

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 :

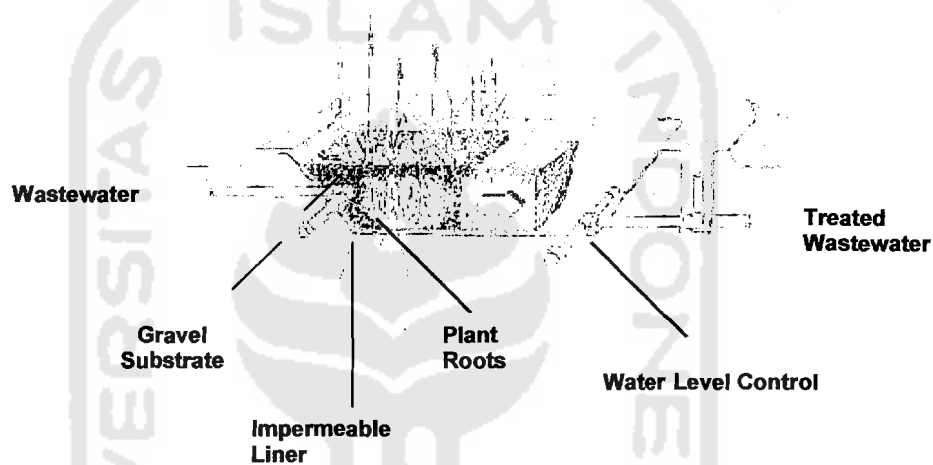
1. *Solid* (padatan)

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 nutrien melalui proses fisik, kimia dan *microbial*. Tanaman mengurangi kecepatan aliran, meningkatkan waktu detensi dan memudahkan pengendapan dari partikel *suspended*. Mulai dari

jenis *duckweed* sampai tanaman berbulu (*reeds*, *cattail*) dan alang-alang dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pada sistem *constructed 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*.

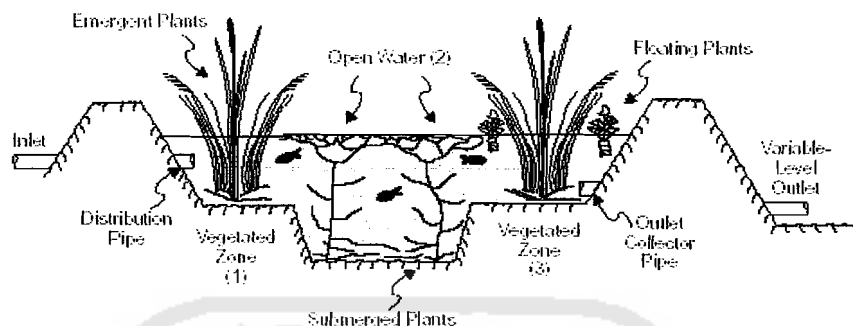
Mempertimbangkan hal-hal di atas tampak bahwa sistem *Constructed wetlands* merupakan salah satu alternatif pengolahan air limbah yang sangat potensial untuk diterapkan di Indonesia.

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 *substrate* untuk tempat hidupnya tanaman air. Pada sistem ini biasanya tanaman yang digunakan berupa *cattail*, *reed*, *sedge*, 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

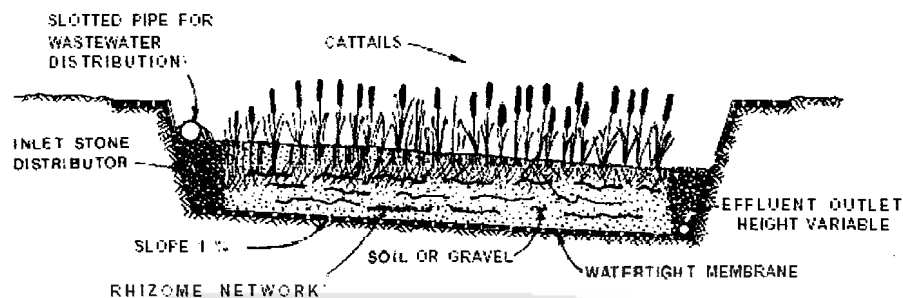
Table 2.1 Kriteria Desain Untuk *Constructed wetlands* Type FWS

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*

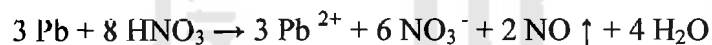
Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dinamakan Plumbum. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik. Timbal mempunyai

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.

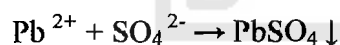
Timbal dalam bentuk terlarut dilam lingkungan biasanya hadir sebagai Pb^{2+} . Ion plumbun (Pb^{2+}) trihidrolisis sebagian dalam air dengan reaksi :



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



Pada asam sulfat encer terbentuk endapan putih, timbal sulfat.



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

Unsur Pb yang masuk ke dalam lingkungan tidak langsung membahayakan kehidupan mahluk hidup, logam tersebut membahayakan metabolisme mahluk jika berada dalam batas melebihi ambangnya. Unsur Pb merupakan unsur logam yang sangat 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 (*Eichhornia 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 :

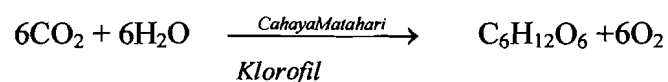
- Akar

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 makrofit 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 di malam hari dengan menghasilkan CO_2 yang akan terlepas ke dalam air (Pandey, 1980 dalam Afandi, 2004).

- Tangkai

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

- Bunga

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

B. Ciri – ciri Morfologis Eceng Gondok

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

telur pada yang muda , dan berbentuk jantung pada yang dewasa, sedang tulang daun melengkung rapat. (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 nm, 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 *Constructed 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.