

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Pendahuluan Logam Berat Cd dan Pb pada Sampel Air Sungai

Hasil analisis kimia sampel air sungai Porong, sungai Balungtani dan kolam sebagai pembanding, menunjukkan adanya kandungan logam berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada sampel air sungai tersebut.

Tabel 4.1. Rata-rata kandungan logam berat cadmium (Cd) dan plumbum (Pb) yang terdeteksi dalam air sungai Porong dan sungai Balungtani

Standar baku EPA (ppm)	Logam berat terdeteksi	Rata-rata kandungan logam berat cadmium (Cd) dan plumbum (Pb)		
		Sungai Porong	Sungai Balungtani	Kontrol
0,07 ppm	Kadmium (Cd)	12,43 ppm	5,22 ppm	0,06 ppm
0,26 ppm	Plumbum (Pb)	9,33 ppm	5,08 ppm	0,34 ppm

Tabel 4.1 menerangkan bahwa rata-rata kandungan logam berat Cd tertinggi terdapat di sungai Porong yaitu mencapai 12,43 ppm. Tingginya kandungan logam berat Cd ini, diduga disebabkan oleh adanya aktivitas pembuangan limbah berupa lumpur dari PT Lapindo Brantas. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Badan Wahana Lingkungan Hidup Indonesia menunjukkan bahwa kandungan Cd dalam lumpur Lapindo mencapai 0,31 mg/L dan berada jauh diatas standar baku mutu air menurut keputusan MenKes No.907/2002 kadar Cd yang diperbolehkan berada dalam perairan yaitu 0,003 mg/L.

Menurut Clark (1995), cadmium (Cd) masuk ke perairan melalui:

1. Uap, debu dan limbah pertambangan timah dan seng
2. Air bilasan dari elektroplating (penyepuhan/pelapisan logam)
3. Besi, tembaga dan industry logam non ferrous yang menghasilkan uap dan abu serta air limbah dan endapan yang mengandung cadmium
4. Seng yang digunakan untuk melapisi logam mengandung kira-kira 0,2% Cd sebagai bahan ikutan, semua Cd ini akan masuk perairan melalui proses korosi dalam kurun waktu 2-4 tahun
5. Pupuk fosfat dan endapan sampah

Rata-rata kandungan logam berat plumbum (Pb) tertinggi ditemukan pada air sungai Porong yaitu mencapai 9,33 ppm. Kandungan ini berada jauh diatas standar baku mutu air terhadap logam berat yang telah ditetapkan oleh EPA (1973) yang seharusnya hanya 0,26 ppm.

Limbah lumpur Lapindo, yang dibuang ke dalam badan sungai tanpa diolah terlebih dulu, akan terakumulasi dan mempengaruhi keberadaan logam cadmium dan plumbum yang terdapat di dalam perairan. Air yang tercemar menunjukkan ciri-ciri tertentu seperti keruh atau berwarna, berbau, pH asam atau basa, mengandung berbagai bahan kimia berbahaya seperti logam berat, atau mengandung mikroorganisme yang dapat mengganggu pengguna air. Pencemaran air dapat terjadi baik di perairan darat (sungai, danau, rawa) maupun di perairan laut. Kerusakan perairan darat dapat disebabkan oleh limbah industri, rumah tangga, dan penggundulan hutan. Industri sering membuang bahan berbahaya dan beracun langsung ke perairan tanpa melalui unit pengolahan limbah. Limbah industri ini

sering mengandung merkuri, arsen, dan cadmium. Zat-zat ini bersifat racun sehingga merusak kehidupan di ekosistem perairan dan berbahaya bagi hewan atau manusia yang meminum air dari kawasan tersebut. Claphman (1973), menyatakan bahwa air sungai mengangkut partikel lumpur dalam bentuk suspensi, ketika partikel mencapai muara dan bercampur dengan air laut, partikel lumpur akan membentuk partikel yang lebih besar dan mengendap pada dasar perairan.

Sebagai seorang mukmin, diperlukan kesadaran dan pencegahan pembuangan segala macam jenis limbah tanpa pertanggung jawaban yang membahayakan kehidupan lingkungan dan manusia sendiri, karena hal tersebut sangat ditentang dalam Islam seperti disebutkan Al Qur'an surat Al A'raf ayat 85, yaitu:

وَالِى مَدْيَنَ أَخَاهُمْ شُعَيْبًا ۗ قَالَ يَبْقَوْمِ اعْبُدُوا اللَّهَ مَا لَكُمْ مِنْ إِلَهِ غَيْرُهُ ۗ
 قَدْ جَاءَكُمْ بَيِّنَةٌ مِنْ رَبِّكُمْ ۗ فَأَوْفُوا الْكَيْلَ وَالْمِيزَانَ ۗ وَلَا تَبْخَسُوا النَّاسَ
 أَشْيَاءَهُمْ وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا ۗ ذَلِكُمْ خَيْرٌ لَكُمْ إِنْ كُنْتُمْ
 مُؤْمِنِينَ ﴿٨٥﴾

Artinya: "Dan (kami telah mengutus) kepada penduduk Mad-yan saudara mereka, Syu'aib. ia berkata: "Hai kaumku, sembahlah Allah, sekali-kali tidak ada Tuhan bagimu selain-Nya. Sesungguhnya telah datang kepadamu bukti yang nyata dari Tuhanmu. Maka sempurnakanlah takaran dan timbangan dan janganlah kamu kurangkan bagi manusia barang-barang takaran dan timbangannya, dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi sesudah Tuhan memperbaikinya. yang demikian itu lebih baik bagimu jika betul-betul kamu orang-orang yang beriman".

Sebagai seorang mukmin, juga perlu diingat bahwa keputusan pemerintah untuk membuang limbah lumpur ke dalam badan sungai Porong, bertujuan untuk

mencegah mudharat yang lebih besar yaitu rusaknya pemukiman penduduk sekitar Porong yang dapat mengakibatkan jatuhnya korban jiwa. Meskipun pembuangan lumpur juga berdampak pada ekosistem perairan Porong, namun keselamatan manusia jauh lebih penting, sehingga dibutuhkan keputusan yang lebih bermanfaat bagi kemaslahatan manusia, sesuai dengan Al Kaeda dalam usul fiqh “*kebutuhan bisa menghapus sesuatu yang berbahaya*”. Sehingga tindakan pencegahan yang saat ini masih mungkin dilakukan adalah dengan tidak menambah jumlah limbah yang akan dibuang ke sungai.

Rochyatun (1997), menyatakan walaupun terjadi peningkatan sumber logam berat, namun konsentrasinya dalam air dapat berubah setiap saat. Hal ini, terkait dengan adanya berbagai proses yang dialami oleh senyawa tersebut dalam kolom air. Parameter yang mempengaruhi konsentrasinya logam berat di perairan adalah suhu, salinitas, arus, pH, dan padatan yang tersuspensi total.

Pb yang sangat beracun ini dapat ditemukan pada setiap benda mati maupun sistem biologi. Dalam ekosistem akuatik, Pb terutama dihasilkan dari aktivitas antropogenik. Pb mencapai kawasan mangrove melalui aliran sungai, deposisi dari atmosfer, pelindihan tanah, dan rembesan air tanah. Ketersediaan oksigen di badan air dan reaktivitas antara Pb dengan partikel-partikel oksida yang tinggi menyebabkan terjadinya absorpsi dan akumulasi Pb dari badan air ke dalam sedimen tanah secara terus-menerus. Pb mengalami pada saat terjadi pelarutan partikel-partikel redoks yang sensitif di badan air. Pb dapat diserap dari air anoksik (tanpa oksigen) melalui presipitasi (jatuhan) dengan sulfida atau FeS, tetapi penyerapan Pb tidak dapat terjadi selama aktivitas produk ionik melampaui kelarutan PbS (Taillefert dkk, 2000).

4.2 Kandungan Logam berat Cadmium (Cd) dan Timah hitam (Pb) pada Tumbuhan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*)

4.2.1 Kandungan Logam Berat Cadmium (Cd) pada Tumbuhan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil uji lanjut BNJ 5% disajikan pada Tabel 4.2, selanjutnya data disajikan pada lampiran 1.

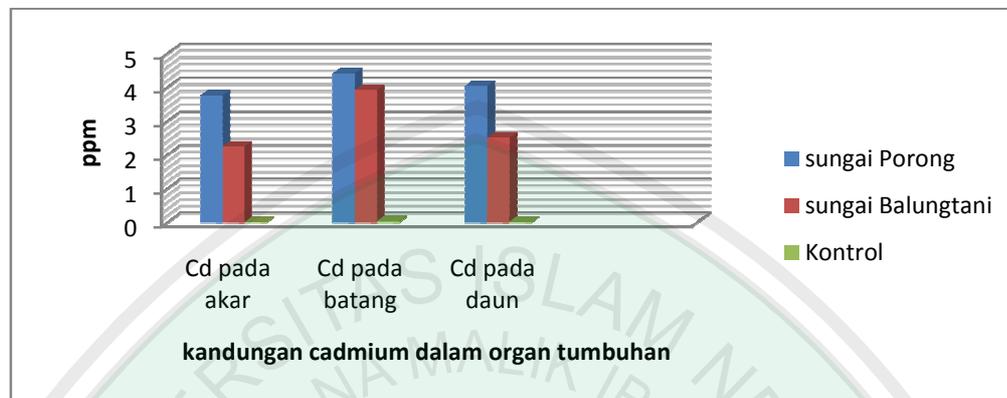
Tabel 4.2 Rata-rata kandungan logam berat cadmium (Cd) yang terdapat dalam organ tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dari sungai Porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Organ tumbuhan	Rata-rata kandungan logam berat cadmium (Cd) dalam organ tumbuhan di setiap lokasi (ppm)		
	Sungai Porong	Sungai Balungtani	Kontrol
Akar	3,76 d	2,25 b	0,014 a
Batang	4,41 f	3,92 e	0,052 a
Daun	4,04 e	2,51 c	0,024 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Tabel 4.2 di atas menunjukkan perbedaan kandungan logam berat cadmium (Cd) dalam organ tumbuhan eceng gondok dari sungai Porong, sungai Balungtani, dan kontrol. Kandungan logam berat Cd tertinggi terdapat pada organ batang tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dari sungai Porong, dengan rata-rata 4,41 ppm, kemudian organ daun eceng gondok dari sungai Porong yang mencapai rata-rata 4,04 ppm, dan organ akar eceng gondok sungai Porong yang mencapai rata-rata 3,76 ppm, yang tidak berbeda nyata dengan organ batang tumbuhan eceng gondok dari sungai Balungtani dengan rata-rata 3,92 ppm, lalu pada organ daun dengan rata-rata 2,51 ppm dan organ akar dengan rata-rata 2,25 ppm. Pada tumbuhan eceng gondok yang berfungsi sebagai kontrol, kandungan logam berat cadmium menunjukkan rata-rata angka yang rendah dalam setiap organ tumbuhan dan berbeda

nyata dibandingkan dengan masing-masing organ tumbuhan pada sungai Porong dan sungai Balungtani, keterangan lebih jelas disajikan dalam diagram 4.1.



Gambar 4.1. Diagram batang rata-rata kadar logam berat cadmium (Cd) organ tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai porong, sungai balungtani, dan kontrol

Diagram 4.1 memperlihatkan adanya perbedaan kandungan logam berat cadmium (Cd), organ tumbuhan eceng gondok pada setiap lokasi pengambilan sampel.

Tabel 4.3 Rata-rata kandungan logam berat cadmium (Cd) yang terdapat dalam tumbuhan sungai Porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Lokasi	Rata-rata kadar logam berat Cd dalam tumbuhan (ppm)
Sungai Porong	4,24 c
Sungai Balungtani	2,05 b
Kontrol	0,03 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Tabel 4.3 menerangkan, perbedaan nyata rata-rata kandungan logam berat cadmium pada tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) sungai Porong, Balungtani dan kontrol. Rata-rata kandungan cadmium tertinggi terdapat pada eceng gondok sungai Porong yang mencapai 4,24 ppm, kandungan yang lebih rendah

terdapat pada tumbuhan eceng gondok dari sungai Balungtani yakni 2,05 ppm, dan cadmium pada kontrol hanya mencapai rata-rata 0,03 ppm.

Pada sungai Porong, tingkat akumulasi logam berat cadmium dalam organ tumbuhan eceng gondok lebih tinggi dibandingkan dengan sungai Balungtani dan kolam. Hal ini disebabkan adanya perbedaan tingkat cemaran cadmium yang terdapat pada air sungai dan pemanfaatan lahan di sekitar sungai tersebut. Selain itu, sungai Porong juga digunakan sebagai tempat pembuangan limbah lumpur Lapindo serta limbah lain dari kawasan sekitar Porong. Pembuangan limbah ini tidak hanya mencemari sungai, tetapi telah membunuh beberapa jenis Makrobentos, Invertebrata, serta Gastropoda yang hidup di lingkungan sungai. Selain itu, kehidupan manusia dan tumbuhan yang ada di sekitar sungai menjadi terancam. Padahal, Al Qur'an dengan jelas telah memperingatkan manusia akibat yang akan ditimbulkan, bila manusia berbuat kerusakan, dalam surat Al A'raf ayat 103:

ثُمَّ بَعَثْنَا مِنْ بَعْدِهِمْ مُوسَىٰ بِآيَاتِنَا إِلَىٰ فِرْعَوْنَ وَمَلَئِهِۦ فَظَلَمُوا بِهَا ۖ فَانظُرْ

كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الْمُفْسِدِينَ ﴿١٠٣﴾

Artinya: “Kemudian Kami utus Musa sesudah rasul-rasul itu dengan membawa ayat-ayat Kami kepada Fir'aun dan pemuka-pemuka kaumnya, lalu mereka mengingkari ayat-ayat itu. Maka perhatikanlah bagaimana akibat orang-orang yang membuat kerusakan,” (Qs. Al A'raf:103).

Tabel 4.4 Rata-rata kandungan logam berat cadmium (Cd) dalam organ tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada semua lokasi

Organ Tumbuhan	Rata-rata (ppm)
Akar	2,01 a
Batang	2,76 b
Daun	2,15 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Tabel 4.4 menunjukkan adanya perbedaan akumulasi cadmium yang nyata antara organ akar, batang dan daun eceng gondok. Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa organ tumbuhan yang mempunyai potensi tertinggi dalam mengakumulasi logam berat cadmium adalah organ batang eceng gondok dengan kandungan cadmium rata-rata mencapai 2,76 ppm, kemudian organ daun yang mengakumulasi cadmium dengan rata-rata 2,15 ppm, dan akumulasi yang rendah pada organ akar yaitu 2,01 ppm tetapi tidak berbeda nyata dengan organ daun.

Masuknya logam berat cadmium ke dalam organ tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*), karena adanya difusi air ke dalam sel akar. Air kemudian diangkut menuju bagian tajuk akar dengan melewati jaringan xilem karena adanya tarikan transpirasi. 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.

Dari semua logam berat beracun, cadmium merupakan logam berat dengan tingkat bahaya tertinggi untuk pertumbuhan tanaman dan kesehatan manusia. Selain

itu, peningkatan dan akumulasi dalam tumbuhan menyebabkan masalah kesehatan yang serius pada manusia jika tumbuhan tersebut merupakan penyusun rantai makanan (Shah dan Dubey,1998).

Smith (1981), menyebutkan bahwa sejumlah besar logam berat dapat terasosiasi dalam tumbuhan tinggi. Logam berat yang belum diketahui fungsinya dalam metabolisme tumbuhan antara lain adalah Pb, Cd, Ti, dan lain sebagainya. Semua logam berat tersebut dapat berpotensi mencemari tumbuhan. Mekanisme pencemaran logam secara biokimia pada tumbuhan yang terbagi ke dalam enam proses yaitu: (1) logam mengganggu fungsi enzim, (2) logam sebagai anti metabolit, (3) logam membentuk lapisan endapan yang stabil (kelat) dengan metabolit esensial, (4) logam sebagai katalis dekomposisi pada metabolit esensial, (5) logam mengubah permeabilitas membran sel, (6) logam menggantikan struktur dan elektrokimia unsur yang paling penting dalam sel. Gejala akibat pencemaran logam berat, yakni klorosis, nekrosis pada ujung dan sisi daun serta busuk daun yang lebih awal.

Cadmium merupakan logam berat yang aktif, sangat mudah diserap akar dan dipindahkan menuju bagian atas tumbuhan. Logam berat lain yang lebih pasif seperti plumbum, bersamaan dengan cadmium biasanya akan terdistribusi pada organ tumbuhan dengan urutan akumulasi terbesar pada akar, kemudian tajuk, daun, buah, dan terkecil pada benih. Pendistribusian logam berat ke dalam organ tumbuhan merupakan salah satu bentuk pertahanan tumbuhan tersebut. Poniedzialek *et al* (1999), menemukan perbedaan kadar akumulasi logam berat pada organ tertentu hasil panen. Absorpsi dan transport logam berat dapat berubah karena banyak faktor seperti varietas, waktu produksi, dan lokasi.

4.2.2 Kandungan Logam Berat Plumbum (Pb) pada Tumbuhan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*)

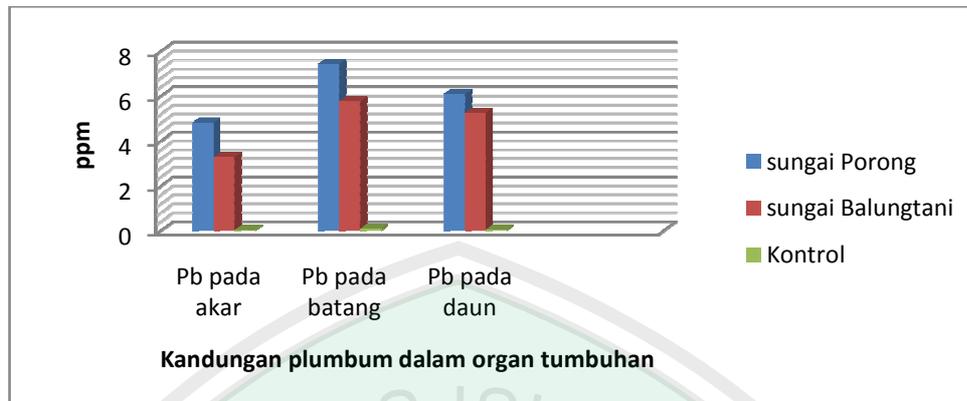
Hasil analisis data menggunakan analisis variansi (ANAVA) menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$ 0,05 diketahui bahwa terdapat perbedaan tingkat akumulasi logam berat Pb pada tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Hasil analisis data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 2. Selanjutnya hasil uji lanjut BNJ 5% disajikan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Rata-rata kandungan logam berat Plumbum (Pb) yang terdapat dalam organ tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*), sungai Porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Organ tumbuhan	Rata-rata kandungan logam berat plumbum (Pb) dalam organ tumbuhan di setiap lokasi (ppm)		
	Sungai Porong	Sungai Balungtani	Kontrol
Akar	4,81 c	3,28 b	0,021 a
Batang	7,42 g	5,76 e	0,073 a
Daun	6,08 f	5,24 d	0,043 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Tabel 4.5 diatas menunjukkan perbedaan nyata kandungan logam berat plumbum (Pb) dalam organ tumbuhan dari sungai Porong, sungai Balungtani, dan kontrol. Kandungan logam berat Pb tertinggi terdapat pada batang tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dari sungai Porong, dengan rata-rata 7,42 ppm, yang berbeda nyata dibandingkan dengan organ yang lain di semua lokasi.



Gambar 4.1. Diagram batang rata-rata kadar logam berat plumbum (Pb) organ tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai porong, sungai balungtani, dan kontrol

Dari diagram di atas dapat diketahui kadar logam berat plumbum yang terakumulasi pada organ tumbuhan sungai porong lebih tinggi daripada akumulasi logam berat pada tumbuhan eceng gondok sungai balungtani dan kolam. Kerusakan yang ditimbulkan karena adanya akumulasi Pb dalam organ tumbuhan, terutama nampak pada tingkat nekrosis dan penurunan kadar klorofil daun eceng gondok sungai porong.

Penyebab tingginya kandungan Pb dalam tumbuhan di sungai Porong adalah lokasi sungai Porong yang dilalui jembatan Porong dan merupakan jalur transportasi utama Surabaya-Malang. Padatnya arus kendaraan yang melintasi sungai Porong telah mengakibatkan akumulasi Pb dalam badan perairan sungai Porong. Penyebab lainnya adalah jumlah limbah yang dibuang ke dalam sungai tanpa adanya pengelolaan yang memadai, dan keberadaan sungai Porong sebagai muara dari sungai-sungai kecil di sekitar kawasan Porong dan berhubungan langsung dengan selat Madura. Fungsi sungai Porong sebagai muara (pembatas) antara air laut (selat

Madura) dan perairan air tawar telah disebutkan dalam Al Qur'an surat Al Furqon ayat 53:

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا

بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا

Artinya: "Dan Dialah yang membiarkan dua laut yang mengalir (berdampingan); yang ini tawar lagi segar dan yang lain asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang menghalangi." (Al Furqon: 53)

Tabel 4.6 Rata-rata kandungan logam berat Plumbum (Pb) yang terdapat dalam tumbuhan sungai Porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Lokasi	Rata-rata kadar logam berat Pb dalam tumbuhan (ppm)
Sungai Porong	6,10 c
Sungai Balungtani	4,78 b
Kontrol	0,05 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Tabel 4.6 diatas menunjukkan perbedaan nyata kandungan logam berat plumbum (Pb) dalam tumbuhan dari sungai Porong, sungai Balungtani, dan kolam. Kandungan logam berat Pb tertinggi terdapat pada tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dari sungai Porong, dengan rata-rata 6,10 ppm, kemudian tumbuhan eceng gondok dari sungai Balungtani yang mencapai rata-rata 4,78 ppm, sedangkan kandungan logam berat cadmium terendah terdapat pada tumbuhan eceng gondok yang berasal dari kolam yang mencapai rata-rata 0,05 ppm. Besarnya kandungan Pb dan Cd pada tumbuhan eceng gondok di kedua sungai sangat berkaitan dengan sifat logam tersebut yang mudah mengendap dan membentuk sedimen serta bersifat akumulatif (Rahman, 2005).

Kendaraan bermotor menjadi salah satu sumber utama pencemaran, karena mengandung berbagai bahan pencemar yang berbahaya bagi manusia, hewan, tumbuhan dan infrastruktur yang terdapat di sekitarnya. Menurut Fergusson (1990) bahan pencemar (polutan) yang berasal dari gas kendaraan bermotor umumnya berupa gas hasil sisa pembakaran dan partikel logam berat seperti timah hitam (Pb). Timah hitam (Pb) yang dikeluarkan dari kendaraan bermotor rata-rata berukuran 0,02-0,05 μm . Semakin kecil ukuran partikelnya semakin lama waktu menetapnya. Menurut Palar (2004), logam berat Pb masuk ke dalam perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Di samping itu, proses korofikasi dari batuan mineral akibat hempasan geombang dan angin, juga merupakan salah satu jalur sumber Pb yang akan masuk ke dalam perairan.

Sungai Balungtani adalah sungai yang berada di sekitar lahan persawahan (pertanian) penduduk, sehingga diduga tingginya kandungan logam berat yang terdeteksi pada air dan tumbuhan dikarenakan limbah yang berasal dari pupuk pertanian di sekitarnya. Sedangkan logam berat pada kontrol merupakan kadar yang rendah, karena tidak tercemari oleh lingkungan sekitarnya.

Berbagai jenis pupuk, baik anorganik maupun organik seperti pupuk P, pupuk N, pupuk kandang, kapur dan kompos dapat mengandung logam berat. Logam berat juga terdapat dalam batuan fosfat alam yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk P, pupuk organik dan kompos yang terbuat dari bahan organik, seperti bahan hijau tanaman, sampah kota, pupuk kandang, dan lain-lain. Pupuk organik yang berasal dari sampah kota dapat tercemar cadmium, plumbum, dan merkuri serta logam berat yang lain, karena berbagai macam limbah rumah tangga

dan sampah kota yang terdiri atas sisa sayuran tercampur dengan baterai bekas, kaleng, seng, aluminium foil yang mengandung atau tercemar logam berat. Selain pupuk P, bahan induk tanah juga dapat mengandung logam berat (Kurnia, dkk, 2004).

Jumlah Pb dalam lingkungan sangat dipengaruhi oleh volume atau kepadatan lalu lintas, jarak dengan jalan raya dan daerah industri, serta percepatan mesin dan kecepatan angin. Sedangkan tingginya kandungan Pb dalam tumbuhan juga dipengaruhi oleh sedimentasi (Batara, 2006).

Pembuangan limbah berbahaya yang mengandung logam berat, sangat membahayakan kehidupan manusia, tumbuhan dan hewan di sekitar kawasan pembuangan limbah dan merupakan kejahatan yang sangat tidak disukai Allah, seperti tertulis dalam Al Qur'an surat Al Baqarah ayat 205:

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَى فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ ۗ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ



Artinya: “Dan apabila ia berpaling (dari kamu), ia berjalan di bumi untuk mengadakan kerusakan padanya, dan merusak tanam-tanaman dan binatang ternak, dan Allah tidak menyukai kebinasaan,” (Qs. Al Baqarah:205).

Tabel 4.7 Rata-rata kandungan logam berat plumbum (Pb) dalam organ tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada semua lokasi

Organ Tumbuhan	Rata-rata (ppm)
Akar	2,7 a
Batang	4,41 b
Daun	3,79 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Tabel 4.7 memperlihatkan bahwa akumulasi logam berat Pb tertinggi terdapat pada organ batang tumbuhan yaitu mencapai rata-rata 4,41 ppm, kemudian organ daun dengan jumlah rata-rata 3,79 ppm dan yang lebih rendah pada organ akar yaitu 2,7 ppm meskipun tidak berbeda nyata dengan organ daun. Tumbuhan eceng gondok merupakan tumbuhan monokotil yang bersifat hiperakumulator yang akan mengakumulasi logam berat dalam jumlah yang lebih besar pada organ tumbuhan selain akar (Lubis dan Suseno, 2002).

Hal ini diperkuat oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Lubis dan Suseno (2002), kandungan Pb dalam batang, daun dan akar gantung tanaman dikotil tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, demikian juga pada tanaman merambat. Namun pada tanaman monokotil terlihat bahwa kandungan Pb dalam batang relatif lebih tinggi dibandingkan yang terkandung dalam daun dan akar gantungnya. Kandungan Pb pada batang tanaman dikotil 18,16 mgl kg bobot kering, pada tanaman monokotil 18,49 mgl kg bobot kering dan pada tanaman merambat 16,07 mg/kg bobot kering. Terlihat bahwa kandungan Pb dalam batang tanaman dikotil dan monokotil tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, namun cukup berbeda nyata dengan yang terdapat dalam tanaman merambat.

Tingginya tingkat akumulasi logam berat Cd dan Pb dalam organ batang dibanding organ daun dan akar, merupakan salah satu mekanisme tumbuhan untuk menghadapi lingkungan toksik. Menurut Fitter (1991), ada 4 jenis mekanisme utama yang mungkin dilakukan tumbuhan untuk menghadapi lingkungan toksik, yaitu:

- a. Penghindaran (escape) fenologis, apabila stress yang terjadi pada tanaman bersifat musiman, tanaman dapat menyesuaikan siklus hidupnya, sehingga tumbuh dalam musim yang cocok saja.
- b. Eksklusi, tanaman dapat mengenal ion toksik dan mencegah agar tidak terambil sehingga tidak mengalami toksisitas
- c. Penanggulangan (ameliorasi), tanaman mungkin mengabsorpsi ion tersebut, tetapi bertindak sedemikian rupa untuk meminimumkan pengaruhnya. Jenisnya meliputi pembentukan khelat (chelation), pengenceran, lokalisasi bahkan ekskresi
- d. Toleransi, tanaman dapat mengembangkan sistem metabolis yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik yang potensial, mungkin dengan molekul enzim.

Berdasarkan hasil penelitian, diduga bahwa tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*), melakukan suatu mekanisme penanggulangan materi toksik (ameliorasi). Penanggulangan materi toksik tersebut dapat ditunjukkan dari kemampuan eceng gondok yang dapat tumbuh dan berkembang di lingkungan yang mengandung materi toksik. Mekanisme ameliorasi yang mungkin dilakukan oleh tumbuhan eceng gondok adalah lokalisasi, yaitu mengakumulasi materi toksik tersebut di bagian tertentu dari tanaman seperti akar, batang dan daun (Fitter, 1991).

Hasil penelitian ini juga memperlihatkan akumulasi logam berat Cd dan Pb lebih tinggi pada bagian batang dibandingkan dengan bagian akar dan daun. Tingginya kandungan logam berat pada bagian tumbuhan tertentu menunjukkan adanya usaha untuk melokalisasi materi toksik yang masuk ke dalam tubuh menuju bagian yang lebih kebal terhadap pengaruh toksik, sehingga tidak mempengaruhi bagian tubuh yang rentan terhadap materi toksik.

Kemampuan tanaman menyerap Pb beragam antar jenis tanaman. Menurut Dahlan (2004), Damar (*Agathis alba*), Mahoni (*Swetenia macrophylla*), Jamuju (*Podocarpus imbricatus*), Pala (*Mirystica fragrans*), Asam landi (*pithecelobium dulce*), dan Johal (*Cassia siamea*) memiliki kemampuan sedang sampai tinggi dalam menurunkan Pb di udara. Glodogan tiang (*Polyalthea longifolia*), Keben (*baringtonia asiatica*), dan Tanjung (*Mimusops elengi*) memiliki kemampuan menyerap Pb rendah namun tidak peka terhadap pencemaran udara, sedangkan Daun Kupu-kupu (*Bauhinia purpurea*) dan Kesumba (*Bixa orellana*) memiliki kemampuan rendah dan tidak tahan terhadap pencemaran udara. Menurut Setiawati (2000), Kesumba (*Bixa orellana*) memiliki kemampuan menyerap Pb terkecil (29,01 µg/g) sedangkan Kirai payung (*Filicium. decipiens*) mempunyai kemampuan tertinggi (50,62µg/g).

4.3 Karakteristik Stasiun dalam Setiap Lokasi Pengambilan Sampel

4.3.1 Stasiun pada Sungai Porong

1. Stasiun I pada sungai Porong berdekatan dengan kawasan industri
2. Stasiun II pada sungai Porong terletak di sekitar pipa pembuangan lumpur Lapindo

3. Stasiun III pada sungai Porong berdekatan dengan kawasan pemukiman penduduk dan jalan raya utama transportasi Surabaya-Malang

Keberadaan logam berat Cd dan Pb pada stasiun I diduga berasal dari limbah kawasan industri yang berada di sekitar stasiun. Setiap industri menggunakan bahan baku dan bahan pembantu yang berbeda dalam proses produksinya. Diantaranya ada yang menggunakan bahan kimia yang berbahaya, sehingga limbah yang dihasilkan dikhawatirkan dapat mengandung unsur yang sama dengan bahan bakunya. Para pelaku industri biasanya membuang limbah industri ke dalam badan perairan atau sungai dengan atau tanpa melalui proses pengolahan terlebih dulu. Apabila air tersebut digunakan untuk mengalir sawah, di dalam tanah akan terjadi penimbunan logam berat. Bersamaan dengan penyerapan unsur hara oleh tanaman, logam berat tersebut akan ikut terserap dalam tanaman, dan akhirnya akan terakumulasi dalam jaringan tumbuhan (Kurnia, 2004).

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa dalam badan sungai Porong tercemari oleh keberadaan logam berat Cd dan Pb yang diduga berasal dari pipa pembuangan limbah lumpur Lapindo pada stasiun II. Hasil pemantauan menunjukkan adanya perbedaan komposisi jenis hewan yang menyusun komunitas makroinvertebrata sungai Porong pada lokasi sebelum dan sesudah pipa pembuangan. Komposisi jenis makroinvertebrata yang mendiami perairan dipengaruhi oleh kualitas air yang ditempati oleh makroinvertebrata. Makroinvertebrata sungai Porong sebelum pipa pembuangan didominasi oleh serangga dari Ordo Hemiptera seperti *Micronecta* sp dan remis (*Corbicula javanica*) dan beberapa jenis keong (Gastropoda), sedangkan pada perairan setelah pipa pembuangan tidak ditemukan

serangga Hemiptera, dan hanya ditemukan kelompok kerang-kerangan dan keong (Gastropoda) (Diposaptono, 2006).

Sedangkan adanya logam berat Cd dan Pb pada stasiun III sungai Porong diduga karena berdekatan dengan kawasan pemukiman penduduk yang padat dan jalan raya utama transportasi Malang-Surabaya. Menurut Setyowati, dkk (2007), pemukiman padat penduduk menghasilkan limbah rumah tangga yang berpotensi besar dalam menstransfer logam berat ke perairan, karena sebagian besar penduduk akan membuang limbahnya ke dalam sungai. Di samping itu korosi pipa saluran air dan peralatan rumah tangga juga menyumbang pasokan logam berat ke perairan. Kendaraan bermotor menjadi salah satu sumber utama pencemaran, karena mengandung berbagai bahan pencemar yang berbahaya bagi manusia, hewan, tumbuhan dan infrastruktur yang terdapat di sekitarnya. Menurut Fergusson (1990) bahan pencemar (polutan) yang berasal dari gas kendaraan bermotor umumnya berupa gas hasil sisa pembakaran dan partikel logam berat seperti timah hitam (Pb).

Menurut Berniyanti *dalam* Ulfin, (2001), akumulasi logam berat sebagai logam beracun pada suatu perairan merupakan akibat dari muara aliran sungai yang mengandung limbah. Meskipun kadar logam dalam aliran sungai itu relatif kecil akan tetapi sangat mudah diserap dan terakumulasi secara biologis oleh tanaman atau hewan air dan akan terlibat dalam sistem jaring makanan. Hal tersebut menyebabkan terjadinya proses bioakumulasi, yaitu logam berat akan terkumpul dan meningkat kadarnya dalam tubuh organisme air yang hidup, termasuk eceng gondok, kemudian melalui biotransformasi akan terjadi pemindahan dan peningkatan kadar logam berat tersebut secara tidak langsung melalui rantai makanan. Proses rantai makanan ini

akan sampai pada jaringan tubuh manusia sebagai satu komponen dalam sistem rantai makanan.

4.3.2 Stasiun Pada Sungai Balungtani

1. Stasiun I pada sungai Balungtani berdekatan dengan kawasan pertanian penduduk
2. Stasiun II pada sungai Balungtani berada di bawah jembatan
3. Stasiun III pada sungai Balungtani berdekatan dengan peternakan bebek

Stasiun I sungai Balungtani merupakan wilayah yang berada di dekat kawasan pertanian penduduk. Pemakaian bahan (pupuk dan pestisida) dalam sistem budidaya pertanian harus dikurangi, karena bahan agrokimia mengandung logam berat yang termasuk bahan beracun berbahaya (B3). Penggunaan bahan agrokimia yang negatif, antara lain meningkatnya resistensi hama atau penyakit tanaman, terbunuhnya musuh alami dan organisme yang berguna, serta terakumulasinya zat-zat kimia berbahaya dalam tanah (sutamiharja & Rizal, 1985).

Stasiun II berada di bawah jembatan kecil yang menghubungkan desa Balungtani dengan dengan desa yang lain, namun pada dasarnya tetap berada di sekitar kawasan pertanian penduduk setempat, sehingga sumbangan logam Cd dan Pb berasal dari penggunaan pupuk dan pestisida. Pupuk yang digunakan dalam kegiatan pertanian juga merupakan pemasok logam berat dalam tanah. Pestisida juga memberikan masukan logam berat ke dalam tanah. Serapan pestisida oleh tanaman tergantung pada dosis pemberian pestisida, jenis tanah, dan kemampuan tanaman menyerap pestisida (Charlena, 2004).

Stasiun III berdekatan dengan peternakan bebek, diduga bahwa limbah peternakan juga ikut andil dalam menyumbang pasokan logam berat Cd dan Pb. Pada saat penelitian dilakukan, diketahui bahwa salah satu pipa pembuangan lumpur lapindo juga ditanam di bawah desa Balungtani, diduga bahwa limbah lumpur Lapindo juga dialirkan melalui sungai Balungtani, sedangkan berdasarkan hasil penelitian limbah lumpur Lapindo mengandung sejumlah logam berat berbahaya termasuk Pb dan Cd dan mempengaruhi keberadaan logam berat tersebut dalam perairan sungai Balungtani.

4.3.3 Stasiun Pada Kontrol (Kolam)

1. Stasiun I pada kontrol terletak di sisi pojok kolam yang berdekatan dengan persawahan
2. Stasiun II pada kontrol terletak di tengah kolam
3. Stasiun III pada kontrol terletak di sisi depan kolam

Stasiun I, II, dan III pada kontrol tidak menunjukkan adanya pencemaran logam berat yang tinggi. Rata-rata logam berat yang terakumulasi dalam tumbuhan eceng gondok di setiap stasiun pada kontrol masih berada dalam ambang batas kadar logam berat yang masih bisa ditolerir. Pemasok logam berat dalam tanah pertanian antara lain bahan agrokimia (pupuk dan pestisida), asap kendaraan bermotor, bahan bakar minyak, pupuk organik, buangan limbah rumah tangga, industri, dan pertambangan. Selain itu sumber logam berat dalam tanah berasal dari bahan induk pembentuk tanah itu sendiri, seperti Cd banyak terdapat pada batuan sedimen-

sedimen pasir (0,29 ppm berat), Pb pada batuan granit (24 ppm berat) (Alloway, 1990).

4.4 Analisis Biologis Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

4.4.1 Organ Akar Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

4.4.1.1 Panjang akar Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil analisis data menggunakan analisis variansi (ANOVA) menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$ 0,05 diketahui bahwa terdapat pengaruh adanya logam berat Cd dan Pb terhadap panjang akar Eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Hasil analisis data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3. Selanjutnya hasil uji lanjut BNJ 5% disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Rata-rata panjang akar eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada tiap stasiun sungai Porong, sungai Balungtani dan Kontrol

Stasiun	Rata-rata panjang akar tumbuhan eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) pada setiap lokasi (cm ²)		
	Sungai Porong	Sungai Balungtani	Kontrol
I	46,81 ab	53,73 b	85,35 d
II	34,1 a	42,49 a	102,52 e
III	53,11 b	66,7 c	142,91 f

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Tabel 4.8 menunjukkan perbedaan rata-rata panjang akar eceng gondok antar lokasi. Rata-rata panjang akar tertinggi ditemukan pada akar tumbuhan eceng gondok sebagai kontrol dari stasiun III yaitu mencapai 142,91 cm². Rata-rata panjang akar tumbuhan eceng gondok dari sungai Porong pada stasiun II, menunjukkan angka yang rendah yaitu 34,1 cm², namun tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan

panjang akar tumbuhan eceng gondok dari sungai Balungtani stasiun II yang mencapai rata-rata panjang 42,49 cm².

Tabel 4.9. Rata-rata panjang akar eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai Porong, sungai Balungtani dan Kontrol

Lokasi	Rata-rata panjang akar eceng gondok (cm ²)
Sungai Porong	44,67 a
Sungai Balungtani	54,31 a
Kontrol	110,26 b

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Tabel 4.9 menunjukkan perbedaan rata-rata panjang akar yang nyata antara sungai Porong, sungai Balungtani dan kolam. Rata-rata panjang akar tertinggi ditemukan pada akar tumbuhan eceng gondok sebagai kontrol yaitu mencapai 110,26 cm². Sedangkan rata-rata panjang akar pada sungai Balungtani dan sungai Porong tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Rata-rata panjang akar tumbuhan eceng gondok sungai Balungtani adalah 54,31 cm² dan pada sungai Porong mencapai 44,67 cm².

Perbedaan panjang akar tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang nyata antara lokasi, kemungkinan besar disebabkan oleh adanya akumulasi logam berat cadmium dan plumbum yang lebih tinggi pada organ akar tumbuhan eceng gondok di sungai Porong dan Balungtani, sehingga menyebabkan terganggunya pertumbuhan akar tumbuhan tersebut.

Akar eceng gondok mempunyai rambut-rambut halus yang dapat menyerap logam berat seperti Cd dan Pb dari badan perairan. Muramoto dan Oki (1983), menyatakan bahwa *E. crassipes* mampu mengakumulasi logam berat (Pb, Cd, Cr, Cu,

dan Zn) dari air yang terkontaminasi. Nor (1990) melakukan penelitian tentang absorpsi logam berat oleh *E. crassipes*. Menurut Tiwari (2007), *E. crassipes* merupakan bioakumulator yang dapat menyerap logam berat Pb, Zn dan Mn secara signifikan. *E. crassipes* mempunyai mekanisme unik dalam mengakumulasi logam berat Cd, Cu, Pb, dan Zn dengan menggunakan jaringan akar tumbuhan.

Wolferton dan McDonald (1976), mempelajari bahwa *E. crassipes* dapat membersihkan air dan mengendalikan pertambahan polusi air tawar. Penelitian mereka juga menunjukkan bahwa tumbuhan tersebut dapat mengurangi kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) pada perairan. Akar eceng gondok juga berfungsi sebagai filter dengan aktivitas mekanis dan biologis, memindahkan partikel tersuspensi dari air serta mengurangi tingkat kekeruhan air. Brix dan Johnston (1993), menyatakan bahwa kekeruhan dapat berkurang karena adanya rambut akar yang memiliki kemampuan mekanisme elektrik dalam memindahkan partikel koloid seperti zat tersuspensi yang akan melekat di akar diabsorpsi oleh tumbuhan dan mikroorganisme.

Proses penyerapan zat-zat yang terdapat dalam limbah dilakukan oleh ujung-ujung akar dengan jaringan meristem terjadi karena adanya gaya tarik-menarik oleh molekul-molekul air yang ada pada tumbuhan. Zat-zat yang telah diserap oleh akar akan masuk ke batang melalui pembuluh pengangkut (xilem), yang kemudian akan diteruskan ke batang (Anonim, 1996). Penyerapan unsur-unsur hara oleh tanaman eceng gondok dilakukan oleh bulu-bulu akar sehingga bulu-bulu akar inilah yang berperan dalam proses penurunan konsentrasi padatan terlarut. Kenaikan konsentrasi padatan terlarut oleh tanaman eceng gondok banyak dipengaruhi oleh beberapa

faktor, antara lain jenis tanaman, umur tanaman, media, konsentrasi tanaman dan lamanya waktu perlakuan dan untuk penurunan konsentrasi di sebabkan oleh proses sedimentasi yang sempurna sehingga proses pemisahan jumlah materi dari air sempurna berjalan dengan semestinya (Muhtar,2008).

Ada tiga jalan yang dapat ditempuh oleh air dan ion-ion yang terlarut bergerak menuju sel-sel xylem dalam akar, yaitu (1) melalui dinding sel (apoplas) epidermis dan sel-sel korteks, (2) melalui sistem sitoplasma (simplas) yang bergerak dari sel ke sel, dan (3) melalui sel hidup pada akar, dimana sitosol dari setiap sel membentuk suatu jalur (Sasmitamihardja dan Siregar, 1996).

Penelitian Peralta, dkk (2000) melaporkan bahwa perlakuan dengan menggunakan logam berat Cr, Cu, Ni, dan Zn pada konsentrasi 10 ppm, telah mengurangi pertumbuhan akar tanaman alfalfa dibandingkan dengan kontrolnya. Pada dosis yang sama Cd telah mengurangi panjang akar sampai 6%. Sedangkan Cr, Cu dan Ni menunjukkan pengurangan pertumbuhan akar pada dosis 20 dan 40 ppm.

4.3.1.2 Berat kering akar eceng gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil analisis data menggunakan analisis variansi (ANOVA) menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$ 0,05 diketahui bahwa terdapat adanya pengaruh logam berat Cd dan Pb terhadap berat kering Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) . Hasil analisis data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 4. Selanjutnya hasil uji Duncan 5% disajikan pada Tabel 4.10

Tabel 4.10. Rata-rata Berat kering akar eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada tiap stasiun dari sungai Porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Stasiun	Rata-rata berat kering akar (g) tumbuhan eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) pada setiap lokasi		
	sungai Porong	sungai Balungtani	Kontrol
I	0,042 a	0,064 a	0,156 c
II	0,032 a	0,05 a	0,244 d
III	0,096 b	0,11 b	0,286 e

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa rata-rata berat kering akar tertinggi ditemukan pada tumbuhan eceng gondok sebagai kontrol pada stasiun III yakni 0,286 g yang berbeda nyata dibandingkan dengan lokasi lain. Sedangkan rata-rata berat kering akar yang lebih rendah yaitu eceng gondok dari sungai Porong pada stasiun I dan II yang tidak menunjukkan perbedaan nyata dengan tumbuhan eceng gondok sungai Balungtani pada semua I dan II.

Tabel 4.11. Rata-rata berat kering akar eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai porong, sungai balungtani, dan Kontrol

Lokasi	Rata-rata berat kering akar eceng gondok (g)
Sungai Porong	0,057 a
Sungai Balungtani	0,075 a
Kontrol	0,229 b

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Dari tabel di atas juga dapat diketahui bahwa berat kering akar tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) sungai Porong yang mencapai 0,057 g tidak berbeda nyata dengan berat kering akar tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) sungai Balungtani yakni 0,075 g. Namun rata-rata berat kering akar tumbuhan eceng gondok

(*Eichornia crassipes*) sebagai kontrol yang mencapai 0,229 g berbeda nyata dengan rata-rata berat kering akar tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) sungai Porong dan sungai Balungtani. Kehadiran cadmium dalam kadar yang berlebihan menyebabkan gejala stres dalam tumbuhan, seperti pengurangan pertumbuhan, terutama pertumbuhan akar, gangguan dalam metabolisme nutrisi, mineral dan karbohidrat serta mengurangi tingkat produksi biomassa dalam jumlah yang tinggi (Moya et al, 1993).

Menurut Wang (1995), akar eceng gondok dapat mengikat Pb dalam jumlah yang besar dibandingkan Cd dan Zn. Ketika diadakan percobaan dengan menggunakan tiga jenis logam berat tersebut, peningkatan Pb tidak diikuti dengan kehadiran Cd dan Zn. Sedangkan peningkatan Cd dan Zn tidak mengurangi jumlah Pb secara signifikan. Hasil penelitian Low *et al* (1994), urutan logam berat yang diikat oleh akar eceng gondok adalah $Pb > Cu > Cd > Zn > Ni$ dan bisa digunakan untuk menyerap logam sampai 50 ppm. Salim *et al* (1992) menemukan ketika terjadi peningkatan penyerapan Cd, maka penyerapan logam lain seperti Cu, Ag, Mg dan Ni akan berkurang.

Berkurangnya berat kering atau biomassa akar dapat terjadi karena adanya penghambatan pertumbuhan oleh akumulasi logam berat Cd dan Pb dalam jaringan tumbuhan terutama bagian tajuk sehingga mengurangi pembagian nutrisi ke dalam jaringan lain, seperti akar dan batang. Perbedaan rata-rata berat kering akar di setiap stasiun pada lokasi pengambilan sampel disajikan pada tabel 4.9

Hasil penelitian lain pada tumbuhan *S. afredii* H, menunjukkan bahwa panjang akar, luas akar, dan volume akar berkurang secara signifikan dengan peningkatan

konsentrasi Zn^{2+} dan Pb dalam media tumbuh. Dimana pertumbuhan akar menjadi buruk pada perlakuan 500 $\mu\text{mol/L}$ Zn^{2+} . Konsentrasi Zn^{2+} dalam *S. alfredii* H, mempunyai korelasi positif terhadap panjang akar, luas akar dan volume akar tetapi tidak berpengaruh pada diameter akar peningkatan konsentrasi Zn^{2+} dalam akar dibagi menjadi 2 fase, dimana fase pertama penyerapan terjadi secara cepat Zn^{2+} berlangsung selama 5 jam pertama kemudian dilanjutkan fase kedua, dimana penyerapan Zn^{2+} terjadi secara perlahan selama penelitian berlangsung. Penelitian tentang morfologi akar dan respon fisiologi *S. alfredii* H dengan penambahan Zn dan Pb, menunjukkan bahwa toleransi dan hiperakumulasi oleh *S. alfredii* H terhadap logam berat Cd dan Zn, menimbulkan adaptasi pada pertumbuhan akar, morfologi dan fisiologi karena efek toksik dari logam berat tersebut. (Li H. *et al*, 2005).

4.3.1.3 Nisbah Tajuk Akar Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil analisis data menggunakan analisis variansi (ANOVA) menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$ 0,05. Rata-rata NTA eceng gondok (*Eichornia crassipes*) disajikan pada Tabel 4.12. Hasil analisis data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 9.

Tabel 4.12. Rata-rata Nisbah Tajuk Akar (NTA) eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai porong, Sungai Balungtani, dan Kontrol

Stasiun	Rata-rata Nisbah tajuk akar tumbuhan eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) pada setiap lokasi		
	sungai Porong	sungai Balungtani	Kontrol
I	17,23 c	19,71 d	10,07 ab
II	19,25 d	19,16 d	7,97 a
III	12,62 cd	12,47 b	8,01 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Tabel 4.12 menunjukkan Nisbah Tajuk Akar yang rendah pada eceng gondok sebagai kontrol stasiun II tetapi tidak berbeda nyata dengan stasiun III, sedangkan NTA yang tinggi pada eceng gondok sungai Porong stasiun II tetapi tidak berbeda nyata dengan eceng gondok sungai Balungtani pada stasiun I dan II.

NTA dapat dijadikan sebagai tolok ukur keseimbangan aliran fotosintat pada bagian tajuk dan bawah tumbuhan. Menurut Lakitan (2004), fotosintat yang dihasilkan pada daun dan sel-sel fotosintetik lainnya harus diangkut ke organ atau jaringan lainnya agar dapat dimanfaatkan oleh organ atau jaringan tersebut untuk pertumbuhan atau timbunan cadangan makanan. Alokasi fotosintat dalam tumbuhan untuk mempertahankan respirasi, produksi akar dan daun, produksi bunga dan buah, pertumbuhan primer dan pertumbuhan diameter.

Tabel 4.13. Rata-rata Nisbah Tajuk Akar (NTA) eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai porong, Sungai Balungtani, dan Kontrol

Lokasi	Rata-rata NTA eceng gondok
Sungai Porong	16,37 b
Sungai Balungtani	17,26 b
Kontrol	8,68 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Tabel 4.13 menunjukkan, rata-rata NTA pada kontrol yang mencapai 8,68 lebih tinggi dibandingkan dengan NTA pada sungai Porong yakni 16,37 dan sungai Balungtani yang mencapai 17,26.

Semakin tinggi rasio NTA berarti bobot atas tanaman lebih besar dibandingkan dengan bobot akar. Hal tersebut dapat disebabkan pertumbuhan akar yang lambat dibandingkan pertumbuhan atas tanaman. (Dwijoseputro, 1984).

Lambatnya pertumbuhan akar daripada bagian tajuk, merupakan salah satu bentuk adaptasi yang dilakukan oleh akar pada lingkungan yang bersifat tidak menguntungkan seperti karena adanya zat kontaminan pada media tumbuh. Adaptasi tanaman terhadap lingkungan merupakan rekayasa secara khusus sifat-sifat karakteristik anatomi dan fisiologi untuk memberikan peluang keberhasilan menyesuaikan kehidupan di habitat tertentu. Oleh karena itu adaptasi anatomi dan fisiologi dapat dijadikan indikator terhadap perubahan lingkungan hidup tanaman (Soerodikusuma dan Hartika, 1989).

Menurut Sasmitamihardja (1996) dan Agustina (2004) akar tumbuhan air memiliki rongga akar(kortek) yang besar sehingga menyebabkan proses penyerapan semakin cepat. Penyerapan ion di akar ini terjadi secara aktif dimana ion-ion masuk dari epidermis dan selanjutnya ditransportasikan ke sitoplasma atau sel-sel jaringan akar melewati epidermis masuk ke protoplas antar sel-sel jaringan akar yaitu kortek, endodermis, perisikel dan xilem. Pada endodermis terdapat adanya pita caspary sehingga menyebabkan akumulasi partikel yang lebih berat di dalam akar. Dengan adanya pita caspary ini menjadi kontrol terhadap penyerapan ion-ion oleh akar.

Akar berfungsi menyerap air dan hara untuk memenuhi kebutuhan tajuk. Terjadinya hambatan media pertumbuhan tanaman akan diikuti oleh penurunan nisbah tajuk dan akar (Hairiah *et al.*,2000). Rendahnya rasio bobot tajuk/akar pada tanaman tak bercabang disebabkan asimilat hanya ditranslokasikan ke daun dan akar. Setelah tanaman membentuk cabang, pembagian asimilat lebih banyak ditranslokasikan ke tajuk (batang, cabang dan daun). Tajuk yang sedang berkembang

merupakan *sink* yang lebih kuat, sedangkan akar merupakan *sink* yang lebih lemah Wright (1989).

4.4.2 Organ Batang Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

4.4.2.1 Panjang Batang Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil analisis panjang batang untuk lokasi pengambilan tumbuhan dengan menggunakan Anava Fhitung > Ftabel 0,05. Perbandingan panjang batang eceng gondok disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Rata-rata panjang batang eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada tiap stasiun dari sungai Porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Stasiun	Rata-rata panjang batang tumbuhan eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) pada setiap lokasi (cm)		
	Sungai Porong	Sungai Balungtani	Kontrol
I	18,4 a	18,36 a	17,64 a
II	17,1 a	22,33 ab	20,02 ab
III	19,9 a	22,5 ab	23,48 b

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat diketahui rata-rata panjang batang tertinggi kontrol adalah 23,48 cm pada stasiun III, dan merupakan rata-rata yang paling tinggi dibandingkan dengan rata-rata dari semua lokasi dan stasiun. Sedangkan rata-rata panjang batang yang rendah terdapat pada sungai Porong stasiun I, II, dan III meskipun tidak berbeda nyata dengan sungai Balungtani dan Kontrol pada stasiun I.

Tabel 4.15. Rata-rata panjang batang eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai Porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Lokasi	Rata-rata panjang batang eceng gondok (cm ²)
Sungai Porong	18,47 a
Sungai Balungtani	21,06 a
Kontrol	20,38 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ 5%

Tabel 4.15 menunjukkan, tidak terdapat perbedaan antara rata-rata panjang batang dari setiap lokasi, baik dari sungai Porong, sungai Balungtani maupun kontrol. Rata-rata panjang batang eceng gondok dari sungai Porong adalah 18,47 cm, sedangkan dari sungai Balungtani adalah 21,06 cm dan sebagai kontrol adalah 20,38 cm.

Panjang batang yang tidak berbeda nyata antar lokasi diduga merupakan bentuk adaptasi eceng gondok di sungai Porong dan sungai Balungtani terhadap tingginya kandungan logam berat Cd dan Pb dibandingkan kontrol.

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa logam berat Cd dan Pb terakumulasi paling tinggi dalam jaringan batang eceng gondok. Tingginya kadar logam berat dalam batang eceng gondok diduga karena adanya mekanisme tertentu yang dilakukan oleh tumbuhan. Dugaan ini diperkuat oleh pendapat Prayitno dan Priyanto (2002) yang menyatakan penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut:

1. Penyerapan oleh akar

Dalam menyerap logam berat, tumbuhan membentuk suatu enzim reduktase di membran akarnya. Reduktase ini berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui mekanisme khusus di dalam membran akar.

2. Translokasi di dalam tubuh tanaman

Setelah logam masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut, xylem dan floem ke bagian tumbuhan yang 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 dan fitokhelatin-glutation yang terikat pada Cd.

3. Lokalisasi logam pada jaringan.

Untuk mencegah toksisitas logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (untuk Cd pada *Silene dioica*), trikhoma (untuk Cd), dan lateks (untuk Ni pada *Serbetia acuminata*).

Setiap jenis tumbuhan melakukan adaptasi yang berbeda terhadap lingkungan yang bersifat toksik. Meskipun dalam penelitian lain umumnya logam berat terakumulasi paling tinggi pada organ akar, namun dalam penelitian ini, eceng gondok telah melokalisasi logam berat dalam organ batang dalam jumlah terbanyak dibandingkan dengan organ lain, hal ini bertujuan untuk meminimalisir efek toksik logam berat Cd dan Pb terhadap tumbuhan. Penelitian Kuo *et al* (2005), menyatakan perlakuan dengan logam berat cadmium pada tanaman mikrokultur *Cynodon dactylon* dan *Paspalum vaginatum* menunjukkan adanya regenerasi akar pada tanaman tanpa

cadmium, dan pada perlakuan CdCl_2 100 ppm terdapat adanya perbedaan morfologi dan adaptasi.

4.4.2.2 Berat Kering Batang Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil analisis data menggunakan analisis variansi (ANAVA) menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$ 0,05 diketahui bahwa terdapat pengaruh kadar logam berat Cd dan Pb terhadap berat kering batang tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Hasil analisis data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 6. Selanjutnya hasil uji lanjut BNJ 5% disajikan pada Tabel 4.16

Tabel 4.16. Rata-rata berat kering batang eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada tiap stasiun dari sungai Porong, Sungai Balungtani, dan Kontrol

Stasiun	Rata-rata berat kering batang (g) tumbuhan eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) pada setiap lokasi		
	sungai Porong	sungai Balungtani	Kontrol
I	0,059 a	1,08 c	1,164 c
II	0,05 a	0,75 b	1,386 d
III	0,098 a	1,03 c	1,538 e

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Tabel di atas memperlihatkan, rata-rata berat kering batang tertinggi adalah eceng gondok sebagai kontrol pada stasiun III yakni mencapai 1,536 g dan berbeda nyata dengan semua lokasi lain, sedangkan rata-rata berat kering terendah yaitu pada stasiun II sungai Porong namun tidak berbeda nyata dengan stasiun I dan III.

Tabel 4.17. Rata-rata berat kering batang eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai porong, Sungai Balungtani, dan Kontrol

Lokasi	Rata-rata berat kering batang eceng gondok (g)
Sungai Porong	0,69 a
Sungai Balungtani	0,95 b
Kontrol	1,36 c

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Tabel 4.17 menunjukkan perbedaan nyata rata-rata berat kering batang antar lokasi. Rata-rata berat kering batang tertinggi terlihat pada kontrol, kemudian sungai Balungtani dan rata-rata terendah ditunjukkan pada sungai Porong. Tumbuhan eceng gondok sungai Porong mempunyai rerata berat kering batang terendah yaitu 0,69 g. Selanjutnya rata-rata berat kering batang tumbuhan eceng gondok sungai Balungtani yang mencapai 0,95 g dan yang tertinggi adalah rata-rata berat kering batang eceng gondok sebagai kontrol dengan rerata 1,36 g.

Berdasarkan hasil penelitian, akumulasi terbanyak logam berat cadmium dan plumbum terdapat pada organ batang eceng gondok (*Eichornia crassipes*) baik dari sungai Porong maupun sungai Balungtani. Hal ini karena batang merupakan jalan pengangkutan air dan zat-zat makanan dari bawah ke atas dan jalan pengangkutan hasil asimilasi dari atas ke bawah, jadi setelah ion diserap oleh organ akar, maka ion akan melewati batang kemudian diteruskan menuju daun untuk metabolisme selanjutnya. Penimbunan logam berat cadmium dan plumbum dalam batang eceng gondok, mengakibatkan terganggunya pertumbuhan batang tersebut sehingga mengurangi berat kering batang.

Bobot kering tanaman erat sekali kaitannya dengan proses fotosintesis serta penyimpanan fotosintat. Sebagian dari hasil fotosintesis digunakan untuk respirasi dan asimilasi, kemudian kelebihan disimpan pada bagian-bagian tertentu dari tanaman terutama batang dan akar. Bobot kering biasanya dijadikan indikator bahwa semakin baik pertumbuhan tanaman makin baik pula terhadap bobot kering tanaman (Sitompul dan Guritno, 1995).

Kerusakan karena pencemaran dapat terjadi karena adanya akumulasi bahan toksik dalam tubuh tumbuhan, perubahan pH, peningkatan atau penurunan aktivitas enzim, rendahnya kandungan asam askorbat di daun, tertekannya fotosintesis, peningkatan respirasi, produksi bahan kering rendah, perubahan permeabilitas, terganggunya keseimbangan air dan penurunan kesuburannya dalam waktu yang lama. Gangguan metabolisme berkembang menjadi kerusakan kronis dengan konsekuensi tak beraturan. Tumbuhan akan berkurang produktivitasnya dan kualitas hasilnya juga rendah (Sitompul dan Guritno, 1995).

4.3.3 Organ Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

4.3.3.1 Nekrosis Pada Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil analisis data menunjukkan bahwa tingkat nekrosis pada setiap stasiun di sungai porong tidak berbeda nyata pada tiap stasiun. Hal ini disebabkan tingkat nekrosis di sungai porong hampir seluruhnya pada skor 1 dan 2, dimana tingkat nekrosis mencapai 75% dan 50% permukaan daun. Selanjutnya hasil uji analisis kruskal wallis terdapat pada lampiran 7, dan gambar daun yang mengalami nekrosis terdapat pada lampiran 12.

Hasil analisis data tingkat nekrosis pada sungai Balungtani, menunjukkan perbedaan yang nyata. Sedangkan tingkat nekrosis pada daun eceng gondok sebagai kontrol rata-rata pada skor 1. Skor tingkat nekrosis pada tumbuhan eceng gondok sungai balungtani berkisar antara 2 sampai 4, dengan kriteria sebagai berikut:

Skor 1: tingkat nekrosis mencapai 75% permukaan daun

Skor 2: tingkat nekrosis mencapai 50% permukaan daun

Skor 3: tingkat nekrosis mencapai 25% daun

Skor 4: daun tidak mengalami nekrosis

Tabel 4.18 Rata-rata tingkat nekrosis daun eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai Porong, sungai Balungtani dan Kontrol

Rata-rata tingkat nekrosis dalam % pada setiap lokasi		
Sungai Porong	Sungai Balungtani	Kontrol
50-75%	25-75%	0-25%

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pencemaran mengakibatkan menurunnya pertumbuhan dan produksi tanaman serta diikuti dengan gejala yang tampak (*visible symptoms*). Kerusakan tanaman karena pencemaran berawal dari tingkat biokimia (gangguan proses fotosintesis, respirasi, serta biosintesis protein dan lemak), selanjutnya tingkat ultrastruktural (disorganisasi sel membran), kemudian tingkat sel (dinding sel, mesofil, pecahnya inti sel) dan diakhiri dengan terlihatnya gejala pada jaringan daun seperti klorosis dan nekrosis (Malhotra dan Khan, 1984 dalam Treshow, *et al.*1989).

Tanaman mampu mengabsorpsi Pb sehingga dapat berperan dalam membersihkan dari polusi. Namun demikian, keefektifan tanaman dalam menyerap

polutan sampai batas tertentu akan semakin berkurang dengan peningkatan konsentrasi polutan. Pada suatu batas ketahanan masing-masing jenis, tanaman juga menampilkan gejala kerusakan akibat polusi. Dampak lanjutannya adalah terganggunya fungsi tanaman dalam lingkungan. Selain itu, kerusakan tanaman akibat terpapar Pb juga menyebabkan pertumbuhan dan penampilan tanaman yang tidak optimal, berupa terjadinya nekrosis, klorosis dan terhambatnya pertumbuhan tanaman. Kondisi tersebut menyebabkan penampilan tanaman yang tidak estetik. Kemampuan tanaman mereduksi Pb sangat bervariasi menurut jenisnya (Widagdo, 2005).

Menurut Treshow *et al.* (1989), pertumbuhan tanaman terhambat karena terganggunya proses fotosintesis akibat kerusakan jaringan daun. Hal tersebut ditunjang oleh penelitian Warsita (1994) yang menunjukkan bahwa pencemaran udara menyebabkan penurunan kandungan klorofil-a dan klorofil-b tanaman. Penurunan tersebut disebabkan zat pencemar merusak jaringan polisade dan bunga karang yang merupakan jaringan yang banyak mengandung kloroplas.

Celah stomata mempunyai panjang sekitar 10 μm dan lebar antara 2 –7 μm . Oleh karena ukuran Pb yang demikian kecil, yaitu kurang dari 4 μm dan rerata 0,2 μm maka partikel akan masuk ke dalam daun lewat celah stomata serta menetap dalam jaringan daun dan menumpuk di antara celah sel jaringan pagar/*polisade* dan atau jaringan bunga karang/*spongi tissue* (Smith, 1981).

4.3.3.2 Berat Kering Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil analisis data menggunakan analisis variansi (ANOVA) menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$ pada parameter berat kering daun. Hasil analisis data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran. Selanjutnya, rata-rata berat kering daun disajikan pada Tabel 4.19

Tabel 4.19. Rata-rata berat kering daun eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada tiap stasiun dari sungai Porong, sungai Balungtani dan Kontrol

Stasiun	Rata-rata berat kering daun eceng gondok (g) pada setiap lokasi		
	sungai Porong	sungai Balungtani	Kontrol
Stasiun I	0,13 a	0,17 a	0,3 c
Stasiun II	0,1 a	0,16 a	0,53 d
Stasiun III	0,2 ab	0,26 b	0,72 e

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Tabel 4.19 di atas, menunjukkan rata-rata berat kering daun eceng gondok tertinggi ditunjukkan kontrol pada stasiun III yang mencapai 0,72 g dan berbeda nyata dengan semua lokasi. Rata-rata berat kering yang rendah pada stasiun II dari sungai Porong namun tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan stasiun II dan III, dan sungai Balungtani stasiun I, II, dan III.

Tabel 4.20. Rata-rata berat kering daun eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai porong, Sungai Balungtani, dan Kontrol

Lokasi	Berat kering daun (g)
Sungai Porong	0,14 a
Sungai Balungtani	0,20 a
Kontrol	0,52 a

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Tabel 4.20 di atas, menunjukkan berat kering daun eceng gondok antar lokasi tidak menunjukkan perbedaan. Namun, rata-rata berat kering daun yang lebih tinggi terdapat pada kontrol yang mencapai 0,52 g kemudian dari sungai Balungteni yaitu 0,2 g dan yang lebih rendah adalah pada sungai Porong yaitu 0,14 g.

Menurut Wedling *dalam* Flanagan (1980), tumbuhan dapat tercemar logam berat melalui penyerapan akar dari tanah atau melalui stomata daun dari udara. Penyerapan pada daun terjadi karena partikel Pb atau timah hitam di udara masuk ke dalam daun melalui proses penyerapan pasif. Masuknya partikel timah hitam ke dalam jaringan daun sangat dipengaruhi oleh ukuran dan jumlah dari stomata. Semakin besar ukuran dan semakin banyak jumlah stomatanya maka semakin besar pula penyerapannya timah hitam masuk ke dalam daun. Meskipun mekanisme masuknya timah hitam ke dalam jaringan daun berlangsung secara pasif, tetapi ini didukung pula oleh bagian yang ada didalam tanaman dan daun merupakan bagian yang paling kaya akan unsur-unsur kimia. Dengan demikian kemungkinan akumulasi timah hitam didalam jaringan daun akan lebih besar. Timah hitam ini akan terakumulasi didalam jaringan palisade.

Berat kering daun eceng gondok yang tidak berbeda nyata pada setiap lokasi, menunjukkan adanya mekanisme tertentu dari tumbuhan tersebut, sehingga dapat mempertahankan biomassa tumbuhan walaupun lingkungan tidak menguntungkan pertumbuhan. Proses yang mungkin dilakukan dalam daun eceng gondok adalah phytodegradation, yakni mengubah senyawa berbahaya dalam zat kontaminan menjadi molekul yang lebih sederhana sehingga tidak mengganggu pertumbuhan. Proses selanjutnya yang dilakukan oleh eceng gondok adalah phytovolatilization,

dimana daun eceng gondok mengeluarkan senyawa yang telah terurai melalui penguapan dari daun.

Menurut Price (1979), pyto degradation merupakan proses yang dilakukan oleh tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana dan dapat berguna bagi tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan tersebut. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi. Setelah melakukan phyto degradation, tahap selanjutnya yang dilakukan oleh tumbuhan adalah phyto volatilization, yakni proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diuapkan ke atmosfer.

Menurut Kovack (1992) dalam Karliansyah (1999), kemampuan masing-masing tumbuhan untuk menyesuaikan diri berbeda-beda sehingga menyebabkan adanya tingkat kepekaan, yaitu sangat peka, peka dan kurang peka. Tingkat kepekaan tumbuhan ini berhubungan dengan kemampuannya untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat. sehingga tumbuhan adalah bioindikator pencemaran yang baik. Dengan demikian daun merupakan organ tumbuhan sebagai bioindikator yang paling peka terhadap pencemaran.

4.3.3.3 Kadar Klorofil pada Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Hasil analisis data menggunakan analisis variansi (ANOVA) menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$ 0,05 diketahui bahwa terdapat pengaruh logam berat Cd dan Pb terhadap kadar klorofil eceng gondok. Hasil analisis data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 10. Selanjutnya hasil uji lanjut BNJ 5% disajikan pada Tabel 4.21

Tabel 4.21. Kadar klorofil eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada tiap stasiun dari sungai Porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Stasiun	Rata-rata kadar klorofil (mg/cm^2) tumbuhan eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) pada setiap lokasi		
	sungai Porong	sungai Balungtani	Kontrol
I	47,44 a	60,6 ab	87,85 c
II	41,76 a	55,81 a	117,81 d
III	51,24 a	69,76 b	152,26 e

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa rata-rata kadar klorofil terendah berasal dari sungai Porong yang berbeda nyata dengan lokasi lain. Pada sungai Porong, rata-rata kadar klorofil dalam setiap stasiun tidak menunjukkan perbedaan. Pada kontrol tumbuhan eceng gondok yang memiliki rata-rata kadar klorofil tertinggi berasal dari stasiun III yaitu mencapai $152,26 \text{ mg}/\text{cm}^2$.

Tabel 4.21. Kadar klorofil eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pada sungai porong, sungai Balungtani, dan Kontrol

Lokasi	Rata-rata kadar klorofil eceng gondok (mg/cm^2)
Sungai Porong	46,81 a
Sungai Balungtani	62,06 b
Kontrol	119,31 c

Keterangan : Angka yang didampingi dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak BNJ 5%

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa kadar klorofil dari setiap lokasi berbeda nyata. Kadar klorofil terendah berasal dari sungai Porong yang mencapai 46,81 mg/cm². Kemudian dari sungai Balungtani yaitu 62,06 mg/cm². Dan yang tertinggi adalah kadar klorofil tumbuhan eceng gondok dari kolam yang mencapai rata-rata 119,31 mg/cm².

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa semakin besar kadar logam berat Cd dan Pb yang terikat dan terakumulasi dalam jaringan daun tumbuhan, maka semakin berkurang pula jumlah klorofil yang terdapat pada daun tumbuhan tersebut. Kadar klorofil pada tumbuhan eceng gondok sungai Porong dari semua stasiun, cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan kadar klorofil pada tumbuhan eceng gondok sungai Balungtani, dan kontrol.

Masuknya partikel Pb ke dalam jaringan daun karena ukuran stomata daun yang cukup besar dan ukuran partikel Pb yang lebih kecil daripada ukuran stomata. Timbal (Pb) masuk ke dalam daun melalui proses penyerapan pasif. Akumulasi Pb di dalam jaringan daun akan lebih besar daripada bagian lainnya. Jumlah kandungan Pb dalam suatu jenis tanaman bervariasi menurut organ (Dahlan, 1989).

Kandungan klorofil dalam tumbuhan eceng gondok berkurang secara signifikan mungkin akibat keberadaan unsur logam berat cadmium dan plumbum dalam air sungai yang diserap akar tumbuhan tersebut. Padahal, air merupakan salah satu unsur esensial yang sangat diperlukan tumbuhan untuk meregenerasi dan membentuk substansi sel baru, termasuk klorofil (zat hijau daun), seperti tertera dalam Al Qur'an surat Al Hajj ayat 63:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَتُصْبِحُ الْأَرْضُ مُخْضَرَّةً إِنَّ اللَّهَ لَطِيفٌ



Artinya: Apakah kamu tiada melihat, bahwasanya Allah menurunkan air dari langit, lalu jadilah bumi itu hijau? Sesungguhnya Allah Maha Halus lagi Maha Mengetahui (Qs Al Hajj:63).

Klorofil umumnya disintesis pada daun untuk menangkap cahaya matahari yang jumlahnya berbeda pada tiap spesies tergantung dari faktor lingkungan dan genetiknya. Faktor-faktor yang mempengaruhi sintesis klorofil meliputi: cahaya, gula atau karbohidrat, air, temperatur, faktor genetik dan unsur-unsur nitrogen, magnesium, besi, mangan, Cu, Zn, sulfur, dan oksigen. Menurut Sampson *et al.*(2003) dan Fracheboud (2006), kadar klorofil dapat dijadikan indikator yang sensitif kondisi fisiologis suatu tumbuhan, karena kandungan klorofil berkorelasi positif dengan kandungan nitrogen daun, sehingga dapat dijadikan indikator laju fotosintesis.

Berkurangnya kadar klorofil daun akan menyebabkan terganggunya proses fotosintesis, yang kemudian berakibat pada berkurangnya hasil produksi dari suatu tumbuhan. Menurut Depari, dkk (2009), fotosintesis yang terganggu akan mempengaruhi proses respirasi dan translokasi dalam tumbuhan yang pada akhirnya akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

