

FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR MERKURI MENGGUNAKAN *Lindernia crustacea*, *Digitaria radicosaa*, DAN *Cyperus rotundus* SERTA PENGARUHNYA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG

Bonauli Christianoyd Siahaan, Sri Rahayu Utami, Eko Handayanto*

Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya

* penulis korespondensi: handayanto@ub.ac.id

Abstract

Levels of heavy metals in agricultural land can be reduced and neutralized with an inexpensive method, known as phytoremediation. The purpose of this study was to learn and know the ability *Lindernia crustaceans*, *Digitaria radicosaa*, and *Cyperus rotundus* as fitoremediator for soil contaminated by gold mining waste containing mercury and its effects on growth and yield of maize. The study was conducted in a glasshouse with sixteen treatments consisted of three plant accumulators, two soils contaminated with mercury, and two levels of organic matter application. The parameters measured were plant height, number of leaves, dry weight, crop N uptake, Hg content, and uptake of Hg. The results showed that 10% of tailings contaminated soil (T1) contained Hg less than 20% of tailings contaminated soil (T2). The addition of organic material could assist in providing the nutrients needed by plants to improve soil fertility, so the potential for increased uptake and could reduce the content of Hg in tailing contaminated soil. *Lindernia crustacea*, *Digitaria radicosaa*, and *Cyperus rotundus* are potential in reducing mercury concentration in tailing contaminated soils that in turn improved maize growth.

Keywords: mercury, N uptake, phytoremediation

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang banyak dijumpai kegiatan penambangan emas skala kecil (PESK). Desa Pesanggaran, Kecamatan Genteng, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, merupakan salah satu lokasi PESK yang telah beroperasi secara ilegal sejak tahun 2009. Amalgamasi merkuri (Hg) merupakan metode tradisional yang digunakan oleh penambang PESK untuk mendapatkan emas. Sisa proses tradisional tersebut berupa limbah (berlumpur) yang mengandung merkuri dan berbagai logam berat lainnya dibuang di lahan pertanian sehingga mencemari lahan pertanian.

Keberadaan kegiatan penambangan di Desa Pesanggaran dilaporkan oleh Kepala Desa telah menurunkan produksi tanaman jagung sampai 70%. Fitter dan Hay (2004)

menyatakan bahwa ion-ion logam bereaksi secara spesifik dengan enzim yang pada gilirannya mengganggu proses metabolisme pada tanaman. Menurut Subowo *et al.* (2007) adanya logam berat dalam tanah pertanian dapat menurunkan produktivitas pertanian dan kualitas hasil pertanian selain dapat membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi pangan yang dihasilkan dari tanah yang tercemar logam berat tersebut.

Kadar logam berat pada lahan pertanian tersebut dapat dikurangi dan dinetralisir dengan metode yang murah, yang dikenal dengan fitoremediasi (Truu, 2003). Teknologi ini merupakan sebuah inovasi, biaya efektif dan alternatif untuk mengelola limbah berbahaya yang ramah lingkungan (EPA, 2001). Bahan kimia yang diserap oleh tanaman disimpan dalam akar, batang, dan daun yang nantinya

akan diubah menjadi bahan kimia yang kurang berbahaya, diubah dalam bentuk gas dan dilepaskan ke udara dalam proses transpirasi (EPA, 2001: Priyanto dan Prayitno, 2005). Hasil penelitian Hidayati et al., (2009) menunjukkan bahwa ada beberapa spesies tanaman di lokasi PESK di Jawa Barat yang mampu mengakumulasi sampai dengan 20 ppm Hg, yakni *Lindernia crustacea* (*kerak nasi*), *Digitaria radicata* (*jampang pait*), *Cyperus rotundus* (*rumpuk teki*). Namun demikian, sampai saat ini belum banyak penelitian reklamasi lahan tercemar Hg yang menggunakan jenis tanaman tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk (1) mempelajari dan mengetahui kemampuan *Lindernia crustacea* (*kerak nasi*), *Digitaria radicata* (*jampang pait*), dan *Cyperus rotundus* (*rumpuk teki*) dalam fitoremediasi tanah yang tercemar oleh limbah tambang emas mengandung unsur Hg, dan (2) mempelajari pertumbuhan dan produksi tanaman jagung pada tanah pascafitoremediasi tersebut.

Metode Penelitian

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2011 sampai dengan bulan November 2012 di laboratorium dan rumah kaca Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah tiga species tanaman fitoekstraktor (*Lindernia crustacea* (*kerak nasi*), *Digitaria radicata* (*jampang pait*), dan *Cyperus rotundus* (*rumpuk teki*), limbah (tailing) penambangan emas skala kecil yang diperoleh dari Desa Pasanggaran, Kecamatan Genteng Kabupaten Banyuwangi, dan bahan organik (kompos) dari UB kompos. Penelitian dilaksanakan dalam 2 tahap, yakni (1) penggunaan tanaman *Lindernia crustacea* (*kerak nasi*), *Digitaria radicata* (*jampang pait*), dan *Cyperus rotundus* (*rumpuk teki*), untuk fitoremediasi tanah tercemar limbah tambang emas mengandung Hg, dan (2) pertumbuhan dan produksi tanaman jagung pada tanah tercemar limbah tambang emas pascafitoremediasi Hg.

Penelitian 1: Fitoremediasi tanah tercemar Hg

Sampel tanah yang tercemar limbah tailing emas diperoleh dari lahan pertanian yang

tercemar limbah tambang emas di Desa Pasanggaran, Kecamatan Genteng Kabupaten Banyuwangi. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm, dikering-udarkan selama 3 hari, kemudian diayak dengan ayakan 2mm. Analisis dasar tanah meliputi (1) kandungan N total (metode Kjeldahl), P tersedia (Bray-1) dan K (NH_4OAc), serta kandungan bahan organik (metode Walkley dan Black), (2) kadar Hg dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer). Sifat tanah yang tidak terdemar tailing adalah pH 6,27, C organik 0,65%, P tersedia 0,16 ppm, N total 0,67%, dan K total 0,90%. Sifat kimia tailing adalah pH 8,02, P tersedia 0,04 ppm, N total 0,23%, dan K total 0,11%.

Tanaman fitoremediasi yang digunakan adalah *Lindernia crustacea* (*kerak nasi*), *Digitaria radicata* (*jampang pait*), dan *Cyperus rotundus* (*rumpuk teki*) yang dijumpai di daerah sekitar lokasi tambang rakyat. Perlakuan yang diuji dalam penelitian ini adalah kombinasi antara 4 perlakuan tanaman fitoekstraktor (3 tanaman fitoekstraktor dan tanpa tanaman fitoekstraktor), 2 tanah tercemar tailing (10% dan 20%), dan 2 dosis bahan organik (0 dan 10 t ha⁻¹). Enam belas perlakuan (Tabel 1) disusun dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Kandungan Hg media tanam sebelum ditanam disajikan pada Tabel 2.

Masing-masing biji tanaman dari 3 tanaman di atas, ditanam pada 5 kg tanah tercemar limbah. Bahan organik yang digunakan adalah kompos produksi UPT Kompos FP-UB. Selama percobaan, pemberian air dilakukan setiap hari untuk menjaga kecukupan pasokan air untuk pertumbuhan tanaman. Setelah pertumbuhan selama 56 hari, tanaman dipanen dan dilakukan analisis kadar Hg dalam biomas tanaman (tajuk dan akar) serta tanah dalam pot. Hasil analisis statistik digunakan sebagai dasar untuk memilih jenis tanaman terbaik (paling tinggi mengakumulasi Hg), untuk fitoremediasi. Sisa tanah dalam pot (pascafitoremediasi), kemudian digunakan untuk penanaman tanaman jagung (percobaan tahap II). Data kuantitatif yang diperoleh diuji dengan analisis ragam dengan uji F taraf 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan.

Tabel 1. Kombinasi Antar Perlakuan

Perlakuan	Deskripsi Kombinasi Perlakuan		
	Tanah	Bahan Organik (BO)	Tanaman Fitoekstraktor
T ₁ B ₀ F ₀	tercemar Tailing 10%	Tanpa BO	Tanpa Fitoekstraktor
T ₁ B ₁ F ₀	tercemar Tailing 10%	10 t BO ha ⁻¹	Tanpa Fitoekstraktor
T ₁ B ₀ F ₂	tercemar Tailing 10%	Tanpa BO	<i>Digitaria radicosaa</i>
T ₁ B ₁ F ₂	tercemar Tailing 10%	10 t BO ha ⁻¹	<i>Digitaria radicosaa</i>
T ₁ B ₀ F ₁	tercemar Tailing 10%	Tanpa BO	<i>Lindernia crustacean</i>
T ₁ B ₁ F ₁	tercemar Tailing 10%	10 t BO ha ⁻¹	<i>Lindernia crustacea</i>
T ₁ B ₀ F ₃	tercemar Tailing 10%	Tanpa BO	<i>Cyperus rotundus</i>
T ₁ B ₁ F ₃	tercemar Tailing 10%	10 t BO ha ⁻¹	<i>Cyperus rotundus</i>
T ₂ B ₀ F ₀	tercemar Tailing 20%	Tanpa BO	Tanpa Fitoekstraktor
T ₂ B ₁ F ₀	tercemar Tailing 20%	10 t BO ha ⁻¹	Tanpa Fitoekstraktor
T ₂ B ₀ F ₁	tercemar Tailing 20%	Tanpa BO	<i>Lindernia crustacean</i>
T ₂ B ₁ F ₁	tercemar Tailing 20%	10 t BO ha ⁻¹	<i>Lindernia crustacea</i>
T ₂ B ₀ F ₂	tercemar Tailing 20%	Tanpa BO	<i>Digitaria radicosaa</i>
T ₂ B ₁ F ₂	tercemar Tailing 20%	10 t BO ha ⁻¹	<i>Digitaria radicosaa</i>
T ₂ B ₀ F ₃	tercemar Tailing 20%	Tanpa BO	<i>Cyperus rotundus</i>
T ₂ B ₁ F ₃	tercemar Tailing 20%	10 t BO ha ⁻¹	<i>Cyperus rotundus</i>

Tabel 2. Data Hasil Analisis Kandungan Hg

No.	Tanah Tercemar	Limbah /Tailing	Kandungan Hg (mg kg ⁻¹)
1	10%	Tanpa BO	38,01
		Dengan 10 t BO ha ⁻¹	37,03
2	20%	Tanpa BO	75,01
		Dengan 10 t BO ha ⁻¹	72,02

Penelitian 2: Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung pada tanah pascafitoremediasi Hg

Tanah dalam pot bekas percobaan tahap I (tanah pascafitoremediasi), kemudian digunakan untuk penanaman tanaman jagung selama 56 hari. Setiap pot diberi pupuk dasar setara 100g N ha⁻¹, 50g P ha⁻¹ dan 50 kg K ha⁻¹. Enam belas perlakuan disusun dalam rancangan acak kelompok dengan 3 ulangan. Pada saat panen (56 hari), dilakukan pengamatan yang meliputi, berat basah dan berat kering tanaman jagung, berat dan jumlah tongkol jagung, berat biji jagung, kandungan Hg dalam tanaman jagung, dan kandungan Hg dalam tanah. Pengamatan tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman jagung dilakukan setiap minggu sampai dengan 56 hari setelah tanam (8 minggu). Pada saat panen akhir masa vegetatif (umur 8 minggu), akar dipisahkan dari batang dan daun, kemudian dikeringkan pada suhu 75-

105°C selama 2 hari. Kandungan Hg dalam tajuk dan akar tanaman jagung diukur dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) dengan metode uap dingin. Data kuantitatif yang diperoleh diuji dengan analisis ragam dengan uji F taraf 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan

Hasil dan Pembahasan

Hg Tanah Pascafitoremediasi

Data pengamatan kandungan Hg dalam tanah menggunakan rumput dalam 3 bulan setelah tanam menunjukkan bahwa T₁(tanah yang tercemar limbah *tailing* 10%) memiliki kandungan Hg akhir dua kali lebih sedikit dibandingkan dengan T₂(tanah yang tercemar limbah *tailing* 20%) (Tabel 3). Logam berat yang terkandung dalam tanah meningkat sejalan dengan penambahan konsentrasi limbah *tailing*, maka sisa kandungan logam berat dalam

tanah berkurang sejalan dengan daya serap tanaman pada setiap perlakuan. Hal ini dapat memberikan dampak positif bagi tanaman yang tidak toleran terhadap logam berat karena tanah tersebut sudah dapat dikatakan cukup aman jika akan dilakukan sistem tanam selanjutnya yaitu jagung. Pada dasarnya, logam berat yang terkandung dalam tanaman semakin meningkat sejalan dengan penambahan konsentrasi. Namun, serapan per tanaman semakin menurun sejalan dengan penambahan konsentrasi. Perlakuan dengan penambahan bahan organik dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman fitoekstraktor sehingga daya serap tanaman terhadap logam berat juga semakin meningkat. Jika tanaman mendapatkan asupan unsur hara yang cukup maka tanaman dapat tumbuh optimal dan kinerja tanaman sebagai hiperakumulator dapat meningkat, sehingga proses penyerapan logam berat lebih cepat dibandingkan tumbuhan normal.

Pada perlakuan F₃, tanaman *Cyperus rotundus* memiliki kandungan Hg lebih tinggi dibandingkan dengan F₁(*Lindernia crustacea*), dan perlakuan F₁(*Lindernia crustacea*) memiliki kandungan Hg lebih tinggi dibandingkan F₂(*Digitaria radicosaa*). Hal ini dapat terjadi karena setiap tanaman memiliki tipe jaringan yang berbeda sehingga kemampuan dan tingkat toleransi penyerapannya juga berbeda sehingga kandungan Hg yang terserap juga bervariasi. Menurut Knox (2000), ketersediaan unsur logam dan penyerapannya oleh tanaman ditentukan oleh konsentrasi total dan bentuk dari logam tersebut di dalam tanah selain faktor geokimia pada zona perakaran. Faktor genetik dan jenis tumbuhan menentukan penyerapan logam pada zona perakaran dan akar/tajuk pada tingkat yang bervariasi. Penyerapan juga ditentukan oleh tipe jaringan tanaman dan perlakuan yang diberikan pada tanah.

Tabel 3. Perubahan Kandungan Hg Pascafitoremediasi

Perlakuan	Kandungan Hg (mg kg ⁻¹)		
	Hg Awal	Hg Pascafitoremediasi	Hg yang hilang
T ₁ B ₀ F ₀	38,01	38,01	0
T ₁ B ₀ F ₁	38,01	33,186	4,824
T ₁ B ₀ F ₂	38,01	35,954	2,056
T ₁ B ₀ F ₃	38,01	31,906	6,104
T ₁ B ₁ F ₀	37,03	37,03	0
T ₁ B ₁ F ₁	37,03	27,524	9,506
T ₁ B ₁ F ₂	37,03	27,904	9,126
T ₁ B ₁ F ₃	37,03	27	10,03
T ₂ B ₀ F ₀	75,01	75,01	0
T ₂ B ₀ F ₁	75,01	71,1	3,91
T ₂ B ₀ F ₂	75,01	73,956	1,054
T ₂ B ₀ F ₃	75,01	63,096	11,914
T ₂ B ₁ F ₀	72,002	72,002	0
T ₂ B ₁ F ₁	72,002	57,5	14,502
T ₂ B ₁ F ₂	72,002	60,616	11,386
T ₂ B ₁ F ₃	72,002	54,046	17,956

Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1. Hg awal (Kandungan Hg awal) ; Hg akhir (Kandungan Hg pascafitoremediasi) ; Hg yang terserap (Hg yang terserap/menguap)

Dari hasil analisis Hg pada tanah pascafitoremediasi dapat diketahui bahwa tanaman *Cyperus rotundus* lebih toleran terhadap media *tailing* dan mampu menyerap kandungan logam lebih banyak dibandingkan tanaman

lainnya sehingga kandungan Hg dalam tanah banyak berkurang. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Maiti dan Jourge. (2004) bahwa setiap tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda bertahan pada berbagai macam tanah

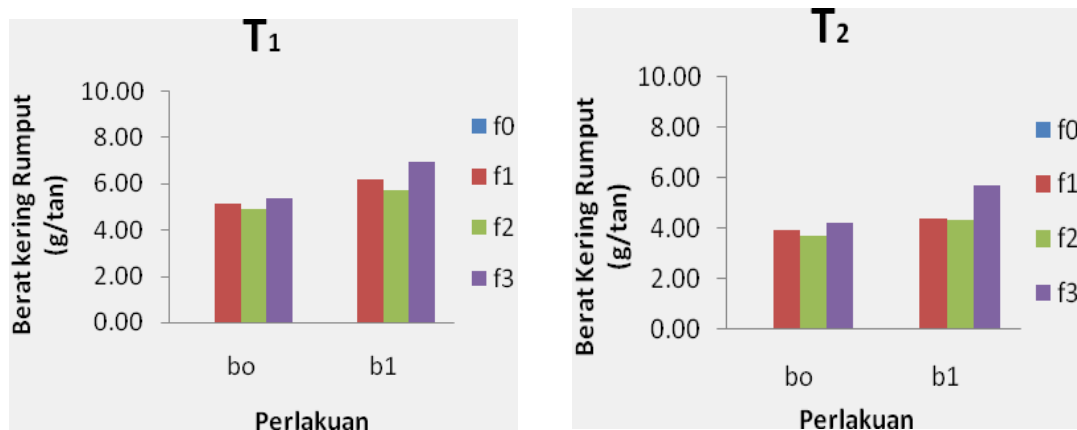
terkontaminasi dan menyerap logam. Menurut Syarif dan Juhaeti (2003), jenis-jenis tumbuhan lainnya yang beradaptasi dan dominan di lahan yang terkontaminasi juga menunjukkan kemampuan akumulasi bahan kontaminan (berupa logam berat maupun bahan toksik lain) yang tinggi pada jaringannya, sehingga diharapkan berpotensi sebagai tumbuhan hiperakumulator yang dapat dimanfaatkan untuk membersihkan kontaminan pada lahan maupun perairan yang tercemar.

Pada Tabel 3 terdapat kolom Hg yang hilang, dimana kolom tersebut merupakan hasil kandungan Hg dari pengurangan Hg awal dengan Hg akhir (Hg pasca fitoremediasi). Dalam hal ini, kolom Hg yang hilang diduga merupakan kandungan Hg yang terserap oleh tanaman ataupun yang menguap akibat sinar matahari. Hg yang hilang paling tinggi terdapat pada perlakuan F₃(*Cyperus rotundus*) pada semua tingkatan konsentrasi. Hal ini berarti, pada perlakuan F₃(*Cyperus rotundus*) memiliki kemampuan untuk meremediasi tanah yang tercemar limbah *tailing* yaitu dengan cara menyerap unsur-unsur logam seperti Hg dari bagian akar. Selain itu, menurut Pivetz (2001) yang dipublikasikan oleh EPA (Environmental

Protection Agency), penurunan Hg dalam tanah juga karena disebabkan oleh kemampuan Hg sebagai jenis logam berat yang mampu menguap ke atmosfer, dimana polutan Hg dari dalam tanah yang diserap oleh tanaman fitoekstraktor ditransformasikan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer dan kemudian diserap oleh daun, proses inilah yang kemudian disebut fitovolatilisasi (Follage Filtration).

Produksi Boimass Tanaman Fitoekstraktor

Produksi biomass tanaman fitoekstraktor dapat diukur dari berat kering tanaman. Berat kering pada tanaman diperoleh dari hasil penimbangan yang dilakukan setelah tanaman dioven selama 2x24 jam dengan suhu $\pm 70^{\circ}\text{C}$. Penentuan berat kering oven pada tanaman yang mengandung Merkuri (Hg) memiliki perlakuan yang berbeda, yaitu suhu oven tidak boleh lebih dari 40°C . Hasil pengamatan perlakuan F₂ dan F₃ memiliki pengaruh yang nyata terhadap berat kering tanaman rumput, sedangkan pada perlakuan F₂ menunjukkan pengaruh nyata terhadap berat kering tanaman (Gambar 1).



Gambar 1. Nilai Berat Kering Rumput
Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1.

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa ketiga tanaman rumput yang ditanam pada tanah yang tercemar limbah *tailing* sebanyak 10% memiliki nilai berat kering yang paling besar dibandingkan dengan tanah yang tercemar limbah *tailing* sebanyak 20%. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi *tailing*

yang terdapat dalam tanah maka semakin kecil tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut karena kekurangan hara, sehingga dapat menyebabkan berat kering tanaman rendah. Jika konsentrasi tanah yang tercemar limbah *tailing* semakin tinggi maka kandungan Hg semakin tinggi, sehingga dapat menghambat

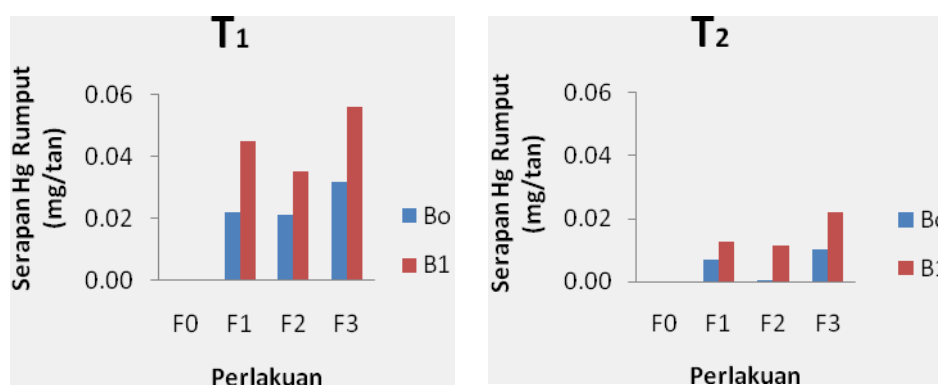
pertumbuhan akar karena tidak mendapatkan unsur hara yang dibutuhkan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Fauziah (2009), bahwa kondisi *tailing* sekitar lubang tanam yang memadat sehingga menyebabkan buruknya sistem tata air yang secara langsung dapat membawa dampak negatif terhadap fungsi dan perkembangan akar, yang menyebabkan akar tidak dapat berkembang dengan sempurna dan fungsinya sebagai alat absorpsi unsur hara dan air akan terganggu. Akibatnya tanaman tidak dapat berkembang dengan normal, dan pertumbuhannya tetap kerdil.

Berat kering tanaman dapat meningkat dengan penambahan bahan organik karena dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan menyediakan asupan unsur hara yang dibutuhkan dalam pertumbuhan. Semakin besar konsentrasi Hg maka berat kering tanaman semakin rendah karena pertumbuhan tanaman tidak optimal. Dengan penambahan bahan organik pada beberapa perlakuan mampu menciptakan kondisi pertumbuhan yang lebih baik sehingga tanaman memiliki berat kering yang lebih besar dibandingkan dengan yang tanpa penambahan bahan organik. Menurut Goldsworthy and Fisher (1992) sekitar 90% berat kering tanaman merupakan hasil dari fotosintesis. Penambahan bahan organik akan menambah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga penyerapan unsur hara oleh tanaman berjalan baik, yang pada akhirnya akan menaikkan proses fotosintesis. Jika hasil fotosintesis semakin banyak, maka berat kering tanaman pun akan

meningkat. Tinggi tanaman dan jumlah daun merupakan bagian dari bobot segar tanaman, semakin tinggi tanaman dan semakin banyak jumlah daunnya maka bobot segar tanaman akan semakin tinggi dan dapat meningkatkan nilai berat kering tanaman. Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa perlakuan F₁ dan F₃ memiliki berat kering tanaman lebih besar dibandingkan dengan perlakuan F₂. Hal ini dapat terjadi karena tanaman *Lindernia crustacea* dan tanaman *Cyperus rotundus* mampu beradaptasi dengan lingkungan dengan baik, sehingga daya serap tanaman terhadap unsur-unsur yang terdapat didalam tanah menjadi optimal, namun dengan bertambahnya konsentrasi *tailing* dapat menurunkan pertumbuhan tanaman sehingga mengakibatkan berat kering tanaman semakin rendah. Dengan penambahan organik diharapkan tanaman mampu tumbuh dengan baik dan dapat menghasilkan berat kering yang tinggi.

Serapan Hg pada Rumput

Dari hasil analisis sidik ragam (taraf 5%), perlakuan yang menggunakan tanaman fitoekstraktor berpengaruh nyata terhadap nilai serapan Hg. Penyerapan Hg oleh tanaman rumput terbesar terjadi pada tanaman *Cyperus rotundus* sebesar 0,06 (mg tanaman⁻¹) dan tanaman *Lindernia crustacea* sebesar 0,05 (mg tanaman⁻¹) (Gambar 2).



Gambar 2. Nilai Serapan Hg pada Tanaman hiperakumulator
Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1.

Dari Gambar 5, dapat diketahui bahwa serapan kandungan Hg pada tanaman yang ditanam pada tanah tercemar limbah *tailing* 20%, dua kali lebih rendah dibandingkan dengan serapan kandungan Hg tanaman yang ditanam pada tanah tercemar limbah *tailing* 10%. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi konsentrasi Hg dalam tanah maka dapat menghambat pertumbuhan tanaman sehingga tanaman tidak dapat melakukan proses penyerapan dengan optimal. Secara umum pertumbuhan tanaman dapat meningkat dengan pemberian bahan organik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa serapan Hg pada rumput dapat meningkat pula pada perlakuan pemberian bahan organik.

Serapan Hg tanaman menunjukkan banyaknya unsur Hg per satuan berat kering tanaman. Serapan Hg dapat meningkat seiring dengan adanya pertumbuhan tanaman yang optimal, tanaman dapat tumbuh optimal salah satu caranya dengan bantuan dari penambahan bahan organik. Jika tanaman dapat tumbuh dengan optimal maka daya serap tanaman terhadap unsur yang ada didalam tanah juga optimal. Tanaman fitoekstraktor dapat menyerap unsur Hg lebih banyak dengan adanya penambahan bahan organik sebab bahan organik memiliki peranan penting dalam membantu proses pertumbuhan tanaman, yaitu dengan menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh setiap tanaman sehingga tanaman mendapatkan asupan hara dan pertumbuhannya tidak terhambat.

Jika pertumbuhan tanaman baik maka daya serap tanaman terhadap kandungan Hg dalam tanah yang tercemar limbah *tailing* baik dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi dapat meningkat. Dari hasil penelitian, semua tanaman fitoekstraktor dapat menyerap kandungan Hg dalam tanah yang tercemar limbah *tailing* dengan nilai yang bervariasi. Pada Gambar dapat dilihat bahwa, baik pada T₁(tanah yang tercemar limbah *tailing* 10%) dan T₂(tanah yang tercemar limbah *tailing* 20%), tanaman F₃ (*Cyperus rotundus*) memiliki nilai serapan kandungan Hg paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan F₂(*Digitaria radicosaa*) dan F₁(*Lindernia crustacea*). Hal ini dapat terjadi karena tanaman *Cyperus rotundus* merupakan tanaman yang lebih toleran

terhadap logam berat dibandingkan dengan tanaman-tanaman lainnya.

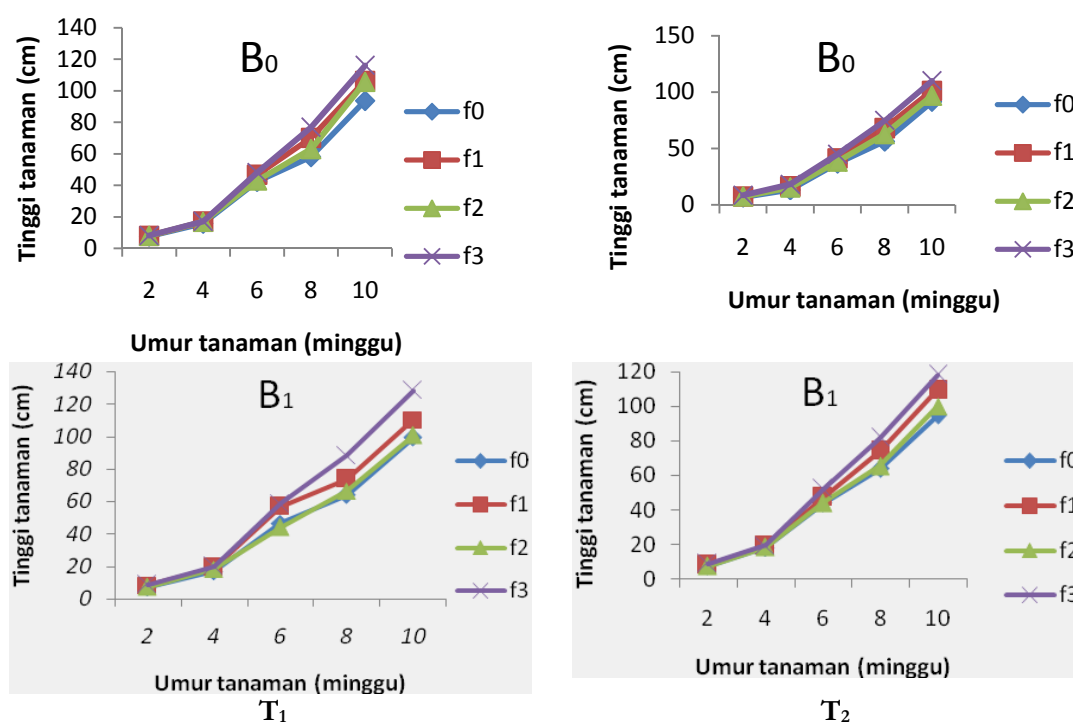
Hal tersebut sesuai dengan pernyataan dari Chaney (1995), yang menyatakan bahwa sejumlah spesies dari beberapa famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yaitu dapat mentolelir unsur logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, dan sifat hiperakumulator, yang berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya. Akan tetapi, pertumbuhannya akan menurun seiring dengan adanya peningkatan kandungan Hg dalam tanah yang tercemar limbah *tailing*.

Menurut Muin (2003), jika logam berat yang terdapat di dalam tanah tinggi, maka bisa terjadi penurunan penyerapan oleh tanaman. Logam yang diserap dari media oleh sel-sel akar akan mengikuti aliran transpirasi yang akan mencapai daun, sedangkan akumulasi, logam yang diserap oleh tanaman akan membentuk mekanisme sel dan akan ikut terserap bersamaan dengan air yang dibutuhkan sebagai nutrisi (Lasat, 2003).

Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung pada tanah pascafitoremediasi Hg

Tinggi Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman jagung dilakukan pada 2,4,6,8 dan 10 MST (Minggu Setelah Tanam). Tinggi tanaman merupakan parameter yang diamati secara keseluruhan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan peningkatan pertumbuhan pada perkembangan tanaman jagung (Gambar 3). Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai rerata tinggi tanaman jagung pada T₁(tanah yang tercemar limbah *tailing* 10%) meningkat dibandingkan T₂(tanah yang tercemar limbah *tailing* 20%) karena konsentrasi limbah *tailing* pada T₁ lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi *tailing* dapat memberikan pengaruh yang tidak baik pada pertumbuhan tanaman terutama tinggi tanaman jagung. Kondisi akumulasi logam berat yang berlebihan pada tanah dapat berakibat tidak hanya terhadap kontaminasi lingkungan saja tetapi dapat menyebabkan meningkatnya kadar logam berat pada hasil tanaman yang dipanen sehingga hal tersebut dapat menurunkan kualitas hasil tanaman.



Gambar 3. Nilai Rerata Tinggi Tanaman Jagung

Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1.

Tinggi tanaman meningkat seiring dengan adanya penambahan bahan organik. Hal ini dikarenakan bahan organik mampu membantu menyediakan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan. Menurut Harjadi (1989), tersedianya unsur hara dalam jumlah yang cukup dan seimbang untuk pertumbuhan tanaman, menyebabkan proses pembelahan, pembesaran dan pemanjangan sel akan berlangsung cepat yang mengakibatkan beberapa organ tanaman tumbuh cepat. Pertumbuhan tanaman akan terhambat sejalan dengan adanya peningkatan konsentrasi limbah tailing.

Selain itu, bahan organik memiliki sifat dapat mengkelat jika bertemu dengan logam-logam berat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Stevenson (1997), bahwa bahan organik dapat berperan sebagai *buffer* sehingga dapat meningkatkan pH, sebagai sumber unsur hara, dapat meningkatkan *water holding capacity*, meningkatkan KTK dan dapat mengkelat logam-logam yang banyak terdapat pada lahan bekas tambang. Pada perlakuan kontrol yaitu perlakuan tanpa tanaman fitoekstraktor (F₀), tanaman jagung memiliki tinggi tanaman yang

lebih rendah dari perlakuan yang menggunakan tanaman fitoekstraktor karena tanaman tersebut hanya bisa berusaha untuk tetap mempertahankan hidupnya karena nutrisi yang diperlukan tidak terpenuhi. Berbeda halnya dengan tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F₁ (*Lindernia crustacea*), F₂ (*Digitaria radicosaa*), dan F₃ (*Cyperus rotundus*) yaitu perlakuan yang menggunakan tanaman fitoekstraktor, memiliki tinggi tanaman yang berbeda.

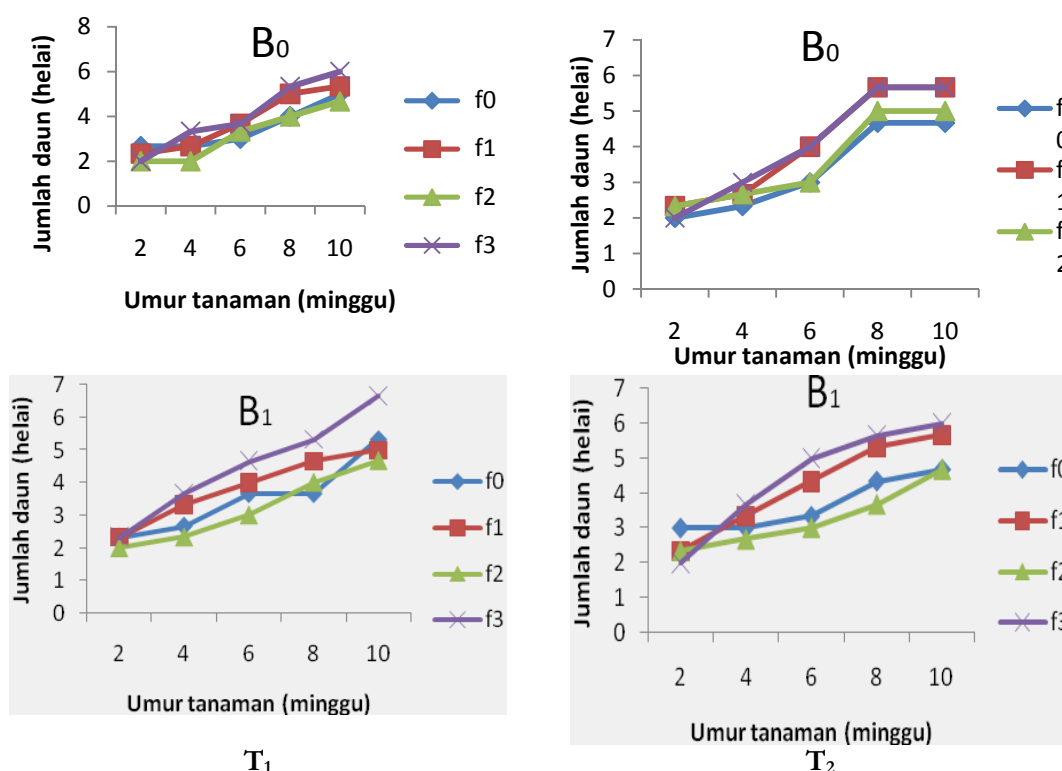
Nilai rerata tinggi tanaman jagung yang paling baik dan memiliki pertumbuhan tanaman yang cepat, jika diurutkan dari nilai rerata yang tertinggi yaitu tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F₃ (*Cyperus rotundus*), F₁ (*Lindernia crustacea*) dan yang terakhir adalah perlakuan F₂ (*Digitaria radicosaa*) karena pada tahap fitoremediasi, perlakuan F₃, tanaman tersebut memberikan respon positif yaitu mampu menyerap Hg dalam jumlah yang cukup banyak sehingga kandungan Hg dalam tanah berkurang dan tanaman jagung dapat tumbuh lebih baik dibandingkan dengan perlakuan F₁ maupun F₂. Hal ini ditunjukkan pada parameter tinggi tanaman jagung pada

perlakuan $T_1B_1F_3$ yang merupakan perlakuan yang memiliki nilai rerata tinggi tanaman paling baik.

Jumlah Daun Tanaman

Pengukuran jumlah daun dilakukan 2 minggu setelah semai dan perlakuan menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap jumlah daun (Gambar 4). Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa parameter jumlah daun memiliki

pernyataan yang sama dengan tinggi tanaman yaitu peningkatan konsentrasi *tailing* dapat memberikan pengaruh negatif terhadap pertumbuhan tanaman. Hal ini terlihat dari nilai rerata jumlah daun tertinggi terdapat pada perlakuan tanah yang tercemar *tailing* 10% (T_1), sedangkan rerata terendah pada perlakuan tanah yang tercemar *tailing* 20% (T_2).



Gambar 4. Nilai Rerata Jumlah Daun pada Tanaman Jagung

Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1.

Pola jumlah daun dan besarnya jumlah daun sangat tergantung pada tinggi rendahnya kandungan Hg yang terdapat dalam tanah dan unsur hara yang terkandung didalamnya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Subiksa (2002), bahwa keracunan akibat adanya akumulasi logam berat yang berlebih akan dapat mengakibatkan penurunan kesehatan tanah secara bertahap. Jumlah daun pada tanaman jagung meningkat dengan adanya pemanjangan bahan organik. Hal ini disebabkan karena, ketersediaan dan serapan tanaman terhadap unsur hara dalam tanah dapat membantu

pertumbuhan organ-organ tanaman, salah satunya yaitu jumlah daun. Pada dasarnya daun dapat tumbuh semakin banyak seiring dengan adanya unsur hara yang cukup di dalam tanah, jika tanah tersebut kekurangan unsur hara maka akan berdampak pada pertumbuhan organ-organ tanaman seperti jumlah daun. Ketersediaan unsur hara di dalam tanah sangat dibutuhkan karena dapat membantu pertumbuhan organ-organ tanaman seperti tinggi, jumlah daun, pembentukan akar serta hasil dari tanaman itu sendiri. Menurut Sudiana (2004), tanah *tailing* merupakan tanah yang

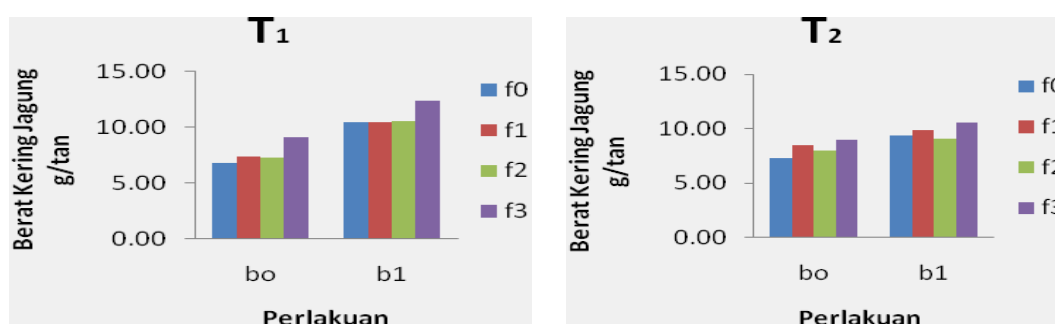
memiliki kandungan hara sangat rendah, sehingga pemberian pupuk sangat membantu dalam penyediaan haranya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sulawati (1981), menyimpulkan bahwa tanaman jagung yang menggunakan pupuk NPK dan kompos mengalami pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan hanya menggunakan pupuk NPK saja. Ketersediaan dan serapan tanaman terhadap unsur hara dalam tanah dapat membantu pertumbuhan organ-organ tanaman, salah satunya yaitu jumlah daun.

Semakin banyak jumlah daun yang dihasilkan tanaman secara tidak langsung akan menghasilkan bobot segar tanaman yang semakin besar. Jumlah dan bobot segar tanaman akan optimal dengan adanya ketersediaan yang dibutuhkan oleh tanaman. (Rizqiani *et al.*, 2007). Dari hasil penelitian, baik pada T₁ (tanah yang tercemar limbah *tailing* 10%) dan T₂ (tanah yang tercemar limbah *tailing* 20%), perlakuan F₃ (*Cyperus rotundus*) memiliki jumlah daun paling banyak dibandingkan dengan perlakuan F₂ (*Digitaria radicosaa*) dan F₁ (*Lindernia crustacea*). Hal ini dapat terjadi karena pada tahap fitoremediasi, tanaman *Cyperus rotundus* merupakan tanaman yang lebih banyak kandungan Hg, sehingga dengan berkurangnya kandungan Hg maka dapat memberikan potensi tumbuh yang lebih baik untuk tanaman selanjutnya. Pada perlakuan F₀ (tanpa

menggunakan tanaman fitoekstraktor) memiliki jumlah daun yang lebih sedikit sebab Hg yang terkandung di dalam tanah belum mengalami penurunan. Pembentukan daun melalui proses fotosintesis terbatas sebab ketersediaan hara untuk beradaptasi dengan keadaan lingkungannya kurang sesuai yang berdampak pada pertumbuhan yang tidak optimal.

Produksi Biomass Tanaman Jagung

Bobot kering tanaman jagung diperoleh dari hasil penimbangan yang dilakukan saat panen pada 10 MST, setelah tanaman dioven 2x24 dengan suhu $\pm 70^{\circ}\text{C}$. Parameter bobot kering digunakan untuk mengetahui nilai serapan N tanaman setelah dikalikan dengan kadar N tanaman. Dari hasil uji Duncan taraf 5% semua perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap berat kering tanaman jagung, hal ini dapat terlihat pada Gambar 5. Berat kering pada perlakuan tanah yang tercemar limbah *tailing* 20% (T₂) lebih rendah dibandingkan perlakuan tanah yang tercemar limbah *tailing* 10% (T₁). Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi Hg maka dapat mengganggu proses metabolisme tanaman serta menghambat pertumbuhan tanaman sehingga tanaman menjadi kerdil dan menghasilkan berat kering yang tidak seperti tanaman normal.



Gambar 5. Nilai Rerata Berat Kering Tanaman Jagung

Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1.

Fitter and Hay (1991), menyatakan bahwa logam berat dapat mengganggu proses metabolisme pada tanaman, sehingga mengganggu pembentukan sel-sel tanaman dan jaringan meristem pada akar. Menurunnya pertumbuhan jaringan pada akar dapat mengakibatkan penurunan pertumbuhan

bagian atas tanaman yang pada akhirnya akan menurunkan bobot kering tanaman. Perlakuan dengan penambahan bahan organik (B₁) dan tanpa bahan organik (B₀), diharapkan dapat menunjukkan perbedaan yang signifikan yaitu nilai rerata berat kering tanaman yang rendah terdapat pada perlakuan yang tidak

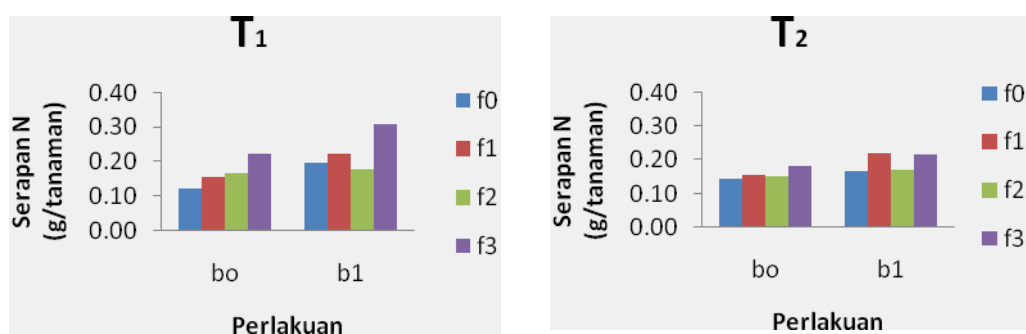
menggunakan penambahan bahan organik, karena kurangnya pasokan unsur hara dalam tanah sedangkan nilai rerata berat kering tanaman yang tinggi terdapat pada perlakuan yang menggunakan penambahan bahan organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan organik memiliki berat kering lebih tinggi dibandingkan tanpa penambahan bahan organik untuk semua konsentrasi *tailing*. Hal ini sesuai dengan sifat *tailing* yang rendah unsur hara, sehingga dapat mengakibatkan penurunan pertumbuhan tanaman.

Terhambatnya pertumbuhan jagung dikarenakan adanya cekaman logam berat, sehingga pertumbuhan dan perkembangan jaringan pada akar menjadi terhambat. Menurunnya jaringan pada akar mengakibatkan penurunan pertumbuhan bagian atas tanaman dan pada akhirnya akan menurunkan bobot kering tanaman (Fitter dan Hay, 2001). Menurut Sutedjo (2002), unsur hara makro sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan bagian-bagian vegetatif tanaman seperti akar, batang dan daun, dan apabila ketersediaan unsur hara makro dan mikro tidak lengkap dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Jika unsur hara yang didapat lebih banyak, dapat meningkatkan pertumbuhan sel. Pertumbuhan sel dan jaringan yang baik pada akar, dapat meningkatkan biomassa tanaman sehingga akan meningkatkan berat kering tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan

Dwidjoseputro (1994), yang menyatakan bahwa pertumbuhan organ-organ tanaman seperti akar, batang, dan daun akan menentukan bobot kering tanaman. Pada parameter berat kering tanaman jagung, perlakuan F₃(*Cyperus rotundus*) memiliki nilai rerata lebih tinggi dibandingkan F₁(*Lindernia crustacea*) sedangkan F₂(*Digitaria radicosaa*) memiliki nilai rerata lebih rendah dibandingkan F₁(*Lindernia crustacea*) dan terus menurun seiring meningkatnya konsentrasi Hg. Hal ini dikarenakan pada tahap fitoremediasi kandungan Hg banyak terserap pada perlakuan F₃(*Cyperus rotundus*) sehingga kandungan Hg berkurang dan pada penanaman selanjutnya tanaman dapat menghasilkan pertumbuhan yang baik dan hasil berat kering yang didapat tinggi. Kandungan Hg yang berlebih dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan produktifitas serta menurunkan nilai berat kering suatu tanaman.

Serapan N Tanaman Jagung

Hasil perhitungan serapan N dimaksudkan untuk mengetahui serapan N oleh tanaman selama pertumbuhan yang diperoleh dari hasil kali kadar N tanaman dengan berat kering tanaman. Hasil uji Duncan taraf 5% menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang nyata terhadap pertumbuhan tanaman jagung sehingga pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh jumlah serapan N tanaman. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai Rerata Serapan N Tanaman Jagung
Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1.

Perlakuan berpengaruh nyata terhadap serapan N tanaman jagung pada tanah tercemar *tailing*. Pada perlakuan T₁(tanah yang tercemar limbah *tailing* 10%) memiliki nilai rerata serapan N

tanaman lebih tinggi dibandingkan T₂(tanah yang tercemar limbah *tailing* 20%). Hal ini menandakan tanaman jagung pada T₁ menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik

dibandingkan T_2 karena tingkat konsentrasi kandungan *tailing* yang semakin meningkat akan menyebabkan tanaman lebih sulit beradaptasi dengan lingkungan yang berdampak pada hasil serapan yang tidak optimal sehingga dapat menghambat pada pertumbuhan tanaman. Melihat kondisi *tailing* yang berdampak pada tanaman jagung yang mengalami penghambatan dalam menyerap unsur N, maka dapat didukung atau dikendalikan dengan pemberian bahan organik dan pupuk.

Penambahan bahan organik dapat meningkatkan daya serap tanaman terhadap unsur-unsur yang terdapat di dalam tanah dibandingkan tanpa penambahan bahan organik. Hal ini dapat terjadi dikarenakan dengan adanya tambahan hara dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman seperti tinggi dan jumlah daun, semakin tinggi tanaman jagung maka semakin banyak pula jumlah daunnya, maka akan semakin tinggi juga serapan N tanaman yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nursyamsi *et al.* (2005), bahwa pemberian bahan organik mampu meningkatkan nilai serapan N pada tanaman jagung. Hal ini berarti bahwa bahan organik yang diaplikasikan efektif untuk meningkatkan serapan hara.

Serapan N pada perlakuan F_1 lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan F_2 dan F_3 sehingga memiliki pertumbuhan yang kurang baik. Hal ini dikarenakan adanya penghambatan pertumbuhan pada tanaman jagung yang disebabkan oleh adanya kandungan Hg pada tanah masih cukup banyak tersedia sehingga berpengaruh terhadap tanaman dalam menyerap unsur yang dibutuhkan. Secara umum, tanaman jagung yang ditanam pada tanah tercemar *tailing* kurang toleran terhadap kondisi tanah yang miskin akan bahan-bahan organik. Melihat kondisi *tailing* yang berdampak pada tanaman jagung yang mengalami penghambatan dalam menyerap unsur N, maka dapat didukung atau dikendalikan dengan pemberian bahan organik dan pupuk. Sesuai dengan pernyataan Yuwono, (2006) salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas tanah yang menurun khususnya pada tanah *tailing* yaitu dapat dibenahi dengan menambahkan bahan organik. Alasan pemberian bahan organik pada tanah *tailing*

bertujuan untuk memperbaiki kondisi tanah dalam menyediakan unsur hara yang berperan untuk menjaga fungsi tanah agar unsur hara mudah diserap oleh tanaman.

Kandungan Hg Pascapanen pada Tanaman jagung

Kandungan Hg

Data pengamatan kandungan Hg yang terdapat pada semua perlakuan pasca panen tanaman jagung disajikan pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa T_1 (tanah yang tercemar limbah *tailing* 10%) memiliki kandungan Hg akhir (Hg pasca panen) dua kali lebih sedikit dibandingkan T_2 (tanah yang tercemar limbah *tailing* 20%). Hal ini dapat terjadi karena beberapa logam berat sudah terakumulasi dalam tanaman yang memiliki sifat hiperakumulator dan toleran terhadap pencemaran logam pada tahap fitoremediasi.

Pada dasarnya, kandungan Hg yang tinggi pada tanah yang tercemar *tailing* menunjukkan pengaruh terhadap masalah aktivitas pertumbuhan tanaman yang menyebabkan kerusakan, karena *tailing* pada umumnya dapat menurunkan tingkat kesuburan tanah dan menyebabkan keracunan bagi tanaman, sehingga sulit bagi tanaman untuk tumbuh. Menurut Walhi (2006), jumlah *tailing* yang besar dapat merusak tanaman atau komunitas tanaman melalui proses penyumbatan, menghambat difusi oksigen ke dalam akar tanaman dan menyebabkan tanaman tersebut mati. Namun menurut Maiti dan Jourge. (2004), setiap tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda bertahan pada berbagai macam tanah terkontaminasi dan menyerap logam.

Penurunan kandungan Hg yang lebih besar terjadi pada perlakuan penambahan bahan organik. Penambahan bahan organik dapat mempengaruhi daya serap tanaman terhadap logam berat sehingga reklamasi lahan dapat terjadi. Jika tanaman mendapatkan asupan unsur hara yang cukup maka tanaman dapat tumbuh optimal dan kinerja tanaman sebagai hiperakumulator dapat meningkat, sehingga proses penyerapan logam berat lebih cepat dibandingkan tumbuhan normal.

Tabel 4. Rerata Kandungan Hg Pasca Panen Jagung

Perlakuan	Kandungan Hg (mg kg ⁻¹)		
	Hg Pasca Fitoremediasi	Hg Akhir	Hg yang hilang
T ₁ B ₀ F ₀	38,01	36,056	1,954
T ₁ B ₀ F ₁	33,186	28,046	5,14
T ₁ B ₀ F ₂	35,954	33,35	2,604
T ₁ B ₀ F ₃	31,906	21,876	10,03
T ₁ B ₁ F ₀	37,03	36,504	0,526
T ₁ B ₁ F ₁	27,524	26,338	1,186
T ₁ B ₁ F ₂	27,904	27,412	0,492
T ₁ B ₁ F ₃	27	25,626	1,374
T ₂ B ₀ F ₀	75,01	61,044	13,966
T ₂ B ₀ F ₁	71,19	52,91	18,28
T ₂ B ₀ F ₂	73,956	59,042	14,914
T ₂ B ₀ F ₃	63,096	46,042	17,054
T ₂ B ₁ F ₀	72,002	67,21	4,792
T ₂ B ₁ F ₁	57,5	41,676	15,824
T ₂ B ₁ F ₂	60,616	45,208	15,408
T ₂ B ₁ F ₃	54,046	37,464	16,582

Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Logam berat yang terkandung dalam tanaman meningkat sejalan dengan penambahan konsentrasi limbah *tailing*, maka kandungan logam berat dalam tanah berkurang sejalan dengan daya serap tanaman pada setiap perlakuan. Hal ini sesuai dengan data hasil penelitian yang tersaji pada Tabel 4, dimana kandungan Hg yang terdapat pada perlakuan F₃, F₂ dan F₁ memiliki nilai rerata lebih rendah dibandingkan perlakuan control F₀ pada tahap sebelumnya sehingga pada tahap penanaman jagung, tanaman jagung dapat tumbuh pada tanah yang terkontaminasi, namun tanaman tersebut mengalami pertumbuhan yang kurang baik seperti halnya tanaman yang kekurangan hara.

Pada tahap pasca panen tanaman jagung, kandungan Hg pada tanah yang tercemar limbah *tailing* menjadi berkurang. Hal ini menandakan bahwa tanaman jagung tidak hanya menyerap hara yang terdapat di dalam tanah tetapi juga menyerap Hg dalam tanah. Ada 3 kemungkinan Hg dalam tanah pasca panen tanaman jagung berkurang, pertama karena terserap oleh tanaman jagung bersama dengan bahan organik karena bahan organik memiliki sifat dapat mengkelat dengan unsur logam. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Stevenson (1997), bahwa bahan organik dapat

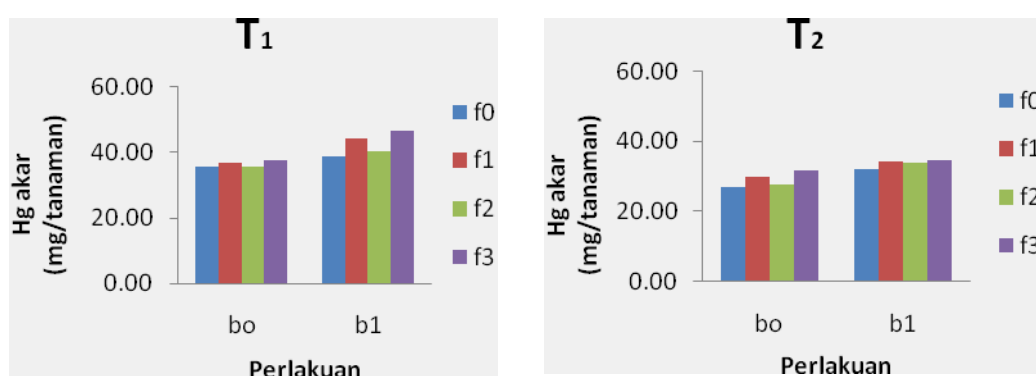
berperan sebagai *buffer* sehingga dapat meningkatkan pH, sebagai sumber unsur hara, dapat meningkatkan *water holding capacity*, meningkatkan KTK dan dapat mengkelat logam-logam yang banyak terdapat pada lahan bekas tambang. Kedua, unsur Hg memiliki sifat dapat menguap sehingga terjadi penguapan oleh sinar matahari. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Pivetz (2001) yang dipublikasikan oleh EPA (Environmental Protection Agency), bahwa penurunan Hg dalam tanah juga karena disebabkan oleh kemampuan Hg sebagai jenis logam berat yang mampu menguap ke atmosfer, dimana polutan Hg dari dalam tanah yang diserap oleh tanaman fitoekstraktor ditransformasikan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer dan kemudian diserap oleh daun, proses inilah yang kemudian disebut fitovolatilisasi (Follage Filtration).

Kandungan Hg pada Tanaman Jagung

Pengamatan terhadap konsentrasi dan akumulasi Hg pada tanaman dipisahkan antara tajuk, akar, batang dan buah (pipilan). Hal ini dilakukan untuk mengetahui unsur Hg dalam tanaman pangan, apakah mampu menyerap polutan (keracunan) dan melakukan translokasi logam berat ke tanaman yang dipanen atau

tidak. Nilai rerata kadar Hg yang terdapat dalam akar tanaman dapat dilihat pada Gambar 6. Pada penelitian ini, secara keseluruhan penyerapan logam Hg oleh tanaman jagung lebih banyak terjadi pada akar dibandingkan pada tajuk ataupun bagian-bagian tanaman lainnya. Kadar Hg yang paling tinggi hanya tertambat pada bagian akar saja dengan nilai rerata yang bervariasi, sedangkan pada bagian tajuk, batang dan biji kadar Hg tidak terdeteksi,

dengan nilai rerata pada semua perlakuan 0 mg tanaman⁻¹. Tanaman jagung yang ditanam pada T₁(tanah tercemar limbah *tailing* 10%) memiliki nilai rerata kandungan Hg lebih tinggi dibandingkan T₂(tanah yang tercemar limbah *tailing* 20%). Hal ini dapat terjadi karena diduga tanaman jagung memiliki potensi sebagai tanaman hiperakumulator sehingga tanaman jagung tersebut mampu menyerap unsur Hg dalam tanah.



Gambar 6. Nilai Rerata Kandungan Hg dalam Tanaman Jagung
Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1.

Selain itu, jika kandungan Hg dalam tanah masih banyak maka pertumbuhan tanaman menjadi terbatas sehingga menyebabkan serapan Hg juga terbatas. Unsur Hg yang terserap oleh tanaman tertambat pada bagian akar tanaman jagung namun, pertumbuhannya tidak sebaik tanaman jagung yang ditanam pada tanah yang tidak terkontaminasi. Menurut Brown (1995), Dalam menentukan apakah tumbuhan tersebut berpotensi sebagai akumulator logam berat (dalam hal ini Hg), perlu diperhatikan beberapa kriteria. Kriteria suatu jenis tumbuhan dapat dolongkan sebagai hiperakumulator adalah : (1) Tahan terhadap unsur logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuk; (2) Tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang tinggi dibanding tanaman lain; (3) Memiliki kemampuan mentranslokasi dan mengakumulasi unsur logam dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi. Tanaman hiperakumulator seperti yang terdapat pada perlakuan F₁ (*Lindernia crustacea*), F₂ (*Digitaria radicosaa*) dan F₃ (*Cyperus rotundus*) memiliki kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam

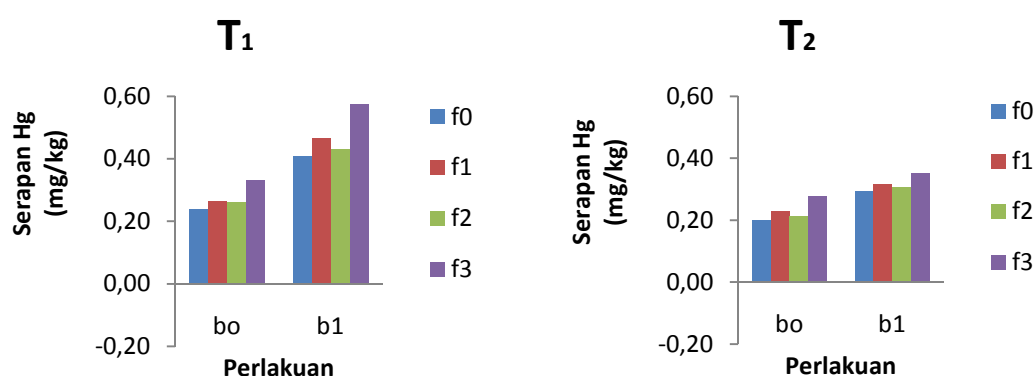
didalam biomasnya dalam kadar yang luar biasa tinggi sehingga dapat menurunkan kandungan Hg dalam tanah yang tercemar limbah *tailing*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor memiliki nilai kandungan Hg yang lebih tinggi dari perlakuan yang menggunakan tanaman fitoekstraktor. Namun, tidak semua tanaman hiperakumulator mampu menyerap kandungan logam dalam jumlah yang besar. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa tanaman yang ditanam pada perlakuan F₃ (*Cyperus rotundus*) memiliki kandungan Hg lebih tinggi dibandingkan dengan F₁ (*Lindernia crustacea*), namun tanaman yang ditanam pada perlakuan F₁ (*Lindernia crustacea*) memiliki kandungan Hg lebih tinggi dibandingkan F₂ (*Digitaria radicosaa*). Hal ini dapat terjadi dikarenakan kemampuan dan tingkat toleransi penyerapan tanaman jagung berbeda sehingga kandungan Hg yang terserap dalam tanaman dan yang tersisa didalam tanah juga bervariasi. Ketersediaan unsur logam dan penyerapannya oleh tanaman ditentukan oleh konsentrasi total

dan bentuk dari logam tersebut didalam tanah selain faktor geokimia pada zona perakaran. Faktor genetik dan jenis tumbuhan menentukan penyerapan logam pada zona perakaran dan akar/tajuk pada tingkat yang bervariasi. Penyerapan juga ditentukan oleh tipe jaringan tanaman dan perlakuan yang diberikan pada tanah (Knox, 2000). Dari hasil penelitian Perlakuan pemberian bahan organik dan tanpa bahan organik dimaksudkan untuk melihat perbandingan tingkat pertumbuhan tanaman jagung. Pemberian bahan organik dapat meningkatkan produksi biomassa tanaman, dengan meningkatnya produksi biomassa ini diduga serapan polutan pada tanaman akan meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa secara umum pemupukan dapat meningkatkan serapan logam oleh tanaman karena bahan organik memiliki sifat yang dapat mengkelat terhadap logam berat. Pernyataan ini didukung

oleh Stevenson (1997), bahwa bahan organik dapat berperan sebagai *buffer* sehingga dapat meningkatkan pH, sebagai sumber unsur hara, dapat meningkatkan *water holding capacity*, meningkatkan KTK dan dapat mengkelat logam-logam yang banyak terdapat pada lahan bekas tambang.

Serapan Hg pada Tanaman Jagung

Pada penelitian ini ditemukan hasil yang bervariasi pada serapan Hg tanaman, Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7. Semua perlakuan mempengaruhi pertumbuhan tanaman sehingga berdampak pada jumlah serapan Hg per tanaman. Tanaman yang ditanam pada tanah yang tercemar limbah *tailing* 10% memiliki daya serap lebih tinggi dibandingkan tanaman yang ditanam pada tanah yang tercemar limbah *tailing* 20%.



Gambar 1. Nilai Rerata Serapan Hg pada Tanaman Jagung
Keterangan : kode perlakuan sama dengan Tabel 1.

Kandungan Hg dalam tanaman semakin meningkat sejalan dengan penambahan konsentrasi. Namun, serapan per tanaman semakin menurun sejalan dengan penambahan konsentrasi, serapan Hg tanaman menunjukkan banyaknya unsur Hg per satuan berat kering tanaman. Serapan tanaman jagung dapat meningkat dengan adanya penambahan bahan organik karena suatu tanaman yang mendapatkan asupan hara cukup dapat tumbuh optimal dan kinerja tanaman sebagai hiperakumulator dapat meningkat, sehingga proses penyerapan logam berat lebih cepat

dibandingkan tumbuhan normal. Bahan organik merupakan organisme yang telah mengalami dekomposisi sehingga bermanfaat untuk memperbaiki sifat-sifat tanah, disamping itu bahan organik berfungsi untuk penyediaan makanan bagi tanaman. Hasil dekomposisi bahan organik menghasilkan senyawa-senyawa sederhana yang langsung dapat dimanfaatkan tanaman, serta membentuk senyawa kompleks yang berfungsi untuk mengurangi sifat racun logam berat (Verloo, 1993). Penanaman jagung yang menggunakan perlakuan penambahan tanaman fitoekstraktor dan tanpa

penambahan tanaman fitoekstraktor memiliki efektifitas serapan Hg yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F₃(*Cyperus rotundus*) dapat bertahan hidup dan mengakumulasi lebih banyak Hg dibandingkan dengan tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F₁(*Lindernia crustacea*) dan F₂(*Digitaria radicosaa*), akan tetapi pertumbuhan dan daya serap tanaman akan menurun seiring dengan adanya peningkatan kandungan Hg. Menurut Muin (2003), jika logam berat yang terdapat di dalam tanah tinggi, maka bisa terjadi penurunan penyerapan oleh tanaman. Logam yang diserap dari media oleh sel-sel akar akan mengikuti aliran transpirasi yang akan mencapai daun, sedangkan akumulasi, logam yang diserap oleh tanaman akan membentuk mekanisme sel dan akan ikut terserap bersamaan dengan air yang dibutuhkan sebagai nutrisi. (Lasat, 2003). Ketersediaan hayati logam berat, berarti keterserapannya oleh tumbuhan, dikendalikan oleh berbagai faktor tanah dan biologi (macam, fase pertumbuhan dan fase perkembangan tumbuhan) secara rumit, bahkan ada faktor yang pengaruhnya saling bertentangan. Menurut Verloo (1993) ada kejadian yang penyerapan suatu logam berat oleh tumbuhan dari tanah yang tercemar berat lebih sedikit daripada penyerapannya dari tanah yang tercemar ringan.

Kesimpulan

Tanaman *Lindernia crustacea*, *Digitaria radicosaa*, dan *Cyperus rotundus* dapat menurunkan kandungan Merkuri (Hg) dalam tanah tercemar limbah tailing. Kemampuan serapan tanaman *Lindernia crustacea* lebih besar dibandingkan *Digitaria radicosaa*, dan *Cyperus rotundus*, namun semakin tinggi kandungan Merkuri (Hg) maka semakin rendah serapan Hg. Perlakuan penambahan bahan organik dapat meningkatkan serapan Merkuri (Hg) pada tanaman fitoekstraktor. Pertumbuhan tanaman jagung yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat kering) meningkat seiring dengan adanya penurunan kandungan Hg pascafitoremediasi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa Merkuri (Hg) pada tanaman jagung banyak terdapat pada bagian akar tanaman.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Indofood Sukses Makmur Tbk. atas biaya penelitian yang diberikan melalui program Indofood Riset Nugraha Periode 2011-2012.

Daftar Pustaka

- Brown, S. L., R. L. Chaney, J. S. Angle and A. J. M. Baker. 1995. Zinc and Cadmium Uptake by Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* Grown in Nutrient Solution. *Soil Sci Soc Am* J59:125-133.
- Chaney, R. L. 1995. *Potential Use of Metal Hyperaccumulators*. Mining Environ Manag.
- Dwidjoseputro, D. 1994. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- EPA. 2001. *A Citizen's Guide to Phytoremediation*. US Environmental Protection Agency.
- Fauziah, A. B. 2009. Pengaruh Asam Humat dan Kompos Aktif untuk Memperbaiki Sifat Tailing Dengan Indikator Pertumbuhan Tinggi Semai *Enterolobium cyclocarpum* Griseb dan *Altingia excelsa* Noronhae. [skripsi] Departemen Silviculture Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Fitter, A. H dan R. K. M. Hay. 1991. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Terjemahan oleh Sri Andani dan E.D. Purbayanti. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Fitter, A. H dan R. K. M. Hay. 2004. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Terjemahan oleh Sri Andani dan E. D. Purbayanti. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Goldsworthy, P. R. and N. M. Fisher. 1992. Fisiologi Tanaman Budidaya Tanaman Tropik. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. (Diterjemahkan Oleh Tohari).
- Harjadi, S.S. 1989. Pengantar Agronomi. Penerbit Gramedia, Jakarta.
- Hidayati, N., T. Juhaeti dan F. Syarif. 2009. Mercury and Cyanide Contaminations in Gold Mine Environment and Possible Solution of Cleaning Up by Using Phytoextraction. *Hayati Journal of Biosciences*. Vol. 16, No. 3: 88-94.
- Knox, A. S., J. Seaman, D. C. Andriano, G. Pierzyaski. 2000. Chemostabilization of Metals in Contaminated Soils. dalam: Wise D. L., D. J. Transol, E. J. Cichon, U. Stottmeister (ed). *Bioremediation of Contaminated Soils*. New York: Marcek Dekker Inc. hlm 811-836.
- Lasat, M. M. 2003. The Use of Plants for the Removal of Toxic Metals from Contaminated Soil. American Association for the

- Advancement of Science Environmental Science and Engineering Fellow.
- Maiti, R. K. and L. Jourge. 2004. *Plant Based Bioremediation and Mechanisms Heavy Metal Tolerance of Plants*. P. 1-12. Proc. Indian natn Sci Acad. 1. Biology. Faculty. Univ. of. De Neuvo Leon. Mexico.
- Muin, A. 2003. Penggunaan Mikoriza untuk Menunjang Pembangunan Hutan pada Lahan Kritis atau Marginal. <http://www.hayati-ipb.com/users/PPs702.htm>
- Nursyamsi D, Syafuan LO, Purnomi DW. 2005. Peranan Bahan Organik dan Dolomit dalam Memperbaiki Sifat-Sifat Tanah Podsolik dan Pertumbuhan Jagung (*Zea Mays L.*). Jurnal Penelitian Pertanian.
- Pivetz, B. E. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. EPA (United States Environmental Protection Agency), Office of Research and Development.
- Priyanto, B. dan J. Prayitno. 2002. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat. *Dalam* [Http://lil.bppt.tripod.com/sublab/lflora.htm](http://lil.bppt.tripod.com/sublab/lflora.htm)
- Rizqiani, N. F., E. Ambarwati, W. N. Yuwono. 2007. Pengaruh Dosis dan Frekuensi Pemberian Pupuk cair Terhadap Pertumbuhan dan Hasil.
- Stevenson, F. J. 1997. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. John Willey&son. New York.
- Subiksa, I.G.M. 2002. Pemanfaatan Mikoriza Untuk Penanggulangan Lahan Kritis. *Dalam* http://rudycr.tripod.com/sem2_012/igm_subiksa.htm.
- Subowo, M., S. Widodo dan A. Nugraha. 2007. Status dan Penyebaran Pb, Cd, dan Pestisida pada Lahan Sawah Intensifikasi di Pinggir Jalan Raya. Prosiding. Bidang Kimia dan Bioteknologi Tanah, Puslittanak, Bogor.
- Sudiana, I. M. 2004. Revegetation of Degraded Land using *Enterolobium Cyclocarpum* Inoculated with Rhizobium, Phosphate Solubizing bacteria, and Mycorrhiza. *Agrikultura*. 15 : 5-9.
- Sulawati, S. 1981. Penilaian Kualitas Semai Pinus Merkusii di Persemaian Sinagrib dan Pasir Kadaka KPH Bogor. [skripsi] Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Sutejo, M. M. 2002. Pupuk Dan Cara Pemupukan. Rineka Cipta. Jakarta.
- Syarif, F. dan T. Juhaeti. 2003. Pertumbuhan, Serapan Hara dan Logam Berat Berbagai Jenis Rumput yang Ditanam pada Media Tanah Tercemar. [Laporan Teknik]. Bogor: Proyek Pengkajian dan Pemanfaatan Sumberdaya Hayati. Pusat Penelitian Biologi. LIPI
- Truu, J., E. Talpsep, E. Vedler, E. Heinaru, and A. Heinaru. 2003. Enhanced Biodegradation of Oil Shale Chemical Industry Solid Wastes by Phytoremediation and Bioaugmentation. Estonia Academy Publisher.
- WALHI. 2006. Dampak Lingkungan Hidup Operasi Pertambangan Tembaga dan emas FEEPOR-RIO TINTO di Papua. 25 Tahun WALHI, Wahana Lingkungan Hidup Indonesia. Jakarta.
- Verloo, M. 1993. Chemical Aspect of Soil Pollution. ITC-Gen Publications series No. 4:17-46.
- Yuwono, N. W. 2009. Membangun Kesuburan Tanah Di Lahan Marginal. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, Vol.9, No.2,p: 137-141.

halaman ini sengaja dikosongkan