

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Pb pada Tanah

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan konsentrasi Pb pada tanah, karena tanah yang tercemar oleh Pb sangat tidak produktif dan bahkan dapat mengganggu kesehatan manusia dan mengancam kelestarian lingkungan. Pencemaran logam berat Timbal pada tanah dapat diminimalisir dengan proses fitoremediasi, yaitu proses biologis yang menggunakan tanaman untuk mengurangi polutan logam berat di tanah yang terkontaminasi (Alloway, 2012). Hasil analisis kandungan Timbal pada tanah dan jaringan tanaman disajikan pada Tabel 3.

Tabel 1 Hasil Kandungan Pb pada Tanah, Daun, dan Akar 42 HST

Perlakuan	Pb Tanah mg kg ⁻¹		Pb Daun mg kg ⁻¹		Pb Akar mg kg ⁻¹	
F1T0	0,15	a	0,82	a	0,54	abc
F1T1	0,23	abc	3,70	d	0,50	ab
F1T2	0,31	cd	4,49	e	0,82	cde
F1T3	0,44	e	5,54	f	1,08	ef
F2T0	0,20	ab	0,74	a	0,41	a
F2T1	0,34	de	2,27	b	0,70	bcd
F2T2	0,44	e	2,92	c	1,31	f
F2T3	0,64	f	3,92	d	1,74	g
F3T0	0,30	bcd	1,05	a	0,64	abc
F3T1	0,26	bcd	2,62	bc	0,95	de
F3T2	0,44	e	3,01	c	1,05	ef
F3T3	0,58	f	3,71	d	1,28	f

Keterangan : Huruf yang sama yang mendampingi angka rerata pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5%. (*) : Berbeda Nyata; (tn) : Tidak Nyata. Nilai BNJ Pb Tanah 0,07; BNJ Pb Daun 0,3; BNJ Pb Akar 0,17.

Dalam penelitian ini tanaman yang dimanfaatkan untuk mengurangi polutan logam Timbal pada tanah adalah tanaman kailan, sawi hijau, dan sawi pakcoy. Hasil pengukuran konsentrasi awal Timbal pada media tanam sebelum diberi perlakuan penambahan konsentrasi Timbal mencapai 4,9 mg kg⁻¹ yang artinya tanah yang dipakai media tanam belum termasuk dalam keadaan tercemar. Namun, setelah diberi perlakuan berupa penambahan konsentrasi Timbal sebesar 100 mg kg⁻¹ (T1), 200 mg kg⁻¹ (T2), dan 300 mg kg⁻¹ (T3), hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Timbal terbesar pada tanah setelah ditanami tanaman fitoekstraktor terdapat pada perlakuan F1T3, F2T3, dan F3T3 (Tabel 3).

Hal tersebut terjadi karena pemberian konsentrasi Pb terbesar adalah pada perlakuan F1T3, F2T3, dan F3T3 yaitu sebesar 300 mg kg⁻¹.

Pada perlakuan F1T3, F2T3, dan F3T3 mengalami penurunan kadar Timbal sebesar 98% yaitu sebesar 0,44 mg kg⁻¹, 0,64 mg kg⁻¹, dan 0,58 mg kg⁻¹ atau dapat dikatakan tanah tidak lagi tercemar Timbal. Persentase perbandingan penurunan kadar Timbal pada tanah setiap perlakuan tidak berbeda jauh yaitu berkisar 97% hingga 99%. Dengan kata lain tanah di setiap perlakuan mengalami penurunan konsentrasi kadar Timbal menjadi “Tidak Tercemar”. Kontaminasi logam berat merupakan masalah paling serius dalam pencemaran tanah. Pencemaran logam berat dihasilkan dari kegiatan manusia seperti pertambangan, pabrik, dan penggunaan produk sintetis seperti baterai, pestisida, cat, dan limbah industri. Meskipun logam berat secara alami sudah ada didalam tanah, kadar alami tersebut tidak pernah mencapai level toksik (Bradl, 2005). Selain itu sumber logam berat dalam tanah berasal dari bahan induk pembentuk tanah itu sendiri, seperti Cd banyak terdapat pada batuan sedimen schales (0,22 ppm berat), Cr pada batuan beku ultrafanik (2,980 ppm berat), Hg pada bauan sedimen pasir (0,29 ppm berat), Pb pada batuan granit (24 ppm berat (Zoidis, et. al.2010).

4.2. Akumulasi Logam Timbal pada Tanaman

Unsur Pb adalah logam berat yang digolongkan ke dalam logam yang mempunyai sifat toksik yang tinggi, dalam hal ini keberadaan logam Timbal pada tanaman tidak diperlukan sama sekali (non essensial) (Alloway, 2012). Prinsip penyerapan logam Pb oleh tanaman adalah semakin besar kandungan Pb dalam media tanah akan menyebabkan semakin besar pula logam Pb yang diserap oleh tanaman. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kandungan Pb antara media tanah dan tanaman. Perbedaan kandungan ini akan menyebabkan terjadinya perpindahan logam Pb secara difusi dan osmosis dimana massa zat pada media dengan kandungan yang tinggi akan berpindah ke media dengan kandungan yang rendah. Dengan adanya perpindahan kandungan maka akan terjadi penyerapan Pb oleh tanaman (Haryanti, 2013).

Hasil analisis Pb pada tanaman setelah digunakan sebagai fitoremediator terdapat logam Pb pada jaringan tanaman, baik dalam daun maupun pada bagian akar tanaman. Adapun konsentrasi Pb pada daun tanaman dapat dilihat pada

Analisis keragaman (ANOVA) yang menunjukkan bahwa faktor jenis tanaman berpengaruh sangat nyata terhadap konsentrasi Timbal pada daun dan akar ($P < 0,01$). Uji BNJ menunjukkan bahwa ketiga jenis tanaman yang ditanam tanpa pemberian konsentrasi Timbal (F1T0, F2T0, dan F3T0) berbeda tidak nyata. Perlakuan F1T0, F2T0, dan F3T0 rerata kandungan Pb secara berturut-turut sebesar $0,82 \text{ mg kg}^{-1}$, $0,74 \text{ mg kg}^{-1}$, dan $1,05 \text{ mg kg}^{-1}$. Perlakuan terbaik dalam penyerapan logam berat Pb adalah pada tanaman sawi hijau. Tanaman sawi hijau setelah ditanam pada tanah yang sudah diberi penambahan konsentrasi Pb memiliki kandungan Pb terbanyak dibanding tanaman yang lainnya. Dari hasil pengujian serapan Pb di laboratorium terlihat bahwa pada penanaman tanaman sawi hijau (F1) pada media tanah dengan konsentrasi Pb sebesar 300 mg kg^{-1} (T3) dapat menyerap Pb sebesar $5,54 \text{ mg kg}^{-1}$, begitu juga pada konsentrasi Pb 100 mg kg^{-1} (T1) dan 200 mg kg^{-1} (T2) tanaman sawi hijau mampu menyerap Pb secara berturut-turut sebesar $3,70 \text{ mg kg}^{-1}$ dan $4,49 \text{ mg kg}^{-1}$.

Tanaman lainnya yang diupayakan untuk mengakumulasi logam Timbal yaitu *Brassica oleracea* dan *Brassica rapa*. Tanaman *Brassica oleracea* (Kailan) memiliki rata-rata konsentrasi Timbal paling sedikit di setiap perlakuannya, berdasarkan hasil uji laboratorium perlakuan tanaman kailan yang ditanam pada tanah dengan konsentrasi Timbal 100 mg kg^{-1} (F2T1) mampu menyerap Timbal sebesar $2,27 \text{ mg kg}^{-1}$, sedangkan pada perlakuan F2T2 dan F2T3 mampu menyerap Pb sebesar $2,92 \text{ mg kg}^{-1}$ dan $3,92 \text{ mg kg}^{-1}$. Kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam berat dapat diprediksi dari nilai *Transfer Factor* (TF). *Translocation Factor* menurut Sharma *et al.* (2010) adalah rasio konsentrasi logam pada bagian pucuk terhadap akar, menunjukkan kemampuan transfer logam dari akar ke pucuk tanaman, yang dihitung dengan membagi konsentrasi logam di bagian pucuk dengan bagian akar.

Tanaman kailan menyerap paling sedikit Pb pada bagian daun. Namun, tanaman kailan memiliki nilai TF paling kecil bila dibandingkan dengan tanaman lainnya. Rasio translokasi Pb dari akar ke pucuk (Nilai TF) dari ketiga jenis tanaman lebih dari satu (4,89 ; 2,39 ; 2,54) Tabel 4, hal ini mengindikasikan bahwa Pb pada jaringan akar dapat ditransfer pada bagian daun, dan terdapat pula Pb yang tertahan pada jaringan akar. Kailan dengan TF paling kecil (2,39)

menunjukkan bahwa tanaman ini mempunyai kemampuan menahan Pb di akar lebih besar dari sawi hijau dan sawi pak coy. Gupta dan Sinha (2008) menyatakan bahwa tanaman yang mengakumulasi Pb di akarnya lebih besar dari yang ditransfer di pucuk menunjukkan bahwa akar tanaman tersebut dapat mengenali Pb sebagai unsur toksik sehingga terjadi mekanisme inaktivasi seperti sekuestrasi unsur tersebut di vakuola atau pada dinding sel. Sekali Pb terserap oleh akar akan mudah mengadakan ikatan kompleks dengan nutrient dalam tanaman, sehingga membatasi kemampuan tanaman untuk mentranslokasikannya ke daun, selama ini tanaman akumulator Pb hanya berhasil mentranslokasikan tidak lebih dari 30% Pb ke daun (Hidayati, 2013). Hasil penyerapan Pb ketiga tanaman fitoremediator pada jaringan akar terdapat pada Tabel 3.

Keberhasilan fitoekstraksi bergantung pada berbagai karakteristik tanaman, diantaranya adalah kemampuan tanaman dalam menyerap sejumlah besar unsur logam dalam waktu yang cepat (Pilon-Smits, 2005). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga tanaman yang digunakan untuk upaya dalam mengurangi Timbal pada tanah mempunyai kemampuan untuk menyerap Pb dengan tingkat kemampuan berbeda-beda, namun tidak aman bila ketiga tanaman tersebut digunakan sebagai usaha budidaya pertanian, karena nilai kandungan logam Timbal pada ketiga tanaman melebihi ambang batas logam berat Pb dalam sayuran yang sudah ditetapkan oleh Ditjen Pengawas Obat dan Makanan (POM) Departemen sebesar $0,24 \text{ mg kg}^{-1}$ (Mardiyono dan Hidayati, 2009). Kemampuan yang paling kuat ditunjukkan oleh tanaman *Brassica juncea* L atau pada tanaman sawi hijau. Tanaman seperti sawi hijau menurut Mounicou et al. (2006) secara luas digunakan untuk fitoremediasi selain karena mempunyai kemampuan akumulasi Selenium yang besar juga karena biomasnya besar dan siklus hidupnya yang cepat. Hal tersebut berbanding lurus dengan pernyataan Thangavel dan Subhuram (2004), tanaman untuk fitoekstraksi harus mampu tumbuh di luar area asalnya, mempunyai sistem perakaran yang stabil, dan mampu mengangkut unsur logam ke dalam tajuknya.

Tabel 4. Nilai TF Pada Tanaman

Perlakuan	Daun	Akar	TF
F1T0	0,82	0,54	1,50
F1T1	3,70	0,50	7,40
F1T2	4,49	0,82	5,50
F1T3	5,54	1,08	5,14
F2T0	0,74	0,41	1,82
F2T1	2,27	0,70	3,25
F2T2	2,92	1,31	2,23
F2T3	3,92	1,74	2,26
F3T0	1,05	0,64	1,64
F3T1	2,62	0,95	2,76
F3T2	3,01	1,05	2,87
F3T3	3,71	1,28	2,90

Keterangan : Jika nilai TF < 1, disebut mekanisme fitostabilisasi, jika nilai TF > 1 maka disebut fitoekstraksi (Liong et al, 2010).

4.3. pH Tanah Setelah Proses Fitoremediasi

Analisa pH tanah merupakan salah satu parameter penting pada penelitian ini. Nilai pH dalam tanah menunjukkan banyaknya konsentrasi ion H^+ dan OH^- di dalam tanah. Semakin tinggi ion H^+ di dalam tanah maka semakin asam kondisi tanah tersebut dan sebaliknya. Pada penelitian ini pengukuran pH tanah menggunakan pH meter. Adapun hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 2 pH Tanah Setelah Fitoremediasi

Perlakuan	pH
F1T0	5,05 b
F1T1	4,94 ab
F1T2	4,81 ab
F1T3	4,74 ab
F2T0	4,96 ab
F2T1	4,77 ab
F2T2	4,76 ab
F2T3	4,71 a
F3T0	4,93 ab
F3T1	4,86 ab
F3T2	4,80 ab
F3T3	4,71 a

Keterangan : Huruf yang sama yang mendampingi angka rerata pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5%. (*) : Berbeda Nyata; (tn) : Tidak Nyata. BNJ pH Tanah 0,18.

Pada tanah asam, jumlah ion H^+ lebih banyak daripada OH^- . Bila kandungan H^+ sama dengan OH^- maka, tanah tersebut bereaksi netral dengan $pH=7$. pH tanah merupakan salah satu parameter yang saling berhubungan antara logam berat dengan pertumbuhan tanaman (Ornella, 2011). Dari Tabel 5 terlihat bahwa kondisi pH tanah berada dalam kondisi asam karena nilai pH berada dibawah 7. Adapun kondisi pH tanah sebelum diberi penambahan konsentrasi Timbal sebesar 6,35.

pH yang selalu asam dalam media tanam termasuk media tanah yang tidak diberi penambahan konsentrasi Timbal (F1T0, F2T0, F3T0) diduga bahwa media tanam mengandung bahan organik yang cukup tinggi. Materi organik tanah atau bahan organik dalam tanah dapat berasal dari dekomposisi materi organik yang berasal dari jaringan tumbuhan atau organisme lain yang sudah mati. Materi tanaman yang telah mati akan terdekomposisi dalam tanah. Hasil dekomposisi akan menghasilkan asam-asam organik yang dapat menyebabkan penurunan pH tanah.

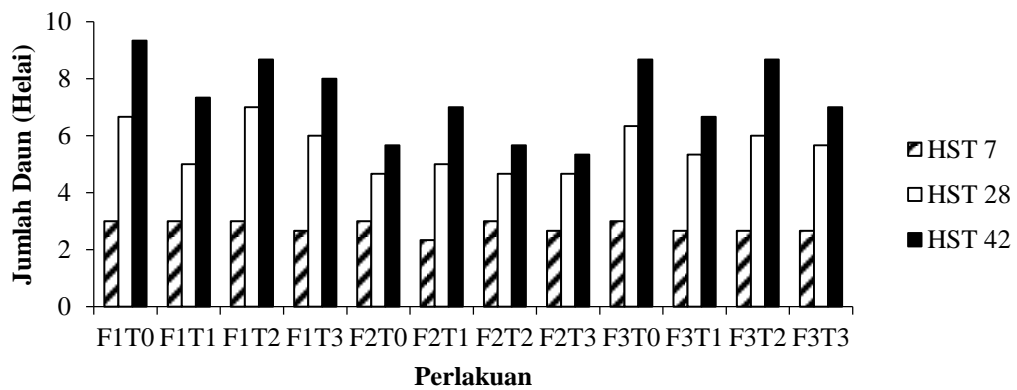
Tingkat ketersediaan logam berat tergantung pada pH lingkungan dimana logam tersebut berada. Pada pH rendah ketersediaan beberapa logam berat meningkat. pH asam akan menyebabkan removal yang besar karena logam berat akan larut dalam pH asam, sedangkan pada pH basa penyerapan akan kecil dikarenakan logam berat akan mengendap di dalam tanah oleh pH basa (Putri, 2012). Logam Pb pada suasana asam berupa Pb^{2+} sehingga akan lebih mudah diserap oleh akar jika dibanding Pb berupa partikel (Imanudi, 2001).

4.4. Hasil Perlakuan Terhadap Pertumbuhan Tanaman

4.4.1. Pertumbuhan Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun

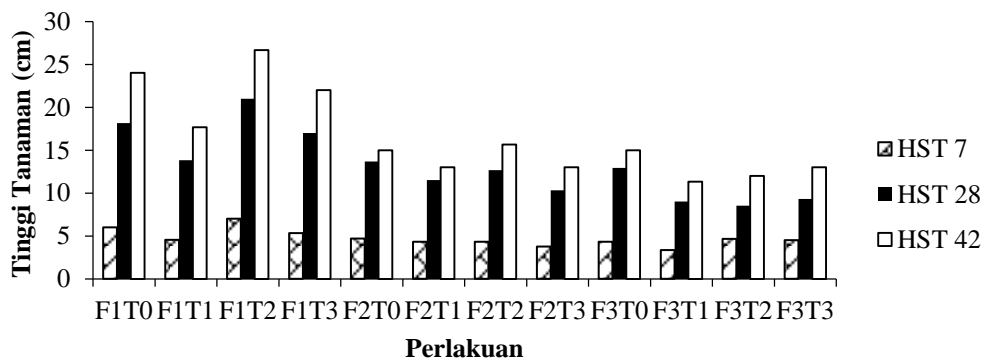
Berdasarkan analisis ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa faktor keberadaan Timbal pada tanah tidak berpengaruh nyata pada pertumbuhan jumlah daun pada ketiga tanaman yang dipakai sebagai tanaman fitoremediator. Berdasarkan hasil pengamatan 7 HST sampai dengan 42 HST pertumbuhan jumlah daun setiap tanaman fitoremediator mengalami peningkatan disetiap minggunya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa ketiga tanaman yang digunakan sebagai tanaman fitoekstraktor mampu tumbuh dan berkembang pada media yang tercemar oleh Timbal ataupun media yang tidak tercemar Pb.

Adapun perlakuan yang memiliki perkembangan jumlah daun paling baik pada 42 HST ialah pada tanaman *Brassica juncea* (F1). Pada tanaman *Brassica juncea* yaitu perlakuan F1T0 atau tanaman yang tidak diberi penambahan logam Pb memiliki jumlah daun sebanyak 9 helai yang terbuka sempurna pada saat 42 HST. Sedangkan untuk perlakuan yang diberi penambahan logam Pb, jumlah daun terbanyak yang dimiliki pada saat 42 HST terdapat pada perlakuan F1T2 yaitu sebanyak 9 helai.



Gambar 1 Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman Fitoremediator

Sedangkan tinggi ketiga tanaman yang digunakan pada penelitian ini juga mengalami peningkatan pertumbuhan. Selama masa penelitian tanaman *Brassica juncea*, *Brassica oleracea*, dan *Brassica rapa* tidak mengalami gangguan. Dan semua tanaman mengalami pertumbuhan sejak 7 HST. Kemudian tidak ada tanaman yang mati selama penelitian ini atau semua tanaman dapat bertahan hidup dan berkembang dengan baik pada media kontrol maupun pada media yang tercemar logam Pb. Salah satu syarat fitoremediator adalah tumbuhan tersebut memiliki kemampuan untuk cepat tumbuh (Putri dan Sarwoko, 2014).



Gambar 2. Pertambahan Tinggi Tanaman Pada Media Tercemar Pb Dan Media Tidak Tercemar

Dari Gambar 5 diatas dapat diketahui bahwa tanaman *Brassica juncea*, *Brassica oleracea*, dan *Brassica rapa* mengalami pertambahan tinggi seiring lamanya waktu penelitian. Dan pertambahan tinggi terbesar terdapat pada 42 HST yaitu tanaman *Brassica juncea* yaitu sebesar 22,6cm. Sedangkan tinggi tanaman terkecil terdapat pada tanaman *Brassica rapa* yaitu memiliki rata-rata tinggi tanaman pada 42 HST sebesar 12,8cm. Dapat disimpulkan bahwa tanaman yang paling efektif menjadi tanaman fitoremediator Pb yaitu tanaman *Brassica juncea*.

4.4.2. Berat Basah dan Berat Kering Tanaman

Analisis keragaman (Anova) menunjukkan bahwa faktor jenis tanaman tidak berpengaruh nyata terhadap biomassa yang dihasilkan baik berat basah maupun berat kering tanaman. Namun, terjadi perbedaan nilai berat basah dan berat kering pada ketiga tanaman fitoekstraktor (Tabel 7). Sawi hijau mempunyai biomassa yang lebih besar dibandingkan kedua jenis lainnya, perbedaan biomassa ketiganya merupakan pengaruh genetik tanaman. Sawi hijau dengan biomassa yang lebih besar diduga lebih potensial digunakan untuk fitoremediasi apabila jenis ini termasuk akumulator logam berat. Selama penelitian semua tanaman dapat tumbuh dan bertahan hidup pada media kontor ataupun media yang sudah diberi penambahan konsentrasi Pb. Adanya penambahan berat pada ketiga tanaman tersebut mengindikasikan bahwa tanaman sawi hijau, kailan dan pakcoy mampu digunakan sebagai fitoremediator, dilihat dari kemampuan dari ketiga tanaman dapat tumbuh dengan cepat (Pratiwi, 2013).

Tabel 3 Berat Basah dan Berat Kering Daun pada Tanaman Sawi Hijau, Kailan dan Pakcoy

Dosis Pb mg kg ⁻¹	Sawi Hijau		Kailan		Pakcoy	
	BB (g/tan)	BK (g/tan)	BB (g/tan)	BK (g/tan)	BB (g/tan)	BK (g/tan)
0	48,3	11,0	16,7	7,80	42	10,1
100	39	9,23	14	6,4	37,7	8,39
200	36,3	8,59	12	5,71	29,3	7,01
300	31	7,61	9,33	5,20	25,3	5,68
Rerata	38,7	9,10	13	6,27	33,6	7,8

4.5. Pembahasan Umum

Hasil korelasi antar parameter memiliki hubungan yang kuat hingga sangat kuat. Hubungan antara nilai pH dengan kandungan Timbal (Pb) pada tanah disajikan pada Tabel 7.

Tabel 4 Korelasi Antar Parameter

	Pb Akar	Pb Daun	Pb Tanah	pH
pH	-0,6071	-0,5657	-0,6474	
Pb Tanah	0,8939	0,5568		
Pb Daun	0,5400			
Pb Akar				

Hubungan antara nilai pH dengan kandungan Timbal (Pb) pada tanah berkorelasi negatif dengan nilai $r = -0,6474$, begitu juga dengan hubungan pH dengan konsentrasi Timbal pada daun dan jaringan akar tanaman yang masing-masing memiliki nilai $r = -0,5657$ dan $r = -0,6071$ (Tabel 8). Hubungan ini berarti perlakuan penambahan konsentrasi Timbal pada tanah berbanding terbalik dengan nilai pH pada tanah, konsentrasi Timbal pada tanah dan jaringan tanaman. Semakin tinggi nilai pH pada tanah, maka semakin rendah nilai konsentrasi Timbal pada Tanah.

Sedangkan hubungan antara nilai pH dengan konsentrasi Timbal Pada jaringan tanaman (daun dan akar) juga berkorelasi negatif, semakin tinggi nilai pH pada tanah, maka semakin rendah konsentrasi Timbal yang dapat diserap oleh jaringan tanaman. Hal tersebut didukung dengan pernyataan Imanudi (2001), kandungan Pb yang lebih tinggi di dalam tanah juga dipengaruhi oleh pH tanah, tingginya nilai pH tanah menyebabkan keasaman tanah berkurang, sehingga logam yang ada di dalam tanah tidak akan larut dan tidak bisa ditransfer ke jaringan tanaman yang tumbuh di atasnya. Menurut Siahaan (2014), kemampuan dalam mengakumulasi logam berat tidak dimiliki oleh semua tumbuhan, setiap tanaman memiliki tipe jaringan yang berbeda sehingga kemampuan dan tingkat toleransi penyerapannya juga berbeda dan kandungan logam berat yang akan terserap juga bervariasi.

Hubungan antara konsentrasi Pb pada tanah memiliki hubungan yang sangat kuat dengan konsentrasi Pb pada akar dengan nilai $r = 0,8939$. Hal tersebut berarti semakin tinggi nilai kandungan Pb pada Tanah, maka semakin tinggi pula

kandungan Pb pada akar. Hal tersebut didukung dengan pernyataan Hardiani (2009), bahwa logam berat diserap oleh akar tumbuhan dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ada didalam tanah yang ikut masuk bersama aliran air, pada saat transpirasi terjadi akar tanaman menghisap zat cair dan larutan yang berada disekitar akar tertarik ke daerah rhizospher, sehingga logam yang terlarut dalam tanah diduga dapat terserap oleh akar tanaman di daerah rhizospher.

