

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem *Constructed Wetlands*

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.

*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.

## 2.2 Mekanisme Sistem Pengolahan *Wetlands*

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)

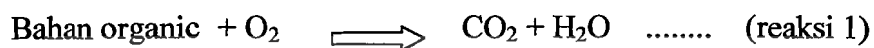
Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada sistem *Constructed Wetlands* ini air limbah mengalir melewati partikel-partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup, kedalaman media dan kecepatan tertentu, sehingga akan memberikan kesempatan partikel-partikel *solid* untuk mengendap dan terjadi peristiwa sedimentasi. Proses fisik sedimentasi ini mampu menurunkan konsentrasi *solid* dalam air limbah (Gopal, 1999 dalam M. Arnis Fauzi, 2006).

### 2. Bahan Organik

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 M. Arnis Fauzi, 2006).

Mekanisme pengolahan yang terjadi adalah :



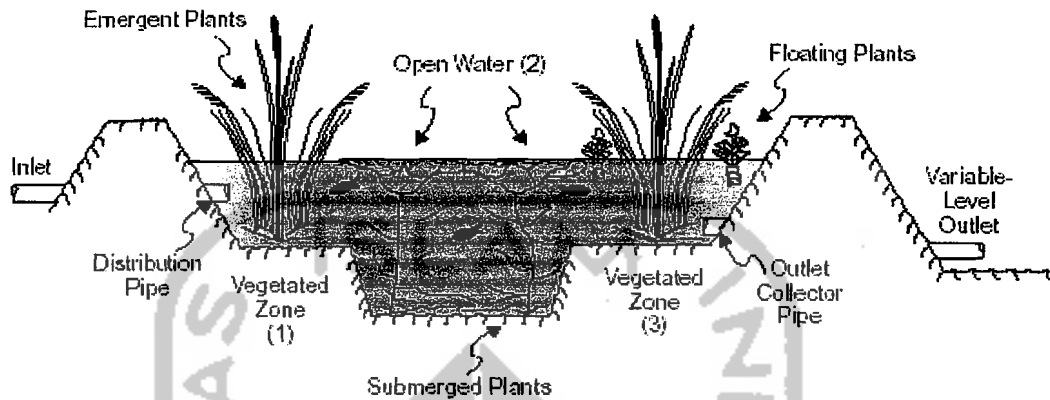
Berdasarkan definisi dari *Environmental Protection Agency* (EPA) dan *Water Pollution Federation* sistem pengolahan pada *constructed wetlands* dikategorikan menjadi dua tipe, yaitu :

a. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

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

- Kedalaman air relatif dangkal
- *Velocity* atau kecepatan air rendah (*low*)

- Keberadaan batang dan sisa-sisa tanaman yang mempengaruhi aliran
- Lebih efisien digunakan pada saluran atau area yang panjang.



**Gambar 2.1 Constructed wetland tipe FWS**

Dibawah ini adalah tabel kriteria desain untuk *Constructed Wetlands* Type 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 <sub>5</sub>	Kg / ha / hr	< 112
Laju beban hidrolis	M <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> .hr	0.01 – 0.05
Luas spesifik	Ha / m <sup>3</sup> .d	0,002 – 0.014
Lebar : Panjang	-	1 : 2 - 10

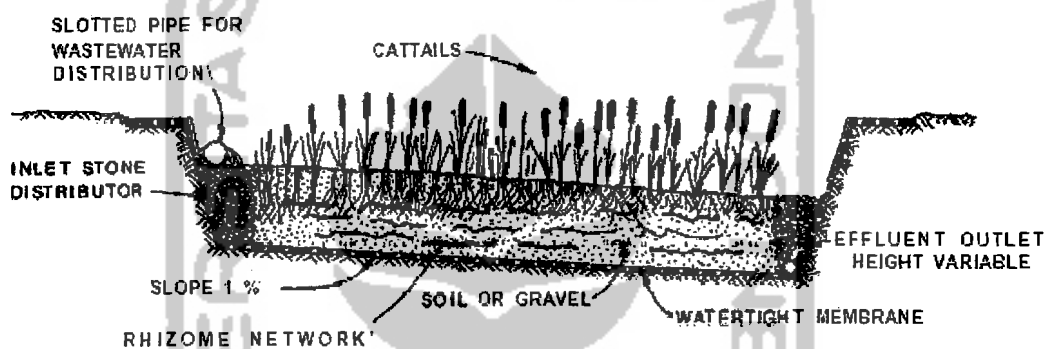
(Dal Cin, 2000)

b. Sistem *Sub Surface Flows* (SSF)

Sistem *sub surface flows* ini pada dasarnya hampir sama dengan system *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.

Ada beberapa hal penting yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan *Constructed Wetlands*, yaitu waktu detensi, *Organic Loading Rate*, Kedalaman air, serta bentuk dari *Constructed Wetlands* yang akan dibuat.



**Gambar 2.2** *Constructed wetland* tipe SSF

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

1. Tanaman

Tanaman air merupakan komponen terpenting dari *wetlands* dan memberikan dukungan berupa transformasi nutrisi melalui proses fisik, kimia dan *microbial*. Tanaman mengurangi kecepatan aliran, meningkatkan waktu detensi dan memudahkan pengendapan dari partikel *suspended*. Mulai dari jenis *duckweed* sampai tanaman berbulu (*reeds, cattail*) dan alang-alang dapat

dimanfaatkan sebagai tanaman pada sistem *Constructed Wetlands*. Jika menggunakan tanaman *cattail* atau *reeds* akan lebih praktis, karena tanaman ini dapat dibersihkan hanya satu kali dalam setahun (Vymazal, 1998 dalam Faisal, 2005).

## 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 aerobic*, sebab pengolahan dengan mikroorganisme ini dapat berjalan lebih cepat dibanding secara *anaerobic* (Vymazal, 1999 dalam Faisal, 2005). Untuk menunjang kehidupan mikroorganisme ini, maka diperlukan pengaturan jarak tanam tanaman *cattail*. Dengan jarak yang diatur sedemikian rupa diharapkan tanaman *cattail* akan mampu memberikan transfer oksigen yang cukup bagi kehidupan mikroorganisme yang hidup dalam tanah.

#### 4. Temperatur

Temperatur dari air limbah berpengaruh pada kualitas *effluent* air limbah karena mempengaruhi waktu detensi air limbah dalam reaktor dan aktivitas mikroorganisme dalam pengolahan air limbah. Temperatur yang cocok untuk *Constructed Wetlands* dengan menggunakan tanaman *cattail* adalah 20 °C – 30 °C (Wood, 1993 dalam Faisal, 2005).

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 :

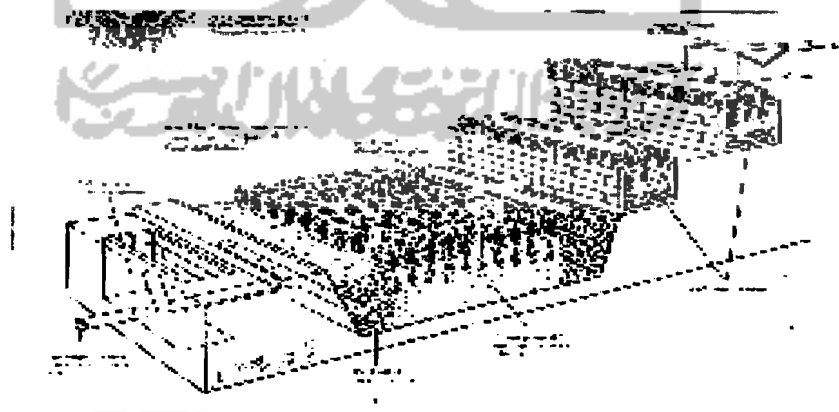
1. Sistem pengolahan yang di dalam tanah, genangan air akan dapat diminimalkan sehingga timbulnya bau dapat dihindari.

2. Tingkat *removal* atau efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus dalam prosesnya.
4. Sistem pengolahannya mudah dan murah.

Berikut gambar dari sistem pengolahan *Constructed Wetlands* :



**Gambar 2.3 Reaktor Sistem *Constructed Wetlands***



**Gambar 2.4 Reaktor Sistem *Constructed Wetlands* Bertingkat**



## 2.3 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”.(Anonim,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 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

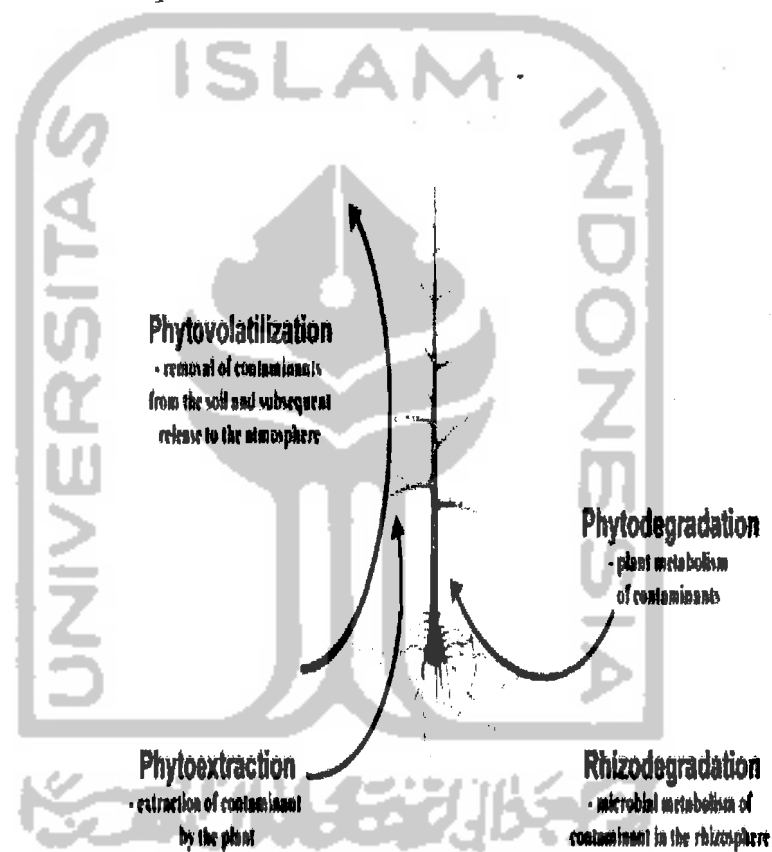
Ini merupakan pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam dari aliran limbah.

### 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.



*Drawing of tree & root system by Lazar Drazeta*

**Gambar 2.5** Proses – proses Fitoremediasi Pada Tumbuhan

## 2.4 Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*)

### 2.4.1. Klasifikasi Eceng Gondok

- Divisi : *Spermatophyta*  
Sub divisi : *Angiospermae*  
Kelas : *Monocotyledoneae*  
Suku : *Pontederiaceae*  
Marga : *Eichhornia*  
Jenis : *Eichornia crassipes 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 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 persatuan berat kering Eceng Gondok lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua (Widianto dan Suselo, 1977).

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

a) 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).

b) Daun

Daun eceng gondok tergolong dalam makrofita 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<sub>2</sub> dari proses fotosintesis.

Reaksi fotosintesis :



Oksigen hasil dari fotosintesis ini digunakan untuk respirasi tumbuhan di malam hari dengan menghasilkan CO<sub>2</sub> yang akan terlepas ke dalam air (Pandey, 1980).

c) 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).

d) Bunga

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

Eceng gondok juga memiliki ciri-ciri morfologi sebagai berikut : eceng gondok merupakan tumbuhan perennial yang hidup dalam perairan terbuka, yang mengapung bila air dalam dan berakar didasar bila air dangkal. Perkembangbiakan eceng gondok terjadi secara vegetatif maupun secara generatif, perkembangan secara vegetatif terjadi bila tunas baru tumbuh dari ketiak daun, lalu membesar dan akhirnya menjadi tumbuhan baru.

Setiap 10 tanaman eceng gondok mampu berkembangbiak menjadi 600.000 tanaman baru dalam waktu 8 bulan, hal inilah membuat eceng gondok banyak dimanfaatkan guna untuk pengolahan air limbah. cceng gondok dapat mencapai ketinggian antara 40-80 cm dengan daun yang licin dan panjangnya 7 - 25 cm.



**Gambar 2.6 Eceng Gondok**

Faktor lingkungan yang menjadi syarat untuk pertumbuhan eceng gondok adalah sebagai berikut :

1. Cahaya matahari, PH dan Suhu

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

2. Ketersediaan Nutrien Derajat keasaman (pH) air

Pada umumnya jenis tanaman gulma air tahan terhadap kandungan unsur hara yang tinggi. Sedangkan unsur N dan P sering kali merupakan faktor pembatas. Kandungan N dan P kebanyakan terdapat dalam air buangan domestik. Jika pada perairan kelebihan nutrien ini maka akan terjadi proses eutrofikasi. Eceng gondok dapat hidup di lahan yang mempunyai derajat keasaman (pH) air 3,5- 10. Agar pertumbuhan eceng gondok menjadi baik, pH air optimum berkisar antara 4,5 – 7.

Pemilihan tanaman eceng gondok pada *Constructed Wetlands* ini didasarkan pada pertimbangan – pertimbangan berikut ini :

1. Tanaman eceng gondok merupakan jenis tanaman yang banyak dijumpai di Indonesia.
2. Dari segi ekonomi tanaman eceng gondok harganya relatif murah.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus, sehingga dalam sistem *Constructed Wetlands* pemeliharaan sangat mudah.

#### 2.4.2. Ciri-ciri Fisiologis Enceng 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 (Anonim, 1996). Kemampuan eceng gondok untuk melakukan proses-proses sebagai berikut :

##### a. 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

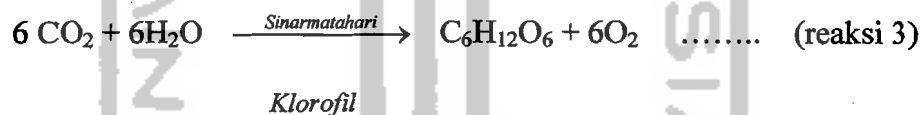


batang sebagai uap air. Proses tersebut dinamakan proses transpirasi, sebagian menyerap melalui batang tetapi kehilangan air umumnya berlangsung melalui daun. Laju hilangnya air dari tumbuhan dipengaruhi oleh kuantitas sinar matahari dan musim penanaman. Laju transpirasi akan ditentukan oleh struktur daun eceng gondok yang terbuka lebar yang memiliki stomata yang banyak sehingga proses transpirasi akan besar dan beberapa factor lingkungan seperti suhu, kelembaban, udara, cahaya dan angin (Anonim, 1996).

b. Fotosintesis

Fotosintesis adalah sintesa karbohidrat dari karbondioksida dan air oleh klorofil. Menggunakan cahaya sebagai energi dengan oksigen sebagai produk tambahan.

Reaksi fotosintesis :

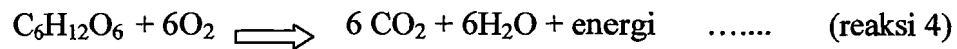


Dalam proses fotosintesis ini tanaman membutuhkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dan dengan bantuan sinar matahari akan menghasilkan glukosa dan oksigen dan senyawa-senyawa organik lain. Karbondioksida yang digunakan dalam proses ini berasal dari udara dan energi matahari (Sastroutomo, 1991).

c. Respirasi

Sel tumbuhan dan hewan mempergunakan energi untuk membangun dan memelihara protoplasma, membran 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 :



### 2.4.3 Manfaat 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.

#### 2.4.4 Kerugian Eceng Gondok

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

- Meningkatnya evapotranspirasi.
- Menurunnya jumlah cahaya yang masuk kedalam perairan sehingga menyebabkan menurunnya tingkat kelarutan oksigen dalam air (DO: *Dissolved Oxygens*).
- Mengganggu lalu lintas (transportasi) air, khususnya bagi masyarakat yang kehidupannya masih tergantung dari sungai seperti di pedalaman Kalimantan dan beberapa daerah lainnya.
- Meningkatnya habitat bagi vektor penyakit pada manusia.
- Menurunkan nilai estetika lingkungan perairan.

### 2.5 Logam dan Logam Berat

#### 2.5.1 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 *hidragyrum* (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 yang baik sebagai penghantar daya listrik (konduktor).
- b. Memiliki kemampuan sebagai penghantar panas yang baik.
- c. Memiliki repatan yang tinggi.
- d. Dapat membentuk alloy dengan logam lainnya.
- e. Untuk logam yang padat, dapat ditempa dan dibentuk

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

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

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

Ahrland et.al.(1958) mengusulkan untuk mengelompokkan logam kedalam 3 kategori, yang berdasarkan pada konstanta kesetimbangan, pada pembentukan ion logam atau kompleks logam dalam larutan. Pengelompokan itu adalah :

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

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

### 2.5.2 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 isensial ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn) dan nikel (Ni).

### **2.5.3 Penyerapan Logam Berat Oleh Tumbuhan**

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi 3 proses yang berkesinambungan (Baker 1999, dalam Dian Amalia dan Alia Damayanti, 2005) untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut, yaitu :

#### **a. Penyerapan Oleh Akar**

Agar tumbuhan dapat menyerap logam , maka logam harus dibawa kedalam larutan disekitar akar (*Rizosfer*) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tumbuhannya:

##### **➤ Perubahan Ph**



- Ekskresi zat khelat
- Pembentukan reduktase spesifik logam

b. Translokasi di dalam tubuh tumbuhan

Setelah logam di bawa masuk kedalam sel akan selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu *xylem* dan *floem*, ke bagian tumbuhan lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat. Berbagai molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan, misalnya histidin yang terikat pada Ni (Kramer et al., 1996) dan hitokhelatin-glutathion yang terikat pada Cd (Zhu et al., 1999).

c. Lokalisasi logam pada jaringan

Untuk mencegah penurunan logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam didalam organ tertentu seperti akar (untuk Cd pada *Silene divica*) [Grunt et al., 1998]), trikhoma (untuk Cd [Salt et al., 1995]), dan lateks (untuk Ni pada *Sesuvium portulacastrum* [Collins, 1999]).

#### 2.5.4 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*, ke bagian tumbuhan lain. Sedangkan lokalisasi logam pada jaringan bertujuan untuk mencegah keracunan logam terhadap sel, maka tanaman akan melakukan detoksofikasi, misalnya 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).

#### **2.5.5 Penyerapan Logam Berat Oleh Eceng Gondok Pada Limbah Dengan Organik Tinggi Dan Organik Rendah**

Pada penyerapan logam berat oleh tanaman pada limbah organik tinggi yaitu terjadi proses penguraian secara besar-besaran oleh mikroorganisme pada limbah tersebut, sehingga tanaman akan lebih dahulu menyerap unsur-unsur yang diuraikan oleh mikroorganisme sebelum menyerap logam yang terdapat pada limbah, dengan demikian menjadikan logam berat yang terserap oleh tanaman tidak terlalu besar karena harus menyerap unsur-unsur yang dibutuhkan oleh eceng gondok. Hal ini disebabkan karena ion-ion nitrat, fosfat, karbon dan hidrogen termasuk dalam elemen makro yaitu unsur-unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar

(Dwijoseputro, 1992), dan pada penyerapan logam berat oleh tanaman pada limbah organik rendah adalah logam berat dapat diserap oleh tanaman dengan cepat karena pada organik rendah mikroorganismenya hanya sedikit dibandingkan dengan organik tinggi, sehingga unsur-unsur hara yang dibutuhkan oleh eceng gondok dari proses penguraian mikroorganisme tersebut terserap cepat dan logam berat dapat terserap lebih banyak dibandingkan dengan organik tinggi.

## 2.6 Cr Dalam *Constructed Wetlands*

Kata kromium berasal dari bahasa Yunani (*chromo*) yang berarti warna. Dalam bahan kimia kromium dilambangkan dengan Cr sebagai salah satu unsur logam berat. Logam Cr pertama kali ditemukan oleh Vauquelin pada tahun 1797. Logam Cr dapat masuk ke semua strata lingkungan yaitu strata perairan, tanah, dan udara sebagai logam berat. Cr termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi, keracunan akut yang disebabkan oleh Cr pada manusia menyebabkan terjadi pembengkakan pada hati, lendir dari jalur pernapasan, perubahan pada limfa dan ginjal serta kanker paru-paru. (Prangtington, 1957).

Senyawa kromium mempunyai warna yang sangat menarik dan digunakan sebagai pigmen seperti kuning khrom (timbal (II) kromat) dan hijau khrom (kromium (III) oksida). Kromium dalam keadaan murni melarut dengan lambat sekali dalam asam encer membentuk garam kromium (II). Berdasarkan sifat kromium dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel 2.2. Beberapa Sifat Fisik Logam Khromium**

Lambang	Cr
Nomor atom	24
Massa atom relatif (Ar)	51,996
Konfigurasi elektron	3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup>
Jari-jari atom (nm)	0,117
Jari-jari ion ni m <sup>3+</sup> (nm)	0,069
Keelektronegatifan	1,6
Energi ionisasi (I) kJ mol <sup>-1</sup>	659
Kerapatan (g cm <sup>-3</sup> )	7,19
Titik leleh (°C)	1890
Titik didih (°C)	2475
Bilangan oksidasi	2,3,6
Potensial elektroda (V)	
M <sup>2+</sup> (ag) + 2e → M(s)	-0,56
M <sup>3+</sup> (ag) + e → M <sup>2+</sup> (ag)	-0,41

(Sumber : Achmad, H, 1992 kimia unsur dan radio kimia)

Kromium (Cr) merupakan unsur yang termasuk dalam grup A dalam sistem periodik unsur, dengan berat jenis 7,14 g/mL ; titik lebur 1840 °C ; titik didih 2200 °C (Iswanto, 1992). Logam Cr murni tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain sebagai bahan mineral, Cr paling banyak ditemukan dalam bentuk chromite (FeOCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Kadang-kadang pada batuan mineral chromite juga ditemukan logam-logam Mg (magnesium), Al (aluminium) dan senyawa SiO<sub>3</sub> (silikat). Logam-logam dan senyawa silikat tersebut dalam mineral *chromite* bukanlah merupakan penyusunan pada *chromite* melainkan berperan sebagai pengatur (impurities). (Palar, 1994).

Berdasarkan pada sifat-sifat kimianya, logam Cr dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksida 2+, 3+ dan 6+. Sesuai dengan valensi yang dimilikinya,

logam atau ion-ion kromium yang telah membentuk senyawa, mempunyai sifat-sifat yang berbeda sesuai dengan tingkat ionisasinya. Senyawa yang terbentuk dari ion logam  $\text{Cr}^{2+}$  akan bersifat basa, senyawa yang terbentuk dari ion logam  $\text{Cr}^{3+}$  bersifat amfoter dan senyawa yang terbentuk dari ion logam  $\text{Cr}^{6+}$  akan bersifat asam.

Chrom pada umumnya bisa berbentuk padatan (kristal  $\text{CrO}_2$   $\text{CrO}_3$ , larutan uap dan dikromat). Chrom dalam larutan biasanya berbentuk ion *trivalen* dan ion *heksavalen* ( $\text{Cr}^{3+}$  dan  $\text{Cr}^{6+}$ ). Dalam larutan basa dengan pH 8–10 terjadi pengendapan  $\text{Cr}^3$  dalam bentuk  $\text{Cr}(\text{OH})_4$ . Sebenarnya chrom dalam bentuk *trivalen* ini tidak begitu berbahaya dibandingkan dengan bentuk *heksavalen*, namun dikhawatirkan adalah apabila bertemu dengan oksidator yang akan mengubah chrom *trivalen* menjadi chrom *heksavalen*. Chrom *heksavalen* dari buangan industri terdapat dalam bentuk kromat ( $\text{CrO}_4$ ) dan dikromat ( $\text{CrO}_3$ ) (Martopo, 1990).

### 2.6.1 Khromium (Cr) Dalam Lingkungan

Logam Cr dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik pada stata perairan, tanah maupun udara (lapisan atmosfer). Logam Cr yang masuk ke dalam strata lingkungan datang dari berbagai sumber, tetapi yang paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, rumah tangga dan pembakaran serta mobilisasi bahan bakar.

Masuknya Cr ke lapisan udara berasal dari pembakaran, mobilisasi batu bara dan minyak bumi. Pada pembakaran batu bara akan terlepas Cr sebesar 10 ppm ke udara, sedangkan dari pembakaran minyak bumi akan terlepas Cr sebesar 0,3 ppm.

Keadaan ini dapat diartikan bahwa setiap tahunnya akan dilepas sebanyak 1400 ton Cr ke udara dari proses pembakaran batubara dan 50 ton Cr dari proses pembakaran minyak bumi. (Palar,1994)

Logam khrom (Cr) di udara ditemukan dalam bentuk debu dan partikulat, seperti logam-logam berat lainnya. Debu dan partikulat khrom dalam udara tersebut dapat masuk kedalam tubuh hewan ataupun manusia melalui pernapasan (*respirasi*). Partikel atau debu khrom yang terhirup manusia lewat rongga hidung, mengikuti jalur-jalur respirasi sampai ke paru-paru untuk kemudian berikatan dengan darah di paru-paru sebelum dibawa darah ke seluruh tubuh. (Palar,1994)

Dalam badan perairan Cr dapat masuk melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Masuknya Cr secara alamiah dapat terjadi disebabkan oleh beberapa faktor fisika seperti erosi atau pengikisan yang terjadi pada batuan mineral. Disamping itu debu-debu dan partikel-partikel Cr yang di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Masuknya Cr yang terjadi secara non alamiah lebih merupakan dampak atau efek dari aktivitas yang dilakukan manusia. Sumber-sumber Cr yang berkaitan dengan aktivitas manusia dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga.

Logam khrom dalam perairan akan mengalami proses kimia seperti reaksi reduksi-oksidasi (redoks), yang dapat mengakibatkan terjadinya pengendapan atau sedimentasi logam khrom didasar perairan. Proses kimiawi yang berlangsung dalam badan air juga dapat mengakibatkan terjadinya reduksi dari senyawa-senyawa  $Cr^{6+}$  yang sangat beracun menjadi  $Cr^{3+}$  yang kurang beracun. Peristiwa reduksi ini dapat

berlangsung apabila kondisi air bersifat asam. Untuk perairan dengan kondisi basa, ion-ion  $\text{Cr}^{3+}$  akan mengendap didasar perairan.

### 2.6.2 Kegunaan Khromium (Cr) Dalam Lingkungan

Khromium telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan manusia. Dalam industri metalurgi, logam ini banyak digunakan dalam penyepuhan logam (*khromium planting*) yang memberikan dua sifat, yaitu dekoratif dan sifat kekerasan yang mana khromium planting ini banyak digunakan pada macam-macam peralatan, mulai dari peralatan rumah tangga sampai ke alat transportasi. (Breck, W.G and Brown, R.C, 1997).

Khromium dapat pula digunakan dalam alat penganalisa nafas, yang mana alat ini digunakan oleh polisi untuk menangkap peminum alkohol pengemudi mobil. Dalam bidang kesehatan Khromium dapat juga digunakan sebagai ortopedi, radioisotope khromium dalam bentuk Cr 51 yang dapat menghasilkan sinar gamma digunakan untuk penanda sel-sel darah-darah merah serta sebagai penjinak tumor tertentu (Palar, 1995).

Dalam industri kimia Khrom digunakan sebagai :

1. Cat pigmen (*dying*) dapat berwarna merah, kuning, orange dan hijau.
2. Elektroplanting (*chrome plating*)
3. Penyamakan kulit
4. *Treatment woll*



Dari aktifitas atau kegiatan diatas merupakan kontributor/sumber utama terjadinya pencemaran khrom ke air dan limbah padat dari sisa proses limbah laboratorium juga dapat menjadi sumbar kontaminasi air tanah.

### 2.6.3 Keracunan Khromium

Sebagai logam berat, Cr termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki oleh logam Cr ditentukan oleh valensi ionnya. Logam Cr (VI) merupakan bentuk yang paling banyak dipelajari sifat racunnya, dibandingkan ion-ion Cr (II) dan Cr (III). Sifat racun yang dibawa logam ini juga mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis.

Keracunan akut yang disebabkan oleh senyawa  $K_3Cr_2O_7$  pada manusia ditandai dengan kecenderungan terjadinya pembengkakan pada hati. Tingkat keracunan Cr pada manusia diukur melalui kadar atau kandungan Cr dalam urine, kristal asam kromat yang sering digunakan sebagai obat untuk kulit akan tetapi penggunaan senyawa tersebut sering kali mengakibatkan keracunan yang fatal (Palar, 1994).

Dampak kelebihan Cr pada tubuh akan terjadi pada kulit, saluran pernafasan, ginjal dan hati. Efek pada kulit disebabkan karena asam kronit, dikromat dan Cr (VI) lain disamping iritasi yang kuat juga.

Pengaruh terhadap pernafasan yaitu iritasi paru-paru akibat menghirup debu Cr dalam jangka panjang dan mempunyai efek juga terhadap iritasi kronis, polyp kronis. Gejala lain dari keracunan akut Cr (VI) adalah vertigo haus, muntah, shock, koma, dan mati. Khrom merupakan salah satu logam berat yang sangat beracun dan sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, karena dapat dengan cepat merusak protein.

Kontaminasi khrom dapat terjadi melalui :

1. Pengisian udara tercemar

Dengan menghisap udara yang tercemar khrom akan mengakibatkan peradangan dan kanker paru-paru. Di Amerika kasus ini mengakibatkan kematian sebesar 4 kali angka kematian normal dan dalam kasus yang serupa (karsinoma paru-paru).

2. Kontak langsung

Bisul merupakan salah satu ciri luka yang diakibatkan oleh kontak langsung dengan khrom pada kulit dan luka akan membengkak berubah selama beberapa minggu. Selain itu karakter luka akibat kontak langsung dengan khrom dapat pula terjadi pada hidung, lalu merambat keselaput lendir dan pembengkakan pada saluran pernapasan.

3. Makanan dan minuman

Khrom yang masuk kedalam tubuh manusia melalui air minum akan menumpuk di liver, limpa dan ginjal secara bersamaan, dalam waktu yang

panjang akan mengendap dan menimbulkan kanker, selain itu khrom akan dengan cepat menyebar ke pembuluh darah.

#### 2.6.4 Prinsip Analisa Logam Khromium

Kromium terdapat dalam beberapa susunan, baik dalam bentuk ion valensi 3 maupun valensi 6. Untuk mengenal sifat dari khrom mudah berubah dari krom valensi 3 ke khrom valensi 6. Hal ini terbukti dari kebanyakan terjadi dalam khrom valensi 6 sebagai khromat ( $\text{CrO}_4^{-2}$ ) dan dwikhromat ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ). Sifat lain dari khrom adalah mengikat molekul air, sehingga didalam industri sering digunakan sebagai bahan campuran pendingin, hal ini bertujuan untuk mencegah korosi terhadap alat yang digunakan.

Khrom valensi 3 dapat mengendap dalam bentuk hidroksidanya. Pada khrom hidroksida ini tidak larut dalam air, optimalnya pada kondisi  $\text{pH} = 8,5 - 9,5$ . khrom hidroksida ini melarut lebih tinggi apabila kondisi  $\text{pH}$  rendah atau asam. Khrom valensi 6 sulit dalam pengendapannya, sehingga dalam penanganannya diperlukan zat pereduksi, yaitu dari khrom valensi 6 menjadi valensi 3. mereduksi krom valensi 6 menjadi valensi 3 pada cairan  $\text{pH} = 3$  atau dibawahnya dengan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Zat pereduksinya dapat digunakan sulfur dioksida, natrium bisulfit, meta bisulfit, hidro bisulfit atau ferro sulfit.

Didalam pengolahannya dilakukan secara bertahap, yaitu mereduksi khrom valensi 6 menjadi valensi 3 dan kemudian pengendapan khrom dengan penambahan hidroksida dengan cara menaikkan pH sampai diatas netral. Analisis logam khrom dalam air limbah dapat ditentukan dengan kolorimetri menggunakan spektrofotometer. Kemudian absorbansi diukur pada spektrofotometer, pada panjang gelombang 540 nm.

## **2.7 Toksisitas Logam Pada Tanaman Eceng Gondok**

Toksisitas adalah kemampuan molekul suatu bahan kimia atau senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian permukaan tubuh atau bagian dalam tubuh yang peka terhadapnya (Elizabeth, M. I., 1992).

Penelitian yg dilakukan oleh Zamzam D, 1990, terdapat kerusakan pada morfologi tanaman eceng gondok parameter kualitatif yang memperlihatkan perbedaan antara control dengan tanaman yang diperlakukan dengan logam Cr, pada control daun tampak hijau dan berkembang dengan baik sedang tanaman yang tumbuh pada media Cr tampak menguning. Pada konsentrasi 1 ppm belum tampak pengaruh logam namun pada konsentrasi lebih tinggi yaitu 5 ppm dan 10 ppm Cr terlihat sangat jelas. Ini berarti Cr bersifat toksik pada tanaman khususnya eceng gondok.

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

Logam berat dapat menimbulkan fitotoksisitas dengan cara :

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

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

Pada makhluk hidup termasuk manusia logam dan mineral digunakan pada proses biokimiawi 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 essential seperti Cu, Zn, dan Se dan yang non essential seperti Hg, Pb, Cd, Cr, dan As. Terjadi keracunan logam paling sering disebabkan pengaruh pencemaran lingkungan oleh logam berat. Toksisitas logam pada makhluk hidup kebanyakan terjadi karena logam berat non essential saja, walaupun tidak menutup

kemungkinan adanya keracunan logam non essential yang melebihi dosis (Darmono, 1995).

## **2.8 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).

## 2.9 Penelitian Dengan Memanfaatkan Tanaman Kiapu (*Pistia Stratiotes*), Tanaman Kangkung Air (*Ipomea Aquatica Forks*) dan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*)

Tanaman yang dapat dimanfaatkan dalam sistem *Constructed wetlands* bukan hanya tanaman eceng gondok namun jenis tanaman air lainnya dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pengurai limbah. Jenis tanaman air lainnya yang digunakan sebagai tanaman pengurai limbah dan telah diteliti nilai efisiensinya adalah :

- 1) Penelitian yang dilakukan oleh Uly Andryani (2004) menggunakan tanaman kiapu (*Pistia Stratiotes*) untuk mengolah industri penyamakan kulit.

Tanaman kiapu (*Pistia Stratiotes*) memiliki syarat tumbuh sebagai berikut :

- pH optimum untuk tanaman ini dapat tumbuh adalah 4,5 – 7.
- Ketinggian air untuk tumbuh di daerah tropis 3 – 5 cm.
- Harus tersedia cukup unsur C, H, O, N, S, P, Ca, K, Mg, Fe.
- Suhu optimum 20 – 30 °C.
- Kelembaban optimum 85 – 90%

Tanaman kiapu digunakan dalam penelitian untuk mengolah limbah dari industri penyamakan kulit karena memiliki keunggulan daya kecambah yang tinggi, tahan terhadap gangguan tempat hidup yang baru, pertumbuhan cepat, tidak peka terhadap suhu, tingkat absorpsi/penyerapan unsur hara dan air besar, daya adaptasi yang besar terhadap iklim. Pada penelitian dengan limbah penyamakan kulit ini tanaman kiapu digunakan untuk menurunkan

TSS, Cr dan pH. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan penurunan TSS, Cr dan pH dalam *constructed wetlands* terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dan tanaman kiapu yang mengolah bahan organik atau anorganik yang terdapat didalam limbah cair industri penyamakan kulit sebagai nutrien dan energi. Peranan tanaman didalam sistem pengolahan *Constructed wetlands* adalah sebagai media yang menguraikan bahan organik dalam air limbah cair industri penyamakan kulit menjadi nutrien bagi tumbuhan dan sebagai media tumbuhnya mikroorganisme pengurai air limbah. Efisiensi penurunan parameter diatas dengan waktu detensi 12 hari adalah TSS 51,85% dan Cr 74,29%. Distribusi logam Cr ini terjadi pada seluruh bagian tanaman terutama pada akar dan daun tanaman. Kapasitas terbesar penyerapan terjadi pada bagian akar hal ini karena akar merupakan media pertama yang dilalui Cr.

- 2) Penelitian yang dilakukan oleh Faisal (2005) menggunakan 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 yang tumbuhnya tanaman ini adalah 23 – 30<sup>0</sup>C, dengan pH berkisar antara 7 – 7,5. dalam penelitian dengan menggunakan limbah tapioka ini tanaman eceng gondok dimanfaatkan untuk menurunkan kandungan BOD, COD, TSS dan sianida (CN). Turunnya





kandungan parameter tersebut terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dan tanaman eceng gondok yang mengolah bahan-bahan organik dan anorganik yang terdapat di dalam limbah cair industri tapioka yang dimanfaatkan sebagai energi dan nutrien dalam bentuk karbon dan nutrien 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 didalam sistem pengolahan *Constructed wetlands* adalah sebagai media yang menguraikan bahan-bahan organik dalam air limbah industri tapioka menjadi nutrien bagi pertumbuhan dan sebagai tempat tumbuhnya berbagai mikroorganisme pengurai limbah.

- 3) Penelitian yang dilakukan oleh Widyanto dan Susilo (1981) melaporkan bahwa dalam waktu 24 jam eceng gondok mampu menyerap logam cadmium (Cd), merkuri (Hg), masing-masing sebesar 1.35 mg/g dan 1.77 mg/g bila logam tidak tercampur. Eceng gondok juga menyerap Cd 1.23 mg/g.
- 4) Penelitian yang dilakukan oleh Tjitrosoedirdjo dan Satroudomo (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.

- 5) Penelitian yang dilakukan oleh 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 ini pola tanam yang digunakan berbeda yaitu dengan menggantikan tanaman yang sudah diletakan didalam pot selama dua hari masa penyerapan dengan tanaman yang baru (Alboulroos dkk,2002).
- 6) Penelitian yang dilakukan oleh Soud dkk (2004) dilakukan analisis cemaran logam Cd, Co, Ni dan Pb, pada tanaman eceng gondok dan *Cerotopylium demersum*. Konsentrasi logam yang ditambahkan 0,1-5 mg/L dengan menggantikan tanaman setiap dua harinya ternyata mampu menyerap seluruh logam setelah 24 dan 36 hari.
- 7) Penelitian yang dilakukan oleh Yanti (2004) menyimpulkan bahwa logam Cu dengan kosentrasi lebih dari 15 ppm ternyata menghambat pertumbuhan eceng gondok. Semakin besar konsentrasi logam yang terserap oleh tumbuhan maka akan mengganggu metabolisme dan pertumbuhan tanaman itu sendiri.
- 8) Penelitian yang dilakukan oleh Mashita (2005), menunjukkan bahwa perbedaan waktu kontak cukup berpengaruh terhadap serapan Logam Cr. Pada pola tanam *sequential harvesting* kadar logam pada akar eceng gondok dari hari ke-7, 14 dan 21 semakin meningkat secara signifikan. Kadar logam Cr sebesar 82,8 ug/g berat kering untuk kontak 7 hari, 191,68 ug/g berat kering untuk

waktu kontak 14 hari dan 249.76 ug/g berat kering untuk waktu kontak 21 hari.

- 9) Penelitian yang dilakukan oleh Kumar dkk (1995) menyebutkan sebagian kecil tanaman liar dapat mengakumulasi logam berat melalui proses *fitoekstraksi*. *Fitoekstraksi* logam berat Pb, Cr<sup>6+</sup>, Cd, Ni, Zn dan Cu dalam tumbuhan *Brassica Juncea (L) Czern*. Penyerapan terbesar untuk logam Pb pada tanaman *Brassica juncea (L) Czern* yaitu 108,3 mg Pb/g DW dalam akar dan 34,5 mg Pb/g DW dalam batang.
- 10) Penelitian yang dilakukan oleh Dian Amalia dan Alia Damayanti (2005), menggunakan tanaman eceng gondok untuk menurunkan kadungan Cr<sup>6+</sup> pada air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eceng gondok pada semua variasi konsentrasi dapat tumbuh dengan baik, kecuali pada konsentrasi terbesar.

## 2.10 Hipotesa

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut :

- a. *Constructed wetlands* dengan menggunakan tanaman eceng gondok dapat menurunkan konsentrasi Cr total.
- b. Pemanfaatan tanaman eceng gondok untuk penurunan Cr total berpengaruh terhadap tingkat pertumbuhan tanaman.