

Efektivitas EDTA (Ethylenediaminetetracetic Acid) dalam Meningkatkan Akumulasi Timbal pada *Saccharum spontaneum* yang Tumbuh di Limbah Penambangan Emas

Nuril Hidayati, Titi Juhaeti & Fauzia Syarif

Bidang Botani Pusat Penelitian Biologi LIPI

Jl. Ir. H. Juanda 18 Bogor.

E-mail: herbogor@indo.net.id

ABSTRACT

Effectivity of EDTA (Ethylenediaminetetracetic Acid) in Increasing Lead Accumulation of *Saccharum spontaneum* Grown Under Gold Mine Waste. Lead (Pb) is known as one of a major metal contaminant in mine tailing. This metal has low solubility, and in many cases, is not readily available. In most soils capable of supporting plant grow, the soluble Pb^{2+} levels are relatively low and will not promote substantial uptake by the plant. In addition, many plants retain Pb^{2+} in their roots with only minimal transport to the aboveground plant portions. Therefore, it is important to find ways to enhance the bioavailability of Pb^{2+} or to find specific plants that can better translocate the Pb^{2+} into harvestable portions for phytoremediation. The success of Pb phytoremediation is to have significant Pb availability as well as a large quantity of plant biomass with high rate of growth. This experiment was conducted to obtain both purposes. *Saccharum spontaneum* which proven tolerant and dominant in contaminated area as well as potential in producing high biomass was used in this research. The plants were grown in waste media added by 100 ppm, 200 ppm and 300 ppm of Pb. Ethylenediaminetetracetic Acid (EDTA) was applied to increase Pb availability and plant uptake as well as translocation to the aboveground portions. The results showed that the plant still capable of growing under the highest level of Pb. EDTA increase Pb availability and plant uptake. Pb accumulation in the aboveground biomass of EDTA treated plants were relatively higher than untreated plants.

Key words: Timbal, EDTA, phytoremediation

PENDAHULUAN

Kontaminasi logam berat dalam tanah merupakan masalah yang umum dijumpai di areal pembuangan limbah berbahaya. Timbal (Pb), kromium (Cr), Nikel (Ni), seng (Zn) dan merkuri (Hg) termasuk logam polutan yang paling

sering dijumpai. Keberadaan logam ini semakin meluas dari waktu ke waktu dengan tingkat konsentrasi yang semakin tinggi. Logam termasuk kontaminan yang unik karena tidak dapat mengalami degradasi baik secara biologis maupun kimiawi yang dapat menurunkan kadar racunnya. Kemungkinan yang terjadi

adalah logam akan mengalami transformasi sehingga dapat meningkatkan mobilitas dan sifat racunnya.

Timbal (Pb) dikenal sebagai kontaminan yang berbahaya. Logam ini memiliki ikatan molekul yang sangat erat, sulit terlarut di dalam tanah dan pada banyak kasus tidak terdapat dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman. Pada sebagian besar tanah yang tercemar Pb hanya relatif sedikit Pb^{2+} yang terlarut sehingga tidak memungkinkan tanaman untuk dapat menyerapnya dalam jumlah besar, sekalipun tanaman tersebut memiliki potensi genetik untuk kapasitas penyerapan yang tinggi. Kebanyakan tanaman mengakumulasi Pb pada akarnya dalam jumlah lebih besar dibandingkan pada tajuknya. Karena itu sangat penting mencari cara untuk memacu ketersediaan Pb atau mencari tanaman yang spesifik yang mampu mentranslokasi Pb dengan lebih baik ke bagian tajuk untuk tujuan fitoremediasi (Hong *et al.* 2006).

Sedikitnya ditemukan 400 tumbuhan hiperakumulator logam di dunia, tetapi hanya sedikit hiperakumulator untuk Pb karena alasan-alasan yang telah disebutkan di atas. Pb terikat secara kuat dengan bahan mineral dan organik tanah, sehingga tanaman menjadi sulit untuk mengekstraknya dari tanah dengan sistem perakarannya. Sekali terserap Pb akan membentuk kompleks dengan asimilat di dalam jaringan tanaman sehingga membatasi kemampuan tanaman untuk mentrans-lokasikannya ke tajuk (Hong *et al.* 2006).

Rumput termasuk salah satu jenis tumbuhan yang toleran terhadap kondisi

lingkungan yang marginal, sehingga banyak digunakan sebagai tanaman pionir dalam rehabilitasi lingkungan termasuk lahan yang terdegradasi oleh penambangan. Rumput dikenal sebagai tanaman pengendali erosi. Disamping itu dapat pula digunakan untuk meremediasi tanah yang terkontaminasi logam berat. Salah satu hasil penelitian membuktikan bahwa rumput Vetiver mampu tumbuh pada konsentrasi Pb hingga 300 ppm dan dapat mengurangi kandungan Pb dalam tanah hingga 60% (Emmyzar & Hermanto 2004). Di Inggris jenis rumput-rumputan diantaranya *Festuca rubra* dan *Agrotis capillaries* adalah tanaman yang pertama kali digunakan untuk fitoremediasi lahan bekas penambangan termasuk untuk menyerap Pb dan Zn serta *Agrotis stolonifera* untuk menyerap Co (Li *et al.* 2000).

Saccharum spontaneum digunakan dalam penelitian ini karena termasuk salah satu jenis yang tumbuh dominan di lingkungan pembuangan limbah pengolahan emas (tailing dam) di Pongkor dan Cikotok (Sambas *et al.* 2003). *Saccharum spontaneum* L. adalah tumbuhan dari golongan rumput-rumputan (Poaceae), dikenal dengan nama manjah. Rumput liar ini sangat kuat perakarannya, batangnya beruas dengan tinggi sampai 2 m, tumbuh berkelompok. Daunnya berbentuk pita sepanjang 75-150 cm. Perbungaan berbentuk malai, tangkainya berambut halus panjang dengan bulir bewarna putih atau ungu. Tanaman ini biasa tumbuh di tempat terbuka, tepi sungai, hutan dan semak belukar.

Strategi untuk keberhasilan fitoremediasi Pb adalah meningkatkan

ketersediaan logam pada daerah terkontaminasi dan memilih tumbuhan hiperakumulator dengan kapasitas produksi biomasa yang tinggi karena pada tanah terkontaminasi Pb biasanya hanya sekitar 0.1% dari Pb total yang tersedia untuk tanaman (Huang & Cunningham 1996).

Amendmen dapat ditambahkan untuk beberapa tujuan. Pada fitostabilisasi, amendmen dapat digunakan *alkalizing agent*, pospat (P), mineral *oxides*, *biosolid* atau bahan organik yang dapat mengurangi kelarutan Pb karena semakin sulit larut Pb semakin kecil jumlah yang mobil dan tersedia di dalam tanah sehingga tidak mudah tercuci (*leaching*), terserap tanaman maupun dicerna hewan disamping dapat memperbaiki kualitas tanah untuk tujuan pertanian (Berti & Cunningham 1997). Sebaliknya untuk tujuan fitoekstraksi seperti dalam riset ini, amendmen ditujukan untuk meningkatkan ketersediaan Pb dalam tanah sehingga lebih mudah diserap tanaman dan ditranslokasikan ke bagian tajuk.

Kelat sintetik seperti EDTA (Ethylenediaminetetracetic Acid) dapat membantu meningkatkan ketersediaan Pb dalam tanah dan penyerapan Pb oleh tanaman (Huang *et al.* 1997). Fitoekstraksi atau penyerapan logam pada tanaman termasuk rumput diyakini dapat dipacu dengan pemberian kelat seperti EDTA. Dalam proses ini kelat yang diberikan secara efektif berpengaruh terhadap peningkatan ketersediaan logam berat di dalam tanah dan sekaligus laju transfer logam dari akar ke tajuk. Kelat dapat diterapkan untuk jenis-jenis logam

termasuk Pb, Cd, Cu, Ni dan Zn (Blaylock *et al.* 1997; Blaylock *et al.* 1999).

Penelitian ini bertujuan mempelajari potensi *Saccharum spontaneum* dalam mengakumulasi Pb dan efektivitas EDTA dalam meningkatkan akumulasi Pb pada tajuk tanaman.

BAHAN DAN CARA KERJA

Dari hasil survey terdahulu dilaporkan bahwa lahan bekas penambangan emas terbukti mengandung logam berat, termasuk Pb, Zn, Cd, Fe dan Hg yang tinggi, jauh lebih tinggi dibandingkan tanah non limbah (Hidayati & Saefudin 2005). Disamping itu mengandung unsur C organik dan KTK yang rendah. Untuk tujuan fitoremediasi lahan seperti ini memerlukan perlakuan khusus untuk memperbaiki kualitas tanahnya disamping dipilih jenis tanaman yang sesuai dan toleran.

Untuk mengatasi kendala tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai cara memperbaiki kondisi lahan dengan teknologi dan pemilihan tanaman yang tepat. Salah satu dari serangkaian penelitian yang dilakukan adalah mempelajari karakter tumbuhan hipertoleran dalam mengakumulasi logam berat pencemar dan mempelajari penggunaan bahan pemacu penyerapan logam berat sehingga diharapkan dapat mempercepat proses pembersihan lahan yang terkontaminasi. Dalam hal ini penelitian dilakukan secara *ex-situ* dengan menggunakan media dan bahan tanaman yang dikoleksi dari lingkungan yang tercemar.

Penelitian *ex-situ* ini dilakukan di rumah kaca Laboratorium Treub, Pusat Penelitian Biologi LIPI Bogor dengan kondisi rata-rata suhu udara $\pm 30^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $\pm 88\%$. Media limbah dan bahan hidup tanaman *Saccharum spontaneum* untuk penelitian dikoleksi dari tailing dam PT Aneka Tambang Pongkor, Desa Bantar Karet, Kabupaten Bogor.

Dalam penelitian ini *Saccharum spontaneum*, sebagai jenis yang paling toleran di lokasi ditanam secara *ex-situ* dalam pot dengan media limbah tailing dam ditambah Pb dengan tingkat 0 ppm (Po), 100 ppm (P1), 200 ppm (P2), 300 ppm (P3). Aplikasi kelat berupa EDTA dengan konsentrasi 100 ppm (K1) ditambahkan setelah tanaman berumur 11 minggu dan sudah memproduksi biomasa yang cukup. Sebagai pembanding adalah tanaman yang tidak diberi kelat (Ko). Percobaan dirancang secara acak kelompok faktorial dengan lima ulangan.

Variabel yang diamati meliputi berat basah dan berat kering waktu panen, penambahan jumlah anakan, penambahan tinggi tanaman, penambahan jumlah daun, akumulasi Pb pada akar dan tajuk dan kandungan Pb media.

HASIL

Dari data hasil penelitian dapat diketahui potensi *Saccharum spontaneum* sebagai tumbuhan hipertoleransi yang memiliki peluang untuk ditingkatkan menjadi tumbuhan hiperakumulasi. Sebagai tumbuhan hipertoleransi ditunjukkan oleh tanaman ini dengan kemampuan pertumbuhannya pada media limbah tailing dam yang kondisinya marginal dan bahkan pada media tailing dam yang ditambah timbal (Pb) hingga 300 ppm.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa hingga minggu ke sebelas setelah tanam, pertumbuhan tanaman masih meningkat.

Tabel 1. Pertumbuhan tanaman sebelum dan sesudah diberi perlakuan

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)					
	Umur Tanaman (minggu)					
	2	4	6	8	11	15
PoKo	49.0	94.0	97.6	103.6	111.4	124.7
PoK1	40.4	81.8	99.5	106.8	118.0	125.3
P1Ko	61.2	118.6	123.6	130.0	142.0	153.2
P1K1	62.0	126.4	131.4	141.4	158.6	171.2
P2Ko	57.2	109.2	116.0	123.6	129.0	132.6
P2K1	50.8	95.8	101.6	108.2	114.1	119.2
P3Ko	53.6	105.8	113.4	123.2	133.4	138.6
P3K1	52.6	99.4	104.2	119	132.6	140.6.8

Tabel 1. Lanjutan

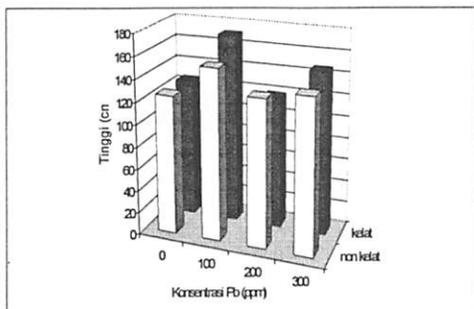
	Jumlah Anakan					
PoKo	2.4	4.8	5.4	5.4	5.4	5.4
PoK1	1.4	2.2	3.0	3.0	3.25	3.25
P1Ko	2.8	4.6	5	5	5.2	5
P1K1	2.6	3.8	4.2	4.4	4.6	5
P2Ko	2.2	3.2	3.4	3.8	4.4	4.8
P2K1	2	2.6	2.8	3	2.2	2.6
P3Ko	2.4	3.4	3.8	3.8	4.0	4.2
P3K1	2.2	3.3	3.2	3.2	3.4	3.4
	Jumlah Daun					
PoKo	10.4	18.2	21.8	24.8	23.6	18.2
PoK1	6	10	14.75	16.5	15.5	14.75
P1Ko	11	21	24.4	26	30.0	23.4
P1K1	8	15.6	18.4	20.4	21.6	19.0
P2Ko	8.2	16.2	19.6	20.8	19.2	15.8
P2K1	5	10.2	12	12.8	12.2	11.0
P3Ko	8	15	17.6	19	19.2	18.8
P3K1	6	11	14.8	18	17.4	15.0

Dalam satu bulan setelah perlakuan tanaman belum menunjukkan respon terhadap perlakuan Pb dan kelat, bahkan tanaman masih menunjukkan adanya pertambahan tinggi walaupun jumlah anakan dan jumlah daun mengalami sedikit penurunan karena adanya anakan yang mati dan daun yang mengering.

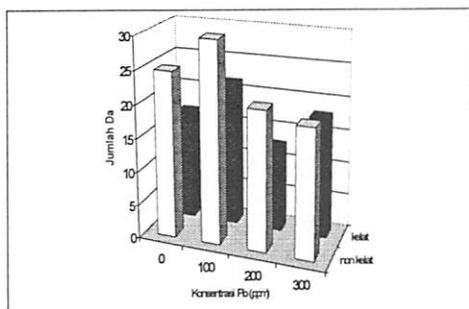
Perlakuan Pb hingga 300 ppm tidak mengakibatkan penurunan tinggi tanaman, akan tetapi mengakibatkan penurunan pada jumlah daun dan jumlah anakan. Penurunan lebih besar pada tanaman

yang diberi perlakuan kelat. Hal ini terjadi karena tanaman yang diberi kelat menyerap Pb lebih banyak dari pada tanaman yang tidak diberi kelat (Gambar 1,2,3 dan Tabel 2).

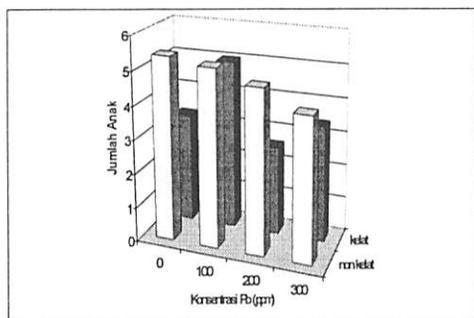
Produksi biomasa tanaman menurun dengan meningkatnya tingkat Pb dan pemberian kelat. Penurunan ini terjadi dengan pola yang sama baik pada tajuk maupun akar yang ditimbang secara terpisah sehingga tidak mengakibatkan perubahan pada indeks akar/tajuk pada tiap perlakuan (Gambar 4).



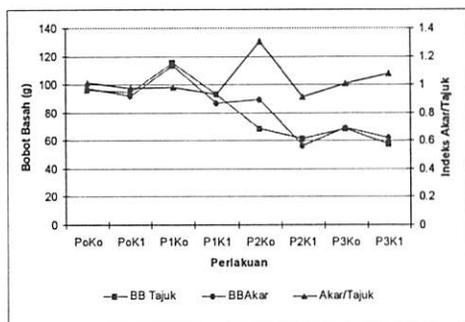
Gambar 1. Tinggi Tanaman pada Berbagai Tingkat Penambahan Pb dan Pemberian Kelat



Gambar 3. Jumlah Daun pada Berbagai Tingkat Penambahan Pb dan Perlakuan Kelat



Gambar 2. Jumlah Anak pada Berbagai Tingkat Penambahan Pb dan Perlakuan Kelat



Keterangan: Po: Penambahan Pb 0 ppm; P1: Pb 100 ppm; P2: Pb 200 ppm; P3: Pb 300 ppm. Ko: Tanpa kelat; K1: Dengan kelat

Gambar 4. Bobot Tajuk dan Akar serta Indeks Akar/Tajuk pada berbagai Perlakuan Pb dan Kelat

Tabel 2. Kandungan timbal (Pb) pada media satu bulan setelah perlakuan dan Pb pada tanaman dua bulan setelah perlakuan

NO	Perlakuan	Pb media (ppm)		Pb tanaman (ppm)		
		Total	Tersedia	Tajuk	Akar	Total
1	PoKo	140.1	19.8	5.3	23.1	28.4
2	PoK1	122.6	20.1	5.3	20.2	25.5
3	P1Ko	117.1	19.1	6.4	25.6	32.0
4	P1K1	127.8	19.8	5.9	28.7	34.6
5	P2Ko	132.8	21.1	9.5	20.6	31.1
6	P2K1	138.6	20.8	11.8	21.6	33.4
7	P3Ko	150.6	23.0	7.5	36.7	44.2
8	P3K1	133.3	21.6	11.3	34.4	45.7

Keterangan: Po: Pb 0 ppm; P1: Pb 100 ppm; P2: Pb 200 ppm; P3: Pb 300 ppm. Ko: Tanpa kelat; K1: Dengan kelat

Hasil analisis kandungan Pb pada media yang dilakukan satu bulan setelah aplikasi Pb dan EDTA menunjukkan adanya sedikit perbedaan total Pb antara perlakuan kelat dan non kelat sementara kandungan Pb tersedia pada media dengan perlakuan kelat sedikit lebih rendah dibanding media tanpa kelat. Ada kemungkinan bahwa dalam jangka waktu satu bulan jumlah Pb tersedia yang terserap tanaman lebih banyak pada perlakuan kelat. Fakta ini ditunjang oleh data kandungan Pb pada tanaman cenderung lebih tinggi pada perlakuan kelat (Tabel 2).

Perlakuan kelat ditujukan untuk meningkatkan akumulasi Pb oleh tanaman, terlebih akumulasi pada tajuk tanaman yang merupakan bagian yang mudah dipanen dan dimusnahkan. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa ada kecenderungan tujuan tersebut terpenuhi oleh perlakuan kelat. Terutama pada tingkat perlakuan Pb 200 dan 300 ppm akumulasi Pb pada tajuk menunjukkan peningkatan walaupun proporsi keseluruhan masih lebih banyak terkonsentrasi pada akar (Tabel 2). Ada kecenderungan pula bahwa semakin tinggi kandungan Pb pada media semakin tinggi pula akumulasi Pb pada tanaman.

PEMBAHASAN

Banyak hasil penelitian melaporkan bahwa aplikasi EDTA menjadikan akumulasi Pb pada tajuk secara langsung berkorelasi dengan akumulasi EDTA. Diperkirakan Pb ditransportasi dalam tanaman dalam bentuk kompleks Pb-EDTA menjadikan Pb lebih mudah

ditransportasi dari akar ke tajuk, dimana kemudian Pb diakumulasi dalam bentuk ikatan kompleks Pb-EDTA.

Walaupun demikian besarnya akumulasi Pb pada tajuk dan ketersediaan Pb dalam tanah dalam penelitian ini selain dipengaruhi oleh adanya perlakuan yang diberikan, juga dipengaruhi oleh banyak faktor lain yang belum diteliti.

Hasil temuan peneliti terdahulu menunjukkan bahwa kebanyakan kandungan Pb pada jaringan tanaman adalah 10 mg g⁻¹, tetapi tumbuhan hiperakumulator dengan mengakumulasi Pb pada tajuk sedikitnya 1000 mg g⁻¹. Vegetasi yang tumbuh pada tempat-tempat terkontaminasi sering dijumpai mengandung kurang dari 50 ppm Pb pada tajuknya (Cunningham *et al.* 1995). Tanpa adanya perlakuan amendmen tumbuhan hiperakumulator sekalipun sulit mengakumulasi Pb lebih dari 0.1 % pada tajuknya (Huang *et al.* 1997). Hiperakumulator Pb yang paling banyak digunakan adalah kultivar *Thalaspia rotundifolium* (L.) Gaud-Beaup yang dapat mengakumulasi hingga 8500 mg g⁻¹ Pb pada tajuknya (Reeves & Brooks, 1983 Dalam Hong *et al.* 2006).

Selain itu banyak faktor lain yang masih harus diteliti yang berpengaruh terhadap akumulasi logam pada tajuk tanaman diantaranya adalah pupuk dan pH media. Secara umum semakin banyak produksi biomasa semakin banyak pula logam yang terakumulasi karena kandungan logam dalam tanaman merupakan fungsi dari total biomasa. Jadi penggunaan pupuk penting untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman

dan produksi biomasa. Pada umumnya pada tanah yang tercemar Pb ketersediaan P dapat dipastikan rendah karena adanya ikatan Pb-P. Jadi aplikasi pupuk P pada daun dapat membantu meningkatkan kandungan P pada tanaman tanpa mengalami masalah ikatan Pb-P dalam tanah. Aplikasi P pada daun ini terbukti dapat meningkatkan berat kering tanaman lebih dari 4 kalinya pada satu bulan setelah perlakuan pada tanaman goldenrad. Sebaliknya aplikasi P pada tanah secara tajam menurunkan ketersediaan Pb karena semakin banyak Pb yang membentuk ikatan Pb-P dalam tanah (Hong *et al.* 2006).

pH tanah merupakan parameter penting bagi penyerapan logam karena nilai pH tanah merupakan faktor utama dalam mengontrol ketersediaan logam di dalam tanah (Alloway 1990 Dalam Hong *et al.* 2006). Dengan aplikasi pupuk yang mengandung ammonium atau bahan pengasam tanah, ketersediaan Pb dalam tanah dan *uptake* oleh tanaman dapat ditingkatkan (Huang *et al.* 1997; Salt 2000). Pada tanah dengan nilai pH kurang dari 5.6 terdapat lebih banyak logam yang tersedia dari pada pada pH di atas 5.6. pH optimum untuk pertumbuhan tanaman adalah 5.0 - 8.0 maka walaupun ketersediaan Pb lebih baik pada pH lebih rendah tetapi media tanam tetap harus memenuhi kebutuhan pH optimum bagi pertumbuhan tanaman karena pH lebih rendah dapat menghambat pertumbuhan tanaman itu sendiri (Chlopecka *et al.* 1996 Dalam Hong *et al.* 2006).

Kekurangan dari aplikasi kelat bila diterapkan skala lingkungan yang luas adalah semakin banyak ketersediaan logam akibat pemberian kelat akan semakin besar pula ketersediaannya bagi tumbuhan, hewan dan manusia, dalam artian semakin besar pula peluangnya untuk mencemari air tanah dan masuk ke dalam rantai makanan. Solusinya adalah dengan menjaga cara pemberian yang tepat seperti menjaga dosis sekecil mungkin, mencari waktu yang tepat yakni apabila tanaman sudah memproduksi biomasa cukup untuk menyerah logam dan tempat pemberian sedapat mungkin dijaga pada sekitar zona perakaran saja serta waktu pemanenan yang tepat tidak terlalu lama setelah kelat diberikan. Untuk itu serangkaian riset masih harus terus dilakukan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di rumah kaca diketahui potensi akumulasi logam berat tanaman *Saccharum spontaneum*. Dalam satu kali musim tanam hingga umur 4 bulan dapat mengakumulasi hingga 45.7 ppm Pb pada 300 ppm Pb yang diaplikasikan. Dengan mengetahui kemampuan akumulasi logam berat pada tumbuhan potensial dan karakter limbah maka selanjutnya akan dilakukan riset pada skala lapangan secara *in-situ* untuk mempelajari berapa musim tanam yang diperlukan oleh satu jenis tanaman hiperakumulator dalam membersihkan logam berat pada satu area terkontaminasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Berti, WR & SD Cunningham. 1997. In-place inactivation of Pb in Pb-contaminated soils. *Environ Sci Technol*. 31:1359-1364.
- Blaylock, MJ, DE. Salt, S. Dushenkov, O. Zakharova, C. Gussman, Y. Kapulnik, BD. Ensley & I. Raskin. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environ. Sci. Technol* 31:860-865.
- Blaylock, MJ., MP Elles, JW Huang & SM. Dushenkov. 1999. Phytoremediation of lead-contaminated soil at a New Jersey Brownfield site. *Remediation*, Summer, 03-101.
- Chaney, RL., SL. Brown, YM. Li, JS. Angle, F. Homer & C. Green. 1995. Potential use of metal hyperaccumulators. *Mining. Environ. Manag.* 3(3):9-11.
- Cunningham SD, WR Berti & JW Huang. 1995. Phytoremediation of contaminated soils. *Trends. Biotech.* 13:393-397.
- Emmyzar & Hermanto. 2004. Rehabilitasi tanah tercemar Pb menggunakan tanaman akar wangi. *Gakuryoku X* : 37-40.
- Hidayati N. & Saefudin. 2005. Potensi Hipertoleransi dan Serapan Beberapa Jenis Tumbuhan pada Limbah Pengolahan Emas. *Jurnal Biologi Indonesia*. III (9)
- Hong, PKA, RW Okey, SW Lin & TC Chen. 2006. Structure-activity relationship of heavy metals extraction from soil by chelating agents. <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/95Proceed/hong.html>.
- Huang, JW & SD. Cunningham. 1996. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytol.* 134:75-84.
- Huang, JW, J. Chen, WB. Berti & SD. Cunningham. 1997. Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Enviro. Sci. Technol* 31:800-805.
- Li .YM., RL. Chaney, JS. Angle & AJM. Baker. 2000. Phytoremediation of heavy metal contaminated soils. In: Wise DL, D.J. Trantolo, E.J. Cichon, H.I. Inyang & U. Stottmeister (eds). *Bioremediation of Cotaminated Soils*. Marcek Dekker Inc. New York. Basel. 837-857.
- Salt DE. 2000. Phytoextraction: Present applications and future promise. Di dalam: Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ., Inyang HI, dan Stottmeister U (Ed). *Bioremediation of Cotaminated Soils* Marcek Dekker Inc. New York; Basel. 729-743.
- Sambas, EN. 2003. Analisis Vegetasi Tumbuhan Bawah pada Areal Tailing Dam PT Aneka Tambang (Antam) Pongkor. Laporan Teknik. Pusat Penelitian Biologi LIPI Bogor.