

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Logam Berat Tembaga (Cu)

Logam berat adalah komponen alamiah lingkungan yang mendapatkan perhatian berlebih akibat bahaya yang mungkin ditimbulkan, berbahaya terutama apabila diserap oleh tanaman, hewan atau manusia dalam jumlah besar. Beberapa logam berat yang beracun meliputi As, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni dan Zn (Wild, 1995). Namun demikian beberapa logam berat merupakan unsur esensial bagi tanaman atau hewan (Nugroho, 2001). Logam berat berbahaya bagi manusia karena dapat mengakibatkan efek biotoksik pada manusia yang kemudian menimbulkan penyakit akut maupun kronis. Organisasi Kesehatan Dunia (World Health Organization/WHO) menemukan bahaya kesehatan yang dapat ditimbulkan dari keberadaan logam berat di rantai makanan (Srivastava & Goyal, 2010).

Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman (Darmono 1995). Pemasok logam berat dalam tanah pertanian antara lain bahan agrokimia (pupuk dan pestisida), asap kendaraan bermotor, bahan bakar minyak, pupuk organik, buangan limbah rumah tangga, industri, dan pertambangan (Alloway, 1995).

Menurut Soepardi (1983) pencemaran tanah merupakan keadaan yang terjadi saat bahan kimia masuk dan merubah lingkungan tanah alami. Pencemaran ini biasanya terjadi karena kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial, dan penggunaan pestisida. Selain itu, air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah juga memberikan kontribusi besar dalam pencemaran lingkungan. Kisaran logam berat sebagai pencemar dalam tanah dan tanaman dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kisaran logam berat sebagai pencemar dalam tanah dan tanaman

Unsur	Kisaran Kadar Logam Berat (ppm)	
	Tanah	Tanaman
As	0,1-40	0,1-5
B	2-100	30-75
F	30-300	2-20
Cd	0,1-7	0,2-0,8
Mn	100-4000	15-200
Ni	10-1000	1
Zn	10-300	15-200
Cu	2-100	4-15
Pb	2-200	0,1-10

Sumber: Brachia, 2009.

Tembaga dengan nama kimia *cuprum* dilambangkan dengan Cu , logam merah yang lunak, dapat ditempa, dan liat yang melebur pada 1038°C (Palar, 1994;

Vogel, 1994). Dalam tabel periodik, tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63,546. Menurut Darmono (1995), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Sifat logam berat sangat unik karena tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya:

1. Berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna, dan rasa air).
2. Berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang.
3. Berbahaya bagi kesehatan manusia.
4. Menyebabkan kerusakan pada ekosistem

Babich dan Stotzky (1978) mengemukakan bahwa berbagai faktor lingkungan berpengaruh terhadap logam berat yaitu keasaman tanah, bahan organik, suhu, tekstur, mineral liat, kadar unsur lain.

Logam Tembaga (Cu) dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Tembaga (Cu) yang masuk dalam ketiga strata lingkungan tersebut dapat datang dari bermacam-macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam tembaga ke dalam strata lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilitas bahan-bahan bakar (Palar, 2008).

Secara biologis Cu tersedia dalam bentuk Cu^+ atau Cu^{2+} dalam garam inorganik dan kompleks inorganik. Perpindahan Cu dengan konsentrasi relatif tinggi dari lapisan tanah bumi ditentukan oleh cuaca, proses pembentukan tanah, pengairan, potensial oksidasi reduksi, jumlah bahan organik di tanah dan pH. Kondisi tanah yang asam akan meningkatkan kelarutan Cu, sedangkan pada kondisi basa Cu cenderung dipresipitasi oleh tanah sehingga akan terlarut dan terbawa air yang mengakibatkan defisiensi Cu pada tanaman. Variasi kualitas tanah mempengaruhi pengambilan Cu oleh akar tanaman. Pada tanaman, Cu diakumulasi di akar dan dinding sel serta didistribusikan melalui berbagai cara (Merian, 1994).

Logam Cu dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh, maka apabila konsentrasinya cukup besar logam ini akan meracuni manusia. Pengaruh racun yang ditimbulkan dapat berupa muntah – muntah, rasa terbakar di daerah eksofagus dan lambung, kolik, diare, yang kemudian disusul dengan hipotensi, nekrosis hati dan koma (Supriharyono, 2000). Konsentrasi Cu 2,5 – 3,0 ppm dalam badan perairan dapat membunuh ikan, bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan di atas 0,1 ppm. Konsentrasi yang aman bagi air minum manusia tidak lebih dari 1 ppm. Bersifat racun bagi domba pada konsentrasi di atas 20 ppm (Sutrisno dkk, 1996; Widaningrum dkk, 2007). Cu dapat mempengaruhi sistem enzim, yaitu dengan menghambat enzim *dihydrolipoyl dehydrogenase* yang akan menghambat sistem *pyruvate dehydrogenase* sehingga mengganggu metabolisme energi dalam sel (Widowati dkk, 2008).

B. Proses Fitoremediasi

Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumput - rumputan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Chaney *et al.* 1995). Fitoremediasi sebagai salah satu upaya penggunaan tanaman dan bagian – bagiannya untuk mengurangi pencemaran lingkungan, dewasa ini semakin banyak dipakai baik untuk limbah organik maupun limbah anorganik (Effendi, 2003). Fitoremediasi dapat diaplikasikan pada limbah organik maupun anorganik dalam bentuk padat, cair, dan gas (Salt dkk, 1998).

Fitoremediasi mempunyai beberapa keunggulan diantaranya relatif murah, efisien, dan ramah lingkungan (Schanoor dan Cutcheon, 2005). Menurut Yang dkk (2005), ada beberapa mekanisme akumulasi yang bekerja dalam tumbuhan dengan logam pada tanah-tanah terkontaminasi. Fitoremediasi juga berlandaskan pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikrobia yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam tanah oleh eksudat dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam berat dari dalam tanah dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah (*phytomining*) (Chaney dkk, 1998).

Menurut Rismawati (2012), penurunan kandungan logam berat dalam tanah mengindikasikan bahwa telah terjadi pemindahan logam dari tanah ke tumbuhan. Akar merupakan organ tanaman yang berfungsi sebagai penyerap unsur hara dan sekaligus merupakan organ kontak langsung dengan media tanam sehingga tingginya

kandungan logam pada akar tanaman yang ada di dalamnya (Lahudin, 2007). Waktu yang diperlukan oleh tanaman untuk mengurangi jumlah logam berat dalam tanah yang terkontaminasi tergantung pada dua faktor, yaitu:

1. Banyaknya biomassa yang diproduksi tanaman dan faktor biokonsentrasi logam dari tanaman tersebut, yang merupakan rasio dari konsentrasi logam di dalam jaringan pucuk terhadap tanah (McGrath & Zhao, 2003).
2. Kemampuan dan kapasitas akar untuk menyerap logam dan mengirimkan ke dalam xylem, aliran massa dari xylem ke pucuk dalam arus transpirasi, dan kemampuan untuk mengakumulasi, menyimpan dan mendetoksifikasi logam-logam sementara tanaman tersebut mempertahankan metabolisme, pertumbuhan dan produksi biomassa (Guerinot & Salt, 2001).

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Chaney dkk., 1995).

Mekanisme biologis dari hiperakumulasi unsur logam pada dasarnya meliputi proses-proses:

1. Interaksi rizosferik, yaitu proses interaksi akar tanaman dengan medium tumbuh (tanah dan air). Dalam hal ini tumbuhan hiperakumulator memiliki kemampuan untuk melarutkan unsur logam pada rizosfer dan menyerap logam bahkan dari fraksi tanah yang tidak bergerak sekali sehingga menjadikan penyerapan logam oleh tumbuhan hiperakumulator melebihi tumbuhan normal (McGrath dkk., 1997),
2. Proses penyerapan logam oleh akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih cepat dibandingkan tumbuhan normal, terbukti dengan adanya konsentrasi logam yang tinggi pada akar (Lasatdkk., 1996). Akar tumbuhan hiperakumulator memiliki daya selektifitas yang tinggi terhadap unsur logam tertentu (Gabbrielli dkk., 1991),
3. Sistem translokasi unsur dari akar ke tajuk pada tumbuhan hiperakumulator lebih efisien dibandingkan tanaman normal. Hal ini dibuktikan oleh nisbah konsentrasi logam tajuk/akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih dari satu (Gabbrielli dkk., 1991).

Menurut Mangkoedihardjo (2010), proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan. Berikut merupakan gambaran mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman.

Akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan. Proses ini cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik seperti pada proses fitostabilisasi.

3. Rizofiltrasi (*rhizofiltration*)

Akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zona akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Proses ini digunakan untuk bahan larutan yang mengandung bahan organik maupun anorganik.

4. Fitodegradasi/fitotransformasi (*phytodegradation/phytotransformation*)

Organ tumbuhan menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatis.

5. Rizodegradasi (*rhizodegradation*)

Polutan yang diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol dan asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini tepat untuk dekontaminasi zat organik.

6. Fitovolatilisasi (*phytovolatilization*)

Penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum.

C. Deskripsi, Taksonomi dan Kemampuan Hiperakumulasi Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash)

Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) berasal dari Birma, India dan Srilangka, namun tidak diketahui secara pasti sejak kapan tanaman akar wangi dibudidayakan di Indonesia. Tanaman akar wangi tidak hanya dibudidayakan di Indonesia tetapi sudah menyebar ke Asia, Amerika, Afrika sampai Australia. Tanaman akar wangi ditemukan tumbuh secara liar dan sengaja ditanam di berbagai negara beriklim tropis dan subtropis.

Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) termasuk keluarga Gramineae, berumpun lebat, akar tunggal bercabang banyak dan berwarna kuning pucat atau abu-abu sampai merah tua. Rumpun tanaman akar wangi terdiri atas beberapa anak rumpun yang nantinya dapat dijadikan bibit (Rao and Suseela, 2008). Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) membentuk rumpun yang besar, padat dengan arah tumbuh tegak lurus, kompak, beraroma, bercabang-cabang. Tanaman vetiver memiliki akar serabut yang masuk sangat jauh kedalam tanah (saat ini rekor akar vetiver terpanjang adalah 5,2 meter yang ditemukan di Doi Tung, Thailand). Akar vetiver diketahui mampu menembus lapisan yang sangat keras setebal 15 cm. Dilereng-lereng yang keras dan berbatu, ujung-ujung akar vetiver mampu masuk menembus dan menjadi semacam jangkar yang kuat (Wijayakusuma, 2007).

Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) tidak mempunyai stolon atau rhizoma. Sistem akar tumbuh dengan sempurna dan sangat cepat. Pada

beberapa kondisi, panjang akar tanaman vetiver pada tahun pertama dapat mencapai 3- 4 m. Berbatang lurus dan kaku yang dapat menahan arus air secara relatif dalam (Truong, dkk, 2002).

Menurut Damanik (2006), tanaman akar wangi berumpun lebat, memiliki akar tunggal yang bercabang banyak dan berwarna kuning pucat atau abu - abu sampai merah tua. Dari akar-akar yang halus itu tersembul tangkai daun yang panjangnya dapat mencapai sekitar 1,5 – 2 meter. Rumpun tanaman akar wangi terdiri dari beberapa anak rumpun yang nantinya dapat dijadikan bibit. Daunnya sedikit kaku, berbentuk pita, berwarna hijau, panjangnya sekitar 75 – 100 cm dan tidak mengandung minyak. Tanaman ini berbunga yang warnanya hijau atau ungu dan berada di pucuk tangkai daun. Bunga akar wangi bentuknya menyerupai padi dan berduri. Akar wangi memiliki batang yang tumbuh tegak namun lunak. Warna batangnya putih, dengan ruas-ruas di sekeliling batang.

Adapun klasifikasi ilmiah tanaman akar wangi (*Vetiver zizanioides* (L.) Nash) menurut Plantamor (2012), adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Division	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Liliopsida</i>
Ordo	: <i>Poales</i>
Famili	: <i>Poaceae</i>
Genus	: <i>Vetiveria</i>
Spesies	: <i>Vetiver zizanioides</i> (L.) Nash



Gambar 2. Tanaman akar wangi (*Vetiver zizanioides* (L.) Nash)



Gambar 3. Akar pada tanaman akar wangi (*Vetiver zizanioides* (L.) Nash)

Vetiver zizanioides (L.) Nash baik xerofit atau tumbuhan air tidak terpengaruh oleh kekeringan atau banjir (Greenfield, 1988). Tanaman ini sangat toleran terhadap kekeringan dan banjir, embun beku, panas, pH tanah yang ekstrim, toksisitas Al dan Mn, serta sangat toleran untuk berbagai macam logam seperti As, Cd, Cu, Cr, dan Ni (Truong and Claridge, 1996, Truong dan Baker, 1998. Truong, 1999). Tanaman ini mendapat julukan sebagai spesies agroforestri berguna. Pemanfaatan tanaman ini

cocok untuk stabilisasi, rehabilitasi dan reklamasi tanah sulfat masam dan yang terkontaminasi logam berat.

Perbanyak tanaman dengan vegetatif, sifat tanaman tidak invasif (National Research Council, USA, 1993), sangat tahan terhadap serangga hama dan penyakit dan secara luas telah digunakan di seluruh dunia untuk konservasi, restorasi dan kelembaban tanah. Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) memiliki kemampuan ekonomi dan ekologi, yaitu menghasilkan minyak esensial mudah menguap yang disuling dari akar dan sudah digunakan oleh lebih dari 70 negara (Akhila dan Rani, 2002) serta mempunyai sifat konservasi, seperti tinggi sampai dengan 2 m, tanaman kuat padat karena sistem perakaran akar vertikal >3m, berguna dalam pengendalian erosi tanah (Greenfield, 1988, 1989, 1993, 1995). Di Indonesia, tanaman tersebut diambil akarnya, untuk produksi akar ditanam pada tanah berpasir atau gembur agar akar dapat dengan mudah ditarik.

Akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) memiliki banyak kegunaan baik untuk kerajinan maupun diambil minyaknya untuk berbagai keperluan. Akar wangi yang sudah diambil minyaknya biasanya tidak digunakan lagi, sehingga menurunkan nilai ekonomi akar wangi. Oleh karena itu akar wangi tersebut dapat ditingkatkan kembali nilai ekonominya dengan memanfaatkannya sebagai adsorben logam berat. Bagian akar dari tumbuhan akar wangi mengandung selulosa. Selulosa merupakan salah satu bahan adsorben yang digunakan untuk adsorpsi fase cair dengan tipe distribusi mikropori (Benefield et al, 1982).

Menurut Trong (2000), penelitian yang telah dilakukan di Amerika Latin bahwa tanaman akar wangi dapat mampu hidup dengan kondisi tanah tercemar logam seng (Zn) hingga >750 mg/kg dan tercemar logam tembaga (Cu) 50-100 mg/kg.

Ada beberapa sifat karakteristik vetiver yang membuatnya spesial dibanding rumput lain dan pepohonan yang digunakan dalam konservasi tanah yaitu:

1. Mempunyai sistem perakaran yang dalam.
2. Tidak menimbulkan efek yang serius akibat persaingan unsur hara dan air pada tanaman budidaya yang ditanam didekatnya.
3. Mudah dalam penanaman dan pemeliharaan.
4. Mudah dimusnahkan jika tidak diperlukan lagi.
5. Dapat tumbuh pada tanah pH sangat asam sampai dengan basa (3,5 – 10,5).
6. Dapat tumbuh pada rentang iklim yang luas.
7. Tidak bersifat gulma karena menghasilkan biji infertile dan tidak menghasilkan stolon dan rhizoma yang menyebar sehingga tetap berada dimana vetiver tersebut ditanam.
8. Mampu mengurangi erosi jika ditanam berbaris (National Research Council, 1993).

D. Hipotesis

1. Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) mampu menurunkan kadar tembaga (Cu) pada tanah.

2. Efektifitas penyerapan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) dalam menurunkan kadar logam tembaga (Cu) pada tanah mencapai $\pm 50\%$.
3. Akumulasi logam tembaga (Cu) pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) setelah proses fitoremediasi mencapai $\pm 50\%$.

