

Cekaman Logam Berat Cromium Terhadap Tanaman (*Chromium Heavy Metal Stress on Plants*)

Muhammad Hendrawan Suharjo*, Rika Ernawati, Nurkhamim

Program Studi Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
m.hendrawansuharjo@gmail.com

Abstrak

Logam berat adalah unsur logam dengan berat/massa atom tinggi. Dalam kajian lingkungan logam dikategorikan menjadi logam berat jika memiliki berat jenis lebih besar dari 5 g/ml. Secara umum logam berat sudah bersifat racun pada konsentrasi yang rendah bagi tumbuhan, hewan dan manusia. Logam berat dapat bersumber pada aktivitas alam (geogenic) dan aktivitas manusia (anthropogenic). Secara alami magma gunung api mengandung logam berat, demikian juga berbagai batuan juga mengandung logam berat. Sumber logam berat yang berasal dari aktivitas manusia antara lain gas buangan kendaraan bermotor, pertambangan, industri elektronika dan kimia, pestisida, pupuk dan lain-lain. Fakta yang ada menunjukkan bahwa masuknya logam berat ke tanah/ lingkungan terutama akibat aktivitas manusia. Masuknya logam berat ke lingkungan tidak serta merta meracuni makhluk hidup akan tetapi logam berat baru meracuni jika masuk ke dalam sistem metabolisme makhluk hidup dan melampaui ambang batas. Ambang batas untuk setiap jenis logam berat dan makhluk hidup berbeda. Mekanisme tanaman dalam menghadapi logam berat dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung jenis tanaman yaitu melalui fitoekstraksi dan fitokelatin. Fitoekstraksi adalah salah satu bentuk fitoremediasi dimana tanaman melalui akar tanaman menyerap pencemar (logam berat) dari larutan tanah dan diakumulasi di batang dan daun (bagian tanaman yang dapat dipanen). Fitoekstraksi biasa digunakan untuk memulihkan tanah tercemar khususnya logam berat seperti Pb. Tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dalam jumlah yang lebih banyak disebut tanaman hyperaccumulator (hiperakumulator). Tanaman hiperakumulator adalah tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat pada jaringan tanam dan bagian yang dapat dipanen yang berada di atas tanah pada kisaran 0,1 – 1% dari berat keringnya.

Kata Kunci : cromium, hiperakumaltor, logam berat

Abstract

Heavy metals are metallic elements with a high atomic mass. In environmental studies, metals are categorized into heavy metals if they have a weight greater than 5 g / ml. In general, heavy metals are already toxic at low concentrations for plants, animals, and humans. Heavy metals can be sourced from natural (geogenic) and human (anthropogenic) activities. Naturally, volcanic magma contains heavy metals, as well as various rocks also contain heavy metals. Sources of heavy metals derived from human activities include motor vehicle exhaust gases, mining, electronics and chemical industries, pesticides, fertilizers, and others. Existing facts show that the entry of heavy metals into the soil/environment is mainly due to human activity. The entry of heavy metals into the environment does not necessarily poison living things, but new heavy metals poison if they enter the metabolic system of living things and exceed the threshold. The threshold for each type of heavy metal and living thing is different. The mechanism of plants in the use of heavy metals can be done in various ways depending on the type of plant, namely through phytoextraction and phytochelatin. Phyto extract is one form of phytoremediation in which plants through plant roots absorb pollutants (heavy metals) from soil solutions and accumulate in stems and leaves (the parts of the plant that can be harvested). Phytoextracts are commonly used to recover contaminated soil, especially heavy metals such as Pb. Hyperaccumulator plants are plants that be able to accumulation heavy metals in the growing tissue and harvestable parts that are above ground in the range of 0.1 - 1% of their dry weight.

Keywords: chromium, heavy metals, hyperaccumulator

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kekayaan alam yang sangat besar termasuk kekayaan tambang. Menurut Gautama (2007) untuk pertambangan mineral, Indonesia merupakan negara penghasil timah peringkat ke-2, tembaga peringkat ke-3, nikel peringkat ke-4, dan emas peringkat ke-8 dunia. Lokasi pertambangan di Indonesia juga tidak diperhatikan dengan baik setelah lokasi tambang tidak menjanjikan secara ekonomi. Hal inilah yang kemudian menjadi masalah dalam pencemaran Lingkungan. Persoalan pencemaran lingkungan tidak berhenti hanya sampai kepada masalah tambang. Sumber pencemaran lingkungan dapat juga berasal dari limbah pabrik penyamakan kulit atau bahkan sisa praktikum di sekolah

dan perguruan tinggi di Indonesia yang menggunakan bahan kimia termasuk persenyawaan logam berat. Hal ini dapat membahayakan lingkungan sebab dalam UU No. 4/1992 disebutkan bahwa pencemaran lingkungan adalah masuknya/ dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan dan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas menurun.

Dewasa ini di sektor pertanian tidak saja memusatkan perhatian pada aktivitas budidaya saja akan tetapi juga harus makin memperhatikan isu penting yang terkait dengan upaya pelestarian sumber daya alam dan lingkungan. Praktek pertanian yang dilakukan selama ini dalam upaya pemenuhan kebutuhan pangan ternyata telah mengakibatkan terdegradasinya lahan dan menurunnya kualitas lingkungan yang ditandai dengan melandainya dan cenderung menurunnya produktivitas lahan pertanian sehingga mengancam keberlanjutan produktivitasnya.

Salah satu tantangan yang dihadapi sektor pertanian adalah penurunan produktivitas akibat degradasi sumber daya lahan dan air serta penurunan kualitas lingkungan. Aktivitas pertanian dalam perkembangannya sangat berorientasi pada penggunaan bahan-bahan kimia pertanian. Penggunaan bahan-bahan ini dalam jangka panjang ternyata berdampak pada rusaknya sumber daya tanah sehingga menurunkan kemampuannya dalam memproduksi. Banyaknya bahan-bahan pencemar (polutan) berada dalam tanah, salah satunya adalah logam berat. Penangan tanah tercemar logam berat cukup sulit karena tidak dapat didegradasi oleh mikroba dalam tanah. Pencemaran lingkungan merupakan permasalahan yang tidak dapat dihindari. Pencemaran selalu memberikan dampak negatif kepada kehidupan. Salah satu pencemar yang penting mendapat perhatian dari sumber-sumber kegiatan manusia adalah logam berat. Pencemar logam berat oleh kegiatan manusia dapat berasal dari kegiatan industri, pertambangan, pertanian, dan rumah tangga. Polusi logam berat di dalam tanah maupun perairan merupakan masalah yang serius bagi lingkungan dan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan pertanian. Berbagai jenis tanaman mempunyai kemampuan mendetoksifikasi logam berat sehingga mampu tumbuh pada lahan dengan cekaman logam berat. Berbagai jenis tanaman telah diteliti karena potensinya untuk fitoremediasi logam berat. Famili Brassicaceae, bunga matahari, dan jenis rumput-rumputan merupakan contoh jenis-jenis tanaman yang berpotensi untuk fitoremediasi logam berat. Logam berat dapat diakumulasi di dalam organ-organ tanaman antara lain akar, batang, daun, bunga, buah dan biji. Tergantung jenis logamnya, akumulasi dapat terjadi di dalam dinding sel (seperti untuk Cd), vakuola (untuk Zn), kloroplas (untuk Ni), dan lain-lain.

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi, berat jenisnya lebih dari 5 g/cm³ (Connel & Miller, 2006). Dalam kadar rendah, logam berat umumnya sudah beracun bagi tumbuhan, hewan, dan manusia. Beberapa logam berat yang sering mencemari habitat adalah *Hg*, *Cr*, *As*, *Cd*, dan *Pb* (Notohadiprawiro, 2016). Logam berat adalah unsur logam dengan berat/ massa atom tinggi. Dalam kajian lingkungan logam dikategorikan menjadi logam berat jika memiliki berat jenis lebih besar dari 5 g/ml. Secara umum logam berat sudah bersifat racun pada konsentrasi yang rendah bagi tumbuhan, hewan dan manusia (American Geologic Institute, 1976 dalam Notohadiprawiro, 2016). Logam berat dapat bersumber pada aktivitas alam (geogenic) dan aktivitas manusia (anthropogenic). Secara alami magma gunung api mengandung logam berat, demikian juga berbagai batuan juga mengandung logam berat. Sumber logam berat yang berasal dari aktivitas manusia antara lain gas buangan kendaraan bermotor, pertambangan, industri elektronika dan kimia, pestisida, pupuk dan lain-lain. Logam berat dapat masuk ke dalam lingkungan khususnya tanah dikarenakan oleh : 1. Tersingkapnya longgokan logam berat dalam bumi baik karena erosi maupun penambangan , 2. Pelapukan batuan yang mengandung logam berat dan menjadi residu dalam tanah, 3. Penggunaan bahan alami menjadi pupuk atau pembenah tanah, 4. Pembuangan limbah industri dan sampah (Notohadiprawiro, 2016).

Fakta yang ada menunjukkan bahwa masuknya logam berat ke tanah/ lingkungan terutama akibat aktivitas manusia. Masuknya logam berat ke lingkungan tidak serta merta meracuni makhluk hidup akan tetapi logam berat baru meracuni jika masuk ke dalam sistem metabolisme makhluk hidup dan melampaui ambang batas . Ambang batas untuk setiap jenis logam berat dan makhluk hidup berbeda. Masuknya logam berat ke dalam metabolisme manusia dan hewan terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Pemasukan secara langsung terjadi melalui air yang diminum, udara yang dihirup atau persinggungan dengan kulit. Secara tidak langsung logam berat masuk melalui bahan yang dimakan. Dalam kejadian ini sumber logam berat berasal dari tanah, air dan udara melalui perantara tumbuhan yang menyerapnya dan mengumpulkannya dalam jaringan tumbuhan yang akan dimakan oleh manusia dan hewan (Notohadiprawiro, 2016).

Berdasarkan tinjauan yang menyeluruh bentuk logam berat dalam tanah dapat dikelompokkan menjadi beberapa bentuk :

1. larut dalam air dan berada dalam larutan tanah

2. dapat dipertukarkan, terjerap pada kompleks jerapan koloid tanah
3. terikat secara organik, berasosiasi dengan humus yang tidak terlarutkan
4. terjerap (occluded) dalam oksida besi dan mangan
5. bersenyawa dengan sulfida, fosfat dan karbonat
6. terikat secara struktural dalam mineral silikat atau mineral primer

Bentuk yang larut dalam air hanya 1-5 %, walaupun bentuk ini paling sedikit namun menjadi sangat penting ditinjau dari aspek lingkungan karena penyerapan oleh tanaman dan pengangkutannya dalam lingkungan tergantung pada bentuk logam berat ini. Dalam tanah logam berat ditahan melalui erapan, presipitasi dan kompleksasi dan keluar dari tanah melalui pengambilan oleh tanaman dan pencucian. Beberapa logam berat seperti arsen, merkuri dan selenium dapat mengalami penguapan karena mampu membentuk persenyawaan dalam bentuk gas. Dinamika logam berat di lingkungan/ tanah ditentukan oleh sifat tanah dan faktor lingkungan. Parameter penting yang selalu menjadi perhatian dalam kajian logam berat adalah ketersediaan hayati (bioavailabilty) dalam tanah. Hal ini menjadi penting dalam kaitannya dengan usaha bioremediasi pada tanah tercemar logam berat.

Beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan hayati logam berat antara lain adalah :

1. pH tanah
2. kandungan bahan organik tanah
3. kapasitas tukar kation dan kapasitas tukar anion
4. jenis tanah

Ketersediaan hayati logam berat dipengaruhi oleh pH tanah, dimana pH tanah akan mempengaruhi erapan pencemar anorganik seperti logam berat maupun pencemar organik yang dapat terionisasi. Perubahan pH tanah mengakibatkan perubahan pada muatan berubah (variable charge) baik pada tanah yang sudah lanjut pelapukannya maupun yang baru pelapukannya. Kenaikan pH mengakibatkan naiknya muatan tanah sehingga memperbesar muatan negatif tanah, sehingga makin banyak kation logam berat yang dapat dijerap. Bahan organik tanah adalah polimer hasil dekomposisi sisa-sisa tanaman atau makhluk hidup oleh mikroba ataupun proses degradasi kimia. Bahan organik tanah memiliki afinitas yang tinggi dalam mengikat logam berat yang akan dapat mengurangi ketersediaan hayatinya. Namun jika asam organik yang memiliki gugus fungsional hadir menjadi bagian bahan organik tanah maka ini akan menguntungkan karena memiliki kemampuan membentuk kompleks organo metal atau khelat yang dapat meningkatkan mobilitas logam berat dalam larutan tanah. Kapasitas tukar kation (KTK) terkait dengan muatan negatif tanah yang merupakan manifestasi dari koloid liat dan bahan organik tanah. Sebaliknya kapasitas tukar anion (KTA) terkait dengan muatan positif tanah yang secara umum diasosiasikan dengan oksida mineral. Baik KTK maupun KTA ditentukan oleh tipe mineral liat, kandungan bahan organik tanah dan pH. Tanah dengan kandungan liat yang tinggi memiliki afinitas yang tinggi pada logam berat hal ini membuat ketersediaan logam berat menjadi berkurang.

Jenis tanah menunjukkan sifat dan karakter tanah yang spesifik yang membedakannya dari yang lain. Tanah di tropis didominasi oleh Ultisol dan Oxisol yang memiliki muatan berubah yang berbeda dengan tanah di subtropis dilihat dari asal muatannya. Tanah di tropis dicirikan oleh liat beraktivitas rendah yang didominasi oleh oksida dan hidroksida Fe dan Al. Berbeda dengan tanah tropis, tanah daerah subtropis didominasi oleh Alfisol, Mollisol, Vertisol, yang dicirikan oleh liat beraktivitas tinggi. Ciri yang berbeda ini mengakibatkan berbedanya ketersediaan hayati logam berat pada tanah Ultisol dan Oxisol dengan tanah Alfisol, Mollisol dan Vertisol. Usaha untuk memulihkan tanah dari pencemaran logam berat umumnya dan Pb secara khusus dapat dilakukan dengan memadukan dua pendekatan. Pendekatan pertama dapat dilakukan dengan meningkatkan ketersediaan hayati dalam tanah yaitu melalui mobilisasi Pb sehingga kelarutan dalam tanah menjadi lebih tinggi. Sedangkan pendekatan kedua dengan memanfaatkan tanaman hyperaccumulator untuk melakukan ekstraksi Pb dari larutan tanah.

METODOLOGI

Bahan dan metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah mengambil atau melakukan sistesa beberapa pendapat atau teori yang di telah dipublikasi oleh para peneiti melalui tulisan pada beberapa jurnal ilmiah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Beberapa Logam Berat Terhadap Tanaman dan Lingkungan

1.1. Logam Berat Cromium (Cr)

Chromium (Cr) adalah elemen logam keras berwarna abu-abu. Di lingkungan, ia dapat hadir sebagai kromium trivalen (Cr(III)) dan kromium heksavalen (Cr(VI)). Dalam kondisi netral atau basa, Cr(III)

adalah bentuk paling umum dari Cr alami sebagai $\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{s})$ dan memiliki mobilitas terbatas (Apte et al., 2006). $\text{Cr}(\text{III})$ juga dapat diserap pada mineral besi dan lempung. Penyerapan $\text{Cr}(\text{III})$ meningkat ketika pH naik, karena permukaan lempung menjadi lebih bermuatan negatif dan juga meningkat ketika kandungan bahan organik dalam tanah meningkat (Choppala dkk., 2013). Meskipun $\text{Cr}(\text{III})$ tidak terlalu beracun, ia dapat dioksidasi menjadi $\text{Cr}(\text{VI})$ yang mengarah pada pembentukan bentuk anioniknya (CrO_4^{2-} , HCrO_4^- dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) yang sangat mobile dan larut. Ini dapat menjadi racun bagi tumbuhan dan hewan, menjadi oksidator kuat, korosif dan karsinogen potensial (Fendorf, 1995). $\text{Cr}(\text{VI})$ dapat diproduksi setelah oksidasi $\text{Cr}(\text{III})$ menjadi $\text{Cr}(\text{VI})$ dalam tanah.

Di daerah ultrabasa, yang dicirikan oleh kandungan logam berat yang tinggi termasuk Cr, proses pelapukan merupakan sumber alami $\text{Cr}(\text{VI})$ untuk masuk ke dalam perairan. Tidak hanya pada proses pelapukan batuan, tetapi juga pengaruh residu atau batuan yang diubah, yang dihasilkan dari kegiatan penambangan sehingga akan terpapar ke udara terbuka dan terkena curah hujan, sehingga akibatnya beberapa logam dapat terlarut. Kromium hadir di berbagai media lingkungan termasuk permukaan dan air tanah, air laut, udara, tanah, sedimen dan batuan. Kromium dapat masuk ke lingkungan melalui sumber alami dan melalui jalur antropogenik (Choppala dkk., 2013).

Kromium dapat berada dalam beberapa keadaan oksidasi, mulai angka dari 0 hingga VI, namun hanya kromium trivalen ($\text{Cr}(\text{III})$) dan heksavalen ($\text{Cr}(\text{VI})$) yang cukup stabil untuk terjadi di lingkungan (Choppala dkk., 2013; Fendorf, 1995; Kotas dan Stasicka, 2000). Dalam lingkungan perairan netral dan basa, $\text{Cr}(\text{III})$ berikatan dengan molekul yang berdekatan dari spesies yang sama dan akhirnya mengendap sebagai $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (Salem dkk., 1989). Di sisi lain, kromium heksavalen ($\text{Cr}(\text{VI})$) adalah oksidan kuat dan stabil di bawah potensi redoks tinggi, tanpa adanya reduktor (Choppala dkk., 2013). Dalam air, $\text{Cr}(\text{VI})$ membentuk beberapa spesies anionik dan proporsi relatifnya bergantung pada pH dan konsentrasi Cr total (Kotas dan Stasicka, 2000). Dalam kisaran pH antara 1 dan 6, HCrO_4^- adalah bentuk $\text{Cr}(\text{VI})$ yang dominan, dan di atas 7 hanya CrO_4^{2-} yang ada dalam larutan. Dalam kisaran pH normal (4 - 9) di perairan alami, CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dan HCrO_4^- adalah bentuk yang diharapkan (Kotas dan Stasicka, 2000). Pada kondisi pH asam hingga netral, $\text{Cr}(\text{VI})$ memiliki stabilitas redoks termodinamika yang terbatas dan dapat dengan mudah teradsorpsi pada Fe oksida dan hidroksida, sedangkan pada kondisi pH tinggi lebih mobile (Stefánsson dkk., 2015). Anion $\text{Cr}(\text{VI})$ dapat larut ke dalam tanah yang lebih dalam dan akhirnya mencapai air tanah atau dapat diambil oleh tanaman. Untuk memahami mobilitas dan nasib kromium di lingkungan, tiga kelompok reaksi harus dipertimbangkan: oksidasi-reduksi, sorpsi-desorpsi dan presipitasi-disolusi.

Reaksi oksidasi dan reduksi dapat mengubah $\text{Cr}(\text{VI})$ menjadi $\text{Cr}(\text{III})$ dan sebaliknya, dan prosesnya bergantung pada pH, konsentrasi O dan keberadaan reduksi dan mediator yang bertindak sebagai ligan atau katalis. Bentuk gerak $\text{Cr}(\text{VI})$ (HCrO_4^- dan CrO_4^{2-}) dapat direduksi dengan adanya $\text{Fe}(\text{II})$ dan S_2^- . $\text{Cr}(\text{III})$ yang dihasilkan diangkut oleh ligan bergerak seperti fulvat dan sitrat ke tempat oksidasi dimana $\text{Mn}(\text{III})$ dan $\text{Mn}(\text{IV})$ direduksi menjadi $\text{Mn}(\text{II})$ dan secara paralel $\text{Cr}(\text{III})$ dioksidasi menjadi $\text{Cr}(\text{VI})$ (Kotas dan Stasicka, 2000). Oksidasi $\text{Cr}(\text{III})$ menjadi $\text{Cr}(\text{VI})$ merupakan bahaya, karena spesies yang agak tidak berbahaya diubah menjadi spesies yang beracun. Peran Mn-oksida pada oksidasi $\text{Cr}(\text{III})$ telah dipelajari oleh Fandeur dkk. (2009) dalam regolith laterit di batuan ultrabasa Kaledonia Baru. Jumlah terbesar $\text{Cr}(\text{VI})$ diamati di sekitar Mn-oksida. Distribusi $\text{Cr}(\text{VI})$ menunjukkan oksidasi $\text{Cr}(\text{III})$ oleh Mn-oksida dengan konsekuensi readsorpsi pada Fe-oksida. Tanah ultramafik dengan kandungan Lempung dan Cr total yang tinggi cenderung mengandung $\text{Cr}(\text{III})$ labil yang mampu teroksidasi menjadi $\text{Cr}(\text{VI})$ yang beracun. Selain itu, siklus pembasahan-pengeringan mendorong proses ini (Cooper, 2002).

1.2. Logam Berat Kadmium (Cd)

Kadmium pertama kali ditemukan tahun 1817 oleh seorang ilmuwan Jerman, Friedric Strochmeyer. Logam ini ditemukan dalam batuan Calamine (Seng karbonat). Kadmium diambil dari kata latin "calamine", yaitu cadmia. Logam ini merupakan salah satu dari tiga logam berat yang memiliki tingkat bahaya yang tinggi pada kesehatan manusia, karena beresiko tinggi pada pembuluh darah, terakumulasi pada hati dan ginjal dan terlihat pengaruhnya setelah jangka waktu lama (Wikipedia, 2008). Jumlah Cd normal di tanah kurang dari $1 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan tertinggi $1700 \mu\text{g Kg}^{-1}$, yaitu pada tanah yang diambil dari pertambangan seng. Pemupukan fosfat dan pupuk kandang memiliki kontribusi terhadap peningkatan Cd pada lahan pertanian. Batuan fosfat mengandung Cd $10\text{-}980 \text{ mg Kg}^{-1}$ (Alloway, 1995b) dan karena itu kandungan Cd di dalam pupuk fosfat bervariasi. Menurut Roechan, *et al.*, (1995) pupuk fosfat mengandung Cd $30\text{-}60 \text{ mg Kg}^{-1}$. Penggunaan pupuk fosfat secara terus-menerus akan menyumbang Cd ke dalam tanah sebesar $2,0\text{-}7,2 \text{ g ha}^{-1}\text{tahun}^{-1}$ (Alloway, 1995b). Demikian pula aplikasi pupuk fosfat dan pupuk mikro selama 34 tahun di California dilaporkan dapat meningkatkan kadar Cd juga logam lainnya seperti Pb, As dan Zn di lahan pertanian (Chen, *et al.*, 2008).

Kadmium merupakan logam berat non-esensial bersifat toksik bagi tanaman. Logam ini dapat menghambat pertumbuhan tanaman atau bahkan menyebabkan kematian sel. Tanaman eceng gondok menunjukkan gejala keracunan Cd di akar pada konsentrasi Cd 1 ppm, yang ditunjukkan dengan berkurangnya jumlah dan ketebalan lapisan sel hypodermal, jumlah lapisan sel korteks (Iriawati dan Fitriana, 2006). Secara alami tanah mengandung Kadmium (Cd) dengan konsentrasi tergantung dari batuan induk, cara terbentuknya tanah dan translokasi logam berat di tanah (Alloway, 1995a). Kegiatan pemupukan fosfat alam dan pupuk kandang antara lain juga merupakan sumber pencemar Cd di lahan pertanian.

Kadmium yang terakumulasi di dalam tanah merupakan sumber utama Cd yang diserap tanaman. Kadmium merupakan logam berat yang bersifat toksik bagi sebagian besar makhluk termasuk manusia. Jika Cd terakumulasi pada ginjal melebihi 200 mg Kg⁻¹ berat badan dapat menyebabkan demineralisasi tulang dan disfungsi ginjal (Bhattacharyya, *et al.*, 1988). Menurut FAO dan WHO dikutip Alloway (1995b), Cd yang dapat ditoleransi tubuh manusia per orang adalah 400-500 µg per minggu atau 7 µg Kg⁻¹ berat badan. Pada tanaman, Cd yang terakumulasi berlebih dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, produktivitas tanaman bahkan kematian. Keberadaan Cd pada lahan pertanian perlu dicermati, karena Cd bersama Ni dan Zn adalah logam berat yang paling akhir diadsorpsi tanah sehingga lebih tersedia bagi tanaman dibandingkan beberapa logam lain, seperti Cu, Pb dan Cr (Gomes, *et al.*, 2001). Hal ini berarti bahwa tanaman lebih mudah menyerap Cd dibandingkan logam lainnya seperti Pb, karena Cd terikat lemah oleh tanah. Selanjutnya Cd yang diserap akar tanaman, umumnya akan terakumulasi di dalam akar, akan tetapi pada tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) Cd lebih banyak terakumulasi di dalam daun.

1.3. Logam Berat Timbal (Pb)

Salah satu logam berat yang perlu mendapat perhatian lebih adalah Pb (Plumbum). Hal ini menjadi sangat penting jika kita menyadari bahwa budidaya tanaman yang intensif, dengan penggunaan pupuk kimia yang tinggi dan terus menerus, telah menyebabkan tingginya residu pupuk dan meningkatkan kandungan logam berat terutama Pb dan Cd (Kadmium) dalam tanah. Hasil identifikasi yang dilakukan menunjukkan 21-40% lahan sawah di jalur pantura Jawa Barat tercemar logam berat, bahkan 4-7% diantaranya dikategorikan tercemar berat oleh Pb (> 1,0 ppm).

Logam berat nonesensial Timbal (Pb) secara alami terdapat di tanah pertanian namun konsentrasinya dapat meningkat karena polusi udara serta penggunaan kotoran hewan, pupuk anorganik dan pestisida yang mengandung timbale arsenat. Untuk mencegah peningkatan kandungan Pb di lahan pertanian diperlukan suatu metode untuk menurunkan konsentrasinya. Salah satu metode bioremediasi tanah tercemar logam berat adalah fitoremediasi yang menggunakan tanaman untuk mengekstrak, mensekuestrasi dan mendetoksifikasi polutan (Lasat, 2002). Efektivitas fitoremediasi dapat ditingkatkan jika disertai bioaugmentasi dengan mikroba yang dapat menstimulasi serapan dan akumulasi logam berat pada tajuk tanaman fito-remediasi. Salah satu komponen polimer ekstraseluler bakteri adalah eksopolisakarida (EPS) yang memiliki sifat mengikat polutan logam (Chen *et al.*, 1995a;). Polimer ini larut di dalam air, diikat lemah oleh matriks tanah, dan setelah mengadsorpsi logam tidak mudah dimineralisasi sehingga berpotensi meningkatkan mobilitas logam di dalam tanah (Chen *et al.* 1995a). Bakteri tanah yang menghasilkan EPS antara lain *Azotobacter* (Hindersah *et al.*, 2009). *Azotobacter* mampu berproliferasi dan memproduksi EPS pada kultur dengan logam berat Fe, Zn, dan Cr (Hindersah *et al.*, 2009). *A. chroococcum* memiliki tingkat ketahanan serta dan pengikatan logam Pb dan Cd yang lebih besar dibanding bakteri *Bacillus megaterium*, sementara Hindersah *et al.*, 2009 dalam penelitiannya mendapati bahwa *Azotobacter* sp. LKM6 memiliki resistensi terhadap Cd konsentrasi tinggi dan tetap mampu memproduksi EPS di bawah cekaman CdCl₂.

Logam berat, termasuk Pb, memiliki efek negative terhadap produksi enzim oleh mikroba serta dapat menyebabkan berkurangnya produksi EPS, namun *Azotobacter* mampu mengembangkan sistem resistensi terhadap logam berat melalui fitokelatin yang mengkelat logam dan mensekuestrasinya di vakuola (Vatamaniuk *et al.*, 2000). Saat ini belum terdapat banyak informasi mengenai kemampuan dan ketahanan *Azotobacter* untuk memproduksi EPS pada kultur yang tercemar Pb. Di lapangan, dilaporkan bahwa resistensi *Azotobacter* terhadap logam berat Pb dan Cr termasuk tinggi diantara 17 isolat *Azotobacter* yang diuji oleh Narula *et al.*, 2012.

Informasi resistensi ini diperlukan sebagai dasar Pengaruh Timbal terhadap Kepadatan Sel dan Kadar Eksopolisakarida Kultur Cair *Azotobacter* 152 Hindersah, R. dan Kamaluddin, N.N. 153 bioremediasi tanah yang tercemar Pb oleh *Azotobacter*. Penelitian mengenai *Azotobacter* sebagai mikroba yang mampu memfiksasi N dan memproduksi fitohormon sudah banyak dilakukan, tetapi kemampuannya bertahan hidup dan memproduksi EPS pada media yang dicemari timbal belum banyak diteliti.

2. Mekanisme Tanaman Dalam Menghadapi Logam Berat

Mekanisme tanaman dalam menghadapi logam berat dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung jenis tanaman yaitu melalui fitoekstraksi dan fitokelatin.

Fitoekstraksi adalah salah satu bentuk fitoremediasi dimana tanaman melalui akar tanaman menyerap pencemar (logam berat) dari larutan tanah dan diakumulasi di batang dan daun (bagian tanaman yang dapat dipanen). Fitoekstraksi biasa digunakan untuk memulihkan tanah tercemar khususnya logam berat seperti Pb (Zhuang et al., 2005). Tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dalam jumlah yang lebih banyak disebut tanaman hyperaccumulator (hiperakumulator). Tanaman hiperakumulator adalah tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat pada jaringan tanam dan bagian yang dapat dipanen yang berada diatas tanah pada kisaran 0,1 – 1% dari berat keringnya (Baker et al., 1991 dalam Suresh and Ravishankar, 2004). Hyperaccumulation (hiperakumulasi) merupakan kombinasi dari aspek adsorpsi, penguatan dan translokasi yang membutuhkan penampung yang besar (bagian penyimpanan/jaringan) untuk menyimpan pencemar/logam berat. Hiperakumulasi terutama tergantung pada logam berat dan spesies tanaman. Akar tanaman menyerap/menyerap logam berat bersamaan dengan hara yang lain, diangkut melalui jaringan xylem dan phloem dan kemudian diakumulasi pada bagian yang dapat dipanen (Suresh and Ravishankar, 2004). Adsorpsi pencemar logam berat seperti Pb oleh tanaman mengkombinasikan keuntungan luas permukaan akar yang lebih besar dengan afinitas reseptor kimia yang tinggi. Pencemar logam berat bersamaan dengan hara yang lain berikatan dengan permukaan akar.

Dalam sel-sel akar, sistem pengangkutan dan tempat/ bagian dengan afinitas pengikatan yang tinggi memediasi pengambilan logam berat melalui plasma membrane. Pengambilan logam berat melalui pengangkut sekunder seperti saluran protein atau protein pembawa H^+ dimana potensial negatif membrane mendorong pengambilan kation melalui pengangkut sekunder (Clemen et al., 2002 dalam Suresh and Ravishankar, 2004).

Urutan pengambilan logam berat ke dalam symplasma akar dan pergerakan ke xylem mencakup 3 tahapan: penahanan logam berat dalam sel akar, pengangkutan symplastik ke stele dan terakhir dilepas ke xylem yang dimediasi oleh membrane pengangkutan protein. Dalam pengangkutan dan translokasi logam berat, phytochelatin dan metallothioneins memainkan peran penting (Anaka et al., 2001). Phytochelatin adalah kelompok protein yang memiliki asam amino cystein, glycine, dan asam glutamate yang menginduksi tanaman jika tanaman mengalami cekaman logam berat. Senyawa ini mengikat ion logam dan membawanya ke vakuola dimana logam berat tidak lebih lama menjadi toksik (Suresh and Ravishankar, 2004). Metallothionein belum begitu jelas, ada dua hipotesis yang diajukan. Teori yang pertama menyatakan bahwa metallothionein menciptakan pool penyimpanan ion untuk kelebihan ion-ion logam berat bebas yang dikhelasi sampai tanaman menggunakannya jika esensial. Teori kedua menyatakan bahwa metallothionein adalah protein transport yang bertanggung jawab pada pemindahan kelebihan logam berat dari satu tempat dimana metallothionein membangun sampai ke tingkat toksik pada tempat dari tanaman dimana logam berat dibutuhkan (Shuresh and Ravishankar, 2004).

Fitokelatin adalah suatu protein yang dihasilkan oleh tumbuhan dalam keadaan sangat tinggi kandungan logam berat di lingkungannya. Jadi dapat dikatakan bahwa fitokelatin adalah bentuk adaptasi tumbuhan terhadap cekaman logam berat di lingkungannya. Fitokelatin adalah peptida kecil yang kaya akan asam amino sistein yang mengandung belerang. Peptida ini biasanya mempunyai 2 sampai 8 asam amino sistein di pusat molekulnya, serta sebuah asam glutamat dan sebuah glisin pada ujung-ujung yang berlawanan. Protein adalah senyawa sangat kompleks yang selalu mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan seringkali juga belerang. Protein tersusun atas molekul-molekul asam amino yang ujung-ujungnya saling berikatan membentuk rantai panjang. Hubungan ini terjadi dengan menggabungkan gugus karboksil dari sebuah asam amino dengan gugus amino asam amino lain, dengan mengeluarkan satu molekul air dari senyawa itu (yaitu sebuah reaksi kondensasi). Ikatan $-CO-NH-$ yang menggabungkan kedua asam amino disebut *ikatan peptida*. Sistein sendiri merupakan sebuah contoh asam amino yang mengandung belerang sebagai tambahan pada empat unsur yang umum terdapat dalam asam amino itu. Asam ini patut memperoleh perhatian khusus, karena gugus sulfidril, $-SH$, sangat reaktif dan pada oksidasi akan bergabung dengan gugus sulfidril dari molekul sistein lain, membentuk asam amino rangkap yaitu sistin.

Menurut Salisbury dan Ross (1995), fitokelatin dihasilkan oleh banyak spesies, tapi sejauh ini diketahui bahwa fitokelatin hanya dijumpai bila terdapat logam dalam jumlah yang meracuni. Fitokelatin dihasilkan pula oleh spesies yang kelebihan seng dan tembaga sehingga dapat mengawaracunkan berbagai logam esensial juga. Oleh karena itu, pembentukannya benar-benar merupakan respon tumbuhan untuk beradaptasi terhadap keadaan lingkungan yang rawan.

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Vogeli-Lang dan Wagnert menunjukkan terikatnya logam dengan fitokelatin menyebabkan terbentuknya kompleks logam fitokelatin yang akan didetoksifikasi sehingga tumbuhan mampu menahan cekaman logam berat. Dalam penelitian yang dilakukan Sofia (2007) diketahui pupuk hayati *Azotobacter* menghasilkan eksopolisakarida (EPS) yang dapat meningkatkan kelarutan logam berat kadmium (Cd) di tanah sehingga lebih mudah diserap tanaman. Salah satu respon tanaman terhadap Cd adalah sintesis peptida fitokelatin atau turunannya secara enzimatik dari glutation. Peptida ini disintesis dengan asam amino ujung yang berbeda, yaitu (yEC)_nG, (gEC)_nS, (gEC)_nBA, (gEC)_nE dan (gEC)_n. Sofia (2007) juga mengemukakan bahwa baru-baru ini ditemukan mekanisme toleransi yang penting dan secara filogenetik tersebar luas. Logam diawaracukan dengan cara dikelat dengan fitokelatin, yakni peptida kecil yang kaya akan asam amino sistein yang mengandung belerang.

Fisiologi tumbuhan berkaitan dengan adanya senyawa fitokelatin

- Penyerapan unsur hara oleh tanaman dari dalam tanah

Selain karbon dan sebagian oksigen, yang keduanya berasal dari karbondioksida dalam atmosfer, unsur-unsur kimia penyusun tumbuhan umumnya diserap dari dalam tanah oleh perakaran. Semua unsur tersebut diserap sebagai garam anorganik. Hadirnya unsur mineral dalam tubuh tumbuhan tidak harus berarti bahwa unsur ini penting bagi pertumbuhannya. Silikon misalnya, sering terdapat dalam jumlah cukup besar, akan tetapi kebanyakan tumbuhan dapat tumbuh normal jika silikon itu sengaja dikeluarkan dari lingkungannya. Garam mineral diambil dari dalam tanah sebagai ion. Air dan garam mineral dari tanah memasuki tumbuhan melalui epidermis akar, menembus korteks akar, masuk ke dalam stele, dan kemudian mengalir naik ke pembuluh xilem sampai ke sistem tunas. Kebanyakan proses penyerapan ini terjadi di dekat ujung akar, di mana epidermisnya permiabel terhadap air dan di mana terdapat rambut akar. Dalam Campbell (2003) disebutkan bahwa rambut akar, mikorhiza, dan luas permukaan sel-sel kortikal yang sangat besar meningkatkan penyerapan air dan mineral. Rambut akar adalah jalur terpenting dalam penyerapan di dekat ujung akar. Saat larutan tanah memasuki akar, maka luas permukaan membran sel korteks yang begitu besar meningkatkan pengambilan air dan mineral tertentu ke dalam sel.

Kehadiran logam-logam berat dalam tubuh tumbuhan, juga masuk melalui penyerapan unsur mineral ini. Logam berat yang ada di lingkungan masuk melalui akar melalui penyerapan mineral seperti biasanya. Namun karena logam berat bukan merupakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tumbuhan, maka kehadirannya kemudian direspon dengan pembentukan senyawa fitokelatin yang akan mengikatnya. Tidak semua tumbuhan mampu menghasilkan fitokelatin, beberapa contoh yang dapat menghasilkan fitokelatin adalah *Amaranthus tricolor* (bayam cabut), *Azotobacter* (yang merupakan pupuk hayati), *Vigna radiata*.

- Proses fisiologi tumbuhan dalam menghasilkan senyawa fitokelatin

Beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan adalah:

1. Faktor genetika
2. Faktor lingkungan
3. Faktor fisiologis

Spesies tumbuhan secara genetis sangat beragam dalam kemampuannya untuk toleran, atau tidak toleran, terhadap unsur tak-esensial: timbal, kadmium, perak, aluminium, raksa, timah, dan sebagainya, dalam jumlah yang meracuni. Selain faktor genetis, lingkungan pun mempengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangan suatu tumbuhan. Faktor-faktor cahaya, suhu, ketersediaan air, kelembaban udara dan topografi tanah sangat berperan dalam proses ini. Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan tersebut berlangsung melalui suatu proses fisiologi yang dilakukan oleh tumbuhan itu sendiri. Proses fisiologi ini dilakukan secara alami oleh tumbuhan dengan memanfaatkan kemampuan fisiologisnya.

Salah satu proses fisiologi yang dapat dilakukan oleh tumbuhan adalah kemampuannya untuk beradaptasi terhadap kelebihan logam berat di lingkungannya dengan membentuk suatu senyawa protein yang disebut fitokelatin yang dapat mengikat unsur logam berat di lingkungan. Cd termasuk dalam logam berat non-esensial, dalam jumlah yang berlebih menyebabkan toksisitas pada manusia, hewan dan tumbuhan. Akumulasi pada tumbuhan dapat memicu perubahan ekspresi protein. Protein fitokelatin pada tumbuhan diketahui berperan sebagai protein pertahanan dan pengikat logam kadmium (Cd).

Pemberian 2 mikrogram cupri sulfat per liter dalam media *Vigna radiata* menaikkan jumlah molekul yang mempunyai berat molekul rendah (720 kD), dan juga yang mempunyai berat molekul tinggi (lebih dari 20 kD). Naiknya protein yang mempunyai berat molekul rendah dan tinggi disebabkan karena kemampuan afinitas Cu terhadap peptida terutama pada gugus sulfhidril yang akan mengakibatkan inaktif secara fisiologi.

Bertambahnya dua macam protein yang mempunyai berat molekul berlawanan tersebut dapat mengakibatkan banyaknya ikatan kompleks logam fitokelatin bertambah. Hal ini sesuai dengan penelitian Vogeli-Lang dan Wagnert dalam Howe dan Merchant (1992) yang menyatakan bahwa terikatnya logam dengan fitokelatin menyebabkan terbentuknya kompleks logam fitokelatin yang akan didektoksifikasi sehingga tumbuhan mampu menahan cekaman logam berat.

KESIMPULAN

Dari beberapa literatur yang telah dikemukakan jelas sekali bahwa fitokelatin membantu tumbuhan menghadapi cekaman terhadap logam berat di lingkungan. Keberadaan senyawa fitokelatin dapat mengurangi kadar logam berat yang ada di lingkungan, namun kemungkinan tidak akan mengurangi dampak yang ditimbulkan logam tersebut pada tumbuhan dan manusia jika dikonsumsi. Hal tersebut dikarenakan logam berat ini tetap terakumulasi dalam tubuh tumbuhan sehingga mengganggu metabolisme dari tumbuhan yang bersangkutan. Namun sampai sejauh mana tumbuhan dapat mentolerir gangguan metabolisme tersebut masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Sesuai dengan fungsinya, fitokelatin berperan mengurangi pencemaran lingkungan bagi makhluk hidup. Bila tumbuhan berada pada lingkungan di mana terjadi cekaman karena kelebihan logam berat di lingkungannya, beberapa species tumbuhan tertentu membentuk fitokelatin sebagai pertahanan dan pengikat logam tersebut.

Keberadaan senyawa fitokelatin dapat mengurangi kadar logam berat yang ada di lingkungan, namun kemungkinan tidak akan mengurangi dampak yang ditimbulkan logam tersebut pada tumbuhan dan manusia jika dikonsumsi. Hal tersebut dikarenakan logam berat ini tetap terakumulasi dalam tubuh tumbuhan sehingga mengganggu metabolisme dari tumbuhan yang bersangkutan. Namun sampai sejauh mana tumbuhan dapat mentolerir gangguan metabolisme tersebut masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Logam berat yang dapat diikat oleh tumbuhan melalui fitokelatin berdasarkan beberapa penelitian yang pernah dilakukan adalah Cu, Pb, Cr, Al. Logam-logam tersebut terbukti sangat berdampak buruk bagi kesehatan manusia. Penanggulangan limbah logam berat ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan tumbuhan penghasil fitokelatin. Fitokelatin dapat mengurangi volume logam ini di lingkungan dengan mengikatnya ke dalam tubuh tumbuhan. Namun tumbuhan yang bersangkutan tidak dapat dikonsumsi lagi oleh manusia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan artikel ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1995a. The origin of heavy metals in soil. In Alloway, B.J. (ed.). *Heavy Metal in Soils*. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
- Alloway, B.J. 1995b. Cadmium. In Alloway, B.J. (ed.). *Heavy Metal in Soils*. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
- Anaka S. S., R. Deht, D. Sarker, S. K. M. Samanathan, C. P. Millas and S. Burd. 2001. Analysis of Phytochelatin Complexation in the Lead Tolerant Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash). *Environment Pollutan* (15)7 : 2173-2183
- Bhattacharyya, M.H., B.D. Whelton, P.H. Stern, and D.P. Peterson. 1988. Cadmium Accelerates Bone Loss in Ovariectomized Mice and Fetal Rat Limb Bones in Culture. *Proc.Natl.Acad.Sci. USA*.
- Campbell, et al. 2003. *Biologi* Jilid 2. Jakarta: Erlangga
- Chen, W., N.N. Krage, L. Wu, G. Pan, M. Khosrivafard, and A.C. Chang. 2008. Arsenic, Cadmium, and Lead in California Cropland Soils: Role of Phosphate and Micronutrient Fertilizer. *J. Environ Qual.* 37:689-695
- Choppala, G., Bolan, N., Park, J.H. (2013). Chromium Contamination and Its Risk Management in Complex Environmental Settings, *Advances in Agronomy*. Elsevier.
- Connell, D. W. & Miller, G.J. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Terjemahan oleh Yanti Koestoer. 2006. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Cooper, G.R.C. (2002). Oxidation and toxicity of chromium in ultramafic soils in Zimbabwe. *Appl. Geochemistry* 17, 981–986.
- Fendorf, S.E. (1995). Surface reactions of chromium in soils and waters. *Geoderma* 67, 55– 71.
- Gautama, 2007, Bakteri *Thiobacillus Ferrooxidans* Sebagai Penanganan Limbah Pertambangan (BatuBara). <http://bioindustri.blogspot.com/2008/09/bakteri-thiobacillus-ferrooxidans.html>, 2 Maret 2012.

- Gomes, P.C., M.P.F. Fontes, A.G. da Silva, E. de S. Mendonca, and A.R. Netto. 2001. Selectivity sequences and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian Soil. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 65:1115-6842
- Hindersah, R. & Kalay, A.M. 2009. Akumulasi timah hitam dan kadmium pada tajuk selada setelah aplikasi *Azotobacter* dan lumpur IPAL. *J. Budidaya Pertanian* 2:1-5
- Iriawati dan R. Fitriana. 2006. Cadmium Toxicity on Root Growth of Water Hyacinth [*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms]. *International Conference on Mathematics and Natural Sciences*.
- Kotas, J., Stasicka, Z. (2000). Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environ. Pollut.* 107, 263–283.
- Lasat, M.M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. *J. Environ. Qual.*, 31: 109-120.
- Narula, N., Behl, R.K. & Kothe, E. 2011. Heavy Metal Resistance Among *Azotobacter* spp. and Their Survival in HM Contaminated Soil Using Indian Mustard. *The IUP Journal of Genetics & Evolution*, 4 (2): 55-62.
- Notohadiprawiro, T. 2013. Logam Berat dalam Pertanian. Artikel: Naskah Ceramah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan 28 Agustus 2016.
- Roechan, S., I. Nasution, L. Sukarno, dan A.K. Makarim. 1995. Masalah Pencemaran Kadmium pada Padi Sawah. Dalam Syam, M dkk (Penyunting). *Kinerja Penelitian Tanaman Pangan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Salem, F.Y., Parkerton, T.F., Lewis, R. V., Huang, J.H., Dickson, K.L. (1989). Kinetics of chromium transformations in the environment. *Sci. Total Environ.* 86, 25–41.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid3. Penerbit ITB. Bandung
- Stefánsson, A., Gunnarsson, I., Kaasalainen, H., Arnórsson, S. (2015). Chromium geochemistry and speciation in natural waters, Iceland. *Appl. Geochemistry* 62, 200– 206.
- Suresh B., and G. A. Ravishankar. 2004. Phytoremediation-A Novel and Promising Approach for Environmental Clean – up. *Critical Reviews in Biotechnology* 24, 2-3 : 97 – 110
- Vatamaniuk, O.K., Mari, S., Lu, Y.P. & Rea, P.A. 2000. Mechanism of heavy metal ion activation of phytochelin synthase. *J. Biol. Chem.* 275: 31451-31459.
- Wikipedia. 2008. Bahaya Logam Berat terhadap Kesehatan. Melalui <[Http://id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)
- Zhuang P., Z. H. Ye, C. Y. Lan, Z. W. Xie and W. S. 2005. Chemically Assisted Phytoextraction of Heavy Metal Contaminated Soil Using Trees Plant Species. *Plant and Soil* 278 : 153-162