahan penutup tanah dan kompos dalam kegiatan pertanian dan perkebunan.
3. Sebagai sumber gas yang antara lain berupa gas ammonium sulfat, gas hidrogen, nitrogen dan metan yang dapat diperoleh dengan cara fermentasi.

4. Bahan baku pupuk tanaman yang mengandung unsur NPK yang merupakan tiga unsur utama yang dibutuhkan tanaman.
5. Sebagai bahan industri kertas dan papan buatan.
6. Sebagai bahan baku karbon aktif.

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

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

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

F. Penyerapan Logam Berat Oleh Eceng Gondok

Tumbuhan ini mempunyai daya regenerasi yang cepat karena potongan-potongan vegetatifnya yang terbawa arus akan terus berkembang menjadi eceng

gondok dewasa. Eceng gondok sangat peka terhadap keadaan yang unsur haranya didalam air kurang mencukupi, tetapi responnya terhadap kadar unsur hara yang tinggi juga besar. Proses regenerasi yang cepat dan toleransinya terhadap lingkungan yang cukup besar, menyebabkan eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai pengendali pencemaran lingkungan. (Soerjani, 1975)

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

Di dalam akar, tanaman biasa melakukan perubahan pH kemudian membentuk suatu zat khelat yang disebut fitosiderofor. Zat inilah yang kemudian mengikat logam kemudian dibawa kedalam sel akar. Agar penyerapan logam meningkat, maka tumbuhan ini membentuk molekul rediktase di membran akar. Sedangkan model tranportasi didalam tubuh tumbuhan adalah logam yang dibawa masuk ke sel akar kemudian ke jaringan pengangkut yaitu xylem dan floem, kebagian tumbuhan lain. Sedangkan lokalisasi logam pada jaringan bertujuan untuk mencegah keracunan logam terhadap sel, maka tanaman akan melakukan detoksofikasi, misalyna menimbun logam kedalam organ tertentu seperti akar.

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

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

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

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

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

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

2.7 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Inggris *Phytoremediation*, kata ini tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata latin *remedium* (“menyembuhkan”) dalam hal berarti juga “menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kekurangan atau kesalahan”.

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

1. Fitoekstraksi

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

2. Fitodegradasi dan atau Fitotransformasi

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

3. Rizofiltrasi

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

4. Fitostabilisasi

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

5. Fitovolatilisasi.

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



mengalami degradasi sebelum dilepas lewat udara. Pemanfaatan tumbuhan untuk mereduksi polutan dari udara.

2.8 Penelitian-Penelitian Yang Menggunakan Tanaman Air

Pada prinsipnya eceng gondok berpotensi untuk menyerap substansi-substansi toksit yang terlarut dalam air yang tercemar. Widyanto dan Susilo (1997) menyatakan bahwa pertumbuhan eceng gondok dipengaruhi oleh adanya logam-logam berat seperti Cu, Pb, Cd, Fe, Mn, dan Zn. Pada dasarnya konsentrasi 1 ppm ion Pb dapat memberikan rangsangan pertumbuhan eceng gondok, tetapi pada konsentrasi 3 ppm keatas pertumbuhannya menjadi terhambat. Kemampuan daya serap eceng gondok telah diteliti di Laboratorium Biokimia, Institut Pertanian Bogor (IPB) dengan hasil yang sangat luar biasa. Penelitian untuk melihat kemampuan eceng gondok menyerap Timbal (Pb) dilakukan sebagai berikut; satu, tiga, lima rumpun eceng gondok ditempatkan dalam ember plastik berisi air sumur dan larutan Pb (NO_3) sebesar 5 ppm. Konsentrasi Pb diukur pada hari ke- 0, 7, 14, 21, 28 hari dengan Spektrofotometer Serapan Atom pada panjang gelombang 217 mm, hasilnya terlihat adanya penurunan kadar logam Pb secara signifikan pada hari ke-7 kadar logam Pb menurun 5,167 ppm (96,4%) pada perlakuan satu rumpun eceng gondok menurun 5,204 ppm (98,7%) pada perlakuan tiga rumpun dan menurunkan 6,019 ppm (99,7%) pada perlakuan lima rumpun dari konsentrasi hari ke-0. Analisa pada hari-hari berikutnya yang berlaku (hari ke-14, 21, dan 28) menunjukkan perubahan kadar Pb tidak terlalu jauh

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

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

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

eceng gondok secara maksimal pada pH 7. Penelitian Zazam (1990) terdapat kerusakan pada morfologi eceng gondok yang disebabkan oleh Cr, namun pada konsentrasi 5-10 mg/L Cr terlihat sangat jelas. Daya serap eceng gondok juga dilakukan terhadap logam Cd, Co, Ni dan Pb dengan konsentrasi yang bervariasi (0,1-5,0 ppm). Pada penelitian kali ini pola tanam yang digunakan berbeda yaitu dengan menggantikan tanaman yang sudah diletakan didalam pot selama dua hari masa penyerapan dengan tanaman yang baru.

2.9 Lindi (*Leachate*) TPA Piyungan

Limbah adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan. Limbah merupakan sesuatu benda yang mengandung zat yang bersifat membahayakan atau tidak membahayakan kehidupan manusia, hewan serta lingkungan, dan umumnya muncul karena hasil perbuatan manusia, termasuk industrialisasi. (UU RI.No.23/97,1997 pasal 1)

Limbah yang digunakan dalam *Contracted Wetlands* adalah limbah yang berasal dari TPA Piyungan yang merupakan hasil dari aktifitas yang dilakukan masyarakat di Yogyakarta dan sekitarnya, dimana Sebagian besar masyarakat tersebut menggunakan bahan-bahan yang berbahaya bagi lingkungan apabila limbah yang dihasilkan tidak diolah terlebih dahulu. Limbah tersebut mengandung berbagai zat organik dan logam berat, diantaranya logam Pb (Timbal)

Setiap harinya sekitar 300 rit atau truk ukuran besar pengangkut sampah masuk di lokasi TPA Piyungan, dan sekitar 250 – 270 sit adalah sampah-sampah

yang berasal dari kota. Hal ini dapat dimaklumi karena kota penuh dengan pasar, hotel, mall dan permukiman padat penduduk sehingga tidak menyisakan lahan untuk pembuangan sampah. Jika petugas pengangkut sampah di Kabupaten Bantul dan Sleman bekerja sesuai dengan jam kerja (pagi-sore) petugas dari kota 24 jam harus *stand by* membawa sampah ke TPA.

Dari data anggaran biaya TPA sampah Piyungan di Bappeda Bantul menunjukkan bahwa jumlah belanja untuk pengadaan urug adalah yang paling besar. Untuk kebutuhan ini setiap tahun membutuhkan biaya Rp 394.200.000. Sedangkan biaya lain yang cukup besar adalah pemeliharaan alat-alat berat disusul kemudian upah pekerja harian lepas yang mencapai Rp 128,115 juta.

Volume sampah setiap tahun yang didrop ke TPA Piyungan dari ketiga daerah itu memang beragam. Dari Kota Yogyakarta sebanyak 122.732 ton atau 79,87 persen dengan kontribusi Rp 1.035.636.080, Kabupaten Sleman 20.668 ton atau 13,45 persen dengan kontribusi Rp 174.399.716 dan Kabupaten Bantul 10.265 ton atau 6,68 persen dengan kontribusi Rp 86.616.364.

Fasilitas di TPA Piyungan itu dibangun atas hibah dari pemerintah pusat melalui Proyek Lingkungan Permukiman (PLP) Direktorat Penyehatan Lingkungan Dirjen Ciptakarya dan selesai dibangun Agustus 1995 dan beroperasi Januari 1996. sebagian alat berat yang diperlukan untuk operasi TPA Piyungan dibeli dengan hibah dari Pemerintah Swiss melalui *Swiss Agency for Development and Cooperation* (SDC).

Pada umumnya di TPA proses dekomposisi sampah organik yang akan menghasilkan gas-gas dan cairan yang disebut Lindi (*Leachate*). Lindi mengandung bahan-bahan kimia, baik organik maupun anorganik dan sejumlah bakteri patogen. Dalam lindi tersebut mengandung amoniak, timbal, khrom dan mikroba parasit seperti kutu air (*sarcoptes sp*) yang dapat menyebabkan gatal-gatal pada kulit. Biasanya pada musim kemarau tidak akan terjadi luapan air lindi, namun pada musim hujan air lindi memang sering meluap karena kapasitas bak penampung tak mampu menampung. Buangan lindi inilah yang melebihi baku mutu limbah cair yang akan mencemari tanah dan sungai apabila tidak diolah terlebih dahulu. Sementara pencemaran air tanah yang juga disebabkan timbunan sampah yang belum diolah, memang harus dilakukan pengecekan lebih teliti. Ceking tersebut harus dilakukan melalui sumur-sumur pantau yang ada di sekitar TPA Piyungan.

Permasalahan lain yang timbul adalah pencemaran udara, air tanah dan air permukaan. Bau tak sedap setiap hari muncul sekitar pukul 19.00 – 21.00. Hal itu disebabkan oleh timbunan sampah yang belum diolah meski sistem *sanitary landfill* mensyaratkan sampah yang dibuang harus dipadatkan untuk kemudian ditutup tanah setiap hari.

Secara lebih lengkap mengenai karakteristik Limbah cair / Lindi TPA Piyungan dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah cair / Lindi TPA Piyungan Yogyakarta

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum Yg diperbolehkan	Metode uji	Hasil Pemeriksaan
A. Fisika				
Zat padat terlarut (TDS)	Mg/l	2000	Gravimetri	5245
Temperatur	°C	30	Pemuaian	30.1
Zat padat tersuspensi (TDS)	Mg/l	200	Spektrofotometri	179
Air Raksa	Mg/l	0.002	AAS	ttd
Arsen	Mg/l	0.1	Spektrofotometri	ttd
Barium	Mg/l	2	AAS	0.089
Kadmium	Mg/l	0.05	AAS	ttd
Kromium (vol 6)	Mg/l	0.1	Spektrofotometri	4.675
Tembaga	Mg/l	2	AAS	0.86
Sianida	Mg/l	0.05	Spektrofotometri	ttd
Florida	Mg/l	2	Spektrofotometri	ttd
Timbal	Mg/l	0.1	Spektrofotometri	<0.5
Nikel	Mg/l	0.2	AAS	0.1932
Nitrat	Mg/l	20	Spektrofotometri	1.5436
Nitrit	Mg/l	1	Spektrofotometri	0.3835
Ammonia	Mg/l	1	Spektrofotometri	10
Besi	Mg/l	5	Spektrofotometri	11.8
Mangan	Mg/l	2	Spektrofotometri	3.45
Sulfida	Mg/l	0.05	Spektrofotometri	-
Klorrin bebas	Mg/l	1	Gravimetri	ttd
Seng	Mg/l	5	AAS	4.1
Krom Total	Mg/l	0.5	Spektrofotometri	13.67
BOD	Mg/l	50	Titrimetri	6.895
COD ₅	Mg/l	100	Titrimetri	11961
phenol	Mg/l	0.5	Spektrofotometri	2.945
Cobalt	Mg/l	0.4	AAS	0.29

(Sumber : TPA Piyungan 11 Juli 2006)

2.10 Spektrofotometer Serapan Atom

Dalam penelitian ini digunakan pengukuran Spektrofotometer Serapan Atom dengan sistem pengatoman dengan menggunakan nyala api dan campuran bahan baker gas dan oksidan. Metode pengukuran AAS menjadi alat yang canggih dalam

analisis, hal ini disebabkan diantaranya oleh kecepatan analisisnya, ketelitian sampai tingkat rumit, tidak memerlukan pemisahan pendahuluan karena penentuan suatu unsur dengan kehadiran unsur yang lain dapat dilakukan asalkan lampu katoda berongga yang diperlukan tersedia.

King menyatakan bahwa disamping eceng gondok mampu membersihkan air, zat-zat yang dapat diserap dan disaringnya dari air antara lain logam-logam berbahaya seperti timah hitam (Pb), arsen (As), cadmium (Cd), serta pestisida. Eceng gondok diduga masih merupakan satu-satunya jenis tumbuhan air yang dapat menghilangkan pestisida. Disamping itu, ada juga suatu eksperimen yang menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok dapat menyerap nutrien-nutrien logam dan substansi trace organik dari air (Anonymous, 1981).

2.10. 1 Analisa AAS

1. Alat dan Bahan

1.1 Alat

Alat-alat yang diperlukan adalah :

- 1) Spektrofotometer serapan atom sinar tunggal atau sinar ganda yang mempunyai kisaran panjang gelombang 190 - 870 nm dan lebar celah 0,2 - 2 nm, serta telah dikalibrasi pada saat digunakan.
- 2) Pemanas listrik yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
- 3) Pipet mikro 250, 500 dan 1000 μ L.
- 4) Labu ukur 50 dan 1000 mL.

- 5) Gelas ukur 100 mL.
- 6) Gelas piala 100 mL.
- 7) Pipet seukuran 5 dan 10 mL.
- 8) Tabung reaksi 20 ml.
- 9) kaca arloji berdiameter 5 cm.

1.2 Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan adalah :

- 1) Kemasan larutan logam Pb masing-masing 1000 mg/L.
- 2) Asam nitrat, HNO_3 pekat.
- 3) Larutan kalsium karbonat.
- 4) Saringan membran berpori 0,45 μm .
- 5) Gas asetelin.
- 6) Air suling atau air demineralisasi yang bebas logam.

2. Pengendalian Mutu Analisis

Jika prosedur pengendalian mutu yang khusus tidak tersedia, maka prosedur dibawah ini direkomendasikan untuk dilaksanakan :

1. Blanko reagen dianalisis sekali untuk 1 set sampel.
2. Matriks spike dianalisis paling tidak 1 kali dalam 1 set sampel, tiap jenis matriks yang berbeda harus dispiki.
3. Air reagen atau spike matriks reagen dianalisis sebanyak 5 % dari jumlah sampel yang dianalisis.

4. Perhitungan

Hitung kadar logam benda uji dengan menggunakan kurva kalibrasi atau persamaan garis lurus dan perhatikan hal-hal berikut :

- 1) Perhitungan kadar didasarkan pada rata-rata hasil pengukuran dengan ketentuan selisih kadar maksimum yang diperbolehkan antara dua pengukuran duplo 2%.
- 2) Apabila hasil perhitungan kadar logam lebih besar dari konsentrasi tertinggi standar, ulangi pengujian dengan mengencerkan benda uji.
- 3) Apabila hasil perhitungan kadar logam lebih kecil dari konsentrasi standar, ulangi pengujian dengan menggunakan metode ekstraksi atau metode Tungku karbon.

2.11 Hipotesa

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut :

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

BAR III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel dilaksanakan pada TPA Piyungan yang terletak di dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul Yogyakarta pada inlet bak penampung pertama lindi (*leachate*), sedangkan analisa sampel di lakukan di halaman laboratorium kualitas air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP, UII, Sleman, Yogyakarta dan pengujian sampel di lakukan di Badan Pengujian Konstruksi dan Lingkungan (BPKL) Yogyakarta.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimen yang dilaksanakan dalam skala lapangan pada tahap akhir penelitian.

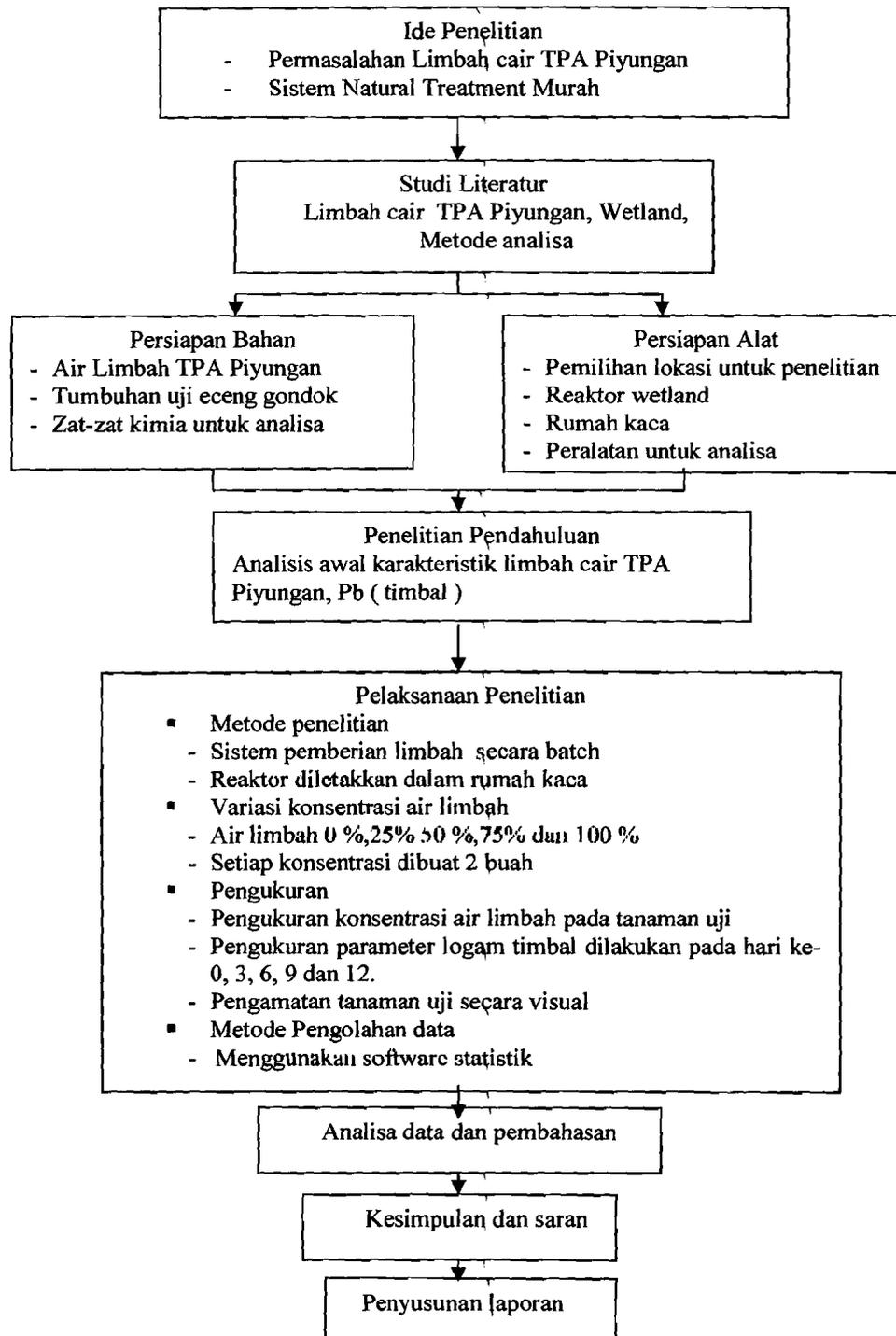
3.3 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama 6 bulan di mulai dari bulan Desember – Juni 2007. Pada bulan Desember dilakukan tahap persiapan penelitian, destilasi tanaman eceng gondok dan pembuatan reaktor sedangkan pada bulan januari dilakukan proses penelitian yang terdiri dari penanaman eceng gondok dan pengambilan sampel air limbah pada tiap-tiap reaktor, dan untuk pemeriksaan

laboratorium, analisa data dan penyusunan laporan dilakukan pada bulan Februari – Juni 2007.

3.4 Metode Penelitian

Metodologi penelitian dalam kegiatan penelitian ini dapat dilihat dalam gambar di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.5 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.

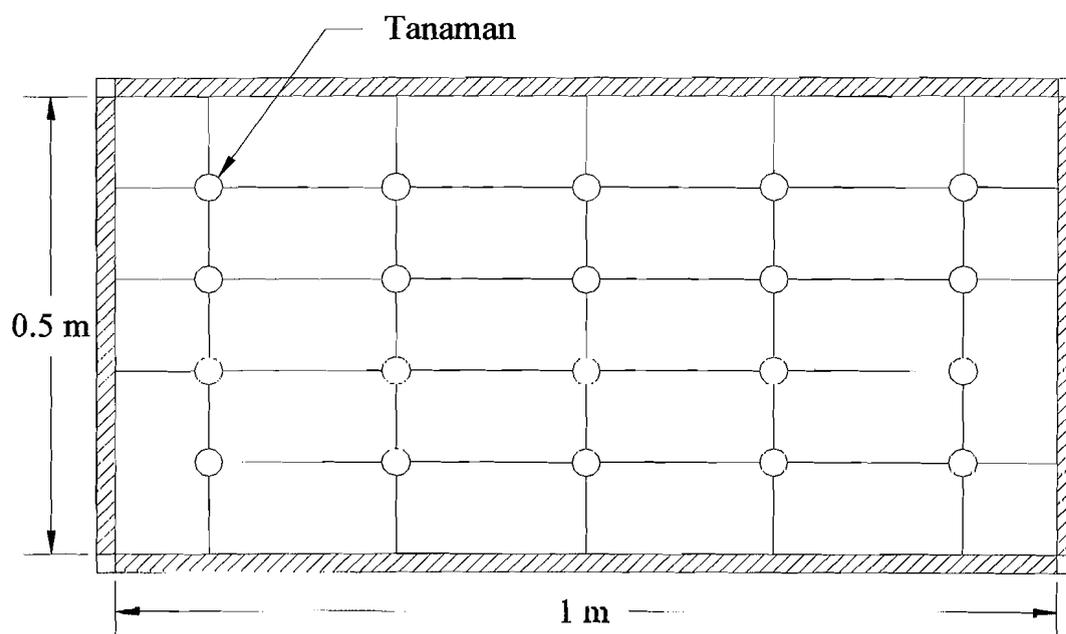
b. Dimensi Reaktor

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.

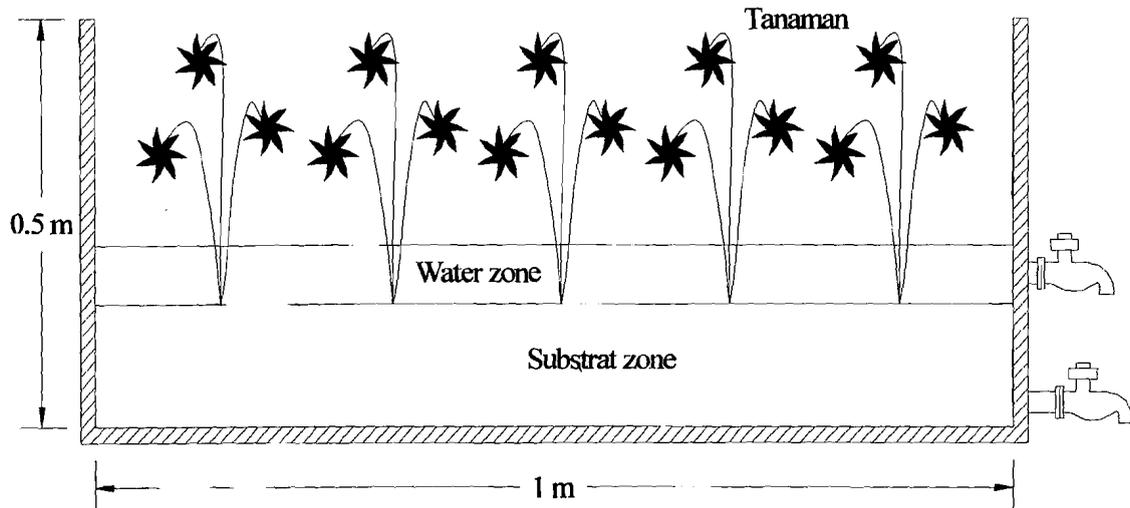
Adapun perhitungan dimensi reaktor *batch Constructed Wetlands* adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Kriteria Dimensi Reaktor

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



Gambar 3.2 Reaktor Tampak Atas (tanpa skala)



Gambar 3.3 Reaktor Tampak Samping (tanpa skala)

3.6 Metode Pelaksanaan Penelitian

3.6.1 Kualitas air limbah

Penelitian ini dilakukan dengan proses *batch*, dengan variasi konsentrasi limbah cair TPA Piyungan, 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 di laboratorium pada variasi waktu ke 3, 6, 9, dan 12 hari cuplikan limbah di ambil dari 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	80	0
2	75	75	60	20
3	50	50	40	40
4	25	25	20	60
5	0	0	0	80

3.6.2 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. Setiap reaktor memanfaatkan tanaman eceng gondok rata-rata sebanyak 100 gram. Ketentuan jarak tanaman air tidak ditentukan, dan yang terpenting permukaan air tidak tertutup seluruhnya dengan tanaman.

3.6.3 Desain Sampling

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

3.6.4 Pengambilan Sampling

Pengambilan sampling meliputi :

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

3.6.5 Spektrofotometer Serapan Atom

Penentuan konsentrasi logam Pb

Penentuan kandungan logam Pb dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat spektrofotometer serapan atom model AA - 782 Nippon Jarel Ash. Absorbansi logam Pb diukur dengan menggunakan metode nyala (flame) pada kondisi optimum. Standarisasi alat AAS digunakan larutan blangko dan dapat dibuat deret larutan standar, dimana dari deret larutan standar ini akan diperoleh kurva baku atau kurva standar linear yang dibuat berdasarkan adsorbansi dari larutan spektrosol untuk logam

Pb dengan konsentrasi yang telah diketahui (perhitungan di lampiran 1). Perhitungan konsentrasi hasil pengukuran (C_{regresi}) dengan metode standar kalibrasi dilakukan dengan cara memasukan harga serapan sampel Y , sehingga :

$$Y = bx \qquad x = Y / b$$

Kadar unsur dalam sampel dihitung dengan persamaan :

$$x = (C_{\text{regresi}} \times V \times P) / g$$

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 TPA Piyungan, sebagai data awal konsentrasi limbah (data sekunder).
2. Analisa terhadap variasi waktu, dilakukan sebanyak 5 kali pengambilan sample yaitu pada hari ke 0, 3, 6, 9, dan 12 yang diambil dari reaktor

Constructed Wetlands dan setiap sampel dilakukan dua kali pengujian laboratorium.

3.8 Metode Analisa Pertumbuhan Tanaman dan Penurunan Limbah

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

3.9 Metode Analisa Data

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

ii. H_1 = Ada pengaruh waktu detensi/variasi konsentrasi limbah terhadap perubahan konsentrasi yang di uji.

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- $\alpha > 0,05$ maka diterima dan $\alpha < 0,05$ maka ditolak

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

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

4.1 Konsentrasi Awal Logam Pb Dalam Limbah Cair TPA Piyungan Yogyakarta

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengujian awal terhadap kandungan logam Timbal pada limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan variasi konsentrasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Konsentrasi awal dari logam Pb dalam limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan variasi konsentrasi tersebut di atas dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Awal Konsentrasi Pb

No.	Sample	Absorbansi	Konsentrasi Pb(mg/L)	Metode
1	0%	-0.0012	0.0062	AAS
2	25%	-0.0010	0.0425	AAS
3	50%	-0.0008	0.0741	AAS
4	75%	-0.0003	0.1560	AAS
5	100%	0.0007	0.3211	AAS

Sumber : Data primer 2007

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta untuk parameter Pb belum memenuhi syarat untuk dapat dibuang ke badan air karena masih jauh diatas ambang batas yaitu 0,003 mg/L dari Peraturan Pemerintah No.82 th. 2001.

Tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman eceng gondok yang diambil dari daerah Maguwo, Sleman. Sebelum tanaman eceng gondok ini di gunakan dalam penelitian sudah mengandung logam Pb. Untuk mengetahui konsentrasi Pb pada tanaman eceng gondok dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Konsentrasi Awal Pb Yang Terdapat Pada Tanaman Eceng Gondok

No.	Sample	Absorbansi	Konsentrasi Pb (mg/L)	Metode
1	Akar	-0.00103	0.0362	AAS
2	Daun	-0.00125	0.0015	AAS

Sumber : Data primer 2007

Pertumbuhan eceng gondok sangat memerlukan cahaya matahari yang cukup, dengan suhu optimum antara 25°C - 30°C, hal ini dapat dipenuhi dengan baik di daerah beriklim tropis. Di samping itu untuk pertumbuhan yang lebih baik, eceng gondok lebih cocok terhadap pH 7,0 - 7,5, jika pH lebih atau kurang maka pertumbuhan akan terlambat (Dhahiyat,1974).

Pemanfaatan tanaman eceng gondok untuk pengolahan limbah cair TPA Piyungan dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dengan volume 200 L menunjukkan kemampuan yang berbeda-beda dalam menurunkan parameter Pb begitu juga dengan reaktor non tanaman eceng gondok. Untuk mengetahui efisiensi 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

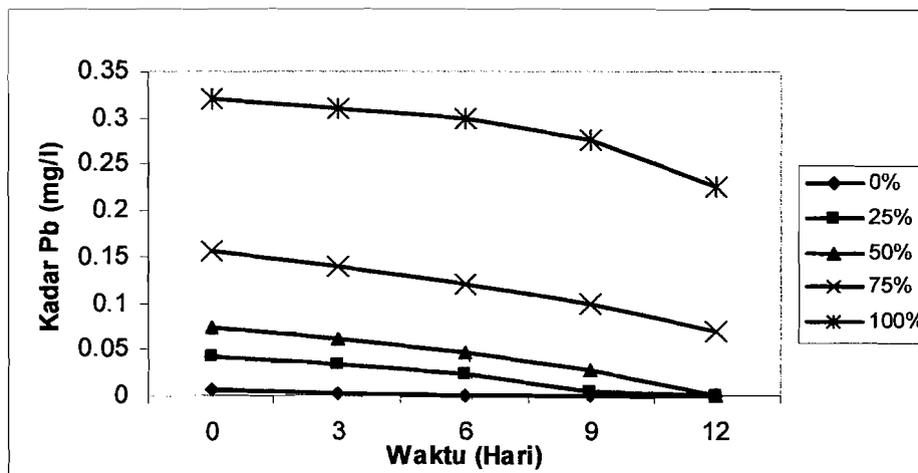
4.2 Analisa Parameter Pb Pada Limbah Cair TPA Piyungan

Untuk analisa Pb pada limbah cair TPA Piyungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Konsentrasi Pb pada Reaktor Uji

Hari ke	Konsentrasi				
	0%	25%	50%	75%	100%
0	0.0062	0.0425	0.0741	0.1561	0.3211
3	0.0013	0.0342	0.0616	0.1393	0.3101
6	0	0.0223	0.0472	0.1203	0.2984
9	0	0.0041	0.0267	0.0985	0.2757
12	0	0	0	0.0691	0.2256

Sumber : Data primer 2007



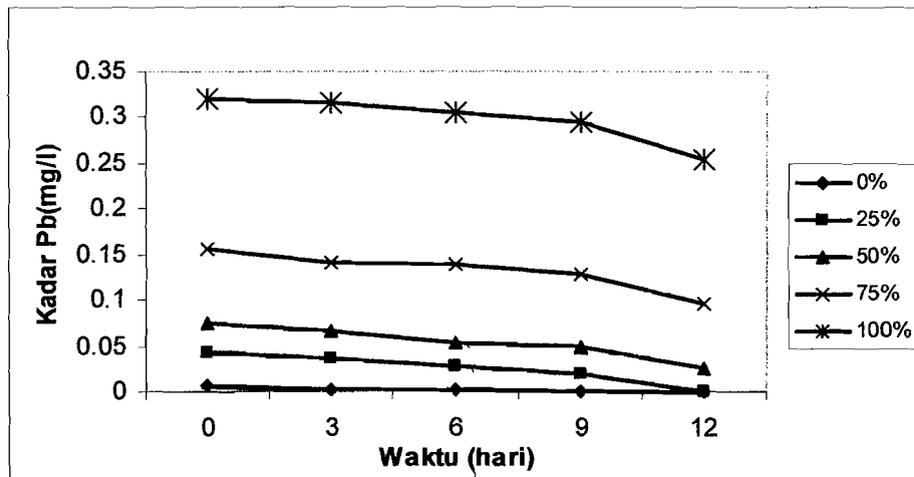
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Konsentrasi Pb pada Reaktor Uji

Dari Tabel 4.3 di atas, terlihat penurunan konsentrasi Pb yang nyata. Proses penurunan terjadi pada hari ke 3 dan 6 kemudian meningkat kembali pada hari ke 9 dan 12. Tingkat removal konsentrasi Pb selama 12 hari terjadi pada reaktor yang menggunakan tanaman dengan konsentrasi 100% sebesar 29.74%, konsentrasi 75% sebesar 55.77%, konsentrasi 50% sebesar 100% dan konsentrasi 25% sebesar 100% sedangkan pada reaktor dengan konsentrasi limbah 0% terjadi proses penurunan konsentrasi Pb pada hari ke 6 dengan sebesar 100% .

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Konsentrasi Pb pada Reaktor Kontrol

Hari ke	Konsentrasi				
	0%	25%	50%	75%	100%
0	0.0062	0.0425	0.0741	0.1561	0.3211
3	0.0014	0.0364	0.0654	0.1412	0.3152
6	0.0013	0.0282	0.0531	0.1378	0.3045
9	0	0.0192	0.0483	0.1278	0.2945
12	0	0	0.0254	0.0957	0.2548

Sumber : Data primer 2007



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Konsentrasi Pb pada Reaktor Kontrol

Dari Tabel 4.4 di atas, terlihat penurunan konsentrasi Pb. Proses penurunan juga terjadi pada hari ke 3 dan 6 kemudian meningkat kembali pada hari ke 9 dan 12. Tingkat removal Pb selama 12 hari pada reaktor tanpa menggunakan tanaman dengan konsentrasi 100% sebesar 20.63%, konsentrasi 75% sebesar 38.60%, konsentrasi 50% sebesar 65.61% dan konsentrasi 25% sebesar 100%. Sedangkan pada reaktor dengan konsentrasi limbah 0% terjadi proses penurunan konsentrasi Pb pada hari ke 9 dengan sebesar 100% .

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

Penurunan kadar Pb juga terjadi karena adanya proses adsorpsi pada akar-akar tanaman eceng gondok, yaitu peristiwa menempelnya ion-ion Pb pada akar-akar tanaman eceng gondok. Ion-ion Pb akan diserap oleh akar-akar eceng gondok pada proses penyerapan tersebut terdapat pula ion-ion Pb yang menempel pada akar tanaman eceng gondok dan ion-ion lainnya akan terserap kedalam tubuh tanaman eceng gondok bersama-sama dengan proses penyerapan air kedalam tubuh tanaman eceng gondok. Sebagian air menguap melalui proses transpirasi dan ion-ion Pb akan tertinggal dan tertimbun dalam tubuh tanaman eceng gondok. Logam Pb mulai diserap oleh akar tanaman yang kemudian logam akan naik kebagian tanaman lain melalui *floem* dan *xylem*. Pada saat penyerapan terjadi fungsi fisiologi pada akar dan daun menjadi terganggu. Ini dapat dilihat dengan adanya kekeringan pada ujung-ujung daun tanaman eceng gondok.

Pada reaktor kontrol atau reaktor tanpa menggunakan tanaman eceng gondok terjadi proses penurunan kadar Pb. Hal ini disebabkan karena Pb dengan oksigen terjadi oksidasi dalam bentuk kromat bereaksi dengan kation dan partikel lain dalam air menjadi garam yang kemudian mengendap. Sedangkan penyerapan Pb oleh tanaman eceng gondok banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis tanaman, umur tanaman, media, konsentrasi limbah dan lamanya waktu perlakuan.

4.3 Analisa Tingkat Penurunan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok

Setelah mengetahui konsentrasi total logam Pb pada tanaman eceng gondok, maka dapat pula diketahui tingkat penurunan dari tanaman eceng gondok tersebut.

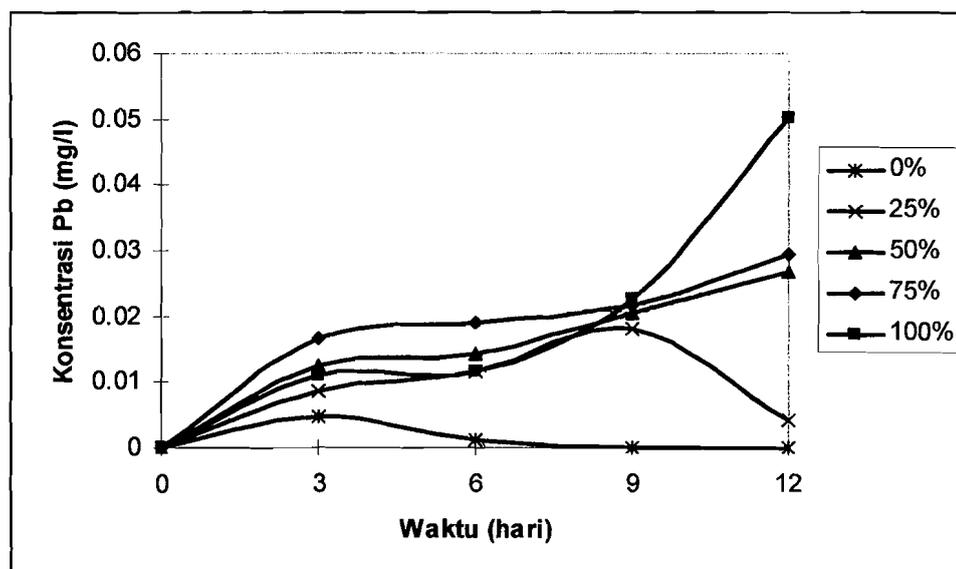
Berikut ini adalah Tabel 4.5 tingkat penurunan logam Pb oleh tanaman eceng gondok pada setiap variasi waktu pengambilan sampel.

Tabel 4.5 Tingkat Penurunan Logam Pb Dari Limbah Cair TPA Piyungan Pada Reaktor Uji

Konsentrasi Limbah	Penurunan Kandungan Pb (mg/L)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
0%	0	0.0048	0.0013	0.0000	0.0000
25%	0	0.0085	0.0116	0.0181	0.0041
50%	0	0.0125	0.0143	0.0205	0.0267
75%	0	0.0166	0.0190	0.0218	0.0295
100%	0	0.0110	0.0116	0.0226	0.0501

Sumber : Data primer 2007

Dari Tabel 4.5 diatas menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok mampu menurunkan logam Pb maksimal 0.0501 mg/L pada konsentrasi limbah 100% pada hari ke-12. Untuk mengetahui perbedaan dari tingkat penurunan tanaman eceng gondok pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Grafik 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3 Grafik Tingkat Penurunan Logam Pb dari Limbah cair TPA Piyungan pada Reaktor Uji

Dari Grafik 4.3 diatas dapat dilihat tingkat penurunan oleh tanaman eceng gondok berbeda-beda. Pada hari ke-3 tanaman eceng gondok mampu menurunkan limbah untuk konsentrasi 0% sebesar 0.0048 mg/L , pada konsentrasi limbah 25% sebesar 0.0085 mg/L, pada konsentrasi limbah 50% sebesar 0.0125 mg/L pada konsentrasi limbah 75% dan sebesar 0.0166 mg/L dan pada konsentrasi limbah 100% sebesar 0.0110 mg/L, dan dapat dilihat bahwa tingkat penurunan terbesar hari ke-12 pada konsentrasi 100% sebesar 0.0501 mg/L . Pada hari ke- 12 konsentrasi 25% sampai dengan konsentrasi 100% tingkat penurunan oleh tanaman eceng gondok mengalami kenaikan, hal ini dikarenakan konsentrasi 25% sampai dengan konsentrasi 100% kandungan timbal terserap oleh eceng gondok secara maksimal.

4.3.1 Analisa Tingkat Penurunan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok

Dengan Tingkat Penyerapan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok

Dibawah ini adalah Tabel 4.6 tingkat penyerapan logam Pb :

Tabel 4.6 Tingkat Penyerapan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok

TOTAL	Tingkat Penyerapan (mg/l)				
	hari ke-0	hari ke-3	hari ke-6	hari ke-9	hari ke-12
konsentrasi 0%	0	0.0131	0.0038	0.0061	0.0057
konsentrasi 25%	0	0.0147	0.0037	0.0051	0.0062
konsentrasi 50%	0	0.0169	0.0014	0.0071	0.0055
konsentrasi 75%	0	0.0177	0.0045	0.0041	0.0059
konsentrasi 100%	0	0.0179	0.0005	0.0086	0.0214

Sumber : Data primer 2007

Dari hasil perbandingan antara Tabel 4.5 dengan Tabel 4.6 terlihat perbedaan antara besarnya besarnya tingkat penurunan kandungan logam Pb pada air limbah dengan tingkat serapan tanaman eceng gondok.

Zona substrat yaitu tanah pada *Constructed Wetlands* ini ternyata ikut berpengaruh terhadap hasil penelitian. Dapat terlihat pada hari ke-3 dari konsentrasi 100% dengan tingkat penurunan sebesar 0,0048 mg/L dan tingkat penyerapan eceng gondok sebesar 0,0131 mg/L. Disini terlihat tingkat penyerapan eceng gondok lebih besar dibandingkan dengan tingkat penurunan konsentrasi Pb pada limbah. Hal ini menunjukkan kandungan logam Pb dapat terserap oleh eceng gondok secara keseluruhan.

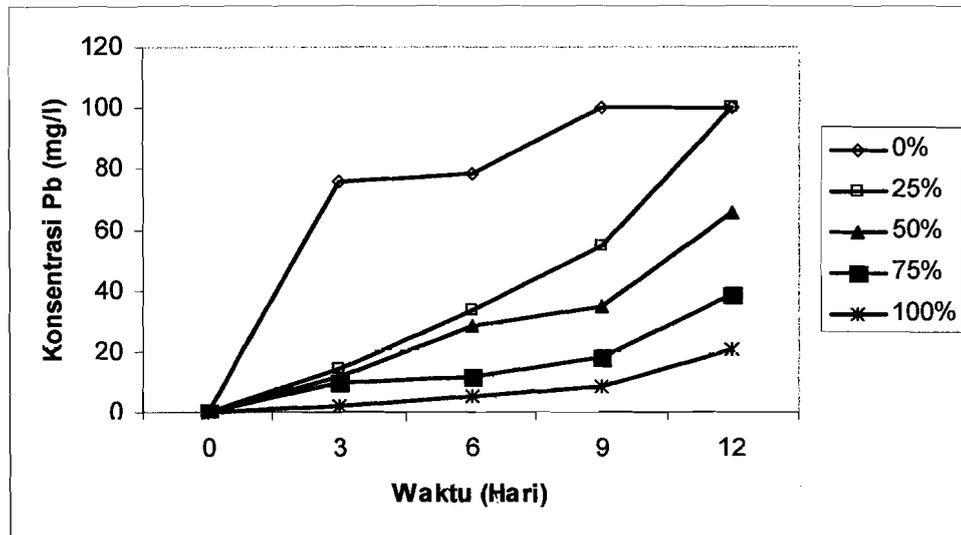
4.4 Effisiensi Penurunan Logam Pb Oleh Tanaman Eceng Gondok

Dari hasil penelitian besarnya penurunan logam Pb oleh tanaman dapat dicari effisiensinya dengan cara yang dapat dilihat pada lampiran dan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7 Effisiensi Penurunan Logam Pb pada Reaktor Kontrol

Hari ke	Konsentrasi				
	0%	25%	50%	75%	100%
0	0	0	0	0	0
3	75.97	14.16	11.74	9.48	1.9
6	78.23	33.62	28.23	11.63	5.17
9	100	54.71	34.79	18.05	8.26
12	100	100	65.61	38.6	20.63

Sumber : Data Primer 2007

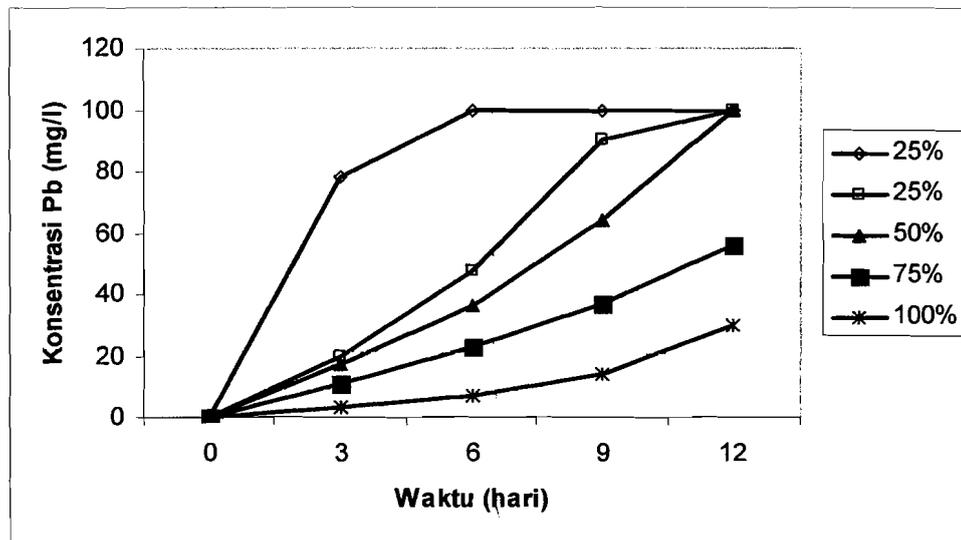


Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Penurunan Logam Pb pada Reaktor Kontrol

Tabel 4.8 Efisiensi Penurunan Logam Pb pada Reaktor Uji

Hari ke	Konsentrasi				
	0%	25%	50%	75%	100%
0	0	0	0	0	0
3	77.96	20	16.87	10.68	3.43
6	100	47.45	36.21	22.86	7.06
9	100	90.2	63.88	36.86	14.12
12	100	100	100	55.77	29.74

Sumber : Data Primer 2007



Gambar 4.5 Grafik Effisiensi Penurunan Logam Pb Pada Reaktor Uji

Dari Grafik 4.5 diatas dapat dilihat bahwa effisiensi penurunan logam Pb oleh tanaman eceng gondok pada hari ke-9 terbesar adalah pada konsentrasi 25% yaitu 90.2%. Kondisi tersebut menyebabkan keadaan eceng gondok menurun pada hari ke 12 yang ditandai dengan perubahan warna daunnya dari hijau segar menjadi hijau kekuningan.

4.5 Analisa Tanaman Eceng Gondok

Untuk dapat hidup tanaman memerlukan zat unsur makanan (unsur hara) yang diambil dalam molekul melalui daun, tetapi pada 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.

Adanya air limbah cair TPA Piyungan 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 limbah. Terhambatnya pertumbuhan tanaman eceng gondok ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti, tinggi kandungan racun Pb air limbah yang menghambat pertumbuhan dari akar sehingga berpengaruh pada pertumbuhan daunnya.

Akar merupakan bagian tumbuhan yang pertama kali berinteraksi secara langsung pada air limbah, maka akar akan rusak terlebih dahulu dibandingkan bagian lain dari tumbuhan sebagai respon terhadap racun dari luar tubuh tanaman terutama bagi tanaman yang hidup di air. pH dibawah 5 atau diatas 8 berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan akar tanaman.

Pada penelitian ini pH berkisar antara 6,5 – 8 sehingga penyerapan unsur hara oleh akar terganggu dan cenderung merusak akar, selain itu juga akan berakibat terganggunya proses biosintesis klorofil. Jika proses fotosintesis terhambat maka pembentukan klorofil pun terlambat dan berakibat menurunnya klorofil di dalam daun (Santosa, 1975). Hal ini tampak pada warna daun tanaman eceng gondok yang berwarna kuning dan coklat kering.

Perubahan morfologi tanaman eceng gondok sebelum ditanam di air limbah, tanaman eceng gondok tampak segar, daunnya berwarna hijau. Setelah beberapa hari, ujung daun terluar menjadi berwarna hijau kekuningan dan layu, begitu juga dengan batang. Selanjutnya sebagian besar daun-daunnya berwarna hijau kecoklatan, coklat kering, sebagian daun terendam dalam air dan membusuk.

Perubahan warna pada daun, batang dan akar pada tanaman dapat disebabkan oleh pencemaran bahan organik. Pada hari terakhir dari penelitian yaitu hari ke-12, hampir sebagian daun eceng gondok berwarna coklat kering bahkan ada yang mati, penyebabnya adalah kandungan zat hara dalam air limbah yang semakin berkurang karena terserap oleh tanaman.

4.5.1 Analisa Pertumbuhan Tanaman dan Air Limbah Dalam Reaktor

Proses pengolahan limbah cair TPA Piyungan dengan sistem *Constructed Wetlands* yang menggunakan tanaman eceng gondok sebagai media utama di dalam meremoval kandungan pencemar air limbah ditentukan dengan terjadinya penurunan konsentrasi Timbal (Pb).

Dengan variasi dan kondisi tanaman dalam reaktor sebagai berikut :

- a. Reaktor limbah tanpa eceng gondok dengan konsentrasi limbah 100% sebagai kontrol, proses yang terjadi pada reaktor ini adalah proses filtrasi melalui media tanah dalam reaktor dan terjadinya evaporasi dari efek sinar matahari. Untuk kondisi warna dan bau limbah cair tidak terjadi perubahan yang signifikan, artinya bahwa dari hari ke 0, 3, 6, 9 sampai 12 kondisi warna dan

bau limbah cair relatif sama yakni warna coklat kehitam-hitaman dengan kondisi bening dan berbau. Berikut Tabel 4.9 kondisi air limbah dalam reaktor kontrol.

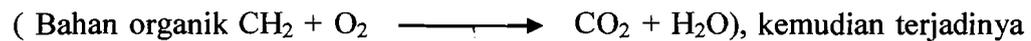
Tabel 4.9 Kondisi Air Limbah 100%

Hari dengan Konsentrasi Limbah 100%	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke- 0	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6
Hari ke- 3	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7.5
Hari ke- 6	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7.5
Hari ke- 9	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	8
Hari ke- 12	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7.5

Sumber : Data primer 2007

b. Reaktor dengan eceng gondok dengan konsentrasi limbah 100%, dimana dalam reaktor ini diharapkan terjadinya proses meremoval kandungan limbah oleh tanaman dan media dalam reaktor. Proses-proses yang terjadi adalah

penguraian limbah menjadi nutrisi bagi tanaman yaitu bahan organik yang terkandung dalam air limbah berupa karbohidrat dengan adanya oksigen akan menghasilkan karbondioksida dan air berikut reaksinya :



proses filtrasi limbah oleh media tanam. Penguraian limbah dengan mikroorganisme yang tumbuh di dalam limbah yang diharapkan berupa mikroorganisme aerob karena mikroorganisme ini selain mengurai limbah juga akan mempertahankan kandungan oksigen dalam air limbah yang akan mengurangi bau dari limbah cair. Pertumbuhan tanaman eceng gondok pada reaktor ini dihari ke-0 sampai ke-6 masih cukup baik sehingga pada kondisi ini proses penguraian limbah cukup efektif hal ini di pengaruhi oleh daya serap akar tanaman terhadap limbah masih cukup baik, sedangkan pada hari ke-6 dan seterusnya terjadi penurunan tingkat meremoval air limbah oleh tanaman di akibatkan karena tanaman eceng gondok mengalami penurunan daya tahan hidupnya hal ini terlihat dengan semakin layunya tanaman dan mengalami fase kematian akibat tingginya konsentrasi air limbah, untuk kondisi pH pada reaktor ini berkisar antara 6 - 8 atau relatif normal jadi tidak terlalu mempengaruhi daya tahan eceng gondok. Berikut Tabel 4.10 gambaran kondisi pertumbuhan tanaman eceng gondok dengan konsentrasi air limbah 100%.

Tabel 4.10 Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok 100%

Hari pada Reaktor Limbah 100%	Kondisi dan Jumlah Komponen dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke- 0	15 cm Segar cokelat	64 cm Hijau segar	(15.5 x 17.5) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 3	15 cm Segar cokelat	64 cm Hijau segar	(13 x 15,5) cm Hijau agak segar	0	14
Hari ke- 6	15 cm Segar cokelat	63 cm Hijau kekuningan segar	(13 x 15) cm Hijau kekuningan dan agak segar	0	14
Hari ke- 9	15 cm Segar cokelat	62 cm Kecoklatan layu	(12 x 15) cm Hijau kekuningan agak segar	1	13
Hari ke- 12	15 cm Segar cokelat	62 cm Kccoklatan layu	(11 x 14.5) cm Hijau kekuningan agak segar	2	12

Sumber : Data primer 2007

c. Reaktor limbah tanpa eceng gondok dengan konsentrasi limbah 75% sebagai kontrol, proses yang terjadi pada reaktor ini juga terjadi proses filtrasi melalui media tanah dalam reaktor dan terjadinya evaporasi dari efek sinar

matahari. Untuk kondisi warna dan bau limbah cair tidak terjadi perubahan yang signifikan, artinya bahwa dari hari ke 0, 3, 6, 9 sampai 12 kondisi warna dan bau limbah cair relatif sama yakni warna cokelat kehitam-hitaman dengan kondisi bening dan berbau. Sedangkan kondisi pH berkisar antara 7-8. berikut Tabel 4.11 gambaran kondisi reaktor tanpa tanaman eceng gondok dalam konsentrasi 75%.

Tabel 4.11 Kondisi Air Limbah 75%

Hari dengan Konsentrasi Limbah 75%	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke- 0	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7
Hari ke- 3	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7.5
Hari ke- 6	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7.5
Hari ke- 9	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7.5
Hari ke- 12	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7.5

Sumber : Data primer 2007

d. Reaktor dengan tanaman eceng gondok konsentrasi limbah 75% proses yang terjadi dalam reaktor ini juga seperti pada reaktor yang pertama yaitu proses penguraian bahan organik dengan mikroorganisme aerobik dan proses filtrasi oleh media tanah. Pertumbuhan tanaman eceng gondok pada hari ke-0 sampai 6 masih relatif baik sehingga penguraian konsentrasi limbah terjadi puncaknya pada hari ke-3, hal ini di karenakan media tanaman belum terpengaruh oleh adanya racun timbal dan kandungan oksigen dalam air limbah relatif masih normal. Sedangkan pada hari ke-6 sampai 12 pertumbuhan tanaman eceng gondok semakin menurun, ini disebabkan karena kadar O_2 semakin berkurang serta pengaruh dari logam berat seperti Pb. Untuk kondisi pH pada reaktor 75% ini adalah yang paling tinggi yaitu 7-8. Berikut Tabel 4.12 gambaran kondisi tanaman eceng gondok dalam reaktor konsentrasi 75%.

Tabel 4.12 Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 75%

Hari pada Reaktor Limbah 75%	Kondisi dan Jumlah Komponen dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke- 0	15 cm Segar coklat	75 cm Hijau segar	(16 x 19.5) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 3	15 cm Segar coklat	75 cm Hijau segar	(14 x 19) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 6	15 cm Segar coklat	75 cm Hijau segar	(13 x 18) cm Hijau agak layu	1	13
Hari ke- 9	15 cm Segar coklat	75 cm Hijau segar	(11,5 x 18) cm Hijau layu	2	12
Hari ke- 12	15 cm Segar coklat	73 cm Hijau segar	(11 x 17) cm Hijau layu	4	10

Sumber : Data primer 2007

e. Reaktor limbah tanpa eceng gondok dengan konsentrasi limbah 50% sebagai kontrol, proses yang terjadi pada reaktor ini juga sama dengan proses yang terjadi pada reaktor sebelumnya yaitu proses filtrasi melalui media tanah dalam reaktor dan terjadinya evaporasi dari efek sinar matahari. Untuk kondisi warna dan bau limbah cair juga tidak terjadi perubahan yang signifikan, artinya bahwa dari hari ke 0, 3, 6, 9 sampai 12 kondisi warna dan bau limbah

cair relatif sama yakni warna cokelat kehitam-hitaman dengan kondisi bening dan berbau. Sedangkan kondisi pH berkisar antara 6.5 - 7.5. berikut Tabel 4.13 gambaran kondisi reaktor tanpa tanaman eceng gondok dalam konsentrasi 50%.

Tabel 4.13 Kondisi Air Limbah 50%

Hari dengan konsentrasi Limbah 50%	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke- 0	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6.5
Hari ke- 3	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7
Hari ke- 6	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6.5
Hari ke- 9	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	7
Hari ke- 12	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6.5

Sumber : Data primer 2007

f. Reaktor dengan tanaman eceng gondok dengan konsentrasi limbah 50%, proses-proses removal limbah pada reaktor ini lebih meningkat dari reaktor-

reaktor sebelumnya. Pertumbuhan media eceng gondok pada hari ke-0 sampai ke-4 cukup baik sedangkan pada hari ke 6 kondisi eceng gondok layu agak layu hal ini terlihat pada bagian batang eceng gondok agak berwarna coklat kehijauan sedangkan daunnya sebagian berwarna kuning dan sebagian lagi berwarna hijau, sedangkan pada hari ke-8 sampai 12 kondisi tanaman sudah kurang efisien lagi, hal ini dapat dilihat dari komponen tanaman yang sudah berwarna coklat berikut Tabel 4.14 gambaran kondisi reaktor dengan tanaman eceng gondok dalam konsentrasi 50%.

Tabel 4.14 Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 50%

Hari pada Reaktor Limbah 50%	Kondisi dan Jumlah Komponen dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke- 0	15 cm Segar cokelat	65 cm Hijau segar	(20 x 19) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 3	15 cm Segar cokelat	65 cm Hijau segar	(20 x 18) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 6	15 cm Segar cokelat	64 cm Cokelat kehijauan	(20 x 18) cm Hijau agak layu	0	14
Hari ke- 9	15 cm Segar cokelat	64 cm Cokelat kehijauan	(19,5 x 18) cm Hijau kekuningan layu	1	13
Hari ke- 12	15 cm Segar cokelat	64 cm Cokelat kehijauan	(19 x 17) cm Hijau kekuningan layu	1	13

Sumber : Data primer 2007

g. Reaktor limbah tanpa eceng gondok dengan konsentrasi limbah 25%

Reaktor limbah tanpa eceng gondok dengan konsentrasi limbah 25% sebagai kontrol, proses yang terjadi pada reaktor ini juga sama dengan proses yang terjadi pada reaktor sebelumnya yaitu proses filtrasi melalui media tanah dalam reaktor dan terjadinya evaporasi dari efek sinar matahari. Untuk kondisi

warna dan bau limbah cair juga tidak terjadi perubahan yang signifikan, artinya bahwa dari hari ke 0, 3, 6, 9 sampai 12 kondisi warna dan bau limbah cair relatif sama yakni warna cokelat kehitam-hitaman dengan kondisi bening dan berbau. Sedangkan kondisi pH berkisar antara 6 - 6.5. berikut Tabel 4.15 gambaran kondisi reaktor tanpa tanaman eceng gondok dalam konsentrasi 25%.

Tabel 4.15 kondisi Air Limbah 25 %

Hari dengan konsentrasi Limbah 25%	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke- 0	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6
Hari ke- 3	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6.5
Hari ke- 6	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6.5
Hari ke- 9	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6.5
Hari ke- 12	Bening	Berbau	Cokelat kehitam hitaman	6

Sumber : Data primer 2007

h. Reaktor dengan Tanaman eceng gondok dengan konsentrasi limbah 25%, proses-proses removal limbah pada reaktor ini lebih meningkat dari reaktor-reaktor sebelumnya. Pertumbuhan media eceng gondok pada hari ke-0 sampai ke-9 cukup baik sedangkan pada hari ke 12 kondisi Eceng Gondok agak layu hal ini terlihat pada bagian batang eceng gondok agak berwarna cokelat kehijauan. berikut Tabel 4.16 gambaran kondisi reaktor dengan tanaman eceng gondok dalam konsentrasi 25%.

Tabel 4.16 kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 25%

Hari pada Reaktor Limbah 25%	Kondisi dan Jumlah Komponen dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke- 0	15 cm Segar Cokelat	54 cm Hijau segar	(16 x 15) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 3	15 cm Segar Cokelat	54 cm Hijau segar	(16 x 15) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 6	15 cm Segar Cokelat	54 cm Hijau segar	(16 x 15) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 9	15 cm Segar Cokelat	54 cm Hijau segar	(16 x 15) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 12	15 cm Segar Cokelat	53 cm Hijau kekuningan	(15 x 15) cm Hijau kekuningan layu	0	14

Sumber : Data primer 2007

i. Reaktor limbah tanpa eceng gondok dengan konsentrasi limbah 0%

Reaktor limbah tanpa eceng gondok dengan konsentrasi limbah 0% sebagai kontrol, proses yang terjadi pada reaktor ini juga sama dengan proses yang terjadi pada reaktor sebelumnya yaitu proses filtrasi melalui media tanah dalam reaktor dan terjadinya evaporasi dari efek sinar matahari. Untuk kondisi warna dan bau limbah cair juga tidak terjadi perubahan yang signifikan, artinya bahwa dari hari ke 0, 3, 6, 9 sampai 12 kondisi warna dan bau air relatif sama yakni warna putih bening. Sedangkan kondisi pH berkisar antara 6-6.5. Berikut tabel 4.17 gambaran kondisi reaktor tanpa tanaman eceng gondok dalam konsentrasi 0%.

Tabel 4.17 kondisi air limbah 0%

Hari dengan konsentrasi Limbah 0%	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke- 0	Bening	Tidak berbau	Putih bening	6
Hari ke- 3	Bening	Tidak berbau	Putih bening	6.5
Hari ke- 6	Bening	Tidak berbau	Putih bening	6
Hari ke- 9	Bening	Tidak berbau	Putih bening	6
Hari ke- 12	Bening	Tidak berbau	Putih bening	6

Sumber : Data primer 2007

j. Reaktor dengan Tanaman eceng gondok dengan konsentrasi limbah 0%, proses-proses removal limbah pada reaktor ini lebih meningkat dari reaktor-reaktor sebelumnya. Pertumbuhan media eceng gondok pada hari ke-0 sampai ke-12 sangat baik karena tidak terpengaruh oleh limbah. berikut Tabel 4.18 gambaran kondisi reaktor dengan tanaman eceng gondok dalam konsentrasi 0%.

Tabel 4.18 kondisi pertumbuhan tanaman Eceng Gondok konsentrasi 0%

Hari pada Reaktor Limbah 0%	Kondisi dan Jumlah Komponen dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke- 0	15 cm Segar cokelat	58 cm Hijau segar	(15 x 16) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 3	15 cm Segar cokelat	58 cm Hijau segar	(15 x 16) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 6	15 cm Segar cokelat	58 cm Hijau segar	(16 x 16) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 9	15 cm Segar cokelat	58 cm Hijau segar	(16 x 17) cm Hijau segar	0	14
Hari ke- 12	15 cm Segar cokelat	58 cm Hijau kekuningan	(16 x 18) cm Hijau segar	0	14

Sumber : Data primer 2007

Dari hasil pengamatan diatas terlihat bahwa pertumbuhan tanaman eceng gondok pada masing-masing konsentrasi terjadi pertumbuhan yang berbeda-beda pada setiap tanaman. Ini dapat dilihat dari perubahan warna pada daun, warna akar, warna batang, panjang akar, panjang daun, panjang batang, lebar daun dan penambahan jumlah daun pada tanaman eceng gondok. Hal ini disebabkan karena setiap tanaman memiliki tingkat kemampuan untuk tumbuh yang berbeda-beda

setelah tanaman tersebut menyerap logam berat Pb. Untuk perubahan warna pada tanaman eceng gondok dalam reaktor uji dapat dilihat pada Lampiran.

4.6 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah TPA Piyungan Terhadap Daya Serap Akar Tanaman

Pengaruh kadar konsentrasi air limbah terhadap pertumbuhan dan daya serap akar secara umum tidak memberikan dampak tertentu. Efisiensi daya serap akar tanaman terhadap air limbah dari TPA Piyungan ini sangat tergantung dari tingkat konsentrasi air limbah yang digunakan, di mana semakin besar konsentrasi limbah dari TPA Piyungan yang digunakan semakin besar daya serap akar terhadap kandungan logam berat pada limbah, hal ini terlihat pada konsentrasi limbah 75% dan 100% yang lebih besar penyerapan sekaligus penurunan logam berat dari limbah cair tersebut.

4.7 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah TPA Piyungan Terhadap Pertumbuhan Panjang Tanaman

Adanya air limbah dari TPA Piyungan di dalam reaktor memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan dari batang tanaman eceng gondok. Hal ini terlihat selama proses penanaman eceng gondok yaitu selama 12 hari proses penelitian, pertumbuhan eceng gondok dari setiap variasi waktu yang diteliti tidak mengalami penambahan pertumbuhan bahkan sebagian mengalami penyusutan, layu kemudian mati. Pengaruh konsentrasi air limbah pada eceng gondok sangat tinggi, yaitu untuk konsentrasi limbah 50%, 75% dan 100% pertumbuhan eceng gondok

sangat terhambat sedangkan untuk konsentrasi air limbah 0%, dan 25% hanya sedikit mempengaruhi pertumbuhan dari eceng gondok hal ini disebabkan kadar pH pada reaktor 50%, 75% dan 100% lebih tinggi.

Terhambatnya pertumbuhan eceng gondok ini dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut, tingginya partikel solid air limbah sehingga mempengaruhi sinar matahari untuk masuk kedalam air dan menghalangi proses *absorban* nutrient oleh akar, serta bahan organik limbah yang tinggi sehingga menimbulkan proses pembusukan yang mengurangi dan menghambat proses terbentuknya oksigen, dan berakibat terhalangnya pelepasan gas-gas yang dihasilkan oleh tanaman ke permukaan air hanya karena adanya lapisan lender (biofilm) di permukaan air dari hasil proses pembusukan, dan timbulnya jenis mikroorganisme anaerob yang membuat air bau.

4.8 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah TPA Piyungan Terhadap Pertumbuhan Luas Daun Tanaman

Pengaruh pemberian konsentrasi air limbah TPA Piyungan dalam reaktor juga memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan daun dari eceng gondok, hal ini ditunjukkan dengan pertumbuhan daun eceng gondok pada konsentrasi air limbah 50%, 75% dan 100% dan berdasarkan variasi waktu yang diamati mengalami penurunan yang lumayan drastis dan bahkan tanaman menjadi mati, sedangkan untuk konsentrasi 0%, dan 25% pertumbuhan daun eceng gondok lebih baik.

Setelah dilakukan pengujian dan pengamatan diperoleh hasil bahwa pada hari ke 9 untuk konsentrasi 50% yaitu 0.0267 mg/L telah memenuhi syarat Peraturan Pemerintah No.82 th. 2001, dimana konsentrasi timbal Pb yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air sebesar 0.03 mg/L. Dengan demikian sistem *constructed wetlands* dengan tanaman eceng gondok dapat di jadikan sebagai salah satu alternatif pengolahan lindi TPA Piyungan.

4.9 Uji Statistik Parameter Pencemar

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

A. Uji Statistik Parameter Pb Dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

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

Tabel 4.19 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Waktu Terhadap Penurunan Kadar Pb

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.TNM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.282 ^a	8	.035	155.544	.000
Intercept	.218	1	.218	961.556	.000
WAKTU	.271	4	.068	298.304	.000
LIMBAH	.012	4	.003	12.784	.000
Error	.004	16	.000		
Total	.504	25			
Corrected Total	.286	24			

a. R Squared = .987 (Adjusted R Squared = .981)

Untuk Test of Between – SubjectEffects 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 :

- $Sig < \alpha$, maka H_0 ditolak
- $Sig > \alpha$, maka H_0 diterima.

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

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 12.784 dengan probabilitas $0,000 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb diantara variasi konsentrasi air limbah.

- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 298.304 dengan probabilitas $0,001 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb diantara variasi waktu pengambilan limbah.

B. Uji Statistik Parameter Pb Tanpa Menggunakan Tanaman Eceng Gondok

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

Tabel 4.20 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Waktu Terhadap Penurunan Kadar Pb

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.AIR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.294 ^a	8	.037	404.502	.000
Intercept	.260	1	.260	2866.252	.000
WAKTU	.288	4	.072	792.984	.000
LIMBAH	.006	4	.001	16.020	.000
Error	.001	16	.000		
Total	.556	25			
Corrected Total	.295	24			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

Untuk Test of Between – SubjectEffects digunakan hipotesis :

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

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

Dengan dasar pengambilan keputusan :

- $Sig < \alpha$, maka H_0 ditolak
- $Sig > \alpha$, maka H_0 diterima.

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

- c. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 16.020 dengan probabilitas $0,000 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb diantara variasi konsentrasi air limbah.
- d. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 792.984 dengan probabilitas $0,001 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb diantara variasi waktu pengambilan limbah

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Dengan menggunakan tanaman eceng gondok pada sistem *Constructed Wetlands* yang digunakan untuk mengolah limbah cair TPA Piyungan Yogyakarta selama 12 hari menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok mampu menurunkan kandungan Timbal pada limbah cair TPA Piyungan pada konsentrasi 100% sebesar 0.0501mg/L, konsentrasi 75% sebesar 0.0295mg/L, konsentrasi 50% sebesar 0.0267mg/L, konsentrasi 25% sebesar dan 0.0041 mg/L, konsentrasi 0% sebesar 0 mg/L.
2. Efisiensi penurunan logam Timbal oleh tanaman eceng gondok terbesar pada konsentrasi limbah 100 % dimana tanaman eceng gondok masih hidup dengan kondisi air mengalami pembusukan, agak berbau dan berwarna coklat kehitaman .
3. Pada hari ke 9 untuk konsentrasi 50% kadar Pb limbah cair TPA Piyungan sebesar 0.0267 mg/L telah memenuhi standar baku mutu (PP No.82 tahun 2001) tentang badan air.

4. Limbah cair TPA Piyungan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman eceng gondok.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Disarankan untuk melakukan pengolahan terlebih dahulu (*preliminary Treatment*) terhadap limbah cair TPA Piyungan sebelum diolah dengan menggunakan sistem *Constructed Wetlands*.
2. Disarankan untuk mengembangkan penelitian dari segi pengaliran limbah yaitu secara terus-menerus (*continue*) dan variasi tanaman serta mengembangkan penelitian dengan pengujian dampak kontaminan pada tanaman terhadap makhluk hidup.
3. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut terhadap tanah sebagai media tumbuh dan hidup tanaman dalam sistem *Constructed Wetlands*.
4. Disarankan untuk mengembangkan pengolahan sistem *constructed wetlands* dengan menggunakan tanaman air lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi.D, 2004, *Pengaruh Waktu Tinggal dan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia crassipes) Terhadap Penurunan Kadar Hg Dalam Limbah Pencucian Emas*, Skripsi STTL, Yayasan Lingkungan, Yogyakarta.
- Ahmady.D, 1993, *Efektivitas Penyerapan Hg dan Pengaruhnya Pada Eceng Gondok*, skripsi Fakultas Biologi, UGM, Yogyakarta.
- Andriyani.U, 2005, *Studi pengolahan limbah cair industri pengalengan jamur dengan reaktor Constructed Wetlands menggunakan tanaman kangkung air (Ipomoea aquatica Forsk)*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Anonim,2002, jurnal purifikasi, <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0307/02/inspirasi/404854>
- Connel,W., Des,Miller., and Gregory., 1984, *Chemistry and Ecotoxicologi of 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 anallsa 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 Wetlands*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Dwidjoseputro, 1992, *Fisiologi Tumbuhan*, PT.Gramedia, Jakarta.
- Fauzi,M.A, 2006, *“Tingkat Penyerapan Nitrat dan Fosfat Dari limbah Cair Pabrik Tahu Dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Air Pada Sistem Constructed Wetlands”*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP, UII, Jogjakarta.

- Fapriyanie.R, 2007, "Tingkat penyerapan Khromium Total (Cr Total) Dari Limbah Laboratorium Kualitas Lingkungan UII Dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*)" , Skripsi Teknik Lingkungan FTSP, UII, Jogjakarta.
- Fitter, A, H, dan R, K, M, Hay, 1991, "Fisiologi Tanaman", Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Foth.A.H, 1991, *Dasar-dasar Ilmu Tanah*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Khalia.N, 2006, *Analisa Timbal dalam daun dan glodokan Tiang (polyalthia longifolia) Thwait pada kawasan lalu lintas padat di DIY*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta
- Mayasari, M, 2007, "Tingkat Penyerapan Pb dari Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia Dengan Constructed Wetlands System Menggunakan Tanaman Eceng Gondok", Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta.
- Met Calf dan Eddy,1990, *Waste Water Engineering Treatment Disposal re Use*, New York, Mc Brow – Hill, Tenth Edition
- Najichah, 2006, *Toksisitas logam berat pada tanaman*, Skripsi MIPA UII, Yogyakarta
- Palar. 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, *Penurunan konsentrasi BOD, COD, TSS dan pH limbah cair industri pembuatan tahu dengan Constructed Wetlands yang menggunakan tanaman paku air (Azolla Pinnata)*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Tjitrosoedirjo dan Sastroutomo, 1983, *Fitoremediasi sebagai sebuah teknologi pemulihan pencemaran, khususnya logam berat*, jurnal purifikasi, bppt.tripod.com/sublab/Ifloa.htm. (diakses pada tanggal 1 agustus 2004)
- Moenandir.J dan hidayat.S, 1993, *Peranan eceng gondok dan kangkung air pada peningkatan mutu air limbah*, agrivita vol 16 no.2 (diakses pada tanggal 7 februari 2007)
- Widyanti.D, 2007, *Tingkat penurunan Pb (timbal) limbah cair laboratorium dengan sistem constructed wetlands menggunakan tanaman eceng gondok*, Skripsi Teknik Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta
- Widyanto, L dan Susilo, 1997, *Eceng Gondok sebagai penyerap air*, tropikal pest biologi program, SEAMEO-BIOTROP, Bogor.
- ,*"Sampah Terbanyak dari Kota"* (diakses pada tanggal 10 desember 2006)

LAMPIRAN

STANDAR AIR BUANGAN

LAMPIRAN I

Air Minum **→ KepMenKes No. 907/MENKES/SK/VII/2002**

No	Parameter	Satuan	Persyaratan	Teknik Pengujian
FISIKA				
1.	Bau	-	tidak berbau	Organoleptik
2.	Rasa	-	normal	Organoleptik
3.	Warna	TCU	maks.15	Spektrofotometri
4.	Total Padatan Terlarut (TDS)	mg/l	maks. 1000	Gravimetri
5.	Kekeruhan	NTU	maks. 5	Spektrofotometri
6.	Suhu	°C	Suhu udara \pm 3°C	Termometer
KIMIA				
7.	Besi (Fe)	mg/l	maks 0.3	AAS
8.	Kesadahan sebagai CaCO ₃	mg/l	maks. 500	Titrimetri
9.	Klorida (Cl)	mg/l	maks 250	Argentometri
10.	Mangan (Mn)	mg/l	maks 0.1	AAS
11.	pH	-	6.5 - 8.5	pH meter
12.	Seng (Zn)	mg/l	maks. 8	AAS
13.	Sulfat (SO ₄)	mg/l	maks 250	Spektrofotometri
14.	Tembaga (Cu)	mg/l	maks. 1	AAS
15.	Klorin (Cl ₂)	mg/l	maks. 5	Titrimetri
16.	Amonium (NH ₄)	mg/l	maks 0.15	Spektrofotometri (Nesler)
KIMIA ANORGANIK				
17.	Arsen (As)	mg/l	maks. 0.01	AAS
18.	Fluorida (F)	mg/l	maks 1.5	Spektrofotometri
19.	Krom heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/l	maks 0.05	AAS

20.	Kadmium (Cd)	mg/l	maks. 0.003	AAS
21.	Nitrat (NO ₃)	mg/l	maks 50	Spektrofotometri (Brusin)
22.	Nitrit (NO ₂)	mg/l	maks 3	Spektrofotometri (NED)
23.	Sianida (CN)	mg/l	maks 0.07	Destilasi
24.	Timbal (Pb)	mg/l	maks. 0.01	AAS
25.	Raksa (Hg)	mg/l	maks 0.001	AAS
	MIKROBIOLOGI			
24.	E. Coli	APM/100ml	negatif	MPN
25.	Total Bakteri Koliform	APM/100ml	negatif	MPN

Limbah Cair Industri —→ Kep. Gub. Jabar No. 6 Tahun 1999

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Limbah Cair*)		Teknik Pengujian
			Gol. I	Gol. II	
FISIKA					
1	Temperatur	°C	38	40	Termometer
2	Zat padat terlarut	mg/l	2000	4000	Gravimetri
3	Zat padat Tersuspensi	mg/l	200	400	Gravimetri
KIMIA					
1	pH	-	6.0-9.0	6.0-9.0	pH meter
2	Besi terlarut (Fe)	mg/l	5	10	AAS
3	Mangan terlarut (Mn)	mg/l	2	5	AAS
4	Barium (Ba)	mg/l	2	3	-
5	Tembaga (Cu)	mg/l	2	3	AAS
6	Seng (Zn)	mg/l	5	10	AAS
7	Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/l	0.1	0.5	AAS
8	Krom Total (Cr)	mg/l	0.5	1	AAS
9	Cadmium (Cd)	mg/l	0.05	0.1	AAS
10	Raksa (Hg)	mg/l	0.002	0.005	AAS
11	Timbal (Pb)	mg/l	0.1	1	AAS
12	Stanum (Sn)	mg/l	2	3	-
13	Arsen (As)	mg/l	0.1	0.5	AAS
14	Selenium (Se)	mg/l	0.05	0.5	AAS
15	Nikel (Ni)	mg/l	0.2	0.5	AAS

16	Kobalt (Co)	mg/l	0.4	0.6	AAS
17	Sianida (CN)	mg/l	0.05	0.5	Destilasi
18	Sulfida (H ₂ S)	mg/l	0.05	0.1	Spektrophotometer
19	Fluorida (F)	mg/l	2	3	Spektrophotometri
20	Klorin bebas (Cl ₂)	mg/l	1	2	Argentometri
21	Amoniak bebas (NH ₃ -N)	mg/l	1	5	Spektrophotometri (Nesler)
22	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	20	30	Spektrophotometri (Brusin)
23	Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	1	3	Spektrophotometri (NED)
24	BOD ₅	mg/l	50	150	Titrimetri/Winkler
25	COD	mg/l	100	300	Reflux Kalium dikromat
26	Senyawa aktif biru metilen	mg/l	5	10	Spektrophotometri
27	Fenol	mg/l	0.5	1	Titrimetri
28	Minyak nabati	mg/l	5	10	Ekstraksi / Gravimetri
29	Minyak mineral	mg/l	10	50	Ekstraksi / Gravimetri
30	Radioaktivitas*)	-	-	-	-

Badan Air —→ Peraturan Pemerintah No. 82 Th. 2001

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Badan Air Kelas I *)	Teknik Pengujian
	FISIKA			
1	Temperatur	°C	-	Temperatur
2	Zat padat terlarut	mg/l	1000	Gravimetri
3	Zat padat Tersuspensi	mg/l	50	Gravimetri
	KIMIA ANORGANIK			
4	pH	-	6 - 9	pH meter
5	BOD	mg/l	2	Titrimetri/winkler
6	COD	mg/l	10	Reflux kalium dikromat
7	DO	mg/l	6	DO meter
8	Total Fosfat	mg/l	0.2	Spektrofotometri
9	NO ₃ -N	mg/l	10	Spektrofotometri (Brusin)
10	NH ₃ -N	mg/l	0.5	Spektrometri (Nesler)
11	Arsen (As)	mg/l	0.05	-
12	Kobalt (Co)	mg/l	0.2	AAS
13	Barium (Ba)	mg/l	1	-
14	Boron (B)	mg/l	1	-
15	Selenium (Se)	mg/l	0.01	AAS
16	Kadmium (Cd)	mg/l	0.01	AAS
17	Khrom (VI)	mg/l	0.05	AAS
18	Tembaga (Cu)	mg/l	0.02	AAS
19	Besi (Fe)	mg/l	0.3	AAS
20	Timbal (Pb)	mg/l	0.03	AAS
21	Mangan (Mn)	mg/l	0.1	AAS

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



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

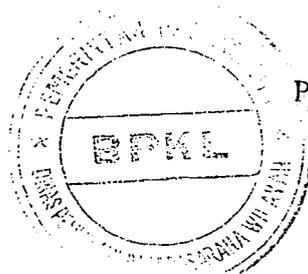
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : LM Subhan Abdullah

Sample : (Air + Tanaman) 6 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0013	0,0014	-0,0013	0,0014
2	25%	-0,0011	0,0282	-0,0011	0,0274
3	50%	-0,0009	0,0532	-0,0009	0,0521
4	75%	-0,0004	0,1379	-0,0004	0,1385
5	100%	0,0006	0,3045	0,0006	0,3088

Yogyakarta, Februari 2007



Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897



PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN

JL. RING ROAD UTARA MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

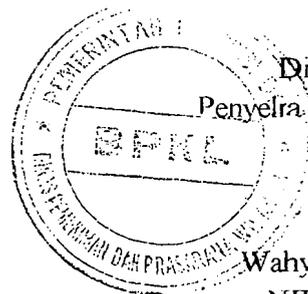
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : LM Subhan Abdullah

Sample : (Air + Tanaman) 3 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0013	0,0014	-0,0013	0,0015
2	25%	-0,0011	0,0340	-0,0010	0,0368
3	50%	-0,0009	0,0616	-0,0009	0,0631
4	75%	-0,0004	0,1393	-0,0012	0,0158
5	100%	0,0007	0,3101	0,0007	0,3175

Yogyakarta, Februari 2007



Diperiksa oleh :
Penyelra. Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897



PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN

JL. RING ROAD UTARA MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

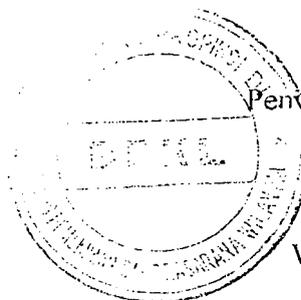
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : LM Subhan Abdullah

Sample : (Air Limbah) 12 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0013	< 0,001	-0,0013	< 0,001
2	25%	-0,0013	< 0,001	-0,0013	< 0,001
3	50%	-0,0013	< 0,001	-0,0013	< 0,001
4	75%	-0,0008	0,0690	-0,0008	0,0135
5	100%	0,0013	0,2256	-0,0011	0,02302

Yogyakarta, Februari 2007



Diperiksa oleh :
Penvelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897



PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN

JL. RING ROAD UTARA MAGUWO HARJO DEPOK SLEMAN YOGYAKARTA, Telp. (0274) 489622

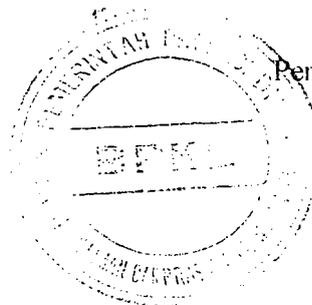
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

Pengirim : LM Subhan Abdullah

Sample : (Air Limbah) 9 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0013	< 0,001	-0,0014	< 0,001
2	25%	-0,0012	0,0042	-0,0012	0,0046
3	50%	-0,0011	0,0268	-0,0011	0,0258
4	75%	-0,0007	0,0985	-0,0007	0,0873
5	100%	0,0004	0,2758	0,0004	0,2658

Yogyakarta, Februari 2007



Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air

Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897



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

HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

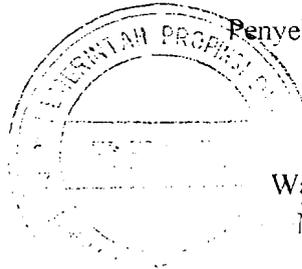
Pengirim : LM Subhan Abdullah

Sample : (Air Limbah) 6 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0013	< 0,001	-0,0013	< 0,001
2	25%	-0,0011	0,0223	-0,0011	0,0235
3	50%	-0,0010	0,0473	-0,0010	0,0433
4	75%	-0,0005	0,1203	-0,0005	0,1245
5	100%	0,0006	0,2984	0,0005	0,2863

Yogyakarta. Februari 2007

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air



Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897



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

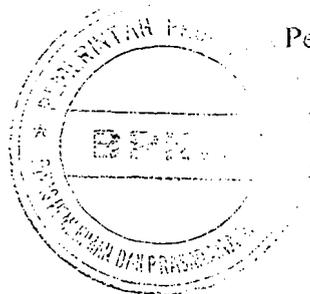
HASIL ANALISIS TIMBAL (Pb)

pengirim : LM Subhan Abdullah
sample : (Air Limbah) 3 hari

No	Sample	Pengamatan I		Pengamatan II	
		Absorbans	mg/l Pb	Absorbans	mg/l Pb
1	0%	-0,0013	0,0014	-0,0013	0,0013
2	25%	-0,0011	0,0340	-0,0011	0,0276
3	50%	-0,0009	0,0616	-0,0009	0,0613
4	75%	-0,0004	0,1393	-0,0004	0,1352
5	100%	0,0007	0,3101	0,0007	0,3092

Yogyakarta, Februari 2007

Diperiksa oleh :
Penyelia Pengujian Mutu Air




Wahyu Hidayat, BSc
NIP. 110021897

HASIL PERHITUNGAN STATISTIK

LAMPIRAN III

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
WAKTU	0	0HARI	5
	1	3HARI	5
	2	6HARI	5
	3	9HARI	5
	4	12HARI	5
LIMBAH	0	0%	5
	1	25%	5
	2	50%	5
	3	75%	5
	4	100%	5

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.TNM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.282 ^a	8	.035	155.544	.000
Intercept	.218	1	.218	961.556	.000
WAKTU	.271	4	.068	298.304	.000
LIMBAH	.012	4	.003	12.784	.000
Error	.004	16	.000		
Total	.504	25			
Corrected Total	.286	24			

a. R Squared = .987 (Adjusted R Squared = .981)

Post Hoc Tests

WAKTU

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.TNM

	(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0HARI	3HARI	-.0191	.00952	.308	-.0483	.0101
		6HARI	-.0404*	.00952	.005	-.0696	-.0113
		9HARI	-.1151*	.00952	.000	-.1443	-.0859
		12HARI	-.2847*	.00952	.000	-.3139	-.2555
	3HARI	0HARI	.0191	.00952	.308	-.0101	.0483
		6HARI	-.0213	.00952	.214	-.0505	.0078
		9HARI	-.0960*	.00952	.000	-.1252	-.0669
		12HARI	-.2656*	.00952	.000	-.2948	-.2364
	6HARI	0HARI	.0404*	.00952	.005	.0113	.0696
		3HARI	.0213	.00952	.214	-.0078	.0505
		9HARI	-.0747*	.00952	.000	-.1039	-.0455
		12HARI	-.2443*	.00952	.000	-.2734	-.2151
	9HARI	0HARI	.1151*	.00952	.000	.0859	.1443
		3HARI	.0960*	.00952	.000	.0669	.1252
		6HARI	.0747*	.00952	.000	.0455	.1039
		12HARI	-.1696*	.00952	.000	-.1987	-.1404
	12HARI	0HARI	.2847*	.00952	.000	.2555	.3139
		3HARI	.2656*	.00952	.000	.2364	.2948
		6HARI	.2443*	.00952	.000	.2151	.2734
		9HARI	.1696*	.00952	.000	.1404	.1987
Bonferroni	0HARI	3HARI	-.0191	.00952	.623	-.0501	.0119
		6HARI	-.0404*	.00952	.006	-.0714	-.0095
		9HARI	-.1151*	.00952	.000	-.1461	-.0842
		12HARI	-.2847*	.00952	.000	-.3157	-.2537
	3HARI	0HARI	.0191	.00952	.623	-.0119	.0501
		6HARI	-.0213	.00952	.395	-.0523	.0096
		9HARI	-.0960*	.00952	.000	.1270	.0651
		12HARI	-.2656*	.00952	.000	-.2966	-.2346
	6HARI	0HARI	.0404*	.00952	.006	.0095	.0714
		3HARI	.0213	.00952	.395	-.0096	.0523
		9HARI	-.0747*	.00952	.000	-.1057	-.0437
		12HARI	-.2443*	.00952	.000	-.2752	-.2133
	9HARI	0HARI	.1151*	.00952	.000	.0842	.1461
		3HARI	.0960*	.00952	.000	.0651	.1270
		6HARI	.0747*	.00952	.000	.0437	.1057
		12HARI	-.1696*	.00952	.000	-.2005	-.1386
	12HARI	0HARI	.2847*	.00952	.000	.2537	.3157
		3HARI	.2656*	.00952	.000	.2346	.2966
		6HARI	.2443*	.00952	.000	.2133	.2752
		9HARI	.1696*	.00952	.000	.1386	.2005

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.TNM

WAKTU	N	Subset			
		1	2	3	4
Tukey HSD ^{a, b} 0HARI	5	.0015			
3HARI	5	.0206	.0206		
6HARI	5		.0419		
9HARI	5			.1166	
12HARI	5				.2862
Sig.		.308	.214	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.

LIMBAH

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.TNM

	(I) LIMBAH	(J) LIMBAH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0%	25%	.0107	.00952	.792	-.0185	.0399
		50%	.0223	.00952	.182	-.0069	.0515
		75%	.0389*	.00952	.007	.0098	.0681
		100%	.0611*	.00952	.000	.0319	.0902
	25%	0%	-.0107	.00952	.792	-.0399	.0185
		50%	.0116	.00952	.741	-.0176	.0408
		75%	.0282	.00952	.060	-.0009	.0574
		100%	.0504*	.00952	.001	.0212	.0795
	50%	0%	-.0223	.00952	.182	-.0515	.0069
		25%	-.0116	.00952	.741	-.0408	.0176
		75%	.0166	.00952	.436	-.0125	.0458
		100%	.0388*	.00952	.007	.0096	.0679
	75%	0%	-.0389*	.00952	.007	-.0681	-.0098
		25%	-.0282	.00952	.060	-.0574	.0009
		50%	-.0166	.00952	.436	-.0458	.0125
		100%	.0221	.00952	.188	-.0071	.0513
	100%	0%	-.0611*	.00952	.000	-.0902	-.0319
		25%	-.0504*	.00952	.001	-.0795	-.0212
		50%	-.0388*	.00952	.007	-.0679	-.0096
		75%	-.0221	.00952	.188	-.0513	.0071
Bonferroni	0%	25%	.0107	.00952	1.000	-.0203	.0417
		50%	.0223	.00952	.324	-.0087	.0533
		75%	.0389*	.00952	.009	.0080	.0699
		100%	.0611*	.00952	.000	.0301	.0920
	25%	0%	-.0107	.00952	1.000	-.0417	.0203
		50%	.0116	.00952	1.000	-.0194	.0426
		75%	.0282	.00952	.091	-.0027	.0592
		100%	.0504*	.00952	.001	.0194	.0813
	50%	0%	-.0223	.00952	.324	-.0533	.0087
		25%	-.0116	.00952	1.000	-.0426	.0194
		75%	.0166	.00952	.999	-.0143	.0476
		100%	.0388*	.00952	.009	.0078	.0697
	75%	0%	-.0389*	.00952	.009	-.0699	-.0080
		25%	-.0282	.00952	.091	-.0592	.0027
		50%	-.0166	.00952	.999	-.0476	.0143
		100%	.0221	.00952	.337	-.0088	.0531
	100%	0%	-.0611*	.00952	.000	-.0920	-.0301
		25%	-.0504*	.00952	.001	-.0813	-.0194
		50%	-.0388*	.00952	.009	-.0697	-.0078
		75%	-.0221	.00952	.337	-.0531	.0088

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.TNM

	LIMBAH	N	Subset		
			1	2	3
Tukey HSD ^{a, b}	100%	5	.0589		
	75%	5	.0810	.0810	
	50%	5		.0977	.0977
	25%	5		.1093	.1093
	0%	5			.1200
	Sig.		.188	.060	.182

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	0	0HARI	5
	1	3HARI	5
	2	6HARI	5
	3	9HARI	5
	4	12HARI	5
LIMBAH	0	0%	5
	1	25%	5
	2	50%	5
	3	75%	5
	4	100%	5

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Pb.AIR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.294 ^a	8	.037	404.502	.000
Intercept	.260	1	.260	2866.252	.000
WAKTU	.288	4	.072	792.984	.000
LIMBAH	.006	4	.001	16.020	.000
Error	.001	16	.000		
Total	.556	25			
Corrected Total	.295	24			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

Post Hoc Tests

WAKTU

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.AIR

	(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0HARI	3HARI	-.0235*	.00603	.010	-.0419	-.0050
		6HARI	-.0515*	.00603	.000	-.0700	-.0330
		9HARI	-.1299*	.00603	.000	-.1484	-.1115
		12HARI	-.2962*	.00603	.000	-.3147	-.2777
	3HARI	0HARI	.0235*	.00603	.010	.0050	.0419
		6HARI	-.0280*	.00603	.002	-.0465	-.0095
		9HARI	-.1064*	.00603	.000	-.1249	-.0880
		12HARI	-.2727*	.00603	.000	-.2912	-.2543
	6HARI	0HARI	.0515*	.00603	.000	.0330	.0700
		3HARI	.0280*	.00603	.002	.0095	.0465
		9HARI	-.0784*	.00603	.000	-.0969	-.0600
		12HARI	-.2447*	.00603	.000	-.2632	-.2262
	9HARI	0HARI	.1299*	.00603	.000	.1115	.1484
		3HARI	.1064*	.00603	.000	.0880	.1249
		6HARI	.0784*	.00603	.000	.0600	.0969
		12HARI	-.1663*	.00603	.000	-.1847	-.1478
	12HARI	0HARI	.2962*	.00603	.000	.2777	.3147
		3HARI	.2727*	.00603	.000	.2543	.2912
		6HARI	.2447*	.00603	.000	.2262	.2632
		9HARI	.1663*	.00603	.000	.1478	.1847
Bonferroni	0HARI	3HARI	-.0235*	.00603	.013	-.0431	-.0039
		6HARI	-.0515*	.00603	.000	-.0711	-.0319
		9HARI	-.1299*	.00603	.000	-.1495	-.1103
		12HARI	-.2962*	.00603	.000	-.3158	-.2766
	3HARI	0HARI	.0235*	.00603	.013	.0039	.0431
		6HARI	-.0280*	.00603	.003	-.0478	-.0084
		9HARI	-.1064*	.00603	.000	-.1260	-.0869
		12HARI	-.2727*	.00603	.000	-.2923	-.2531
	6HARI	0HARI	.0515*	.00603	.000	.0319	.0711
		3HARI	.0280*	.00603	.003	.0084	.0478
		9HARI	-.0784*	.00603	.000	-.0980	-.0588
		12HARI	-.2447*	.00603	.000	-.2643	-.2251
	9HARI	0HARI	.1299*	.00603	.000	.1103	.1495
		3HARI	.1064*	.00603	.000	.0869	.1260
		6HARI	.0784*	.00603	.000	.0588	.0980
		12HARI	-.1663*	.00603	.000	-.1859	-.1467
	12HARI	0HARI	.2962*	.00603	.000	.2766	.3158
		3HARI	.2727*	.00603	.000	.2531	.2923
		6HARI	.2447*	.00603	.000	.2251	.2643
		9HARI	.1663*	.00603	.000	.1467	.1859

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.AIR

WAKTU	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Tukey HSD ^{a, b} 0HARI	5	.0018				
3HARI	5		.0253			
6HARI	5			.0533		
9HARI	5				.1317	
12HARI	5					.2980
Sig.		1.000	1.000	1.000	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.

LIMBAH

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pb.AIR

	(I) LIMBAH	(J) LIMBAH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0%	25%	.0081	.00603	.673	-.0104	.0265
		50%	.0150	.00603	.144	-.0035	.0334
		75%	.0220*	.00603	.016	.0035	.0404
		100%	.0448*	.00603	.000	.0263	.0632
	25%	0%	-.0081	.00603	.673	-.0265	.0104
		50%	.0069	.00603	.781	-.0116	.0254
		75%	.0139	.00603	.192	-.0045	.0324
		100%	.0367*	.00603	.000	.0182	.0552
	50%	0%	-.0150	.00603	.144	-.0334	.0035
		25%	-.0069	.00603	.781	.0254	.0116
		75%	.0070	.00603	.770	-.0114	.0255
		100%	.0298*	.00603	.001	.0113	.0483
	75%	0%	-.0220*	.00603	.016	-.0404	-.0035
		25%	-.0139	.00603	.192	-.0324	.0045
		50%	-.0070	.00603	.770	-.0255	.0114
		100%	.0228*	.00603	.012	.0043	.0412
	100%	0%	-.0448*	.00603	.000	-.0632	-.0263
		25%	-.0367*	.00603	.000	-.0552	-.0182
		50%	-.0298*	.00603	.001	-.0483	-.0113
		75%	-.0228*	.00603	.012	-.0412	-.0043
Bonferroni	0%	25%	.0081	.00603	1.000	-.0115	.0277
		50%	.0150	.00603	.245	-.0046	.0346
		75%	.0220*	.00603	.022	.0024	.0416
		100%	.0448*	.00603	.000	.0252	.0644
	25%	0%	-.0081	.00603	1.000	-.0277	.0115
		50%	.0069	.00603	1.000	-.0127	.0265
		75%	.0139	.00603	.346	-.0057	.0335
		100%	.0367*	.00603	.000	.0171	.0563
	50%	0%	-.0150	.00603	.245	-.0346	.0046
		25%	-.0069	.00603	1.000	-.0265	.0127
		75%	.0070	.00603	1.000	-.0126	.0266
		100%	.0298*	.00603	.001	.0102	.0494
	75%	0%	-.0220*	.00603	.022	-.0416	-.0024
		25%	-.0139	.00603	.346	-.0335	.0057
		50%	-.0070	.00603	1.000	-.0266	.0126
		100%	.0228*	.00603	.016	.0032	.0424
	100%	0%	-.0448*	.00603	.000	-.0644	-.0252
		25%	-.0367*	.00603	.000	-.0563	-.0171
		50%	-.0298*	.00603	.001	-.0494	-.0102
		75%	-.0228*	.00603	.016	-.0424	-.0032

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

Pb.AIR

	LIMBAH	N	Subset		
			1	2	3
Tukey HSD ^{a, b}	100%	5	.0752		
	75%	5		.0980	
	50%	5		.1050	.1050
	25%	5		.1119	.1119
	0%	5			.1200
	Sig.		1.000	.192	.144

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

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

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

LAMPIRAN IV

HASIL PENGAMATAN VISUAL

Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok

Hari pada limbah 100%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna coklat, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 64 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15.5x17.5 cm	0	14	6
Hari ke-1	Normal, berwarna coklat, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 64 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15 x17cm	0	14	6
Hari ke-2	Normal, berwarna coklat, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 64 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x16cm	0	14	7
Hari ke-3	Normal, berwarna coklat, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 64 cm	Segar, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x15.5 cm	0	14	7.5
Hari ke-4	Normal, berwarna coklat, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 64 cm	Segar, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x15.5 cm	0	14	8
Hari ke-5	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 64 cm	Segar, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x15.5cm	0	14	7.5
Hari ke-6	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 63 cm	Mulai Layu, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x15cm	0	14	7.5
Hari ke-7	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 63 cm	Mulai Layu, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x15cm	0	14	7.5
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 63 cm	Mulai Layu, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12.5x15cm	1	13	8
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 62 cm	Mulai Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12x15cm	1	13	8

Hari ke-10	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 62 cm	Kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12x15cm	1	13	7.5
Hari ke-11	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 62 cm	Kecoklatan, tumbuh bunga, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 11.5x14.5cm	2	12	7.5
Hari ke-12	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan , panjang batang rata-rata 62 cm	Kecoklatan, tumbuh bunga, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 11x14.5cm	2	12	7.5

Sumber : Data Primer 2007

Hari pada limbah 75%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 75 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x19.5 cm	0	14	7
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 75 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x19.5 cm	0	14	7
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 75 cm	Mulai layu, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15x19 cm	0	14	8
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 75 cm	Mulai layu, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x19 cm	0	14	8
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 75 cm	Mulai layu, sebagian hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 14x18.5 cm	0	14	8
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Layu, berwarna hijau kecoklatan, panjang batang rata-rata 75 cm	Layu, hijau kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13.5x18cm	1	13	8
Hari ke-6	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Layu, berwarna hijau kecoklatan, panjang batang rata-rata 75 cm	Layu, hijau kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x18cm	1	13	8
Hari ke-7	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Layu, berwarna hijau kecoklatan, panjang batang rata-rata 75 cm	Layu, hijau kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 13x18cm	1	13	8
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 75 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 12x17cm	2	12	7.5
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 75 cm	Layu, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 11x16cm	2	12	7.5

Hari ke-10	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 75 cm	Kering, kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 11x15cm	3	11	7.5
Hari ke-11	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Layu, kering, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 75 cm	Coklat, kering, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 10.5x14cm	3	11	7.5
Hari ke-12	Berwarna coklat muda, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Layu, kering, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 75 cm	Coklat, kering, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 10x14cm	4	10	7.5

Sumber : Data Primer 2007

Hari pada limbah 50%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 65 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 20x19 cm	0	14	6.5
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 65 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 20x19 cm	0	14	6.5
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 65 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 20x19 cm	0	14	7
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 65 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 20x19 cm	0	14	7
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 65 cm	Segar, hijau, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 20x18.5 cm	0	14	7
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 65cm	Segar, hijau, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 20x18.5 cm	0	14	7
Hari ke-6	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 65cm	Segar, hijau, Jumlah 5-6 helai, daun 20x18cm	0	14	6.5
Hari ke-7	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 64.5 cm	Mulai layu, hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, daun 20x18cm	0	14	7
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 64.5 cm	Mulai layu, hijau kekuningan, Jumlah 5-6 helai, daun 19.5x18cm	0	14	7.5
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 64.5 cm	Mulai layu, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 19.5x18cm	0	14	7

Hari ke-10	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan , panjang batang rata-rata 64 cm	Mulai layu, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 19.5x18cm	0	14	7
Hari ke-11	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 64 cm	Mulai layu, hijau kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 19x18cm	0	14	7
Hari ke-12	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna kecoklatan, panjang batang rata-rata 64 cm	Mulai layu, hijau kecoklatan, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 19x18cm	0	14	6.5

Sumber : Data Primer 2007

Hari pada limbah 25%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x15 cm	0	14	6
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x15 cm	0	14	6
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x15 cm	0	14	6.5
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x15 cm	0	14	6.5
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x15 cm	0	14	6.5
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, Jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x15 cm	0	14	6
Hari ke-6	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, Jumlah 5-6 helai, daun 16x15cm	0	14	6
Hari ke-7	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, Jumlah 5-6 helai, daun 16x15cm	0	14	6.5
Hari ke-8	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang Batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, Jumlah 5-6 helai, daun 16x15cm	0	14	6.5
Hari ke-9	Normal, berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 54 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 16x15cm	0	14	6.5

Hari ke-10	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 53.3 cm	Mulai layu, berwarna hijau kekuningan, ada tumbuh tunas baru jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15.5x15cm	0	14	6.5
Hari ke-11	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 53.2 cm	Mulai layu, berwarna hijau kekuningan, ada tumbuh tunas baru jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15.5x15cm	0	14	6.5
Hari ke-12	Berwarna coklat tua, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 15 cm.	Agak layu, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 53 cm	Mulai layu, berwarna hijau kekuningan, ada tumbuh tunas baru jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15x15cm	0	14	6.5

Sumber : Data Primer 2007

Hari pada limbah 0%	Kondisi dan jumlah komponen dari Eceng Gondok					
	akar	Batang	Daun	Mati	Hidup	pH
Hari ke-0	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15x17 cm	0	14	6
Hari ke-1	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15x17 cm	0	14	6
Hari ke-2	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15x17 cm	0	14	6
Hari ke-3	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15x17 cm	0	14	6.5
Hari ke-4	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 15x17 cm	0	14	6.5
Hari ke-5	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 15x17 cm	0	14	6.5
Hari ke-6	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 15x17cm	0	14	6
Hari ke-7	Normal, berwarna hitam kecoklatan, berserabut banyak, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 15x17 cm	0	14	6.5
Hari ke-8	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57 cm	Segar, hijau, ada tunas baru, jumlah 5-6 helai, ukuran daun 15x17 cm	0	14	6.5

Hari ke-9	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57 cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 15x17cm	0	14	6
Hari ke-10	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau, panjang batang rata-rata 57cm	Segar, hijau, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 15x17cm	0	14	6
Hari ke-11	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 15cm.	Segar, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 57 cm	Segar, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 15x17cm	0	14	6
Hari ke-12	Normal, berwarna hitam kecoklatan, akar berserabut banyak, Adanya akar-akar baru, panjang akar rata-rata 15 cm.	Segar, berwarna hijau kekuningan, panjang batang rata-rata 57 cm	Segar, hijau kekuningan, jumlah 5-6 helai, ada tumbuh tunas baru ukuran daun 15x16.5cm	0	14	6

Sumber : Data Primer 2007

TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 100 %

Hari pada Reaktor Control 100%	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air	pH
Hari ke-0	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6
Hari ke-1	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6
Hari ke-2	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-3	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7,5
Hari ke-4	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	8
Hari ke-5	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	8
Hari ke-6	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-7	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-8	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	8
Hari ke-9	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	8
Hari ke-10	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-11	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-12	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5

Sumber : Data Primer 2007

TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 75 %

Hari pada Reaktor Control 75 %	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air	pH
Hari ke-0	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-1	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-2	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	8
Hari ke-3	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	8
Hari ke-4	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	8
Hari ke-5	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-6	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-7	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	8
Hari ke-8	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-9	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-10	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-11	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-12	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5

Sumber : Data Primer 2007

TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 50 %

Hari pada Reaktor Control 50 %	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air	pH
Hari ke-0	Bening	berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-1	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-2	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-3	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-4	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-5	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-6	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-7	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-8	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7.5
Hari ke-9	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-10	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-11	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	7
Hari ke-12	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5

Sumber : Data Primer 2007

TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 25 %

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
	25 %	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air
Hari ke-0	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6
Hari ke-1	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6
Hari ke-2	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-3	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-4	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-5	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6
Hari ke-6	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6
Hari ke-7	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-8	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-9	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-10	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-11	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5
Hari ke-12	Bening	Berbau	Coklat kehitaman	6.5

Sumber : Data Primer 20

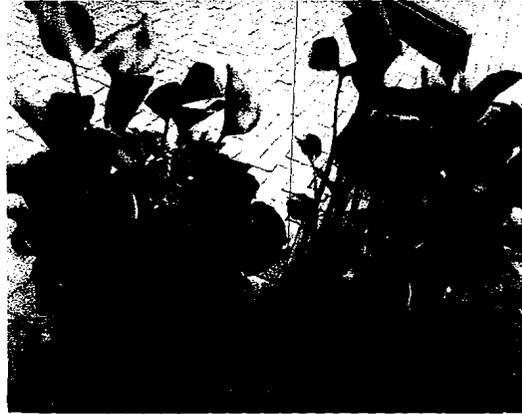
TABEL KONDISI AIR LIMBAH REAKTOR KONTROL 0 %

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
	0 %	Kondisi Air	Bau Air	Warna Air
Hari ke-0	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6
Hari ke-1	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6
Hari ke-2	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6
Hari ke-3	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6,5
Hari ke-4	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6,5
Hari ke-5	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6,5
Hari ke-6	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6,5
Hari ke-7	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6.5
Hari ke-8	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6.5
Hari ke-9	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6.5
Hari ke-10	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6
Hari ke-11	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6
Hari ke-12	Bening	Tidak berbau	Putih Bening	6

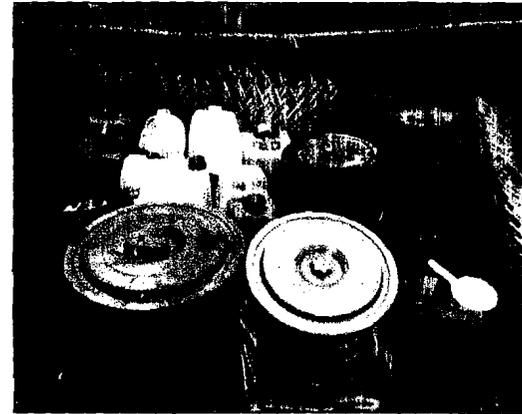
Sumber : Data Primer 2007

DOKUMENTASI

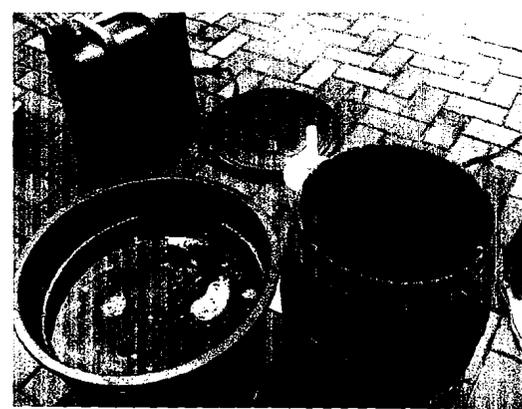
LAMPIRAN V



Gambar Eceng Gondok Sebelum Perlakuan

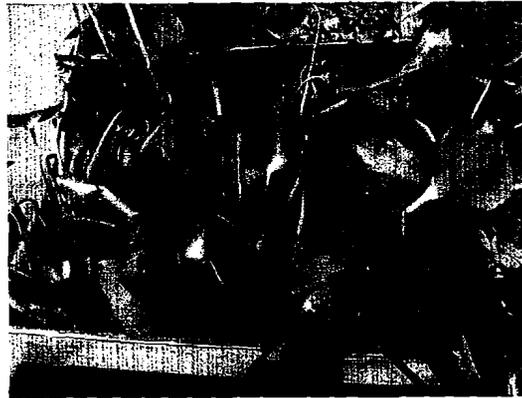


Gambar Limbah Sebelum Perlakuan



REAKTOR PENGOLAHAN *CONSTRUCTED WETLANDS*

HARI KE-0



Konsentrasi Limbah 0%



Konsentrasi Limbah 25%



Konsentrasi Limbah 50%



Konsentrasi Limbah 75%



Konsentrasi Limbah 100%

REAKTOR PENGOLAHAN *CONSTRUCTED WETLANDS*

HARI KE-3



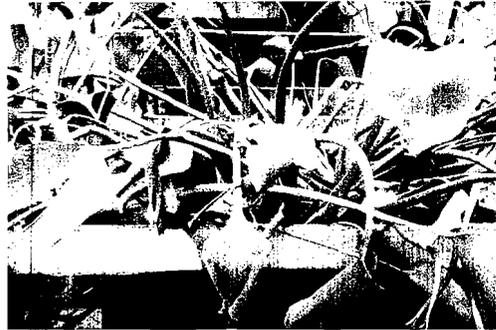
Konsentrasi Limbah 0%



Konsentrasi Limbah 25%



Konsentrasi Limbah 50%



Konsentrasi Limbah 75%



Konsentrasi Limbah 100%

REAKTOR PENGOLAHAN *CONSTRUCTED WETLANDS*

HARI KE-6



Konsentrasi Limbah 0%



Konsentrasi Limbah 25%



Konsentrasi Limbah 50%



Konsentrasi Limbah 75%



Konsentrasi Limbah 100%

REAKTOR PENGOLAHAN *CONSTRUCTED WETLANDS*

HARI KE-9



Konsentrasi Limbah 0%



Konsentrasi Limbah 25%



Konsentrasi Limbah 50%



Konsentrasi Limbah 75%



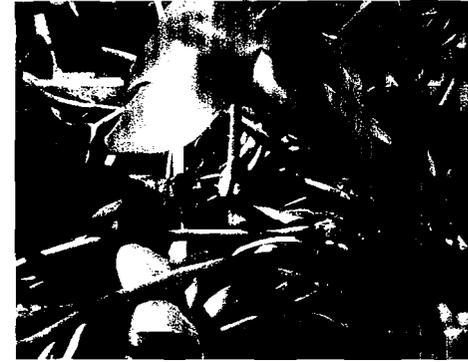
Konsentrasi Limbah 100%

REAKTOR PENGOLAHAN *CONSTRUCTED WETLANDS*

HARI KE-12



Konsentrasi Limbah 0%



Konsentrasi Limbah 25%



Konsentrasi Limbah 50%



Konsentrasi Limbah 75%



Konsentrasi Limbah 100%

7

2-10/07 - 1000 - 1000
- 1000 - 1000

Plan

ACE Module
formulas

6

Plan

ACE Module
formulas

6

<p>7</p>		<p>ACE Module formulas</p>	<p>6-10/07 to 8/07</p>
<p>8</p>		<p>ACE Module formulas</p>	<p>6-10/07 to 8/07</p>