

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. O-Klorofenol

Klorofenol merupakan senyawa aromatik dengan gugus OH dan atom Cl. Umumnya klorofenol berbentuk kristal, hanya o-klorofenol yang berbentuk cair. Senyawa ini memiliki nama lain *2-Hydroxychlorobenzene* ( $C_6H_5ClO$ ), berwarna jernih dan memiliki bau yang khas (IPCS, CEC; 1993).

O-klorofenol memiliki berat molekul 128,6 dengan titik didih  $175^{\circ}C$  dan titik leleh  $8,7^{\circ}C$  serta memiliki densitas  $1,262\text{ g/cm}^3$ .

Xu, dkk (2005) melaporkan salah satu senyawa turunan fenol yang terkandung di dalam limbah cair pabrik *pulp and paper* adalah o-klorofenol. Senyawa ini terakumulasi secara tetap pada lingkungan dan memiliki dampak merugikan bagi makhluk hidup. Keberadaan senyawa ini dalam badan air menyebabkan penyimpangan reproduktif pada biota perairan dan mencemari rasa ikan serta menyebabkan gangguan kesehatan bagi manusia yang mengonsumsi ikan tersebut. O-klorofenol sangat beracun dan berbahaya bagi manusia, jika terserap oleh kulit maka kulit akan terbakar dan dapat mengakibatkan kematian.

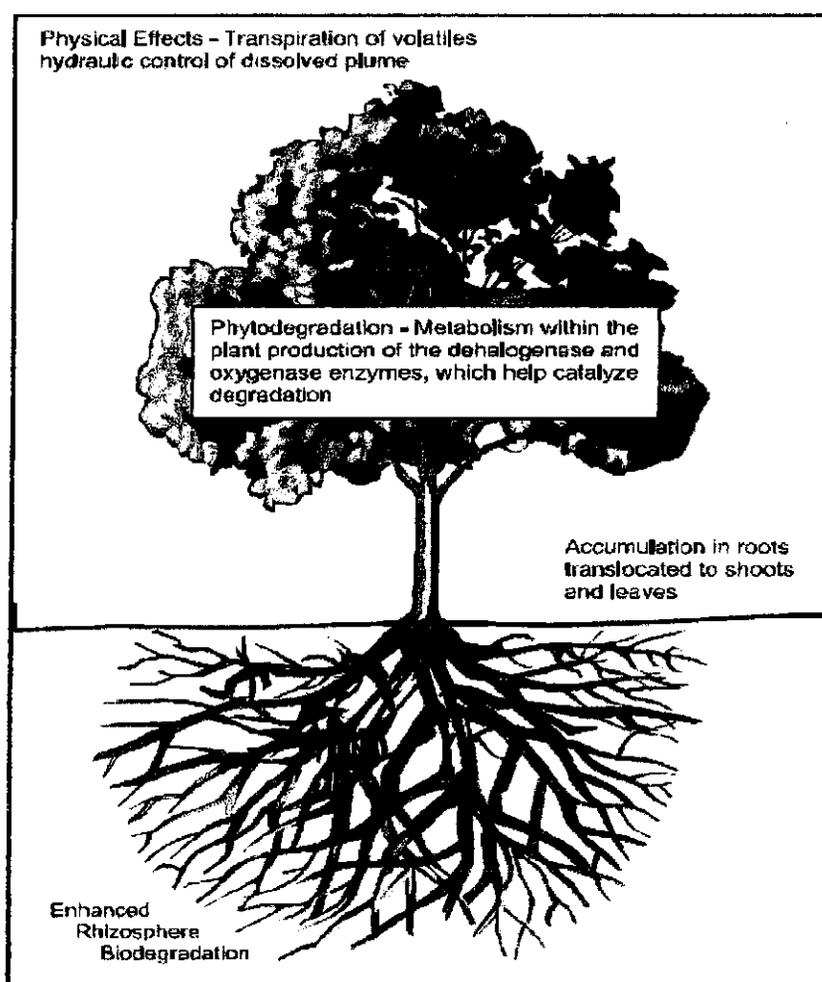
Karena besarnya akibat yang terjadi jika senyawa ini mencemari perairan, maka kita harus meminimalisasi kandungannya, salah satu metodenya yaitu dengan cara fitoremediasi.

#### 2.2. Fitoremediasi

Fitoremediasi didefinisikan sebagai teknologi pembersihan, penghilangan atau pengurangan polutan berbahaya, seperti logam berat, pestisida, dan senyawa organik beracun dalam tanah atau air dengan menggunakan bantuan tanaman. Konsep ini berasal dari berbagai disiplin riset antara lain kegiatan rehabilitasi lahan basah, tumpahan minyak, tanaman pertanian yang mampu menimbun logam berat, dan lain-lain. Saat ini, istilah fitoremediasi digunakan secara luas pada berbagai bidang (EPA, 2000). Fitoremediasi dapat digunakan untuk memulihkan daerah-daerah yang tercemar logam berat, pestisida, larutan-larutan kimiawi, bahan eksplosif, senyawa hidrokarbon minyak, PAH dan senyawa-senyawa hasil

pelindian dari *landfill*. Prinsip dasar dari teknologi fitoremediasi ini adalah memulihkan tanah terkontaminasi, memperbaiki sludge, sedimen dan air bawah tanah melalui proses pemindahan, degradasi atau stabilisasi suatu kontaminan (ITRC, 2003).

Penerapan fitoremediasi (lihat Gambar 2.1.) dapat dikelompokkan berdasarkan proses terhadap polutan yang berlangsung di dalam media tersebut yakni: degradasi, ekstraksi, stabilisasi, atau kombinasi dari ke tiga metode tersebut.



**Gambar 2.1 Mekanisme Fitoremediasi**

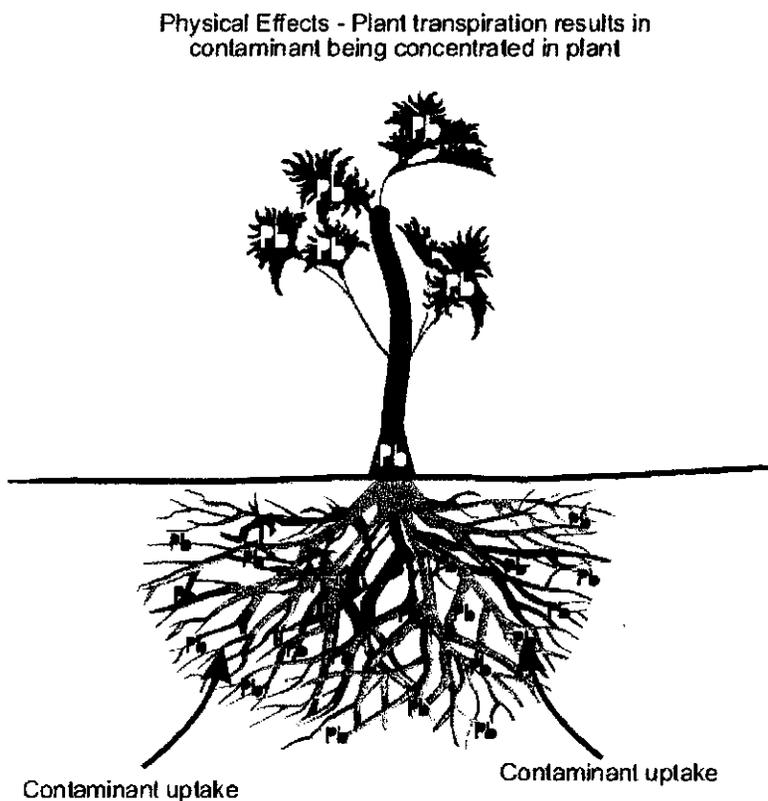
(Sumber: EPA, 2000)

EPA(2000) dan ITRC (2001) membuat klasifikasi fitoremediasi sebagai berikut:

## 1. Fitoakumulasi (*Phytoaccumulation*)

Fitoakumulasi disebut juga fitoekstraksi yaitu proses penyerapan zat kontaminan dari media oleh tumbuhan sehingga berakumulasi disekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *hyperaccumulation*. Zat kontaminan kemudian ditranslokasikan ke seluruh tubuh seperti batang, daun dan akar. Proses ini cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang dipakai adalah sejenis hiperakumulator misalnya pakis, bunga matahari dan jagung.

Secara sederhana, mekanisme fitoekstraksi suatu kontaminan dari lingkungan ke dalam tumbuhan dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



**Gambar 2.2 Fitoekstraksi**

(Sumber: EPA, 2000)

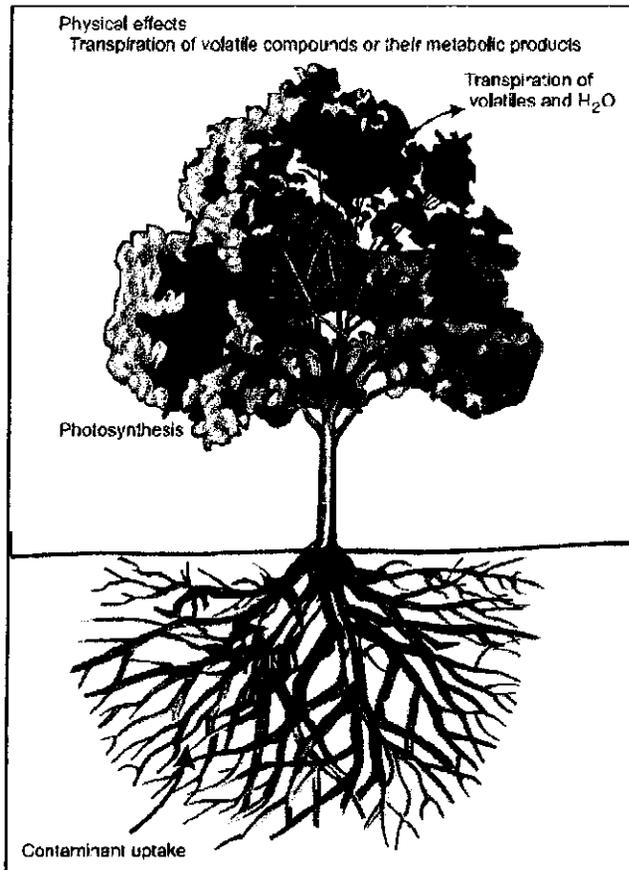
## 2. Fitostabilisasi (*Phytostabilization*)

Fitostabilisasi adalah proses penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada

permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zona akar. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak terbawa oleh aliran air dalam media. Proses ini akan mengurangi mobilisasi kontaminan dan mencegah berpindahya ke air tanah atau udara. Teknik ini dapat digunakan untuk meningkatkan penutupan tajuk oleh tumbuhan yang toleran terhadap jenis kontaminan di lokasi tersebut. Menurut Cunningham et al., (1995), ada tiga kemungkinan mekanisme yang umum terjadi pada proses fitostabilisasi; (1) reaksi redoks; (2) presipitasi kontaminan menjadi bentuk endapan; dan (3) pengikatan bahan-bahan organik ke dalam bagian lignin tanaman. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah berbagai jenis rumput, bunga matahari, dan kedelai.

### **3. Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*)**

Fitovolatilisasi yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya di uapkan ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Proses ini tepat digunakan untuk kontaminan zat-zat organik. Kontaminan dapat keluar melalui daun dan hasil volatilisasi masuk ke dalam atmosfer pada konsentrasi yang rendah. Beberapa senyawa organik dapat ditranspirasikan oleh tumbuhan merupakan subjek fotodegradasi. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200 sampai 1000 liter per hari untuk setiap batang. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah tumbuhan kapas dan pakis. Secara sederhana, mekanisme fitovolatilisasi dapat dilihat pada Gambar 2.5.

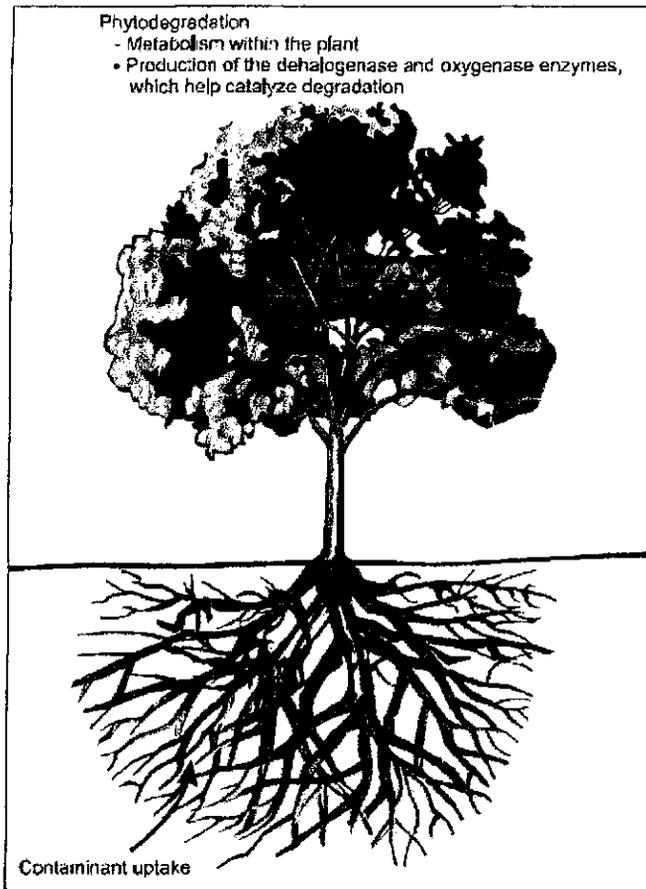


**Gambar 2.3 Fitovolatilisasi**

(Sumber: EPA, 2000)

#### 4. Fitodegradasi (*Phytodegradation*)

Fitodegradasi disebut juga fitotransformasi, yaitu proses penguraian zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis rumput. Gambar 2.3. memperlihatkan pengambilan polutan dan metabolisemenya. Polutan diuraikan, kemudian digunakan sebagai nutrient dan masuk ke dalam jaringan tumbuhan.



**Gambar 2.4 Fitodegradasi**

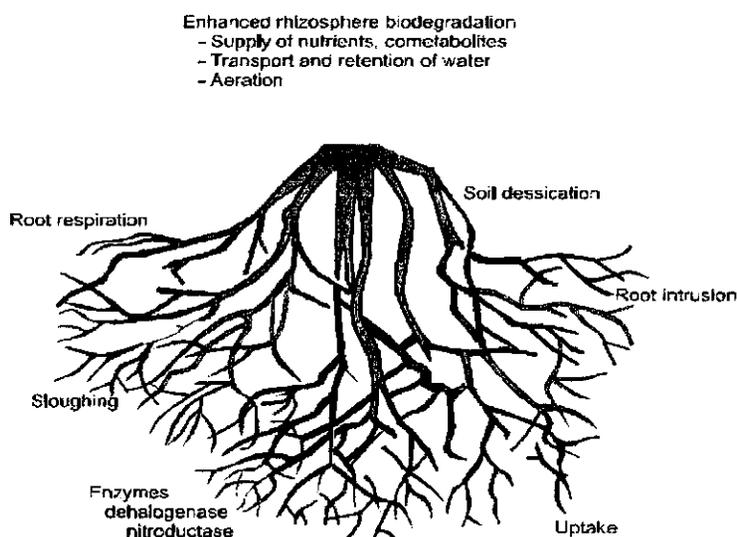
(Sumber: EPA, 2000)

## 5. Rhizodegradasi

Rhizodegradasi dinamakan pula fitostimulasasi, biodegradasi rhizosfer, stimulasi biodegradasi rhizosfer atau tumbuhan yang membantu bioremediasi/degradasi adalah suatu proses penguraian suatu kontaminan di dalam tanah melalui aktivitas mikrobia yang terstimulasi untuk hidup di dalam rhizosfer. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.

Mekanisme rhizodegradasi (lihat gambar 2.4) yaitu dengan cara tumbuhan mengeluarkan dan mentransportasikan oksigen dan air ke dalam tanah. Tumbuhan juga menstimulasi biodegradasi melalui mekanisme lain seperti penyetopan metabolisme lain dan mentransportasikan oksigen atmosfer ke dalam akar.

Polutan diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (*eksudat*) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini adalah tepat untuk dekontaminasi zat organik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis rumput.



**Gambar 2.5 Rhizodegradasi**

(Sumber: EPA, 2000)

## 6. Rhizofiltrasi (*Rhizofiltration*)

Rhizofiltrasi adalah adsorpsi atau pengendapan suatu kontaminan oleh akar tanaman atau absorpsi suatu kontaminan masuk ke dalam akar ketika kontaminan tersebut terlarut di sekitar zona akar. Di dalam sistem hidroponik, sistem perakaran telah secara nyata dapat dipergunakan untuk menjelaskan metode rizofiltrasi. Kontaminan di dalam air, setelah kontak dengan akar akan diabsorpsi dan kemudian tumbuhan dipanen setelah menjadi jenuh terhadap kontaminan. Akar tumbuhan mengadsorpsi larutan polutan yang ada di sekitar akar ke dalam akar. Spesies tumbuhan yang fungsional adalah rumput air seperti Cattail dan eceng gondok .

US EPA (2001) melaporkan bahwa waktu yang dibutuhkan tanaman untuk membersihkan polutan menggunakan fitoremediasi tergantung pada beberapa faktor, yaitu:

- a. Tipe dan jumlah tanaman yang digunakan
- b. Tipe dan jumlah zat kimia berbahaya yang ada
- c. Luas area yang tercemar
- d. Tipe air atau tanah dan kondisinya

Fitoremediasi juga memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan metode konvensional lain untuk menanggulangi masalah pencemaran, yaitu :

- a) Biaya operasional relatif murah
- b) Tanaman bisa dengan mudah dikontrol pertumbuhannya.
- c) Kemungkinan penggunaan kembali polutan yang bernilai seperti emas (*phytomining*).
- d) Merupakan metode remediasi yang paling aman bagi lingkungan karena memanfaatkan tumbuhan.
- e) Memelihara keadaan alami lingkungan

Disamping memiliki keunggulan, ternyata fitoremediasi juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satu kelemahannya adalah kemungkinan akibat yang timbul bila tanaman yang telah menyerap polutan tersebut dikonsumsi oleh hewan dan serangga. Dampak negatif yang dikhawatirkan adalah terjadinya kematian pada hewan dan serangga atau terjadinya akumulasi logam pada predator-predator jika mengonsumsi tanaman yang telah digunakan dalam proses fitoremediasi.

Teknik Fitoremediasi untuk menghilangkan polutan perairan yang terkontaminasi mengalami perkembangan yang cukup pesat. Teknik ini dapat menggunakan tanaman herba, semak bahkan pohon. Semua tumbuhan memiliki potensi menyerap polutan tertentu dalam jumlah bervariasi dan beberapa jenis tumbuhan mampu mengakumulasi kontaminan tertentu dalam konsentrasi tertentu. Tumbuhan-tumbuhan tersebut mampu mengasimilasi senyawa organik dan anorganik dari polutan.

Beberapa penelitian telah membuktikan keberhasilan penggunaan tumbuhan untuk remediasi air tercemar. Muramoto dan Oki dalam Sudiby (1989) menjelaskan, bahwa enceng gondok dapat digunakan untuk menghilangkan polutan, karena fungsinya sebagai sistem filtrasi biologis, menghilangkan nutrisi

mineral, untuk menghilangkan logam berat seperti cuprum, aurum, cobalt, strontium, merkuri, timah, kadmium dan nikel.

### 2.3. Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

Enceng gondok adalah salah satu jenis tumbuhan air yang pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang ilmuwan bernama Karl Von Mortius pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di Sungai Amazon Brazilia. Karena kerapatan pertumbuhan eceng gondok yang tinggi, tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Dari data dapat dilihat bahwa 10 tanaman dewasa dapat berkembang menjadi sekitar 65.000 hanya dalam delapan bulan (O'Keefe et al, 1987). Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya. Tumbuhan ini menyebar ke seluruh dunia dan tumbuh pada daerah dengan ketinggian tempat berkisar antara 0-1600 m di atas permukaan laut yang beriklim tropis dan sub tropis. Penyebaran tumbuhan ini dapat melalui kanal, sungai dan rawa serta perairan tawar lain dengan aliran lambat (Mardjuki dkk, 1997; Ghopal dan Sharma, 1981; Sastroutomo, 1990).

Pertumbuhan massal eceng gondok akan terjadi bila perairan mengalami penyuburan oleh pencemaran. Keadaan ini akan terjadi bila kemampuan asimilasi zat yang masuk ke perairan mengalami penurunan.

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

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

Dampak negatif tersebut perlu diimbangi dengan usaha penanggulangannya. Salah satu upaya untuk penanggulangan yang umum dilakukan oleh masyarakat di antaranya:

1. Menggunakan herbisida
2. Mengangkat eceng gondok tersebut dari lingkungan perairan
3. Menggunakan predator (hewan sebagai pemakan eceng gondok)
4. Memanfaatkan eceng gondok tersebut, misalnya sebagai bahan pembuatan kertas, kompos, biogas, kerajinan tangan, sebagai media pertumbuhan bagi jamur merang, dsb.
5. Secara terpadu dengan mengombinasikan cara-cara yang telah disebutkan di atas.

Pemanfaatan eceng gondok untuk produk tertentu merupakan cara yang lebih bijak jika dibandingkan dengan cara-cara lain sebab risiko yang ditimbulkan lebih kecil. Pemanfaatan eceng gondok untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar telah biasa dilakukan, khususnya terhadap limbah domestik dan industri sebab eceng gondok memiliki kemampuan menyerap zat pencemar yang tinggi daripada jenis tumbuhan lainnya.

Kecepatan penyerapan zat pencemar dari dalam air limbah oleh eceng gondok dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya komposisi dan kadar zat yang terkandung dalam air limbah, kerapatan eceng gondok, dan waktu tinggal eceng gondok dalam air limbah. Moenandir (1990) menyebutkan, bahwa pada konsentrasi kadar  $O_2$  yang terlarut dalam air 3,5 - 4,8 ppm eceng gondok dapat berkembangbiak dengan cepat.

Eceng gondok memiliki akar yang bercabang-cabang halus, permukaan akarnya digunakan oleh mikroorganisme sebagai tempat pertumbuhan (Neis, 1993). Little (1968), Lawrence dan Moenandir (1990), Haider (1991) serta Sukman dan Yakup (1991), menyebutkan bahwa Eceng gondok banyak menimbulkan masalah pencemaran sungai dan waduk, tetapi mempunyai manfaat antara lain:

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

2. Sebagai bahan penutup tanah (*mulch*) dan kompos dalam kegiatan pertanian dan perkebunan
3. Sebagai sumber gas yang antara lain berupa gas ammonium sulfat, gas hydrogen, nitrogen dan metan yang dapat diperoleh dengan cara fermentasi
4. Bahan baku pupuk tanaman yang mengandung unsur NPK yang merupakan tiga unsur utama yang dibutuhkan tanaman
5. Sebagai bahan industri kertas dan papan buatan
6. Sebagai bahan baku karbon aktif

#### 2.4. Spektrofotometer UV

Untuk menganalisis konsentrasi senyawa o-klorofenol yang terserap digunakan spektrofotometer UV. Spektrofotometer UV merupakan instrumen untuk mengukur absorpsi atau penyerapan cahaya dengan energi (panjang gelombang) tertentu oleh suatu atom atau molekul. Energi cahaya diserap oleh atom atau molekul dan digunakan oleh elektron di dalam atom atau molekul tersebut untuk bertransisi ke tingkat energi elektronik yang lebih tinggi. Besarnya penyerapan cahaya (absorbansi) dari suatu kumpulan atom atau molekul dinyatakan oleh hukum *Lambert-Beer*.

Hukum *Lambert* menyatakan bahwa banyaknya berkas cahaya datang yang diserap oleh suatu medium tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya yang datang. Intensitas cahaya yang keluar setelah melewati bahan dapat ditulis sebagai berikut:

$$I = T \times I_0$$

$I$  adalah intensitas berkas cahaya yang keluar,  $I_0$  adalah intensitas berkas cahaya yang masuk dan  $T$  adalah transmitansi.

Hukum *Beer* menyatakan bahwa absorpsi cahaya sebanding dengan konsentrasi dan ketebalan medium, dan dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = \varepsilon c l$$

Dengan  $\varepsilon$  adalah molar absorbtivitas untuk panjang gelombang tertentu atau disebut juga sebagai koefisien ekstisif (dalam  $\text{l mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ),  $c$  adalah konsentrasi molar ( $\text{mol l}^{-1}$ ) dan  $l$  adalah panjang atau ketebalan medium yang dilantasi oleh cahaya (cm).

Kombinasi dari kedua hukum *Lambert* dan *Beer* dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = \log(I_0/I) = \varepsilon c l$$

Persamaan di atas menyatakan bahwa absorbansi *A* memiliki hubungan linier dengan konsentrasi *c* dan dapat ditentukan dengan mengukur ratio antara intensitas cahaya setelah melewati medium dan intensitas sebelum melewati medium (Awaluddin dkk, 1996).