

Pengaruh Variasi Waktu Kontak Tanaman Bayam Duri terhadap Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd)

Erni Mohamad

Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Gorontalo
Korespondensi: Jalan Jenderal Sudirman 6 Kota Gorontalo, 96128.

Abstract: Cadmium waste industrial processes are the result of carcinogenic materials. Target organ toxicity is the kidney and liver Cd. Cadmium waste treatment can be performed by adsorption method using a plant thorn spinach (*Amaranthus spinosus* L). This plant is used as an adsorbent because it contains a protein which has the amine group (-NH₂), carboxyl (-COOH), as well sulfhydryl group (-SH). Besides, the plant tissue contained a cell wall composed of cellulose, lignin containing hydroxyl group (-OH). These polar groups capable of binding heavy metals. The purpose of this study was to determine the absorption capacity of spinach plants to metal spikes cadmium (Cd) in tissues of roots, stems and leaves with a variation of contact time. Research carried out by the time variation of 2.4 and 6 on Sunday. Cd concentrations of metals found in plant tissues in the analysis using the method of atomic absorption Spectrophotometry (AAS) at a wavelength of 228.8 nm. The data obtained were then analyzed RAL. The highest order of Cd (II) adsorbed to the variation of time is a week to 2 > 4 > 6

Keywords: variation in time, cadmium, soil, thorns spinach, adsorption

Abstrak: Limbah Kadmium hasil proses industri adalah bahan yang bersifat karsinogen. Organ tubuh yang menjadi sasaran keracunan Cd adalah ginjal dan hati. Pengolahan limbah kadmium dapat dilakukan dengan metode adsorpsi menggunakan tanaman bayam duri (*Amaranthus spinosus* L). Tanaman ini dimanfaatkan sebagai adsorben karena mengandung protein yang memiliki gugus amina (-NH₂), gugus karboksil (-COOH), juga gugus sulfidril (-SH). Disamping itu dalam jaringan tanaman terdapat dinding sel yang tersusun atas selulosa, lignin yang mengandung gugus hidroksil (-OH). Gugus-gugus polar ini mampu mengikat logam berat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan daya serap tanaman bayam duri terhadap logam kadmium (Cd) pada jaringan akar, batang dan daun dengan variasi waktu kontak. Penelitian dilakukan dengan variasi waktu 2,4 dan 6 Minggu. Konsentrasi logam Cd yang terdapat pada jaringan tanaman di analisis dengan menggunakan metoda spektrofotometri serapan atom (SSA) pada panjang gelombang 228,8 nm. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis RAL. Urutan tertinggi Cd(II) teradsorpsi untuk variasi waktu adalah minggu ke 2 > 4 > 6

Kata Kunci : variasi waktu, kadmium, tanah, bayam duri, adsorpsi

PENDAHULUAN

Logam kadmium adalah bahan yang tidak lepas dari proses industri. Hal ini terjadi karena banyaknya permintaan logam kadmium tersebut dari industri pelapisan, pigmen, plastik stabilizer, baterai-kadmium, pupuk, pestisida dan rokok (Norvel dkk 2000; Melisa dkk 2004). Setiap tahunnya total logam kadmium yang digunakan oleh industri bisa melampaui batas yang telah ditentukan, sebagai

akibatnya, meningkatnya juga limbah kadmium yang dibuang ke lingkungan. Jumlah normal kadmium di tanah berada dibawah 1 ppm. (Fairbridge dan Fingki, 1994).

Logam kadmium adalah bahan yang bersifat karsinogen. Organ tubuh yang menjadi sasaran keracunan Cd adalah ginjal dan hati. Toksisitas Cd ini dipengaruhi karena adanya interaksi antara Cd dan gugus sulfhidril (-SH) dari protein yang menyebabkan terhambatnya aktivitas enzim (Widowati dkk 2008).

Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransi-kan bagi manusia adalah 400-500 µg per orang atau 7 µg per kg berat badan. Berdasarkan data dari lingkungan hidup didapatkan bahwa di sekitar limbah pabrik kadmium banyak yang terjangkau penyakit kanker, radang paru-paru dan batu ginjal ((Widowati dkk. 2008).

Beberapa metode telah dilaku-kan untuk menghilangkan limbah logam tersebut dengan berbagai cara misalnya pengendapan, filtrasi, pertukaran ion dan adsorpsi. Adsorpsi merupakan metode umum, karena memiliki konsep seder-hana, efisien dan juga ekonomis. Pada proses adsorpsi, adsorben memegang peranan yang paling penting. Telah banyak diteliti berbagai macam kemam puan bahan, terutama bahan anorganik, sebagai adsorben seperti zeolit, bentonit, dan sebagainya. Namun metode ini memiliki kelemahan karena proses ini rumit, memakan waktu dan memerlukan tenaga terampil. Dewasa ini telah dikembangkan metode adsorpsi meng-gunakan biomassa tumbuhan, yang dikenal sebagai metode fitoremediasi. Penelitian yang telah dilakukan diper-oleh informasi tentang adanya kemam-puan tumbuhan dalam mengikat logam dan mengakumulasikan dalam jaringan tumbuhan, baik secara aktif melalui metabolisme tumbuhan maupun secara pasif menggunakan gugus fungsional dalam jaringan tumbuhan (Gardea-Torresdey, dkk. 1998).

Menurut Gupta, dkk. 2004 dan Yang, dkk. 2005 gugus fungsi dalam jaringan tanaman yang berfugsi sebagai pengikat logam adalah gugus amina (-NH₂), gugus karboksil(-COOH), juga gugus sulfidril (-SH) yang terdapat dalam protein. Disamping itu dalam jaringan tanaman terdapat dinding sel yang tersusun atas selulosa, lignin dengan gugus hidroksil (-OH). Gugus-gugus polar ini diduga bereaksi dengan logam berat . Penyerapan kontaminan bersamaan dengan penyerapan nutrien dan air oleh akar tumbuhan dan trans-lokasi atau akumulasi senyawa itu kebagian tumbuhan seperti akar, batang dan daun (Yang, dkk. 2005).

Bayam duri (*Amaranthus spinosus*) adalah merupakan tumbuhan liar, yang mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak, yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, walaupun tanaman ini merupakan kelas bayam, namun di anggap merupakan tumbuhan gulma bagi tanaman lain.

Akan tetapi tanaman bayam duri mempunyai komponen utama yang dapat digunakan yaitu protein sekitar 8,9 % dengan gugus amina (-NH₂), gugus karboksil(-COOH), juga gugus sulfidril (-SH) dan selulosa 53,10% dengan gugus hidroksil(-OH). Adanya gugus-gugus ini sehingga bayam duri mempunyai reaktifitas kimia yang tinggi dan menyebabkan sifat poliektrolit kation sehingga dapat berperan sebagai adsorben terhadap logam berat pada tanah yang tercemar. Bayam duri (*Amaranthus spinosus L.*) mengandung

senyawa kimia lain spinasterol, hentriakontan, tanin, kalium nitrat, kalsium oksalat, garam fosfat, zat besi, serta Vitamin (A, C, K dan piridoksin (B6) Moelyono M, dkk. (1985).

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Mallem (2008) dengan menggunakan biomassa *amaranthus dubius.L* yang mampu menyerap logam Cr, Hg, As, Pb, Cu, Ni pada tanah tercemar. dan Opeolu (2005) menggunakan bayam merah (*Amaranthus Cruentus L*) untuk menyerap logam Pb dengan penambahan agen pengkhelat EDTA. Pemberian pengkhelat EDTA dalam tanah dapat memacu ketersediaan dan transfer logam juga membantu dalam translokasi logam dari akar ke non akar (Tandy, dkk. 2005., Zhuang, dkk 2005).

Konsentrasi logam Cd yang terdapat pada jaringan tanaman (akar, batang dan daun) di analisis dengan menggunakan metoda spektrofotometri serapan atom (SSA) yang di preparasi dengan cara pengabuan dengan tujuan untuk menghilangkan senyawa organik yang mengikat logam Cd (Sembiring, 2006).

Untuk optimalisasi fitoremediasi digunakan pengkelat sintetis EDTA yang sebagaimana telah dieksplorasi oleh banyak peneliti (Chen dkk., 2002; Fodor.F. dkk., 2003; Lim dkk. 2004, Opeolu B.2005; Tandy, dkk. 2005;). Logam yang larut dalam pengkelat dengan membentuk ikatan ligan-logam, dapat membebaskan logam dari partikel tanah atau meningkatkan mobilitas di

dalam sistem biologi tanaman (Tandy, dkk. 2005). EDTA adalah kelat yang umumnya dipilih dalam penelitian karena telah terbukti efektivitasnya pada aplikasi fitoremediasi (Madrid, dkk. 2003; Leduc, dkk. 2005;).

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan alam yang digunakan adalah Tumbuhan Bayam Duri (*Amarantus spinosus L*) yang diperoleh dari daerah Jombang Jawa Timur. Adapun bahan kimia yang digunakan adalah bahan kimia pro analisis (p.a) Na₂-EDTA, 3CdSO₄.8H₂O, HNO₃ pekat (65%), Akuades, Pupuk (Urea, SP-36, KCl, pupuk kandang).

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yakni : Pot penelitian, peralatan gelas, spektrofotometer sera-pan atom (SHIMADZU-AA-6200), fur-nace, oven, krus porselin, neraca analitik Mettler, vial polietilen ukuran 5 ml, mikro pipet.

Metode

Tanah yang digunakan untuk menanam bayam duri diberi pupuk lebih dahulu dengan pupuk (Urea, SP-36, KCl dan pupuk kandang). Selanjutnya dilakukan penyiapan wadah untuk persemaian, kontrol dan wadah untuk kontaminan logam Cd yang dilakukan dengan penambahan Na₂-EDTA dan tanpa Na₂-EDTA. Benih bayam duri disemaikan dalam bedengan, dilanjutkan

dengan menyeleksi tanaman dan memindahkan tanaman ke wadah penelitian menggunakan media tanah yang sudah terkontaminasi logam Cd. Pertumbuhan tanaman dilanjutkan sampai 2, 4, 6 minggu. Perlakuan dilakukan pada pot-pot penelitian dengan penambahan larutan logam berat Cd (dalam bentuk $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Sampel tanah dikontaminasi logam Cd dengan konsentrasi 0 ppm (kontrol), 25 ppm, 50 ppm, 25 ppm logam Cd + 200 ppm Na_2EDTA dan 50 ppm logam Cd + 200 ppm Na_2EDTA . Masing-masing perlakuan dilakukan 3 kali ulangan. Pengamatan dan pengambilan dilakukan pada minggu ke 2, 4, 6

Bagian tanaman yang dianalisis yaitu bagian akar, batang dan daun. Tanaman dicuci bersih kemudian dibilas dengan air suling untuk menghilangkan debu, tanah dan partikel mineral yang menempel pada tanaman tersebut. Setiap bagian tanaman diambil 2 g dan dikeringkan dalam oven suhu 105°C sampai mencapai berat kering konstan.

Sampel hasil pengeringan dimasukkan dalam furnace suhu 500°C selama 5 jam, sampai menjadi abu yang berwarna putih dan mencapai berat konstan

Hasil pengabuan didestruksi secara basah dengan penambahan HNO_3 pekat (65%) sebanyak 5 mL, kemudian dipanaskan hingga larutan asam timbul uap dan mengering. Selanjutnya ke dalam Sampel ditambahkan 1 mL HNO_3 pekat kemudian didinginkan. Setelah dingin ditambahkan akuades sedikit

sedikit dan larutan sampel dipindahkan ke dalam labu takar 25 mL secara kuantitatif dan diencerkan sampai volume larutan tepat 25 mL. Larutan sampel kemudian dituangkan dalam botol plastik dan siap untuk dianalisis. Penghitungan kandungan kadmium (Cd) dalam larutan sampel dilakukan dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) pada λ 228,8 nm, dan lebar celah 0,7 nm.

Data yang diperoleh kemudian dianalisa menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Untuk mengetahui pengaruh dari tiap perlakuan dilakukan dengan uji F pada taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel yang digunakan adalah tanaman bayam duri (*Amarantus spinosus L*) yang ditanam di dalam pot penelitian sehingga lebih mudah melakukan pemeliharaan dan juga dapat dikendalikan atau diatur pengaruh lingkungan luar. Kadar logam Cd yang digunakan untuk penyiraman yaitu 25 ppm, 50 ppm tanpa penambahan EDTA dan 25 ppm, 50 ppm dengan penambahan EDTA. Tanaman bayam duri dipanen pada minggu 2, 4, 6 setelah kontak dengan garam Cd^{2+} .

Tanaman bayam duri (*Amaranthus spinosus L*) dijadikan sebagai fitoremediasi karena dapat mengadsorpsi logam Cd pada tanah tercemar. Secara lengkapnya kemampuan tanaman bayam duri dalam

mengadsorpsi logam Cd dapat disajikan dalam tabel 1

Tabel 1 Adsorpsi Cd tanaman bayam oleh masing-masing jaringan.

Konsentrasi Perlakuan	% Cd teradsorpsi			Rata-rata
	Akar	Batang	Daun	
25	5,585	6,419	7,659	19,663
50	5,228	4,320	5,589	15,137

Berdasarkan tabel 1 bahwa tanaman bayam duri dapat mengadsorpsi logam Cd dengan konsentrasi tertinggi pada jaringan daun, akar dan batang. Hal ini diduga karena pada jaringan daun memiliki protein dengan gugus aktif NH_2 yang tinggi. Gugus NH_2 adalah senyawa yang dapat mengikat logam. Banyaknya situs aktif pada daun menyebabkan % Cd teradsorpsi pada daun lebih meningkat. Sedangkan akar dan batang memiliki gugus OH yang terdapat pada senyawa selulosa dan Lignin. Menurut urutan senyawa-senyawa pembentukan kompleks untuk logam Cd(II) oleh atom N dalam ligan NH_3 memiliki harga keelektronegatifan lebih kecil (3,0) daripada O pada OH^- (3,5) sehingga ligan NH_3 membentuk kompleks yang lebih kuat dengan Cd^{2+} daripada dengan OH^- .

Selain gugus fungsi penyerapan Cd juga dipengaruhi oleh suhu dimana dengan suhu rendah maka daya adsorbsinya juga lambat karena dengan suhu rendah penguapan terhadap air juga rendah. Otomatis kebutuhan tanaman terhadap air akan berkurang, sementara logam berat diserap oleh tanaman

bersamaan dengan air dan nutrien. Salisbury & Ross (1995) menyatakan semakin tinggi suhu lingkungan akan menyebabkan proses fotosintesis akan meningkat sehingga penyerapan tanaman terhadap air akan meningkat pula.

Proses adsorpsi lainnya yaitu ketersediaan logam di dalam tanah dalam bentuk terikat oleh fraksi-fraksi tanah sehingga menyebabkan tidak adanya peningkatan daya adsorpsi akar. Kandungan logam yang rendah disebabkan oleh rendahnya kandungan Cd di dalam tanah. Logam Cd didalam tanah tersedia dalam bentuk larutan dalam air sehingga berada dalam larutan tanah dan terikat pada tapak-tapak jerapan koloid tanah, sehingga dapat dibebaskan setelah ada reaksi pertukaran ion. Selain itu, juga terikat secara organik sehingga berasosiasi dengan senyawa humus yang tidak terlarutkan. Logam ini terjerat dalam oksida besi dan mangan, bereaksi dengan karbonat, fosfat dan sulfida sehingga mengendap, dan terikat secara struktural dalam mineral silikat.

Rendahnya adsorpsi juga tergantung tesktur tanah. Tanah yang bertesktur pasir

menyebabkan tanah tidak tahan terhadap erosi, angin dan air. Hal ini dikarenakan partikel-partikelnya tidak saling mengikat satu sama lainnya. Kandungan atau susunan tanah akan mencerminkan karakter tingkah laku tanah, termasuk dalam hal kapasitas menyimpan makanan dan air. Pada tanah, semakin halus teksturnya semakin tinggi kekuatannya untuk mengikat logam berat. Tanah pasir memiliki kapasitas menahan kelembaban yang sangat rendah dan kandungan hara juga rendah. Akan tetapi tanah pasir sangat penting karena dapat meningkatkan ruang pori dan memperbaiki aerasi tanah.

Faktor eksternal atau lingkungan ideal yang sangat berpengaruh terhadap adsorpsi tanaman adalah iklim, kesuburan tanah,

kesehatan tanaman dan budidaya. Secara khusus iklim yang menentukan pertumbuhan tanaman dikaitkan dengan sifat-sifat kelembaban (berkaitan dengan ketersediaan air, curah hujan), penyinaran matahari dan temperatur udara.

Kesesuain jenis tanaman dengan tempat tumbuhnya merupakan suatu kunci sukses dalam pertumbuhan suatu jenis tanaman.

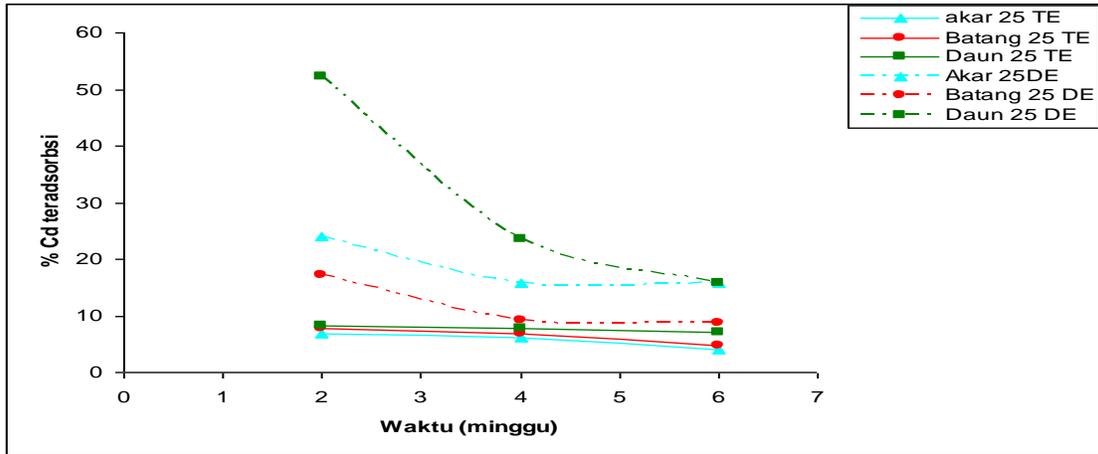
Banyak faktor atau penyebab yang mempengaruhi perkembangan dan pertumbuhan tanaman. Apabila faktor tersebut kebutuhannya tidak terpenuhi maka tanaman tersebut bisa mengalami dormansi yaitu berhenti melakukan aktifitas hidup. Kondisi lingkungan tanah tempat melakukan penelitian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel. 2. Kondisi lingkungan tanah penelitian

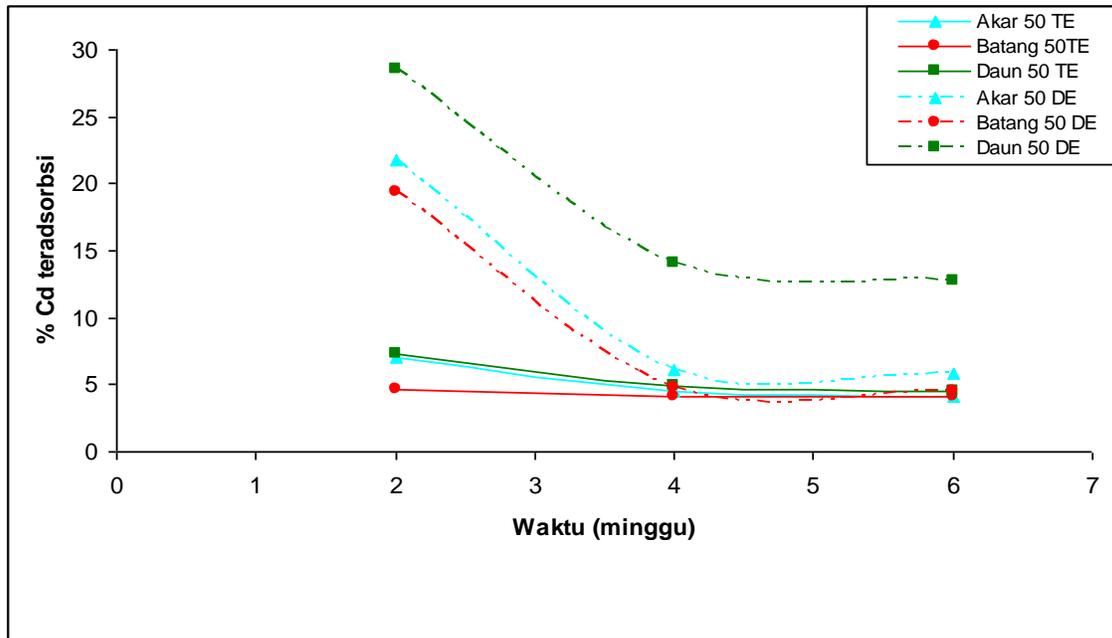
Parameter	Kandungan (%)
pH 1:1	
H ₂ O	6,5
KCl 1 N	6,3
C organik	0,44
N- total	0,09
C/N	5
Bahan organik	0,76
Pasir	87
Debu	12
Liat	1
Tekstur	Pasir
Cd	0,602 µg/g
Suhu*	27 ⁰ C
Kelembaban udara*	78,88%
Kelembaban tanah	82,17

Sumber: Data Primer

Pengaruh waktu kontak tanaman bayam maupun dengan EDTA secara lengkap dari terhadap adsorpsi logam Cd yang dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 berikut: dilakukan tanpa penambahan EDTA



Gambar 1. Pengaruh lama kontak tanaman bayam duri (akar, batang, daun) terhadap %Cd(II) teradsorpsi pada perlakuan 25 ppm tanpa EDTA dan dengan EDTA.



Gambar .2. Pengaruh lama kontak tanaman bayam duri (akar, batang, daun) terhadap %Cd(II) teradsorpsi pada perlakuan 50 ppm tanpa EDTA dan dengan EDTA.

Data dalam gambar 1 dan 2 menyatakan bahwa lama kontak mempengaruhi Cd(II) teradsorpsi oleh tanaman bayam duri. Berdasarkan hasil analisa bahwa Cd(II) teradsorpsi tertinggi terjadi pada minggu 2 karena setelah minggu 4 dan ke 6 Cd(II) teradsorpsi telah mengalami penurunan atau telah mengalami desorpsi. Hal ini diduga karena situs aktifnya telah jenuh oleh ion logam dimana proses adsorpsi sudah mencapai kesetimbangan sehingga pada permukaan adsorben peluang untuk terjadinya ikatan antara Cd^{2+} dengan situs aktif menjadi kecil. Dimana setelah tercapainya kesetimbangan adsorpsi Cd(II) mengalami kestabilan prosentase adsorbat, ini karena disebabkan sudah terpenuhinya gugus aktif permukaan adsorben. Dari hasil uji statistik menggunakan RAL tingkat kesalahan 5% untuk konsentrasi 25, 50 ppm tanpa EDTA dan dengan EDTA pada masing-masing jaringan diperoleh F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} 5,14. Hal ini menunjukkan bahwa lama kontak terhadap ke empat konsentrasi memiliki pengaruh yang nyata terhadap Cd(II) teradsorpsi pada akar, batang maupun daun tanaman bayam duri. Dengan demikian urutan Cd(II) teradsorpsi tanaman bayam duri pada masing-masing jaringan untuk variasi waktu adalah minggu ke $2 > 4 > 6$

Kesimpulan

Penelitian ini telah dilakukan untuk melakukan studi penyerapan tanaman bayam duri

terhadap logam berat Cd pada tanah tercemar. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan ternyata bahwa: Cd(II) teradsorpsi makin menurun dengan lamanya kontak tanaman bayam duri terhadap logam berat Cd. Urutan Cd(II) teradsorpsi pada masing-masing jaringan untuk lama kontak yaitu minggu ke $2 > 4 > 6$

SARAN

Perlu dilakukan pengujian adsorpsi tanaman bayam duri terhadap logam berat lainnya mengingat makin meningkatnya kegiatan manusia yang menghasilkan atau meningkatkan kandungan logam berat di lingkungan. Pengujian di harapkan terutama terhadap tanah yang benar-benar sudah tercemar oleh logam berat

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, H., Cutright, T. J., 2002. "The Interactive Effects of Chelator, Fertilizer, and Rhizobacteria for Enhancing Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil. *Journal of Soils and Sediments*". (4) 2: 203-210, 2002.(2/8/2009)
- Chen, H., and Cutright, T., 2001. "EDTA and HEDTA effects on Cd, Cr, and Ni uptake by *Helianthus annuus*". *Chemosphere*. 45: 21-28.
- Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J Garcia, A.E., Baig, T.H., 1998. "Adsorption Of Heavy Metal Ions By The Biomass Of *Solanum*

- Elaeagnifolium (Silverleaf Night)" Departemen of Chemistry and Environmental Sciences and Engineering University of Texas, El paso.
- Gardea-Torresdey, J. L.; Peralta-Videa, J. R.; de la Rosa, G.; Parsons, J. G. 2005. "Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by x-ray absorption spectroscopy". *Coordination Chemistry Reviews*, (249) 17-18: 1797- 1810.
- Gupta, D. K., Tohoyama, H., Joho, M., Inouhe, M., , 2004. "Changes in the levels of phytochelatins and related metal-binding peptides in chickpea seedlings exposed to arsenic and different heavy metal ions". *Journal of Plant Research*. (117) 3: 253-256
- LeDuc, D. L., Terry, N., 2005. "Phyto-remediation of toxic trace elements in soil and water". *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. (32) 11-12: 514-520. (2/8/2009)
- Lim, T.-T., Chui, P.-C., Goh, K.-H., 2005. "Process evaluation for optimization of EDTA use and recovery for heavy metal removal from a contaminated soil". *Chemosphere*, (58) 8: 1031-1040.
- Madrid, F., Liphadzi, M. S., Kirkham, M. B. 2003. "Heavy metal displacement in chelateirrigated soil during phytore-mediation". *Journal of Hydrology*. (272) 1: 107-119.
- Mallem. J.J., 2008. "Phytoremediation Of Heavy Metals Using Amaranthus Dubius". Durban, south Africa.
- Manahan. S.E., 1977. "Environmental chemistry". Second Edition Wiliard Press . Boston.
- Opeolu,B.O., dkk. 2005. "PhyroRemedia-tion Of Lead-Contaminated Soil Using Amaranthus (bayam Merah)"
- R. W. Fairbridge and C. W. Finkl Jnr., *The Encyclopedia of Soil Science Part 1*, Dowden, Hutchinson and Ross Inc., p. 388
- Salisbury, B.F., Ross, W. C., 1995. "Fisiologi Tumbuhan". Jilid 2 ITB Bandung.
- Sembiring,Z.,Suharso., Regina., Marta F., Murniyarti.,2008. "Studi Proses Adsorpsi Ion Logam Pb(II), Cu(II) dan Cd(II) Terhadap Pengaruh Waktu Dan Konsentrasi Pada Biomassa Nannochloropsis Sp. Yang Terenkapsulasi Aquq-Gel Silika Dengan Metode Kontinyu". *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*
- Widowati. W; Sastiono. A; Yusuf.R., 2008. "Efek Toksik Logam, Pencegahan Dan Penanggulangany". Andy, Yog-yakarta. 45-87
- Yang, X., Feng, Y., Zhenli, H., Stoffella, P. J., 2005. "Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation". *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, (18) 4: 339-353,.

Zhuang, P., Ye, Z. H., Lan, C. Y., Xie, Z. W., Shu, W. S., 2005. "Chemically Assisted Phytoextraction of Heavy Metal Contaminated Soils using Three Plant Species". *Plant and Soil*. (276) 1-2: 153-162