

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai berat jenis lebih besar dari 5 g cm^{-3} . Terdapat sedikitnya 80 jenis dari 109 unsur kimia yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial bagi kehidupan, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup (tumbuhan, hewan, manusia), namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini diantaranya Zn, Cu, Fe, Co, dan Mn. Jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb dan Cr (Palar, 2004).

Setiap jenis industri memiliki bahan baku utama dan pembantu yang umumnya menggunakan zat kimia mengandung bahan beracun berbahaya (B3). Bahan beracun berbahaya (B3) pada umumnya mengandung logam berat. Air limbah industri tersebut diperkirakan mengandung unsur - unsur yang sama seperti bahan bakunya. Limbah industri yang masuk ke air dan dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian akan menyebabkan penimbunan dalam tanah pertanian yang akan ditanami tanaman pangan (Setyorini *et al.*, 2003).

2.2 Kadmium (Cd)

2.2.1 Karakteristik Logam Berat Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah logam transisi dengan nomor atom 48, massa atom standar 112,411, Golongan 12, periode 5 dan blok D. Cd merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Cd berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Secara prinsip pada konsentrasi rendah berpengaruh terhadap gangguan pada paru-paru, *emphysema* dan *renal tubular disease* yang kronis. Cd lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan logam berat lainnya seperti Timbal (Pb) dan Merkuri (Hg). Logam berat ini bergabung bersama Pb

dan Hg sebagai *the big three heavy metal* (tiga logam berat utama) yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 μg per orang atau 7 μg per kg berat badan (Anonim^a, 2010).

2.2.2 Kegunaan Cd

Cd merupakan logam yang sangat penting dan banyak kegunaannya khususnya untuk *electroplating* (pelapisan elektrik) serta galvanisasi karena Cd memiliki keistimewaan nonkorosif. Cd banyak digunakan dalam pembuatan alloy dan digunakan pula sebagai pigmen warna cat, keramik, plastik, stabilizer plastik, katode untuk Ni-Cd pada baterai, bahan fotografi, pembuatan tabung TV, karet, sabun, kembang api, percetakan tekstil dan pigmen untuk gelas dan email gigi (Widowati *et al.*, 2008). Cd di atmosfer berasal dari emisi penambangan/pengolahan bahan tambang, peleburan, galvanisasi, pabrik pewarna, pabrik baterai dan *electroplating*. Cd di tanah berasal dari endapan atmosfer, debu, air, limbah tambang, pupuk fosfat, dan pestisida, sedangkan Cd di perairan berasal dari endapan atmosfer, debu, air, limbah tambang, air pengolahan limbah dan limbah cair industri (Widowati *et al.* 2008).

2.2.3 Pengaruh Negatif Cd

Cd adalah logam kebiruan yang lunak dan merupakan racun bagi tubuh manusia. Waktu paruhnya 30 tahun dan dapat terakumulasi pada ginjal, sehingga ginjal mengalami disfungsi. Jumlah normal Cd di tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi angka tertinggi (1700 ppm) dijumpai pada permukaan sampel tanah yang diambil di dekat pertambangan biji seng (Zn). Cd yang terdapat dalam tubuh manusia sebagian besar diperoleh melalui makanan dan tembakau, hanya sejumlah kecil berasal dari air minum dan polusi udara.

Menurut Sudarmadji *et al.* (2006) dalam tubuh manusia Cd terutama dikeluarkan melalui urin. 5%-10% Cd diserap melalui saluran pencernaan dan terakumulasi dalam hati dan ginjal. Cd dapat diserap melalui organ pernafasan selain saluran pencernaan Proporsi yang besar diserap melalui pernafasan yaitu antara 10-40% tergantung keadaan fisik. Gejala umum keracunan Cd adalah sakit di dada, nafas sesak (pendek), batuk-batuk dan lemah. Kerusakan paling parah akibat keracunan Cd adalah ginjal. Kerusakan yang terjadi disebabkan oleh proses

destruksi eritrosit, proteinuria, rhinitis, emphysema dan bronchitis kronis. Gejala keracunan kronis adalah terjadinya ekskresi β -mikro-globulin dalam urin akibat kerusakan fungsi ginjal. Cd juga menyebabkan deformasi tulang. Penyakit *itai-itai byo* di Jepang dikarenakan konsumsi beras berkadar Cd lebih dari 0,4 mg/kg (Anonim^b, 2009).

Penyakit *itai-itai byo* adalah kasus dari keracunan Cd masal di Toyama Prefecture, Jepang, dijumpai sekitar tahun 1912. Keracunan Cd menyebabkan pelunakan tulang dan gagal ginjal. Istilah *itai-itai byo* diciptakan oleh penduduk setempat. Cd ini dibuang ke Sungai Jinzu dan anak sungainya oleh perusahaan pertambangan di pegunungan. Sungai Jinzu digunakan terutama untuk irigasi sawah, tetapi juga untuk air minum, mencuci, memancing, dan kegunaan lain oleh penduduk di sekitar sungai. Penyakit ini dikenal sebagai salah satu dari empat besar penyakit polusi dari Jepang. Karena keracunan Cd, ikan di sungai mulai mati dan padi yang diairi dengan air sungai tidak tumbuh dengan baik. Cd dan logam berat lainnya terakumulasi di dasar sungai dan di air sungai. Air sungai ini digunakan untuk mengairi sawah. Padi menyerap logam berat, terutama Cd kemudian terakumulasi dalam orang yang mengkonsumsi nasi yang sudah terkontaminasi (Anonim^c, 2010).

Sharma *et al.* (2010) melaporkan bahwa keberadaan logam berat yang melebihi batas pada tanaman menyebabkan tanaman menjadi kerdil. Tanaman yang kerdil diakibatkan terganggunya sintesis khlorofil. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Susana dan Suswati (2011) yang menjelaskan bahwa gejala toksisitas Cd pada sawi hijau dan sawi putih adalah tanaman tumbuh kerdil dan khlorosis pada daun.

2.3 Fitoremediasi

2.3.1 Definisi

Istilah fitoremediasi berasal dari kata Inggris *phytoremediation*, kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata Yunani *phyton* (tumbuhan) dan *remediation* yang berasal dari kata latin *remedium* (menyembuhkan). Fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau

menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik (Prayitno, 2006).

Menurut Susarla *et al.* (2002) fitoremediasi dapat dibagi menjadi 5 mekanisme yaitu fitoekstraksi, fitostabilisasi, fitodegradasi, fitovolatilisasi dan rizodegradasi. Fitoekstraksi mencakup penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar, daun atau batang. Fitostabilisasi adalah proses akumulasi kontaminan oleh akar melalui eksudat akar untuk membatasi pergerakan dan mengurangi ketersediaan kontaminan. Fitodegradasi adalah proses dimana kontaminan dapat dihilangkan dengan melalui enzim tanaman. Enzim yang berperan dalam fitoremediasi yaitu *dehalogenase*, *peroksidase*, *nitroreduktase*, *nitrilase* dan *fosfatase*. Fitovolatilisasi adalah proses dimana tanaman merubah kontaminan menjadi bentuk volatil (mudah menguap). Tanaman dapat berasosiasi dengan mikroorganisme, dapat merubah Selenium menjadi *Dimetil Selenida*. *Dimetil Selenida* adalah bentuk yang lebih tidak toksik, bentuk volatil dari Selenium. Rizhodegradasi adalah proses biologis yang meningkatkan aktivitas bakteri dan jamur dalam rizosfer. Tanaman dapat merubah kondisi geokimia dalam rizosfer sehingga dapat menyediakan kondisi ideal untuk jamur dan bakteri tumbuh dan mendegradasi kontaminan organik. Akar tanaman dapat menembus tanah dan menyediakan zona aerasi dan menstimulasi biodegradasi aerobik.

Menurut Chaney *et al.* (1997) dalam Widyati (2011) tumbuhan yang memenuhi syarat untuk dikatakan sebagai *hiperakumulator* adalah toleran terhadap logam berat, mampu menyerap logam berat dalam larutan tanah dengan cepat dan mampu mentranslokasikan suatu unsur logam dari akar ke bagian pucuk tanaman dengan kecepatan tinggi. Sedangkan Peer *et al.* (2008) menyebutkan bahwa tanaman hiperakumulator harus mampu menghasilkan biomas yang tinggi dalam waktu yang cepat (cepat tumbuh), mudah dibudidayakan dan mudah dipanen, lebih baik yang dapat dipanen berkali-kali dalam setahun.

2.3.2 Mekanisme Penyerapan Logam Berat oleh Tanaman

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan yaitu penyerapan oleh akar, translokasi dalam tubuh tumbuhan dan lokalisasi logam pada jaringan. Agar

tumbuhan dapat menyerap logam maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*rhizosfer*) dengan beberapa cara tergantung pada spesies tumbuhannya. Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut yaitu *xilem* dan *floem* ke bagian tumbuhan lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat. Berbagai molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan, misalnya *histidin* yang terikat pada Ni (Kramer *et al.*, 1996 dalam Prayitno, 2008) dan *fitokhela-tin-glutation* yang terikat pada Cd (Zhu *et al.*, 1999 dalam Prayitno, 2008).

2.4 Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*)

Tanaman akar wangi dikenal sebagai tumbuhan liar yang sengaja ditanam diberbagai negara beriklim tropis dan sub tropis. Tanaman akar wangi termasuk keluarga *graminae*, berumpun lebat, akar tinggal bercabang banyak dan berwarna kuning pucat dan abu-abu sampai merah tua. Rumpun tanaman akar wangi terdiri atas beberapa anak rumpun yang dapat dijadikan bibit. Daun akar wangi sedikit kaku, berwarna hijau sampai kelabu dengan panjang daun 75-100 cm dan tidak mengandung minyak. Tanaman ini berbunga dengan warna hijau atau ungu dan berada di pucuk tangkai daun. (Anonim^d, 2010).

Akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) merupakan tanaman dengan perakaran yang rimbun dan tumbuh lurus ke dalam tanah, termasuk golongan rumput dengan tinggi 0.5-1.5 m. Tanaman akar wangi tahan terhadap logam berat, salinitas dan dapat tumbuh pada pH antara 3 - 11.5 sehingga dapat digunakan untuk merehabilitasi kondisi fisik dan kimia tanah yang rusak. Perakarannya yang rimbun, maka dapat digunakan sebagai penahan erosi. Akarnya menghasilkan minyak *esensial fiksatif* yang digunakan sebagai bahan untuk sabun, kosmetik dan parfum. Akar tanaman ini juga digunakan untuk keranjang, tikar, kipas angin, layar, tenda, kantong *sachet*, dan kerajinan anyaman lainnya. Akar wangi ditanam sebagai tanaman pagar, digunakan untuk tanaman penahan erosi, untuk reklamasi tanah dan pengendalian banjir. Temperatur yang dapat menyebabkan tanaman ini mati berkisar antara -15° C hingga -20°C (Purwani, 2010).

Tanaman akar wangi telah digunakan sebagai tanaman untuk fitoremediasi. Salah satu kasus terdapat di India, tanaman ini digunakan untuk

konservasi tanah dan air. Telah dilaporkan bahwa total bobot kering *Vetiveria zizanioides* tumbuh pada tanah dengan konsentrasi As 250 mg/kg berkurang secara signifikan akibat akumulasi tingginya arsenik dalam bagian-bagian yang berbeda, terutama di daun. Tanaman akar wangi yang dapat tumbuh pada media dengan kadar Pb hingga 300 ppm biasa digunakan untuk rehabilitasi lahan tercemar logam berat (Emmyzar & Hermanto 2004 dalam Purwani, 2010).

Akar wangi juga dapat digunakan untuk remediasi lahan basah, salah satu contoh praktek remediasi lahan basah buatan yaitu di Thailand. Penelitian menggunakan tiga varietas *Vetiveria zizanioides* (Monto, Surat Thani, dan Songkhla 3) untuk perlakuan terhadap limbah cair dari penggilingan tepung topioka, dengan menggunakan dua sistem perlakuan: (a) menahan limbah cair di lahan basah *Vetiveria zizanioides* selama dua minggu lalu mengurasnya, dan (b) menahan limbah cair di lahan basah *Vetiveria zizanioides* selama satu minggu lalu mengurasnya terus menerus selama tiga minggu. Pada kedua sistem, varietas Monto menunjukkan pertumbuhan yang cepat dari tunas, akar, dan biomas serta tertinggi dalam menyerap kadar P, K, Mn dan Cu di tunas dan akar (Mg, Ca dan Fe di akar, dan Zn dan N di tunas). Varietas Surat Thani tertinggi dalam menyerap kadar Mg di tunas dan Zn di akar, dan varietas Songkhla 3 tertinggi dalam menyerap Ca, Fe di tunas, dan N di akar dengan maksimal (Techapinyawat, 2005 dalam Chomchalow, 2006).

2.5 Mikoriza

Simbiosis mutualisme antara tanaman (inang) dan mikroba tanah yang merupakan dasar pokok dalam mengembangkan mikoriza. Inang dalam pertumbuhan hidupnya mendapatkan sumber makanan lebih banyak dari dalam tanah dengan bantuan penyerapan lebih luas dari organ-organ mikoriza pada sistem perakaran dibandingkan yang diserap oleh rambut akar biasa. Unsur hara utama yang diserap adalah Fosfor (P) dan juga termasuk Nitrogen (N), Kalium (K) dan unsur mikro lain seperti Zn, Cu dan B. Melalui proses enzimatik, makanan yang terikat kuat dalam ikatan senyawa kimia seperti Aluminium (Al) dan Besi (Fe), dapat diuraikan dan dipecahkan dalam bentuk tersedia bagi inang. Karena hanya inang yang berfotosintesis, sebagian hasil fotosintat (berupa karbohidrat cair) didistribusikan ke bagian akar inang, dan mikoriza di jaringan

korteks akar inang mendapatkan aliran energi untuk hidup dan berkembang biak di dalam tanah (Santoso *et al.*, 2006)

Mikoriza pada dasarnya dapat dikategorikan dalam tiga tipe utama, yakni *endotrophic*, *ectotrophic* dan *ectendotrophic*. Hampir seluruh spesies tanaman membentuk asosiasi tersebut dan hanya pada suku *Chenopodiaceae*, *Cariophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Juncaceae*, *Urticeae*, dan *Brassicaceae* (*Crucifereae*) asosiasi tersebut menjadi tidak umum. Dari ketiga tipe diatas, saat ini mikoriza terbagi lebih besar berdasarkan kekhasan asosiasinya dengan perakaran tanaman, yakni *endotrophic* atau endomikoriza dan lebih dikenal sebagai Vesicular Arbuscular Mycorrhiza (VAM) atau Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA), *entotrophic* atau ektomikoriza, *ectendotrophic* atau ektendomikoriza, *arbutoid*, *monotropoid*, *ericoid* dan *orchid* mikoriza (Sastrahidayat, 2011).

Mikoriza vesikular arbuskular (VAM) menyediakan hara esensial untuk tanaman dari tanah melalui *ekstraradikal hifa*. Cd juga ditransportasikan oleh hifa tersebut (Guo *et al.*, 1996 dalam Gaur dan Adholeya, 2004), tetapi mikoriza mempunyai pertahanan biologis untuk bertahan dari proses transfer logam berat dari akar menuju tajuk tanaman. Simbiosis mutualisme antara mikoriza dan inang berlangsung terus menerus dan saling menguntungkan seumur hidup inang (Santoso *et al.*, 2006). *Glomus coledonicum* merupakan VAM yang dapat membantu tanaman yang tumbuh pada tanah-tanah yang tercemar logam berat (Liao *et al.*, 2003). Hasil penelitian Rossiana (2009) menunjukkan bahwa tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza sebanyak 50 gram, berpengaruh terhadap penurunan kandungan Pb, Zn dan Cu. Penurunan tertinggi terjadi pada konsentrasi limbah 5% , yaitu Pb sebesar 10,1 ppm, Zn sebesar 16,6 ppm dan Cu sebesar 21,55 ppm.

Glomus sp. termasuk dalam golongan endomikoriza, jamur ini tidak membentuk selubung yang padat, namun membentuk miselium yang tersusun longgar pada permukaan akar. Jamur ini juga membentuk *vesikula* dan *arbuskula* yang besar dalam *korteks*, sehingga sering disebut dengan VAM (*Vesikula Arbuscular Mycoriza*) (Sastrahidayat, 2011).

2.6 Kompos

Setyorini *et al.* (2006) menyebutkan sumber hara makro dan mikro secara lengkap meskipun dalam jumlah yang relatif kecil (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, B, Zn, Mo, dan Si) dapat ditemukan dalam kompos. Penggunaan kompos jangka panjang dapat memperbaiki pH dan meningkatkan hasil tanaman pada tanah masam. Kompos mengandung humus yang dibutuhkan dalam peningkatan hara makro dan mikro. Misel humus mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) lebih besar dari misel lempung (3-10 kali) sehingga penyediaan unsur makro dan mikro lebih lama. KTK asam organik dari kompos lebih tinggi daripada mineral liat, sebagai contoh mineral liat monmorilonit mempunyai KTK 80-150 me/100 g, sedangkan pada asam humat 485-870 me/100 g. KTK asam organik dari kompos lebih peka terhadap perubahan pH karena memiliki sumber muatan tergantung pH. Pada pH 3,5 KTK liat dan C – Organik sebesar 45,5 dan 199,5 me/100 g, ketika pH 6,5 meningkat menjadi 63 dan 325,5 me/100 g. Bahan organik juga memiliki kemampuan bereaksi dengan ion logam untuk membentuk senyawa kompleks, ion logam yang bisa meracuni tanaman dapat diperkecil dengan adanya khelat dengan bahan organik (Tan, 1991).

Remediasi tanah terpolusi logam berat di lahan pertanian dapat dilakukan dengan meningkatkan pH melalui aplikasi kapur dan bahan organik. Peningkatan pH tanah akan mengurangi kelarutan logam berat, sedangkan penambahan bahan organik bermanfaat untuk mengimobilisasi logam berat di dalam tanah. Asam humat dan fulvat (rasio 1:1) dapat menyerap logam berat seperti Pb, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, dan Cd. (Las *et al.*, 2006).

Bahan organik yang diberikan ke tanaman dapat meningkatkan biomasa tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi. Hasil penelitian Djuniwati *et al.* (2003) pengaruh bahan organik berupa kompos tanaman penutup tanah jenis legum *Pueraria javanica* dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung pada tanah Andisol. Dalam 4 MST, kompos yang diberikan dapat meningkatkan tinggi tanaman dan bobot kering berturut-turut berkisar antara 32-41 % dan 68-105%.