

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sistem *Constructed Wetland*

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

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

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

### 2.1.1 Mekanisme Pengolahan

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

#### a. *Solid* (padatan)

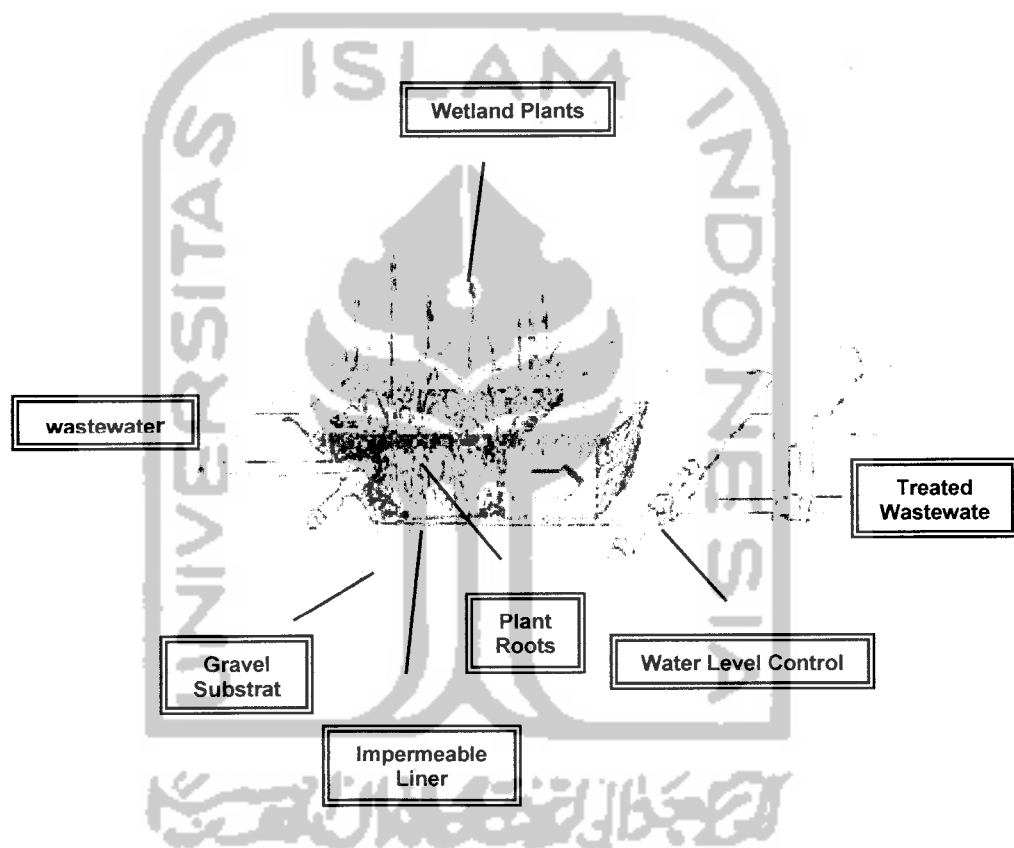
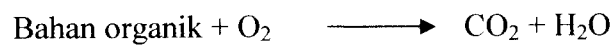
Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada sistem *Constructed wetland* ini air limbah mengalir melewati partikel-partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup. Kedalaman media dan kecepatan tertentu, sehingga akan memberikan kesempatan partikel-partikel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

#### b. Bahan Organik

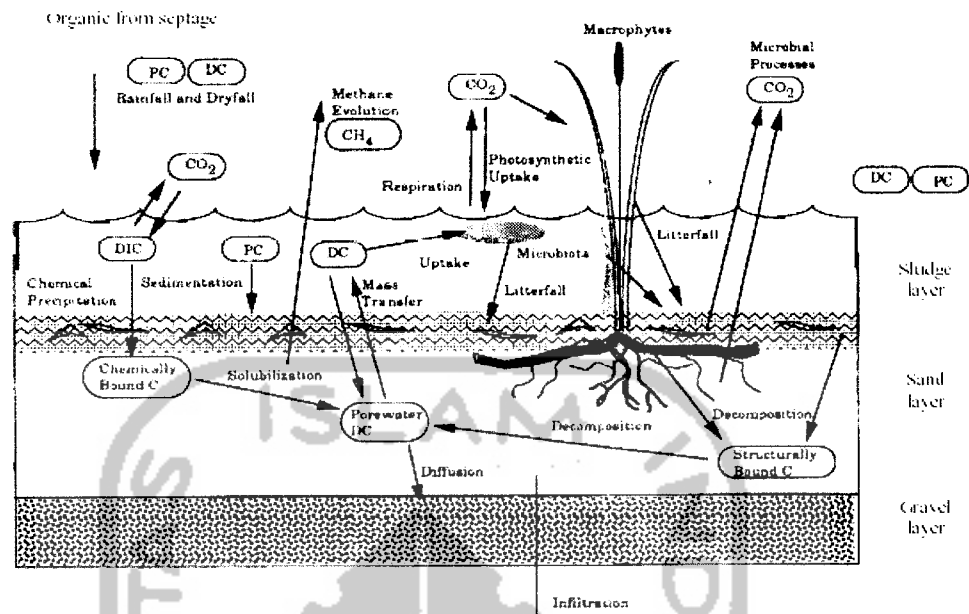
BOD terlarut dapat dihilangkan karena aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *Constructed wetland*. Proses pengolahan biologis dalam *Constructed wetland* sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aktivitas mikroorganisme

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

Mekanisme pengolahan yang terjadi adalah :



Gambar 2.1 Reaktor Sistem *Constructed Wetland*



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

## 2.1.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi proses Pengolahan

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

### 1. Tanaman

Tanaman air merupakan komponen terpenting dari *wetland* dan memberi dukungan berupa transformasi nutrient melalui proses fisik, kimia dan mikrobiologi. Tanaman mengurangi kecepatan aliran, meningkatkan waktu detensi dan memudahkan pengendapan dari partikel suspended. Mulai

dari jenis *duckweed* sampai tanaman berbulu (*reeds, cattail*) dan alang-alang dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pada sistem *Constructed wetland*. Jika menggunakan tanaman *cattail* dan *reeds* akan lebih praktis karena tanaman ini dapat dibersihkan satu kali dalam setahun (Vymazal, 1998).

## 2. Media Tanam

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

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

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

## 3. Mikroorganisme

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

dengan mikroorganisme ini dapat berjalan lebih cepat dibanding anaerobik (Vymazal, 1999). Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanaman. Dengan jarak yang diatur sedemikian rupa diharapkan tanaman akan mampu memberikan transfer oksigen yang cukup tinggi bagi kehidupan mikroorganisme yang hidup dalam tanah.

#### 4. Temperatur

Temperatur dari air limbah berpengaruh pada kualitas effluent air limbah karena mempengaruhi waktu detensi air limbah dalam reaktor dan aktivitas mikroorganisme dalam mengolah air limbah. Temperatur yang cocok untuk *constructed wetland* dengan menggunakan tanaman *cattail* adalah  $20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$  (Wood, 1993)

#### 2.1.3 Keunggulan Sistem *Constructed Wetland*

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

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

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

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

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

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

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

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

Berdasarkan definisi EPA dan *Water Pollution Control Federation*, sistem *Constructed wetland* dikategorikan menjadi dua tipe, yaitu :

### 1. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

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

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

### 2. Sistem *Sub Surface Flows* (SSF)

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



## 2.2. Eceng Gondok ( *Eichornia Crassipes* )

### 2.2.1 Kedudukan dan taksonomi

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

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

### 2.2.2 Deskripsi tanaman

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

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

Adapun bagian-bagian dari tanaman tersebut adalah sebagai berikut :

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

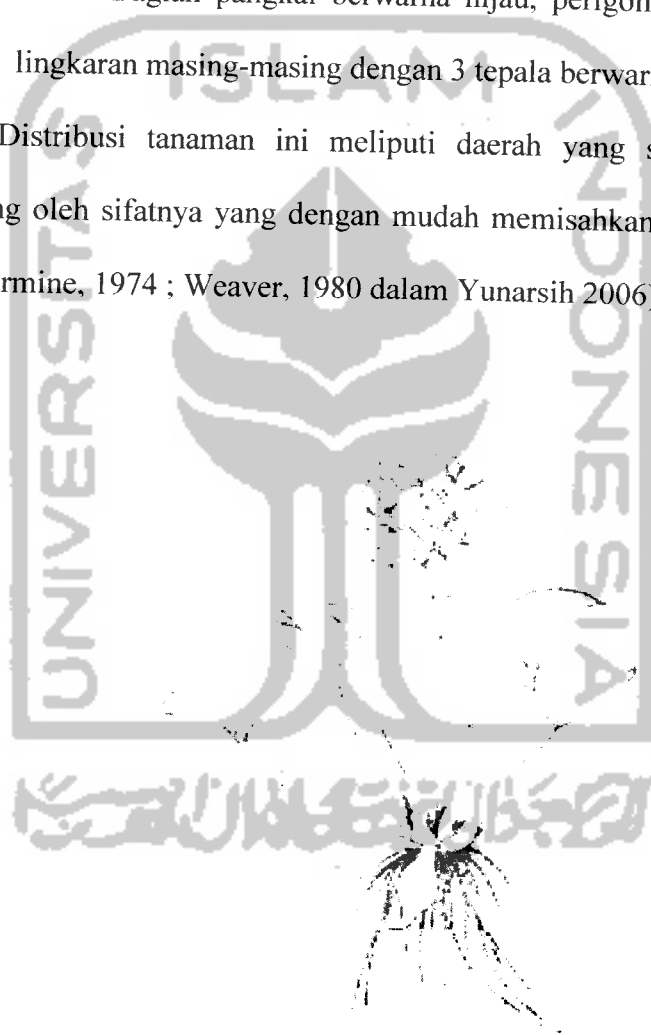
*Batang* : Batang sangat pendek dan tidak mempunyai percabangan dengan jaringan palisade yang berupa jaringan bunga karang, berfungsi sebagai rongga udara.

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

pengapung tubuh dan dapat melakukan fotosintesis karena adanya klorofil.

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

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



Gambar 2.3 Eceng gondok

### 2.2.3 Ciri-ciri morfologis

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

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

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

Tumbuhan eceng gondok ini merupakan tumbuhan yang dapat mencapai tinggi 40 – 80 cm dengan daun yang licin yang panjangnya 7 – 25 cm. Secara anatomi dapat diterangkan lebih lanjut mengenai ciri-ciri spesifik baik akar, batang maupun daunnya. Akar eceng gondok menyerupai rambut, berjumlah banyak sesuai fungsinya, yakni menyerap zat-zat hara yang terlarut dalam air, batangnya sangat pendek dan tidak mempunyai percabangan,

dengan jaringan bunga karang berfungsi sebagai rongga udara. Permukaan daunnya dilapisi oleh zat lilin sebagai pelindung terhadap kemelimpahan air ditempat hidupnya ( Dauberminr, 1974 ; Weaver 1980 ). Ciri-ciri morfologis yang demikianlah yang memungkinkan eceng gondok melangsungkan kehidupannya dengan baik.

#### 2.2.4 Ciri-ciri fisiologis

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

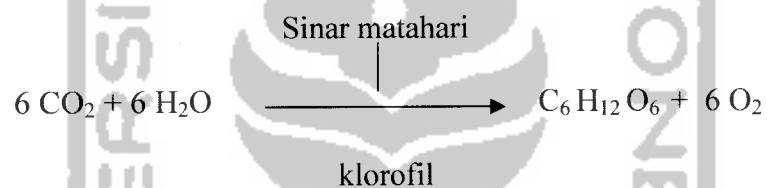
##### Transpirasi

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

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

### Fotosintesa

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



Dalam proses fotosintesa ini tanaman membutuhkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dan dengan bantuan sinar matahari akan menghasilkan glukosa dan oksigen meskipun senyawa organik lainnya juga dihasilkan. Karbondioksida yang digunakan dalam proses ini berasal dari udara dan energi cahaya matahari. Oksigen yang terbentuk dilepas di udara sebagai tambahan yang digunakan tanaman dan hewan ( Sastroutomo, 1991 ).

### Respirasi

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

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



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

#### **2.2.5 Kerugian dan manfaat Eceng Gondok**

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

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

Kerugian yang dapat ditimbulkan oleh eceng gondok antara lain :

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

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

Namun selain kerugian-kerugian yang ditimbulkan oleh tanaman ini, Eceng Gondok mempunyai manfaat sebagai berikut :

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



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

#### **2.2.6 Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan eceng gondok:**

1. Cara berkembang biak dan penyebarannya.

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

2. Ketenangan air (fluktuasi air)

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

3. Cahaya matahari, pH dan suhu

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

4. Unsur hara

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

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

#### 5. Salinitas

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

#### 6. Faktor biotik

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

### 2.3. Logam dan logam berat

#### 2.3.1 Logam

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

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

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

d. dapat membentuk alloy dengan logam lainnya.

e. untuk logam yang padat, dapat ditempa dan dibentuk

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

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

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

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

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

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

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

### 2.3.2 Logam berat

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

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

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

Karakteristik logam berat sebagai berikut (Palar, 1994) :

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

Besarnya bahwa limbah tersebut bersifat racun terhadap badan penerima, unsur kimia ini bervariasi tingkat bahayanya dari daya

pencemarnya. (Bowen, 1966) membagi unsur-unsur kimia tersebut menjadi empat kelas, yaitu :

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

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

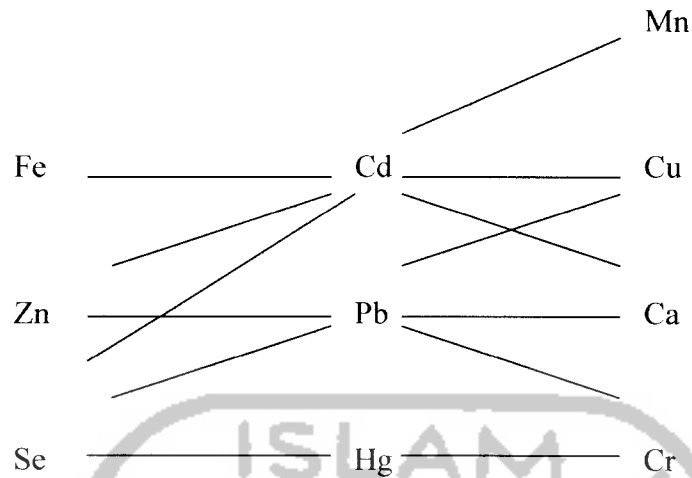
- a. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan oxygen- seeking metal.
- b. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang ( sulfur ) atau disebut juga nitrogen/ sulfur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

Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Sebagai contoh adalah logam air raksa (Hg), kadmium (Cd), timah hitam (Pb), dan khromium (Cr). Namun

demikian, meski semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, sebagian dari logam-logam berat tersebut tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup. Kebutuhan tersebut berada dalam jumlah yang sangat sedikit. Tetapi bila kebutuhan dalam jumlah yang sangat kecil itu tidak terpenuhi, maka dapat berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari setiap makhluk hidup. Karena tingkat kebutuhan sangat dipentingkan maka logam-logam tersebut juga dinamakan sebagai logam-logam atau mineral-mineral esensial tubuh. Ternyata kemudian, bila jumlah dari logam-logam esensial ini masuk kedalam tubuh dalam jumlah berlebihan, maka akan berubah fungsi menjadi zat racun bagi tubuh. Contoh dari logam-logam berat esensial ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn) dan nikel (Ni).

### **2.3.3 Interaksi antar logam**

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



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

### 2.3.3 Interaksi antara Pb dengan logam lain

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



keracunan, sedangkan jika berlebihan akan dapat mencegah terjadinya keracunan.

#### 2.4. Timbal (Pb)

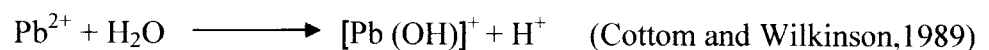
Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dinamakan Plumbum. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik. Timbal mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 ( Palar,1994 ). Penyebaran logam Timbal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

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

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

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

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



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

#### 2.4.1 Timbal (Pb) di udara

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

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

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

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

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

#### 2.4.2 Timbal (Pb) di Dalam Air dan Makanan

Pb (timah hitam/timbal) dan persenyawaannya dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktivitas manusia. Secara alamiah, Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Di samping itu, proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin, juga merupakan salah satu jalur sumber Pb yang akan masuk kedalam badan perairan.

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

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

minuman tersebut terbuat dari alloy logam Pb yang menjadi kontaminasi minuman.

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

#### **2.4.3 Keracunan oleh Logam Timbal (Pb)**

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

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

pada jaringan tubuh dan sisanya akan turut terbuang bersama bahan sisa metabolisme seperti urine dan feces.

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

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

Pada jaringan atau organ tubuh, logam Pb akan terakumulasi pada tulang karena logam ini dalam bentuk ion  $Pb^{2-}$  mampu menggantikan keberadaan dari ion  $Ca^{2-}$  ( kalsium ) yang terdapat dalam jaringan tulang. Di

samping itu, pada wanita hamil logam Pb dapat melewati plasenta dan kemudian akan ikut masuk dalam sistem peredaran darah janin dan selanjutnya setelah bayi lahir, Pb akan dikeluarkan bersama air susu.

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

### **1. Efek Pb dan sintesa Haemoglobin**

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

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



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

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

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

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

## **2. Efek Pb pada sistem syaraf**

Di antara semua sistem pada organ tubuh, sistem syaraf merupakan sistem yang paling sensitif terhadap daya racun yang dibawa oleh logam Pb. Pengamatan yang dilakukan pada pekerja tambang dan pengolahan logam Pb

menunjukkan bahwa pengaruh dari keracunan Pb dapat menimbulkan kerusakan pada otak. Penyakit-penyakit yang berhubungan dengan otak, sebagai akibat dari keracunan Pb adalah epilepsi, halusinasi, kerusakan pada otak besar dan *delirium*, yaitu sejenis penyakit gula.

### 3. Efek Pb terhadap Sistem Urinaria

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

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

#### **4. Efek Pb terhadap Sistem Reproduksi**

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

#### **5. Efek Pb terhadap Sistem Endokrin**

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

Pengukuran terhadap steroid dalam urine pada kondisi paparan Pb yang berbeda dapat digunakan untuk melihat hubungan penyerapan Pb oleh sistem endokrin. Dari pengamatan yang dilakukan dengan paparan Pb yang berbeda terjadi pengurangan pengeluaran steroid dan terus mengalami

peningkatan dalam posisi minus. Kecepatan pengeluaran aldosteron juga mengalami penurunan selama pengurangan konsumsi garam pada orang yang keracunan Pb dari penyulingan alkohol. Endokrin lain yang diuji pada manusia adalah endokrin tiroid. Fungsi dari tiroid sebagai hormon akan mengalami tekanan bila manusia kekurangan  $I^{131}$  (yodium isotop 131 ).

#### **6. Efek Pb terhadap Jantung**

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

#### **7. Efek Pb terhadap Gastroenteritis**

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

## 2.5. Toksisitas Logam Berat pada Tanaman

Toksisitas adalah kemampuan suatu molekul suatu bahan kimia atau senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian permukaan tubuh atau bagian dalam tubuh yang peka.

Tanaman yang ditumbuhkan dalam media air atau tanah yang mengandung senyawa toksik akan memberikan respon sensitif dan respon resisten.

Logam berat dapat menimbulkan fitotoksisitas dengan cara :

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

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

Pada makhluk hidup termasuk manusia logam dan mineral digunakan pada proses biokimiawai dalam membentuk proses fisiologis atau sebaliknya dapat menyebabkan toksisitas. Proses biokimiawi dalam tubuh makhluk hidup hampir selalu menyebabkan unsure-unsur logam di dalamnya (Darmono, 1995)

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

### **2.5.1 Toksisitas Logam Timbal**

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

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

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

## 2.6. Fitoremediasi

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

Fitoremediasi dapat dibagi menjadi :

### 1. Fitoekstraksi

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



## 2. Rizofiltrasi

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

## 3. Fitodegradasi

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

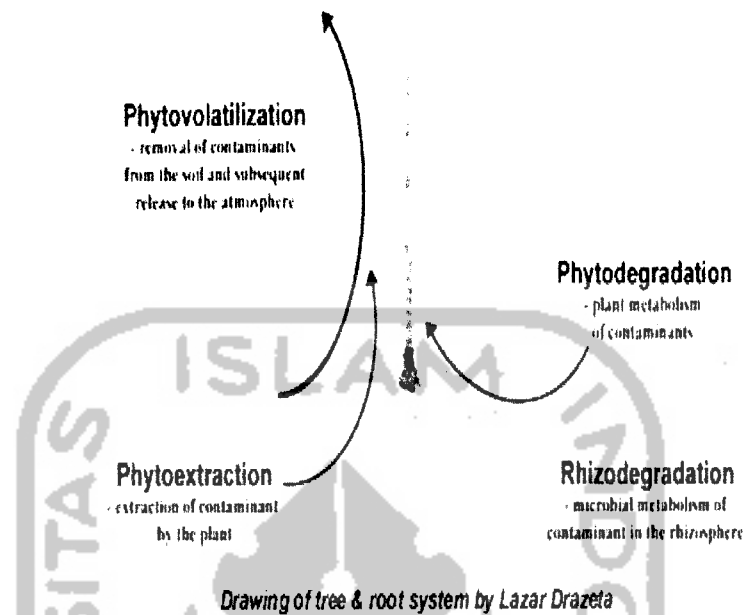
## 4. Fitostabilisasi

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

## 5. Fitovolatilisasi

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





Gambar 2.4 Proses – proses fitoremediasi pada tumbuhan

### 2.6.1 Fitoremediasi Logam Pb dengan Tanaman Eceng Gondok

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

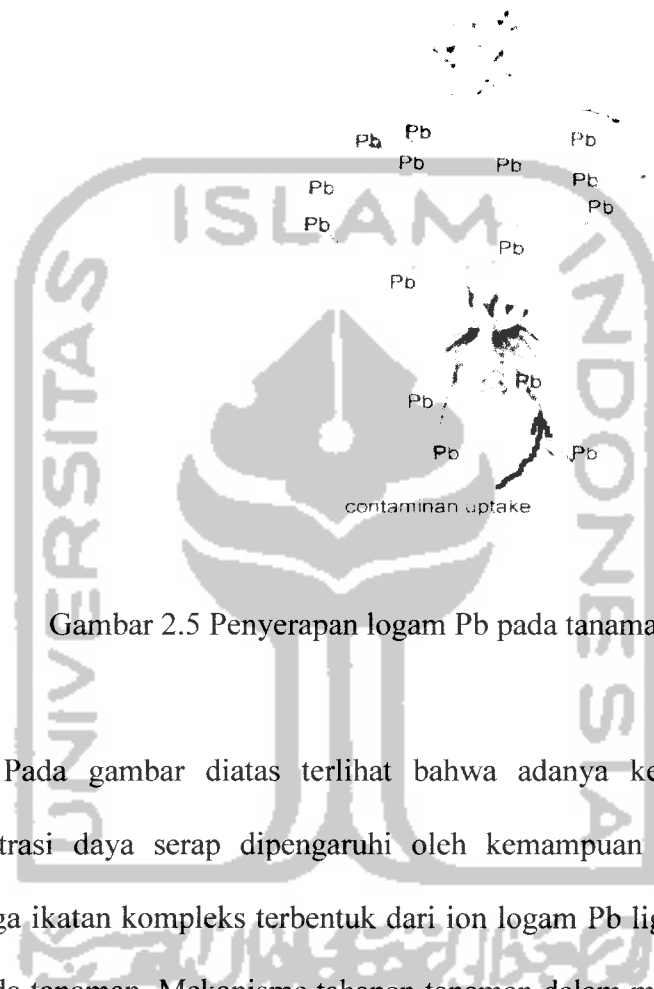
Sel-sel akar tanaman umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari pada medium sekitarnya yang biasanya bermuatan negative. Penyerapan ini melibatkan energi, sebagai konsekuensi dan keberadaannya, kation memperlihatkan adanya kemampuan masuk ke dalam sel secara pasif ke dalam gradient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

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

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

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

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



Gambar 2.5 Penyerapan logam Pb pada tanaman Eceng Gondok

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

bahan organik maupun anorganik pada daerah sekitar perakaran, kemudian pada batang dan terakhir pada daun. Menurut Conelldan Miller (1984) menyatakan bahwa, konsentrasi logam yang akan diserap oleh tanaman masuk kedalam melalui sistem perakaran, unsur Pb masuk melalui stomata, dimana Pb yang dihasilkan dari proses alam maupun proses industri akan bergabung dengan partikel-partikel udara dan masuk kedalam tanaman pada saat stomata tanaman membuka, sedangkan unsur Pb terabsorpsi oleh akar pada saat akan mengabsorpsi air dan unsur hara.

#### **2.6.2 Kemampuan Penyerapan Logam Berat dan Organik Oleh Tanaman**

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

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

nitrat, fosfat, karbon dan hidrogen termasuk dalam elemen makro, yaitu unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar (Dwijoseputro, 1992), dan pada penyerapan logam berat oleh tanaman pada limbah organik rendah adalah logam berat dapat diserap oleh tanaman dengan cepat karena pada organik rendah mikroorganismenyahanya sedikit dibandingkan dengan organik tinggi, sehingga unsur-unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dari proses penguraian mikroorganisme tersebut terserap cepat dan logam berat dapat terserap lebih banyak dibandingkan dengan organik tinggi.

## **2.7. Spektrofotometer Serapan Atom**

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

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

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

## **2.8 Penelitian Dengan Memanfaatkan Tanaman Air dalam Sistem Constructed Wetland**

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

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

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

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

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

1) Reaktor dengan kangkung air

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

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

## 2) Reaktor tanpa kantung air

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

## 2.9 Hipotesis

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

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