

Fitoremediasi untuk Rehabilitasi Lahan Pertanian Tercemar Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu)

Phytoremediation for the Rehabilitation of Agricultural Land Contaminated by Cadmium and Copper

N. SUTRISNO SA'AD, R. ARTANTI, DAN T. DEWI¹

ABSTRAK

Lahan pertanian yang menggunakan air irigasi dari limbah industri tercemar logam berat banyak dijumpai. Untuk menanggulangi pencemaran logam berat pada lahan pertanian perlu dilakukan perbaikan kualitas lahan pertanian dengan fitoremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan remediasi lahan sawah tercemar logam berat Cd dan Cu dengan menggunakan tanaman yang mempunyai kemampuan menyerap logam berat (fitoremediasi) agar kualitas lahannya meningkat. Penelitian ini dilakukan di rumah kaca Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Perlakuan tanaman hiperakumulator, terdiri atas T₁: mendong (*Fimbristylis globulosa*), T₂: rumput jenis tekian (*Cyperus platystylis*), T₃: jugul (*Borreria laevis*), T₄: bayam (*Amaranthus* spp.), T₅: sawi (*Brassica juncea*), T₆: bundung ganal (*Scleria poaeformis*), T₇: purun tikus (*Eleocharis dulcis*), T₈: karapiting (*Polygonum hydropiper*), T₉: hiring-hiring (*Rhynchosphora corymbosa*), dan T₁₀: purun kudung (*Leperonia mucrunata*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat Cd dan Cu pada tanah Vertisols (Sambung Macan, Sragen) masing-masing sebesar 1,18 dan 31,38 ppm. Semua tanaman hiperakumulator yang ditanam pada tanah Vertisols tercemar kadmium (Cd) menyebabkan terjadinya penurunan kadar Cd tanah setelah tanaman berumur dua bulan (uji Duncan taraf 5%). Kandungan tembaga (Cu) dalam tanah menunjukkan peningkatan dan berbeda nyata (uji Duncan taraf 5%), tanaman purun kudung menunjukkan beda nyata dibandingkan tanaman sawi terhadap penyerapan Cu tanah. Bayam menunjukkan kandungan paling tinggi dibandingkan perlakuan lain setelah tanaman bayam berumur dua bulan, dan kandungan Cu pada batang dan daun tanaman jugul menunjukkan kandungan paling tinggi. Demikian juga kandungan Cd akar tanaman jugul menunjukkan kandungan paling tinggi, dan berbeda nyata. Pada akar tanaman hiring-hiring menunjukkan kandungan paling tinggi kandungan Cu nya, namun tidak berbeda nyata.

Kata kunci : Pencemaran lingkungan pertanian, Logam berat, Fitoremediasi

ABSTRACT

There are many agricultural land using irrigation water from polluted industrial waste of heavy metals. Improvement of agricultural land quality using phytoremediation is needed to overcome heavy metal pollution. The research aims to make remedies for paddy field polluted by cadmium (Cd) and copper (Cu) using plants that have the ability to absorb heavy metals in order to increase the quality of the land. This research was conducted at the screen house of Indonesian Agricultural Environment Research Institute, using a Randomize Block Design (RBD). Hyperaccumulator treatment plant, consisting of T₁: mendong (*Fimbristylis globulosa*), T₂: grass types tekian (*Cyperus*

platystylis), T₃: jugul (*Borreria laevis*), T₄: spinach (*Amaranthus* spp.), T₅: mustard (*Brassica juncea*), T₆: bundung ganal (*Scleria poaeformis*), T₇: purun tikus (*Eleocharis dulcis*), T₈: karapiting (*Polygonum hydropiper*), T₉: hiring-hiring (*Rhynchosphora corymbosa*), and T₁₀: purun kudung (*Leperonia mucrunata*). The results showed that the content of heavy metals Cd and Cu in Vertisols (Sambung Macan and Sragen) are 1.18 and 31.38 ppm respectively. All hyperaccumulator plants on Vertisols polluted by cadmium (Cd) can reduce the levels of soil cadmium after two months planted (Duncan test level 5%). The content of copper (Cu) in soil indicated an increase and significantly different (Duncan test level 5%). *Purun kudung* is significantly different compared with mustard in term of Cu adsorption from soil. The Cu content on two months old spinach is higher than other treatments, but the highest Cu content occurs on stems and leaves of jugul plant. The content of cadmium (Cd) on roots of jugul plant is the highest and significantly different, while the content of Cd on hiring-hiring plant is also the highest content but not significantly different.

Keywords : Agricultural environmental pollution, Heavy metals, Phytoremediation

PENDAHULUAN

Alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan industri merupakan awal terjadinya pencemaran lingkungan di areal pertanian. Pencemaran lingkungan pertanian menurunkan kualitas dan kuantitas produk pertanian. Kontaminasi logam berat di lingkungan pertanian merupakan masalah besar dunia saat ini. Persoalan spesifik logam berat yang ada di lingkungan pertanian terutama karena akumulasi logam berat pada rantai makanan. Meningkatnya sejumlah logam berat berpotensi menyebabkan pencemaran tanah dan air.

Logam berat yang terdapat di lingkungan pertanian berpengaruh negatif karena beracun dalam seluruh aspek kehidupan makhluk hidup. Beberapa ion logam berat, seperti arsenik (As), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) pada kenyataannya berbahaya bagi kesehatan manusia dan kelangsungan

1 Peneliti pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati.

kehidupan. Walaupun pada konsentrasi yang rendah, ion logam berat dapat berpengaruh langsung pada kesehatan manusia karena terakumulasi pada rantai makanan. Seperti sumber-sumber polusi lingkungan lainnya, logam berat dapat ditransfer ke areal yang sangat jauh di lingkungan, selanjutnya berpotensi mengganggu kehidupan biota lingkungan dan pada akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia walaupun dalam jangka waktu yang lama dan jauh dari sumber polusi utamanya (Suhendrayatna, 2001).

Menurut Kurnia (2007), pencemaran lingkungan pertanian yang terjadi di beberapa tempat diakibatkan oleh adanya industri. Contohnya lahan persawahan yang tercemar di Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung, hasil gabahnya menurun karena menggunakan air S. Cikijing yang tercemar limbah industri tekstil sebagai air irigasi. Penggunaan limbah cair untuk irigasi juga terjadi di areal pertanian di Desa Karanganyar, Kecamatan Sambung Macan, Kabupaten Sragen. Di daerah ini limbah cair dari industri tekstil terus-menerus digunakan sebagai air irigasi sawah pada musim kemarau. Penggunaan air limbah secara terus-menerus akan mengakibatkan terakumulasinya logam berat di areal persawahan tersebut yang diduga akan menghasilkan gabah yang tercemar logam berat. Sesuai dengan itu, Subowo *et al.* (1999) menyatakan bahwa logam berat dalam tanah pertanian dapat menurunkan produktivitas tanah dan mutu hasil pertanian. Penanggulangan pencemaran lahan pertanian dapat dilakukan melalui remediasi lahan secara sederhana dan murah agar kualitasnya menjadi baik. Salah satu upaya memperbaiki kualitas lahan sawah yang tercemar logam berat dapat dilakukan dengan fitoremediasi, yaitu menanam tanaman yang mempunyai kemampuan sangat tinggi untuk mengangkut berbagai bahan pencemar yang ada (*multiple uptake hyperaccumulator plant*).

Tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap ion-ion dari lingkungannya ke dalam tubuh melalui membran sel. Dua sifat penyerapan ion oleh

tumbuhan adalah: 1) faktor konsentrasi; kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi ion sampai tingkat konsentrasi tertentu, bahkan dapat mencapai beberapa tingkat lebih besar dari konsentrasi ion di dalam mediumnya, 2) perbedaan kuantitatif akan kebutuhan hara yang berbeda pada tiap jenis tumbuhan. Sel-sel akar tumbuhan umumnya mengandung konsentrasi ion yang lebih tinggi daripada medium di sekitarnya. Menurut Fitter (1982), sejumlah besar eksperimen menunjukkan adanya hubungan antara laju pengambilan ion dengan konsentrasi ion yang menyerupai hubungan antara laju reaksi yang dihantarkan enzim dengan konsentrasi substratnya. Analogi ini menunjukkan adanya barrier khusus dalam membran sel yang hanya sesuai untuk suatu ion tertentu dan dapat menyerap ion tersebut, sehingga pada konsentrasi substrat yang tinggi semua *barier* berperan pada laju maksimum hingga mencapai laju pengambilan jenuh.

Menurut Glass (1999) dalam Lasat (2000) biaya perbaikan kualitas lahan tercemar logam berat menggunakan tanaman hiperakumulator ini paling murah dibandingkan perlakuan lain. Fitoremediasi bisa menghemat biaya hingga sepuluh kali lipat (Tabel 1).

Tabel 1. Estimasi biaya penggunaan beberapa teknologi untuk membersihkan tanah terkontaminasi logam berat

Table 1. Estimation cost of technologies implementation for remediating heavy metal contained soils

Perlakuan	Biaya US \$ ton ⁻¹	Faktor/biaya tambahan
<i>Vitrification</i>	75-425	Monitoring jangka panjang
<i>Landfilling</i>	100-500	Transportasi/penggalian/monitoring
Perlakuan bahan kimia	100-500	Pengolahan kontaminan kimia
Elektrokinetik	20-200	Monitoring
Fitoekstraksi	5-40	Monitoring

Menurut Kurnia *et al.* (2004), mendong (*Fimbristylis globulosa*) mampu menurunkan kadar logam Cd dan Cu pada tanah dari yang semula 0,13 dan 58 ppm menjadi 0,11 dan 50 ppm. Tanaman sawi (*Brassica juncea*) dapat menyerap logam berat yang diberikan pada media tumbuh, untuk logam Cd terserap sebesar 55% dan Cu 98% (Dushenkov *et al.*, 1995 dalam Mulyadi *et al.*, 2007).

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan remediasi lahan sawah tercemar logam berat kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) dengan menggunakan tanaman yang mampu menyerap logam berat (fitoremediasi) untuk merehabilitasi dan meningkatkan kualitas lahan.

METODOLOGI

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati, Jawa Tengah. Penelitian dilaksanakan pada akhir bulan Juli-September 2007.

Tahapan penelitian

- Penentuan tanaman hiperakumulator yang digunakan untuk penelitian dilakukan dengan memilih tanaman yang mampu bertahan hidup pada kondisi lahan yang tercemar logam berat. Tanaman yang dipilih mewakili tanaman yang bersifat gulma, tanaman yang mempunyai nilai ekonomis tetapi tidak dapat dikonsumsi, dan tanaman yang dapat dikonsumsi.
- Pemilihan lahan pertanian yang tercemar logam berat ditentukan dari kandungan logam Cd dan Cu yang paling tinggi di antara contoh tanah yang diduga tercemar logam berat. Contoh tanah yang diambil dari Desa Karanganyar, Kecamatan Sambung Macan, Kabupaten Sragen **diduga** telah tercemar limbah yang berasal dari pabrik tekstil yang berada di sekitar lokasi tersebut, cara

pengambilan contoh tanah mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Hadi (2005).

- Analisis tanah awal yang digunakan untuk penelitian, meliputi analisis fisika dan kimia tanah, serta kandungan Cd dan Cu tanah yang diukur menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Hasil analisis tanah sebelum perlakuan disajikan pada Tabel 2, tekstur tanah adalah lempung berdebu. Kandungan C-organik tanah tergolong rendah, dengan nitrogen tanah yang rendah pula. P total sangat rendah, dengan pH tanah agak masam. Nilai Kapasitas Tukar Kation sangat tinggi.
- Penanaman di rumah kaca dilakukan dengan menggunakan ember berisi tanah tercemar Cd dan Cu sebanyak 7,5 kg. Pengairan diberikan sesuai dengan kondisi tanaman di lapangan.

Tabel 2. Sifat tanah sebelum perlakuan

Table 2. Soil characteristics before treatment

Parameter	Satuan	Nilai
Tekstur:		
• Pasir	(%)	17,80
• Debu	(%)	56,75
• Liat	(%)	25,46
pH	-	7,34
C organik	(%)	1,24
N-total	(%)	0,14
P-total	mg kg ⁻¹	3,30
KTK	cmol _c kg ⁻¹	47,65
Cd	ppm	1,18
Cu	ppm	31,38

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) diulang tiga kali. Perlakuan tanaman hiperakumulator, terdiri atas T₁ = mendong (*Fimbristylis globulosa*), T₂ = rumput (*Cyperus platystylis*), T₃ = jugul (*Borreria laevis*), T₄ = bayam (*Amaranthus* spp.), T₅ = sawi (*Brassica juncea*), T₆ = bundung ganal (*Scleria poaeformis*), T₇ = purun tikus (*Eleocharis dulcis*), T₈ = karapiting (*Polygonum hydropiper*), T₉ = hiring-hiring (*Rhynchosphora corymbosa*), dan T₁₀ = purun kudung (*Lepe-*

ronia mucrunata). Bila hasil pengujian menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan, maka pengujian dilanjutkan dengan uji Duncan.

Tanah yang digunakan untuk penelitian adalah tanah Vertisols dari Desa Karanganyar, Kecamatan Sambung Macan, Kabupaten Sragen yang tercemar limbah tekstil. Parameter yang diamati: a) pertumbuhan tanaman, b) kandungan Cd dan Cu pada tanah awal, dan c) kandungan Cd dan Cu pada tanah, batang-daun, dan akar tanaman setelah perlakuan selama dua bulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan tanaman

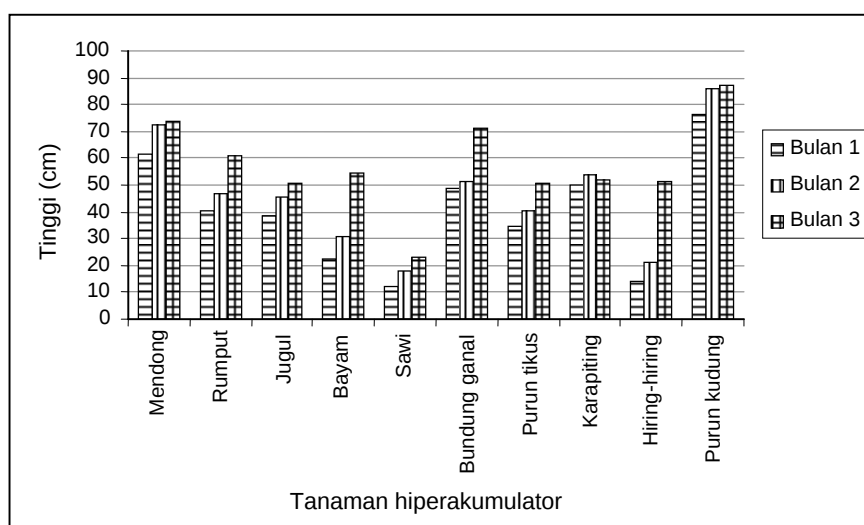
Pertumbuhan tanaman hiperakumulator pada tanah Vertisols hingga bulan ketiga menunjukkan pertumbuhan tanaman yang baik, seperti disajikan pada Gambar 1.

Tanaman mendong (*Fimbristylis globulosa*), rumput jenis tekian (*Cyperus platystylis*), jugul (*Borreria laevis*), bayam (*Amaranthus* spp.), dan sawi (*Brassica juncea*) tumbuh normal sesuai dengan pertumbuhan di alam karena sesuai dengan ekosistemnya. Tanaman bundung ganal (*Scleria poae-*

formis), purun tikus (*Eleocharis dulcis*), karapiting (*Polygonum hydropiper*), hiring-hiring (*Rhynchosphora corynbosa*), dan purun kudung (*Leperonia mucrunata*) tumbuh normal walaupun tidak sesuai dengan ekosistem awalnya. Berdasarkan keragaan pertumbuhannya, tanaman hiperakumulator yang ditanam diharapkan dapat berfungsi sebagai tanaman fitoremediasi yang dapat memperbaiki kualitas lahan dengan menyerap logam berat dari lahan tercemar.

Kadar Cd dan Cu pada tanah Vertisols tercemar limbah cair

Hasil analisis kandungan Cd dan Cu tanah awal sebelum perlakuan masing-masing adalah 1,18 dan 31,38 ppm. Hasil uji Duncan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan tanaman hiperakumulator pada tanah Vertisols bervariasi menunjukkan tidak berbeda nyata untuk kadar Cd dan perbedaan yang nyata untuk kadar Cu. Tetapi bila dilihat kuantitasnya menunjukkan tren penurunan kadar Cd tanah setelah ditanam tanaman hiperakumulator selama dua bulan, tanah yang ditanami purun kudung menunjukkan penurunan kadar Cd tanah paling rendah (Gambar 2). Berbeda dengan itu, kadar Cu tanah pada bulan ke-2 menunjukkan



Gambar 1. Pertumbuhan tanaman hiperakumulator pada tanah Vertisols

Figure 1. Growth of hyperaccumulator plants in Vertisols

peningkatan melebihi kadar awal (Gambar 3). Peningkatan kadar Cu yang terjadi diduga akibat adanya eksudat akar yang menyebabkan terlepasnya Cu yang diikat tanah. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Anonim (2008) bahwa eksudat akar yang keluar dapat menyebabkan ion-ion Cu yang masih terikat dalam tanah menjadi mobil sehingga kadar Cu dalam tanah menjadi meningkat. Diharapkan dengan penanaman tanaman hiperakumulator yang lebih lama akan dapat menyerap Cu dari tanah yang tercemar. Dengan perkataan lain bahwa penanaman tanaman hiperakumulator selama dua bulan belum efektif, harus dilakukan penanaman yang lebih lama, diperkirakan tiga pertanaman untuk dapat menyerap Cu dari tanah hingga batas layak tanam.

Selain hal tersebut, faktor sifat Cd yang lebih mobil juga diduga menentukan penyerapannya seperti yang dikemukakan oleh Alloway (1995), bahwa faktor yang mengendalikan akumulasi Cd dan Cu di tanaman adalah konsentrasi dan jenis logam di larutan tanah, pergerakan logam dari tanah ke permukaan akar, transport logam dari permukaan akar ke dalam akar, dan translokasinya dari akar ke tajuk tanaman. Cd bersifat *mobile* di dalam tanah, karena itu lebih mudah diserap tanaman hiperakumulator dibandingkan dengan Cu.

Tabel 3. Pengaruh tanaman hiperakumulator terhadap penurunan kadar Cd dan Cu dalam tanah Vertisols selama dua bulan perlakuan

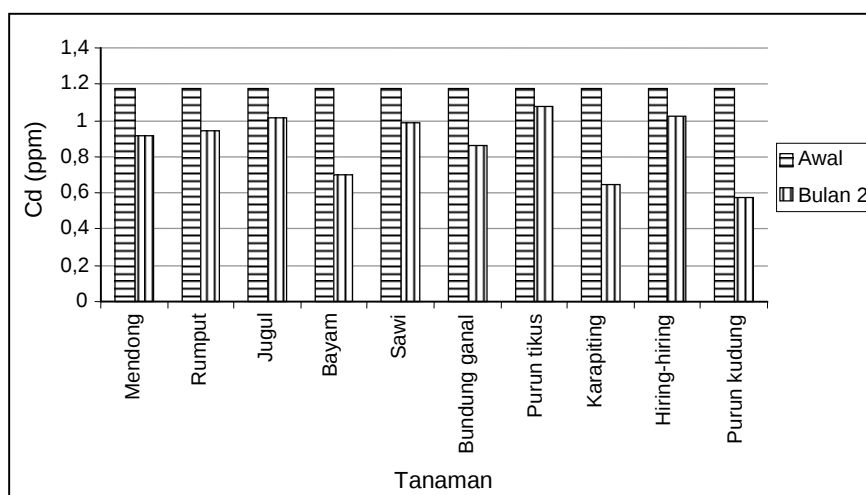
Table 3. Effects of hyperaccumulator plants on Cd and Cu concentrations in the Vertisols during two months

No.	Perlakuan	Kadar Cd ppm	Kadar Cu ppm
1.	Mendong	0,9133 a	34,923 ab
2.	Rumput	0,9467 a	37,060 ab
3.	Jugul	1,0167 a	39,063 ab
4.	Bayam	0,7033 a	36,130 ab
5.	Sawi	0,9900 a	40,540 a
6.	Bundung ganal	0,8633 a	36,753 ab
7.	Purun tikus	1,0733 a	37,237 ab
8.	Karapiting	0,6467 a	36,050 ab
9.	Hiring-hiring	1,0233 a	34,843 ab
10.	Purun kudung	0,5733 a	33,777 b
CV (%)		35,4	9,3

Angka dalam kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji Duncan

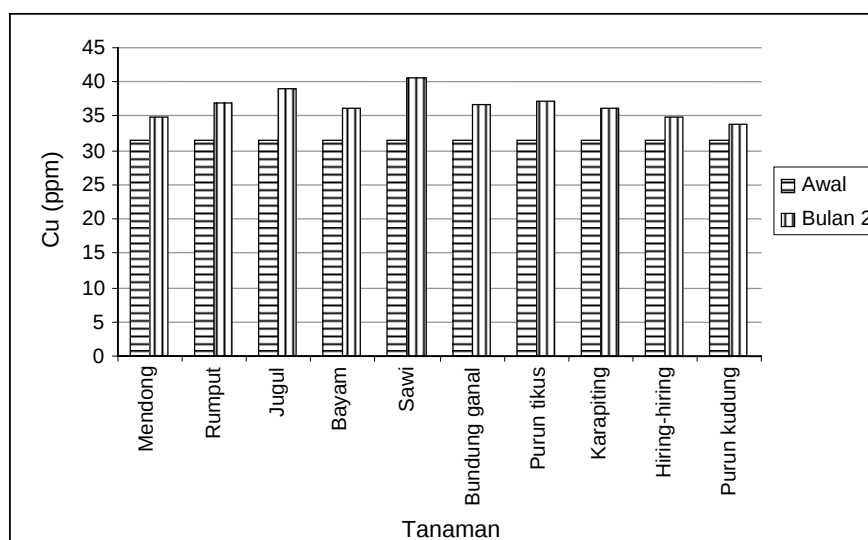
Kadar Cd dan Cu pada batang dan daun tanaman hiperakumulator

Berdasarkan Tabel 4, kadar Cd dan Cu pada batang dan daun setelah ditanam selama dua bulan bervariasi. Hasil uji Duncan menunjukkan terjadi perbedaan kadar Cd pada batang dan daun.



Gambar 2. Perbandingan kadar Cd pada tanah sebelum dan sesudah perlakuan tanaman hiperakumulator

Figure 2. Comparison of Cd concentrations in the soil before and after treatments



Gambar 3. Perbandingan kadar Cu pada tanah sebelum dan sesudah perlakuan tanaman hiperakumulator

Figure 3. Comparison of of Cu concentrations in the soil before and after treatments

Tanaman bayam menunjukkan kadar Cd tertinggi bila dibandingkan dengan yang lainnya, menunjukkan tanaman bayam paling tinggi menyerap Cd dari tanah yang disimpan pada batang dan daunnya. Kemampuan tanaman bayam demikian sesuai dengan yang disampaikan Notohadiprawiro (2006) bahwa potensi tumbuhan dikotil (bayam) dalam mengakumulasi logam berat lebih besar daripada tumbuhan monokotil. Kemampuan bayam dalam menyerap Cd menunjukkan bahwa bayam merupakan tanaman hiperakumulator yang baik, di sisi lain hal ini memerlukan kewaspadaan kita dalam mengkonsumsi bayam.

Kadar Cu pada batang dan daun menunjukkan perbedaan yang nyata. Tanaman jugul menyerap Cu paling tinggi yang disimpan pada batang dan daunnya dibandingkan dengan tanaman lainnya. Akumulasi Cu yang tinggi pada bagian batang dan daun tanaman salah satunya disebabkan oleh fungsi fisiologis dari daun yang membutuhkan unsur hara dan logam yang diakumulasinya secara bersamaan. Sifat immobil dari Cu juga menyebabkan terjadinya akumulasi yang tinggi pada bagian batang dan daun tanaman. Menurut Suwondo *et al.* (2005), Cu terakumulasi pada kloroplas lebih dari 50%

dibandingkan jaringan lain. Agustina (2004) dalam Suwondo *et al.* (2005) menambahkan bahwa logam Cu dibutuhkan oleh tumbuhan untuk kegiatan metabolisme, diantaranya sebagai transfer elektron pada fotosintesis, kofaktor beberapa enzim, dan pembentukan klorofil.

Tabel 4. Kadar Cd dan Cu dalam batang-daun tanaman hiperakumulator setelah dua bulan perlakuan

Table 4. Cd and Cu concentrations in leaf and branch of hyperaccumulator plant after two month treatments

No.	Perlakuan	Kadar Cd ppm	Kadar Cu
1.	Mendong	0,15167 d	64,84 e
2.	Rumput	0,29700 c	97,11 cd
3.	Jugul	0,01000 e	190,61 a
4.	Bayam	0,45500 a	44,27 e
5.	Sawi	0,36333 bc	73,48 ed
6.	Bundung ganal	0,36933 bc	122,08 bc
7.	Purun tikus	0,10733 d	153,34 b
8.	Karapiting	0,36867 bc	129,03 b
9.	Hiring-hiring	0,00000 e	139,11 b
10.	Purun kudung	0,41133 ab	53,32 e
CV (%)		16,5	15,9

Angka dalam kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji Duncan

Kadar Cd dan Cu pada akar tanaman hiperakumulator

Berdasarkan Tabel 5, kadar Cd dan Cu pada akar tanaman hiperakumulator bervariasi setelah dua bulan ditanam. Hasil uji Duncan menunjukkan terjadi perbedaan kadar Cd pada akar. Tanaman jugul menunjukkan kadar Cd tertinggi bila dibandingkan dengan tanaman yang lainnya. Kondisi demikian menunjukkan tanaman jugul paling banyak menyerap Cd dari tanah yang disimpan pada akar. Berbeda dengan itu, tanaman hiring-hiring dapat menyerap Cu paling banyak bila dibandingkan dengan tanaman lainnya.

Tabel 5. Kadar Cd dan Cu dalam akar tanaman hiperakumulator setelah dua bulan

Table 5. Cd and Cu concentrations in the root of hyperaccumulator plants after two months treatments

No.	Perlakuan	Kadar Cd ppm	Kadar Cu
1.	Mendong	0,08667 ef	17,47 ab
2.	Rumput	0,21667 bcd	17,05 ab
3.	Jugul	0,36000 a	7,52 ab
4.	Bayam	0,24000 b	8,95 ab
5.	Sawi	0,00667 f	0,57 b
6.	Bundung ganal	0,10333 def	9,79 ab
7.	Purun tikus	0,13667 bcde	22,01 ab
8.	Karapiting	0,23000 bc	14,83 ab
9.	Hiring-hiring	0,19667 bcde	31,68 a
10.	Purun kudung	0,11333 cdef	9,83 ab
CV (%)		38,7	95,6

Angka dalam kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji Duncan

Beberapa tahapan proses berikut memberikan penjelasan bahwa akar tanaman berperan penting dalam penyerapan unsur logam berat oleh tanaman. Menurut Salt *et al.* (1995) dalam Suresh dan Ravishankar (2004), secara serial tahapan yang terjadi di sekitar akar atau melibatkan akar tanaman terhadap zat kontaminan/pencemar yang berada di sekitarnya, yaitu:

1. *Phytoaccumulation (phytoextraction)* yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *hyperaccumulation*.

2. *Rhizofiltration* (rhizo = akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar.
3. *Phytostabilization* yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media.
4. *Rhizodegradation* disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation* atau *planted-assisted bioremediation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan.
5. *Phytodegradation (phyto transformation)* yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.

Tanaman menyerap unsur hara beserta logam dalam tanah melalui akar. Akar berfungsi sebagai organ penyerap unsur-unsur hara dan mengalirkannya ke bagian batang dan daun. Pada penelitian ini kadar logam berat pada batang dan daun tanaman lebih tinggi daripada akar. Hal ini menunjukkan bahwa setelah ditanam selama dua bulan, tanaman hiperakumulator mampu mentranslokasi unsur logam berat dari akar menuju bagian batang dan daun secara maksimal.

KESIMPULAN

1. Pertumbuhan tanaman fitoremediasi menunjukkan perkembangan yang baik, dapat berfungsi sebagai tanaman hiperakumulator penyerap logam berat Cd tetapi belum berfungsi baik dalam menyerap Cu pada tanaman yang berumur dua bulan.

2. Semua tanaman fitoremediasi yang ditanam pada tanah Vertisols tercemar kadmium (Cd) menyebabkan terjadinya penurunan kadar Cd setelah tanaman berumur dua bulan, tetapi kandungan tembaga (Cu) dalam tanah menunjukkan peningkatan.
3. Kandungan Cu pada batang dan daun bayam menunjukkan paling tinggi setelah tanaman berumur dua bulan, dan kandungan Cu pada batang dan daun jugul menunjukkan paling tinggi. Demikian juga kandungan Cd akar jugul menunjukkan paling tinggi, dan akar tanaman hiring-hiring menunjukkan paling tinggi kandungan Cu-nya.
4. Fitoremediasi yang diterapkan selama dua bulan dapat memperbaiki kualitas lahan sawah tercemar Cd, tetapi perlu studi lanjutan mengenai waktu penyerapan efektif berbagai tanaman fitoremediasi terhadap Cd dan Cu tanah yang diperkirakan setelah tiga kali pertanaman fitoremediasi padi layak dikonsumsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2008.** Fitoremediasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Industri dan Pertambangan. Laporan Akhir Penelitian TA 2007. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Alloway, B.J. 1995.** Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd.
- Fitter. 1982.** Fisiologi Lingkungan Tanaman. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hadi, A. 2005.** Prinsip Pengelolaan Pengambilan Contoh Lingkungan. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Lasat, M.M. 2000.** Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*. Kansas State University. Vol. 2.
- Kurnia, U., H. Suganda, R. Saraswati, dan Nurjaya. 2004.** Teknologi pengendalian pencemaran lahan sawah. Buku Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Puslitbangtanak. Badan Litbang Pertanian. Deptan.
- Kurnia, U. 2007.** Studi Kerusakan Lingkungan Pertanian Akibat Limbah Industri dan Pertambangan (tidak dipublikasi). Sintesis Kebijakan Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan.
- Mulyadi, S.Y. Jatmiko, dan A.N. Ardiwinata. 2007.** Pencemaran Limbah Industri di Lahan Pertanian dan Teknologi Penanggulangannya. Buku Pengelolaan Lingkungan Pertanian Menuju Mekanisme Pembangunan Bersih. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Notohadiprawiro. 2006.** Logam Berat Dalam Pertanian. Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Subowo, E. Tuberkih, A.M. Kurniawansyah, dan I. Nasution. 1999.** Identifikasi dan pencemaran kadmium (Cd) untuk padi gogo. Hlm. 105-123. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Suhendrayatna. 2001.** Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan. Seminar On-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21. 1-14 Februari 2001.
- Suresh, B. and G.A. Ravishankar. 2004.** Phytoremediation-A Novel and Promising Approach for Environmental Clean-up. Taylor & Francis Inc.
- Suwondo, Y. Fauziah, Syafrianti, dan S. Wariyanti. 2005.** Akumulasi logam Cuprum (Cu) dan Zincum (Zn) di perairan Sungai Siak dengan menggunakan bioakumulator eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Biogenesis*. FKIP Universitas Riau. Vol. 1(2).