

**PENGGUNAAN *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum*, dan
Commelina nudiflora UNTUK REMEDIASI TANAH
TERCEMAR MERKURI (Hg) LIMBAH TAILING TAMBANG
EMAS SERTA PENGARUHNYA TERHADAP
PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG**

Oleh

LIA NOVA TRIADRIANI



**JURUSAN TANAH
PROGRAM STUDI ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

**PENGGUNAAN *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum*, dan
Commelina nudiflora UNTUK REMEDIASI TANAH
TERCEMAR MERKURI (Hg) LIMBAH TAILING TAMBANG
EMAS SERTA PENGARUHNYA TERHADAP
PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG**

Oleh

**LIA NOVA TRIADRIANI
NIM 0710433002**

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Pertanian pada Fakultas Pertanian
Universitas Brawijaya Malang

**JURUSAN TANAH
PROGRAM STUDI ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

Nama Mahasiswa : **LIA NOVA TRIADRIANI**
NIM : 0710433002
Judul Skripsi : Penggunaan *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum*, dan *Commelina nudiflora* untuk Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Limbah Tailing Tambang Emas serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung
Jurusan : Tanah
Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pertama

Kedua

Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc., PhD.
NIP. 19520503 197803 1 004

Ir. Sri Rahayu Utami, MSc., PhD.
NIP 19611028 198701 2 001

Ketua Jurusan

Prof. Dr. Ir. H. Zaenal Kusuma, SU.
NIP. 19540501 198003 1006

Tanggal Persetujuan:

**Mengesahkan
MAJELIS PENGUJI**

Prof. Dr. Ir. H. Zaenal Kusuma, SU
Penguji Pertama

Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc., PhD.
Penguji Kedua

Ir. Sri Rahayu Utami, MSc., PhD
Penguji Ketiga

Dr Ir Yulia Nuraini MS
Penguji Keempat

Tanggal Lulus:

SURAT PERNYATAAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **LIA NOVA TRIADRIANI**
NIM : 0710433002
Jurusan / Program Studi : Tanah / Ilmu Tanah

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul

Penggunaan *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum*, dan *Commelina nudiflora* untuk Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Limbah Tailing Tambang Emas serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung

Merupakan karya tulis yang saya buat sendiri, dan bukan merupakan bagian dari skripsi maupun tulisan penulis lain. Bilamana ternyata di kemudian hari pernyataan saya ini tidak benar, saya sanggup menerima sanksi akademik apapun yang ditetapkan oleh Universitas Brawijaya Malang.

Malang, 2013
Yang menyatakan,

Lia Nova Triadriani
NIM. 0710433002

Mengetahui:

Pembimbing Pertama

Pembimbing Kedua

Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc., PhD.
NIP. 19520503 197803 1 004

Ir. Sri Rahayu Utami, MSc., PhD.
NIP 19611028 198701 2 001

Ketua Jurusan Tanah
Fakultas Pertanian
Universitas Brawijaya

Prof. Dr. Ir. H. Zaenal Kusuma, SU.
NIP 19520503 197803 1 004

RINGKASAN

Lia Nova Triadriani. 0710433002-43. **Penggunaan *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum*, dan *Comelina nudiflora* Untuk Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Limbah Tailing Tambang Emas Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mayz L.*).** Di bawah bimbingan Eko Handayanto dan Sri Rahayu Utami.

Tailing adalah material sisa dari proses pengelolaan dan tailing mempunyai sifat yang kurang menguntungkan serta akan menimbulkan dampak negatif karena mengandung logam berat yang bersifat toksik dan sedikit unsur hara. Salah satu dampak negatif tersebut adalah menyebabkan pencemaran terhadap tanah yang terjadi karena akumulasi logam berat. Teknik untuk mengatasi pencemaran logam berat adalah dapat dikurangi dan dinetralkan dengan teknologi alternatif pembersihan lahan yang dikenal dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah teknologi yang menggunakan tanaman untuk membersihkan baik sebagian atau keseluruhan dari tanah yang terkontaminasi oleh logam berat. Sehingga dilakukan penelitian menggunakan *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum*, dan *Comelina nudiflora* sebagai fitoremediator tanah tercemar tailing.

Penelitian dilakukan melalui percobaan berdasarkan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 3 faktor yang dikombinasikan dengan 3 kali ulangan. Faktor pertama adalah persentase tanah yang tercemar limbah tailing. Faktor kedua adalah perbedaan jenis tanaman fitoekstraktor pada tanah limbah tailing. Faktor ketiga adalah pemberian dosis bahan organik dan tanpa bahan organik. Penelitian ini dilaksanakan dalam 2 tahap, 1) fitoremediasi dengan tanaman *C. bicolor*, *P. conjugatum*, dan *C. nudiflora*; 2) pengamatan pertumbuhan jagung pasca fitoremediasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah tercemar tailing 10% memiliki kandungan Hg dua kali lebih sedikit dibandingkan tanah tercemar tailing 20%. Teknik fitoremediasi dan pemberian bahan organik dapat membantu sifat tailing menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam membantu meningkatkan kesuburan tanah dan memberikan dampak menurunkan kandungan Hg pada tanah tercemar tailing. Tanaman *C. bicolor*, *P. conjugatum* dan *C. nudiflora* berpotensi menurunkan kandungan logam berat merkuri (Hg) pada tanah tercemar tailing. Tumbuhan *C. nudiflora* memiliki potensi menyerap Hg lebih banyak. Semakin besar penurunan Hg, semakin baik pertumbuhan tanaman jagung yang ditunjukkan dengan peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun dan berat kering tanaman.

Kata kunci: Merkuri (Hg), Hiperakumulator, Fitoremediasi

SUMMARY

Lia Nova Triadriani : 0710433002 The use of *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum* and *Comelina nudiflorato* remediate Hg contaminated soil from gold mining, and its effect on maize (*Zea mayz L.*) growth and production. Advisory Committee: Eko Handayanto and Sri Rahayu Utami.

Tailings, waste material from gold processing, contain heavy metals that are toxic such as mercury (Hg). One of the negative impacts is causing contamination of soil, developed through the accumulation of heavy metals. Phytoremediation is an alternative technology, using plant to clean heavy metal contaminated soil. A research, using *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum* and *Commelina nudiflora* was then conducted as phytoremediation for contaminated soil.

The research was conducted in the greenhouse using a randomized block design (RBD) with 3 factors and 3 replications. The first factor was percentage of tailings in the soil (10% and 20%). The second factor was the type of phytoextractor plants (*C. bicolor*, *P. conjugatum* and *C. nudiflora*). The third factor was the use of organic matter (with and without organic matter). The study was conducted in two steps, namely 1) phytoremediation, using *C. bicolor*, *P. conjugatum*, and *C. nudiflora*; 2) evaluation of corn growth after phytoremediation.

The results showed that Hg content in the soil containing 10% tailings (T₁) was twice less than in the soil containing 20% tailings (T₂). The addition of organic matter increased the potential for Hg absorption and consequently reduced content of Hg in the soil. *C. bicolor*, *P. conjugatum* and *C. nudiflora* decreased Hg content in the soil, and hence potentially used for phytoremediation. Of the three plants, *C. nudiflora* showed the highest Hg absorption. Decreasing content of Hg in the soil improved corn growth, as indicated by increasing height, number of leaves and dry weight.

Keywords : Mercury (Hg), Hyperaccumulator, Phytoremediation

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Skripsi dengan judul “**Penggunaan *Caladium bicolor*, *Paspalum conjugatum*, dan *Commelina nudiflora* Untuk Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Limbah Tailing Tambang Emas Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung**”, merupakan salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang setulus-tulusnya penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, selaku penyandang dana penelitian dalam kegiatan Indofood Riset Nugraha Periode 2011/2012.
2. Prof. Ir Eko Handayanto, MSc. PhD dan Ir. Sri Rahayu Utami, MSc. PhD selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi ini hingga selesai.
3. Prof. Dr. Ir. H. Zaenal Kusuma, SU, selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Universitas Brawijaya Malang.
4. Dosen-dosen di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama kuliah.
5. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, atas bantuan dan informasi yang diberikan.
6. Yang tercinta orang tua dan kakak-kakak yang telah memberikan dukungan baik materil maupun moril hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
7. Seluruh kakak-kakak, adik-adik seperjuangan di Tanah, terutama Soiler 2007, terima kasih atas dukungan, perhatian, bantuan, serta kenangan indah selama ini, serta semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang turut berpartisipasi atas terselesaikan skripsi ini.

Dalam segala kekurangan dan keterbatasan, penulis berharap skripsi ini memberikan manfaat bagi para pembaca.

Malang, April 2013

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sampang, pada tanggal 04 November 1988 dan merupakan putri bungsu dari 3 bersaudara dengan seorang ayah yang bernama Suroso Karsoyono dan seorang ibu bernama Rini Endah.

Penulis memulai pendidikan dengan menjalani pendidikan dasar di SDN Gunung Sekar 03 (1995-2001), dan melanjutkan ke SLTP Negeri 1 Sampang (2001-2004), kemudian meneruskan ke SMU Negeri 1 Sampang (2004-2007). Penulis menjadi mahasiswi Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, program studi Ilmu Tanah, pada tahun 2007 melalui jalur SPKS.

DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Hipotesis.....	2
1.4. Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Logam Berat.....	4
2.1.1. Logam Berat Pencemar Tanah	5
2.1.2 Pengaruh Merkuri (Hg) terhadap tanaman.....	6
2.1. Fitoremediasi	7
2.2.1 Remediasi tanah tercemar logam berat	8
2.3. Tanaman Hiperakumulator	10
2.4. Ekologi Tanaman	11
2.4.1. <i>Caladium bicolor</i>	11
2.4.2 <i>Paspalum conjugatum</i>	12
2.4.3. <i>Comelina nudiflora</i>	13
III. METODE PENELITIAN	15
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	15
3.2 Rancangan Penelitian	15
3.3. Tahap 1. Fitoremediasi tanah tercemar Hg (percobaan di rumah kaca)..	16
3.3.1. Pengambilan contoh tanah tercemar dan tanaman fitoekstraktor	16
3.3.2. Pelaksanaan Penelitian	16
3.4. Tahap 2. Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung pada tanah pascafitoremediasi Hg	17
3.5. Alat dan Bahan	17
3.6. Pengamatan Pertumbuhan Tanaman Jagung	19
3.7 Analisa Data	19
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Tanah Tercemar Merkuri (Hg).....	20
4.2 Pasca Fitoremediasi.....	21

4.2.1. Hg Tanah Pascafitoremediasi.....	21
4.2.2. Produksi Biomass Tumbuhan Fitoekstraktor.....	23
4.2.3. Serapan Hg pada Tumbuhan Fitoekstraktor.....	24
4.3. Pertumbuhan Tanaman Jagung Pascafitoremediasi	26
4.3.1. Tinggi Tanaman	26
4.3.2. Jumlah Daun.....	28
4.3.3. Produksi Biomass Tanaman Jagung	30
4.3.4. Serapan N Tanaman Jagung.....	32
4.4. Kandungan Hg Pasca Tanaman Jagung	34
4.4.1. Kandungan Hg	34
4.4.2. Kandungan Hg pada bagian-bagian tanaman jagung	37
4.4.3. Serapan Hg Tanaman Jagung.....	40
4.5. Hubungan produksi biomassa terhadap kandungan Hg pascafitoremediasi	42
4.6. Hubungan antara parameter tanaman jagung terhadap kandungan Hg ...	43
4.7. Pembahasan Umum	45
V. KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1. Kesimpulan.....	47
5.2. Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
Tabel 1.	Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah	5
Tabel 2.	Kombinasi Antar Perlakuan	16
Tabel 3.	Alat dan Bahan Penelitian.....	18
Tabel 4.	Hasil analisa Hg	20
Tabel 5.	Perubahan Hg dalam Tanah Pascafitoremediasi.....	21
Tabel 6.	Nilai Kandungan Hg tanah Setelah Tanaman Jagung	35

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
Gambar 1.	<i>Caladium bicolor</i>	12
Gambar 2.	<i>Paspalum conjugatum P.J. Bergius</i>	13
Gambar 3.	<i>Comelina nudiflora L.</i>	14
Gambar 4.	Produksi Biomass	23
Gambar 5.	Serapan Hg Tanaman Fitoekstraktor	25
Gambar 6.	Tinggi Tanaman	27
Gambar 7.	Jumlah Daun	29
Gambar 8.	Biomass Tanaman Jagung	31
Gambar 9.	Serapan N Tanaman Jagung	32
Gambar 10.	Kandungan Hg Tanaman Jagung	38
Gambar 11.	Serapan Hg Tanaman Jagung	41

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
Lampiran 1.	Alur Pikir Penelitian	53
Lampiran 2.	Plot Denah Percobaan.....	54
Lampiran 3.	Hasil Analisis Dasar	55
Lampiran 4.	Hasil Analisis Perlakuan (tanah dan tailing)	56
Lampiran 5.	Perhitungan Pemberian Bahan Organik	57
Lampiran 6.	Perhitungan Dosis Pupuk Anorganik	58
Lampiran 7.	Kebutuhan air per 5kg Tanah	59
Lampiran 8.	Analisis Kandungan Hg Pascafitoremediasi	60
Lampiran 9.	Analisis Kandungan Hg Setelah Tanaman Jagung.....	61
Lampiran 10.	Analisis Kandungan Hg pada Tanaman Jagung.....	62
Lampiran 11.	Analisis Hasil Pertumbuhan Tanaman Jagung.....	63
Lampiran 12.	Analisis Sidik Ragam	65
Lampiran 13.	Kolerasi Antar Parameter	70
Lampiran 14.	Kondisi Tempat Penelitian	75
Lampiran 15.	Hasil Penelitian.....	75
Lampiran 16.	Peta Lokasi Pengambilan Sampel	77

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sektor pertambangan emas di Indonesia terdiri atas tambang emas skala besar, tambang emas skala sedang, dan tambang emas skala kecil (TESKA). Indonesia merupakan salah satu negara yang banyak dijumpai kegiatan TESKA. Desa Pesanggaran, Kecamatan Genteng, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, merupakan salah satu lokasi TESKA yang telah beroperasi secara ilegal sejak tahun 2009. Amalgamasi merkuri (Hg) merupakan metode tradisional yang digunakan oleh penambang TESKA untuk mendapatkan emas. PETI (Pertambangan Emas Tanpa Izin) di area ini berlangsung di lingkungan rumah penduduk setempat dan sisa proses tradisional tersebut berupa limbah (berlumpur) yang mengandung merkuri dan berbagai logam berat lainnya dibuang di lahan pertanian sehingga mencemari lahan pertanian.

Pembuangan limbah ke tanah apabila melebihi kemampuan tanah dalam mencerna limbah akan mengakibatkan pencemaran tanah. Jenis limbah yang merusak lingkungan hidup adalah limbah yang didalamnya mengandung logam berat, salah satunya Hg (merkuri). Pada umumnya Hg merupakan unsur logam dengan berat molekul yang tinggi dengan toksik yang beracun pada tumbuhan, hewan dan manusia. Menurut Subowo (2007) logam mengalami transformasi sehingga dapat meningkatkan mobilitas dan sifat racunnya. Hal ini dapat menjadi potensi polusi pada permukaan tanah maupun air tanah dan dapat menyebar ke daerah sekitarnya melalui air, penyerapan oleh tumbuhan dan bioakumulasi pada rantai makanan. Pencemaran limbah tailing akan berpengaruh terhadap ekosistem dan dapat mengganggu perkembangan dan pertumbuhan tanaman. Hal ini didukung oleh Fitter (2001) adanya logam berat dalam bentuk ion atau terlarut akan mudah terserap pada jaringan tanaman dan bila tanaman yang mengikatnya adalah tanaman pangan, maka pencemaran logam akan lebih berbahaya bagi kehidupan manusia maupun hewan.

Kegiatan penambangan di wilayah Pesanggaran dilaporkan telah menyebabkan tanaman jagung menjadi kekuning-kuningan yang pada gilirannya menurunkan produksi tanaman jagung. Khlorosis (tanaman menguning)

merupakan gejala utama tanaman yang keracunan Hg, selain itu keracunan Hg juga menyebabkan akar tanaman berwarna coklat, jumlah dan ukuran akar menurun, dan tudung akar rusak (Patra dan Sharma, 2000).

Kadar logam berat pada lahan pertanian tersebut dapat dikurangi dan dinetralkan dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan berfotosintesis, termasuk pohon, tanaman rumput dan tumbuhan air. Teknologi ini telah terbukti lebih mudah diaplikasikan disamping menawarkan biaya lebih rendah dibandingkan metode seperti pencucian secara kimiawi ataupun pengerukan (Mulder, 2001). Maka dilaksanakan penelitian yang membandingkan kemampuan tiga tanaman yaitu *Caladium bicolor* (keladi), *Paspalum conjugatum* P.J. Bergius, dan *Comelina nudiflora* L., dalam meremediasi tanah yang tercemar oleh tailing tambang emas.

Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui perbandingan kemampuan tanaman *C. bicolor*, *P. conjugatum*, dan *C. nudiflora* dalam meremediasi tanah yang tercemar tailing tambang emas serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan serta produksi tanaman jagung pada tanah pascafitoremediasi.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari dan mengetahui kemampuan *C. bicolor*, *P. conjugatum*, dan *C. nudiflora*, sebagai fitoekstraktor tanah yang tercemar oleh limbah tambang emas mengandung Hg.
2. Mempelajari hubungan pemberian bahan organik terhadap pertumbuhan tanaman *C. bicolor*, *P. conjugatum*, dan *C. nudiflora*
3. Mempelajari pertumbuhan dan produksi tanaman jagung pada tanah pascafitoremediasi.

1.3. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

1. Tanaman *C. bicolor*, *P. conjugatum*, dan *C. nudiflora* dapat menurunkan kandungan unsur Hg pada tanah tercemar.

2. Pemberian bahan organik pada tanah tailing tambang emas dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman *C.bicolor*, *P.conjugatum*, dan *C. nudiflora* sehingga memacu penyerapan Hg
3. Tanaman jagung dapat tumbuh normal pada tanah pascafitoremediasi

1.4. Manfaat

Hasil penelitian dapat memberikan informasi bagi petani di sekitar lokasi tambang emas rakyat di Desa Pesanggaran, Kecamatan Genteng, Kabupaten Banyuwangi, dalam upaya memperbaiki pertumbuhan dan produksi jagung pada lahan pertanian yang tercemar limbah tambang emas. Perbaikan produksi tanaman jagung dengan cara murah dan mudah ini akan dapat meningkatkan ketahanan pangan, terutama dalam kaitannya dengan program desa mandiri pangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul yang tinggi. Logam berat dapat masuk ke lingkungan hidup kebanyakan berasal dari kegiatan manusia, akan tetapi logam berat yang ada dalam lingkungan tidak dengan sendirinya membahayakan makhluk. Limbah yang mengandung logam berat berasal dari pabrik kimia, elektronik, cat serta bahan pewarna. Logam berat dalam pertanian dapat memunculkan empat persoalan yang saling berkaitan yaitu :

- a. Edafon, yakni keseluruhan kehidupan di dalam tanah yang merupakan salah satu faktor pokok penentu produktivitas tanah.
- b. Hasil panen pertanaman, baik jumlah maupun mutunya
- c. Kesehatan ternak
- d. Kesehatan manusia.

Logam berat yang terdapat pada tanah dapat menyebabkan toksik pada tumbuhan. Hal ini akan berpengaruh terhadap ekosistem dan dapat mengganggu perkembangan dan pertumbuhan tanaman. Fitter *et al.*, (2001) mengungkapkan bahwa semua logam berat merupakan bahan toksik atau unsur yang berbahaya bagi lingkungan sehingga dapat meracuni tubuh makhluk hidup. Hal ini karena logam berat dapat terakumulasi dan mengganggu kestabilan serta keseimbangan rantai makanan, dimana juga mengakibatkan meningkatnya keracunan terhadap air, tanah, dan udara (Heryando, 1994). Logam berat yang terkontaminasi ke dalam tanah dapat menyebabkan tanah menjadi tercemar dan dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, produktivitas tanaman, serta menyebabkan kematian pada tumbuhan (Connell, 1995). Pada umumnya kandungan logam berat secara alamiah sangat rendah di dalam tanah, kecuali tanah tersebut merupakan daerah pertambangan atau tanah yang sudah tercemar. Kandungan logam berat yang terdapat di dalam tanah sangat rendah tanpa adanya campur tangan kegiatan manusia (pertambangan), dapat di sajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah

Jenis Logam	Kandungan (Rata-rata)(ppm)	Kisaran Non populasi
As	100	5 – 3000
Co	8	1 – 40
Cu	20	2 – 300
Pb	10	2 – 200
Zn	50	10 – 300
Cd	0,06	0,05 – 0,7
Hg	0,03	0,01 – 0,3

Sumber: Alloway (1979)

2.1.1. Logam Berat Pencemar Tanah

Pencemaran logam berat dihasilkan dari kegiatan manusia seperti kegiatan pertambangan yang merupakan masalah paling serius dalam pencemaran tanah. Pencemaran logam berat pada tanah dapat didegradasi dengan proses fitoremediasi, yaitu proses biologis yang menggunakan tumbuhan dan organisme yang berasosiasi dengannya untuk mengurangi polutan logam berat di tanah yang terkontaminasi (Schnoor, 1997). 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 (Subowo, 2007).

Di dalam tanaman, Hg bersifat meracun dan menyebabkan kerusakan enzim, polinukleida, sistem transportasi hara dan mengganggu integritas membran sel (Patra dan Sharma, 2000). Akar yang memanjang seringkali digunakan sebagai indikasi pertama pada tanaman yang mengalami keracunan unsur Hg (Prasad, 2001). Gejala keracunan Hg pada umumnya adalah pertumbuhan biji dan akar yang terhambat, dan terjadi hambatan proses fotosintesis yang pada gilirannya menurunkan produksi tanaman. Selain itu Hg yang terakumulasi dalam jaringan akar dapat menghambat serapan K oleh tanaman (Pendias dan Pendias, 2000).

2.1.2 Pengaruh Merkuri (Hg) terhadap tanaman

Merkuri adalah jenis logam sangat berat yang berbentuk cair, berwarna putih-keperakan. Menurut Rahardjo (2008) merkuri (air raksa, Hg) adalah salah satu jenis logam yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan. Sumber utama alami merkuri adalah dari pelepasan gas dari tanah, emisi dari gunung berapi, dan penguapan alami air. Kegiatan penambangan logam-logam secara global juga secara tidak langsung menyumbang emisi merkuri ke atmosfer (Selinawati, 2004).

Merkuri dijumpai pada berbagai mineral, namun demikian aktivitas manusia meningkatkan pelepasan merkuri ke lingkungan. Penggunaan limbah tercemar merkuri, atau pupuk dalam budidaya pertanian juga dapat menyebabkan keracunan pada tanaman (Patra and Sharma, 2000). Kegiatan penambangan emas umumnya menggunakan merkuri untuk mengekstrak emas dengan teknik amalgamasi (Mitra, 1986).

Secara umum merkuri memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. Berwujud cair pada suhu kamar (25°C) dengan titik beku paling rendah - 39°C.
2. Masih berwujud cair pada suhu 396°C .Pada temperatur 396°C ini telah terjadi pemuaiian secara menyeluruh.
3. Merupakan logam yang paling mudah menguap jika dibandingkan dengan logam-logam yang lain.
4. Tahanan listrik yang dimiliki sangat rendah, sehingga menempatkan merkuri sebagai logam yang sangat baik untuk menghantarkan daya listrik.
5. Merupakan unsur yang sangat beracun bagi semua makhluk hidup, baik itu dalam bentuk unsur tunggal (logam) maupun dalam bentuk persenyawaan.

Di dalam tanaman, merkuri bersifat racun dengan ciri- ciri dapat menyebabkan kerusakan enzim, sistem transportasi hara dan mengganggu integritas membran sel (Patra and Sharma, 2000). Akar yang memanjang seringkali digunakan sebagai indikasi pertama pada tanaman yang mengalami keracunan unsur merkuri (Prasad, 2001). Gejala keracunan merkuri pada umumnya adalah pertumbuhan biji dan akar yang terhambat, dan terjadi hambatan proses fotosintesis yang pada gilirannya menurunkan produksi tanaman. Selain itu

merkuri yang terakumulasi dalam jaringan akar dapat menghambat serapan K oleh tanaman (Pendias, 1992). Peningkatan kandungan Hg dalam jaringan tanaman jagung menyebabkan peningkatan prolin, yaitu asam amino yang biasanya berasosiasi dengan adaptasi cekaman, dan toleransi Hg (Ferreira *et al.*, 1998). Akumulasi Hg dalam jaringan tanaman dapat juga diikuti dengan gejala cekaman oksidatif (Ali *et al.*, 2000).

Menurut Prayitno dan Priyanto (2002) penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut.

1. Penyerapan oleh akar

Dalam menyerap logam berat, tumbuhan membentuk suatu enzim reduktase di membran akarnya. Reduktase ini berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui mekanisme khusus di dalam membran akar.

2. Translokasi di dalam tubuh tanaman

Setelah logam masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut, xylem dan floem ke bagian tumbuhan yang lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat. Berbagai molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan

2.1. Fitoremediasi

Phyto asal kata Yunani atau *phyton* yang berarti tumbuhan (plant). Remediation asal kata Latin *remediare (to remedy)* yaitu memperbaiki atau membersihkan sesuatu. Jadi fitoremediasi (*phytoremediation*) merupakan sistem dimana tanaman tertentu yang bekerjasama dengan mikro-organisme dalam media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi atau teknologi yang menggunakan tanaman untuk membersihkan baik sebagian atau keseluruhan dari tanah yang terkontaminasi, air bawah tanah dan air permukaan tanah yang terkontaminasi yang dilakukan oleh tanaman untuk proses remediasi ditempat yang tercemar.

Faktor yang mempengaruhi fitoremediasi, diantaranya adalah :

1. Kemampuan daya akumulasi berbagai jenis tanaman untuk berbagai jenis polutan dan konsentrasi, sifat kimia dan fisika, dan sifat fisiologi tanaman.
2. Jumlah zat kimia berbahaya
3. Mekanisme akumulasi dan hiperakumulasi ditinjau secara fisiologi, biokimia, dan molecular.
4. Kesesuaian sistem biologi dan evolusi pada akumulasi polutan (Firdaus, 2002).

Jadi tujuan akhir dari dari fitoremediasi adalah pencegah transfer atau pergerakan kontaminan dari sumber ketempat lain atau dengan kata lain mencegah penyebaran kontaminan kedaerah yang lebih luas (Privet, 2001).

2.2.1 Remediasi tanah tercemar logam berat

Berbagi teknologi remediasi yang sering digunakan mulai dari vitrifikasi in-situ dan penimbunan tanah, pencucian tanah, penggelontoran tanah dengan air, dan solidifikasi serta stabilisasi dengan sistem elektrokinetik (Glass, 2000). Proses remediasi yang dilakukan oleh tanaman merupakan proses yang kontinu dan berbeda-beda untuk setiap tanaman, tergantung dari kemampuan remediasi tanaman, jenis kontaminan dan medium yang membawa kontaminan (Privet, 2001). Teknologi tersebut lebih cocok untuk daerah yang sudah sangat tercemar. Metode konvensional tersebut juga dapat menyebabkan degradasi lingkungan ikutan dan sangat mahal jika diterapkan pada wilayah yang luas (Ensley, 2000). Biaya tinggi penggunaan teknologi tersebut akan sulit terpenuhi oleh negara-negara berkembang seperti Indonesia.

Memperhatikan kondisi alam dan meluasnya kontaminasi logam berat, serta mahalnya biaya yang diperlukan untuk remediasi, beberapa tahun terakhir ini telah dikembangkan teknologi bioremediasi (melibatkan mikroorganisme), dan fitoremediasi (melibatkan tanaman) untuk digunakan sebagai upaya remediasi tanah dan air yang tercemar limbah organik dan anorganik dengan biaya murah dan ramah lingkungan (Pilon-Smits, 2005). Fitoremediasi juga merupakan teknologi penambah penghasilan, terutama jika unsur logam yang diserap dari

tanah dapat digunakan sebagai 'bio-ore' diekstrak sebagai logam berharga, yakni phytomining (Angle *et al.*, 2001), dan energi dapat dihasilkan dari pembakaran biomasa tanaman (Li *et al.*, 2003). Fitoremediasi terdiri atas empat jenis teknologi berbasis tanaman, yakni :

- 1) Rhizofiltrasi; melibatkan penggunaan tanaman, terutama tanaman perairan, untuk menyerap logam dan bahan pencemar lain dalam lingkungan perairan (Kumar and Chandra, 2004; Liao dan Chang, 2004);
- 2) Fitostabilisasi; melibatkan penggunaan tanaman untuk stabilisasi dan reklamasi wilayah daratan yang tercemar (Berti dan Cunningham, 2000);
- 3) Fitovolatilisasi; melibatkan penggunaan tanaman untuk menyerap unsur beracun dan kemudian mengkorvesi dan melepaskannya dalam bentuk kurang beracun ke atmosfer (Meagher *et al.*, 2000; Rugh, 2004);
- 4) Fitoekstraksi; penggunaan tanaman untuk menyerap unsur logam dan bahan pencemar lain dari tanah (Chandra Sekhar *et al.*, 2005). Fitoekstraksi merupakan metode yang paling banyak digunakan jika tanaman yang digunakan dapat mentranslokasi unsur logam ke dalam tajuk tanaman dan unsur logam tersebut dapat dipanen melalui teknologi phytomining.

Semua teknik fitoremediasi paling baik diterapkan pada wilayah yang tingkat pencemarannya rendah-sedang (Glass, 2000). Selain itu, kedalaman tanah yang harus dibersihkan ditentukan oleh kemampuan dan penyebaran akar tanaman, yang berkisar dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter (Schnoor *et al.*, 1995). Tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi sebaiknya tanaman lokal di sekitar lokasi yang tercemar, karena jenis tanaman tersebut telah teradaptasi dengan kondisi tercemar (Wolfe dan Bjornstad, 2002).

Keberhasilan fitoekstraksi tergantung pada berbagai karakteristik tanaman, diantaranya adalah kemampuan tanaman dalam menyerap sejumlah besar unsur logam dalam waktu yang cepat (Pilon-Smits, 2005). Tanaman untuk fitoekstraksi harus mampu tumbuh di luar area asalnya, mempunyai sistem perakaran yang stabil, dan mampu mengangkut unsur logam ke dalam tajuknya (Thangavel dan Subhuram, 2004).

Beberapa spesies tanaman yang terdapat di lokasi tambang emas di Jawa Barat memiliki potensi toleran merkuri, yakni *L. crustacean* yang mengumulasi sampai dengan 89.13 ppm Hg, *D. radicata* yang mengakumulasi sampai dengan 50.93 ppm Hg, *Zingiber* sp yang mengakumulasi sampai dengan 49.33 ppm Hg, *P. conjugatum* yang mengakumulasi sampai dengan 1.78 ppm Hg, *Cyperus* sp yang mengakumulasi sampai dengan 0.77 ppm Hg, *C. nudiflora* diketahui mampu mengakumulasi 30.37 ppm Hg dan *Caladium* sp yang mengakumulasi sampai dengan 9.12 ppm Hg (Hidayati *et al.*, 2009).

Hg yang dibuang ke tanah umumnya ditahan oleh padatan tanah melalui absorpsi pada silfida, partikel liat dan bahan organik (Evans, 1989). Bentuk Hg tersebut bersifat tidak larut, sehingga relatif tidak mobil di dalam tanah. Namun demikian, reaksi pertukaran yang terjadi dalam larutan tanah dapat menyebabkan peningkatan kelarutan dan mobilitas Hg dalam tanah. Ion-ion klorida (Cl^-) dan hidroksida (OH^-) terbentuk secara alami di dalam tanah dan kompleks HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})\text{Cl}$ dan $\text{Hg}(\text{OH})_2$ merupakan jenis Hg yang dominan dalam lingkungan yang cukup mengandung oksigen (Schuster, 1991). Merkuri mempunyai afinitas kuat dengan kelompok thiol, terutama kompleks sulfida dan bisulfida (Morel *et al.*, 1998). Selain itu, senyawa humik yang menyusun 50% bahan organik tanah mengandung kelompok fungsional yang mengandung S dalam jumlah cukup besar (Wallschlager *et al.*, 1998 a). Senyawa humik yang tersusun dari asam humat dan asam fulvat merupakan peng-khelat Hg (Wallschlager *et al.*, 1996). Oleh karena itu kompleks Hg asam humat-fulvat bersifat mobil di dalam tanah (Wallschlager *et al.*, 1998 b). Asam humat-fulvat telah terbukti mampu memacu ketersediaan Hg di dalam tanah dan serapan Hg oleh organisme (Hinton, 2002).

2.3. Tanaman Hiperakumulator

Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya atau memiliki kemampuan sangat tinggi untuk mengangkut berbagai pencemaran yang ada atau relatif tahan terhadap berbagai macam bahan pencemar serta mampu mengakumulasinya dalam jaringan dengan

jumlah yang cukup besar (*multiple uptake hyperaccumulator plant*) sehingga 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,1995).

Keuntungan tanaman hiperakumulator selain hanya menyerap kontaminan juga pencemaran yang mampu diangkut oleh tanaman ini, tanah secara signifikan juga akan mengalami perbaikan bukan hanya karena berkurangnya pencemaran tetapi juga akibat adanya aktivitas akar. Sehingga tanah menjadi lebih subur kembali karena akar tanaman meregulasikan dirinya mengeluarkan asam- asam organik yang mampu meningkatkan kimia, fisika, dan juga biologi tanah (Chaney,1995). Karakteristik tumbuhan hiperakumulator, menurut Reeves (1992) adalah:

- a. Tahan terhadap unsur logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuk;
- b. Tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang tinggi dibanding tanaman lain;
- c. Memiliki kemampuan mentranslokasi dan mengakumulasi unsur logam dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi.
- d. Secara ideal memiliki potensi produksi biomassa yang tinggi

2.4. Ekologi Tanaman

2.4.1. *Caladium bicolor*

Klasifikasi *Caladium* berdasarkan sistem klasifikasi tumbuhan adalah sebagai berikut:

Regnum	:	<u>Plantae</u>
Diviso	:	<u>Spermatophyta</u>
Cladus	:	<u>Angiosperms</u>
Cladus	:	<u>Monocotsyledoneae</u>
Ordo	:	<u>Arales</u>
Familia	:	<u>Araceae</u>
Genus	:	<u>Caladium</u>
Species	:	<i>Caladium bicolor</i>



Gambar 1. *Caladium bicolor* L.

C. bicolor merupakan keladi yang paling sering digunakan sebagai tanaman hias. *Caladium* tumbuh pada kondisi suhu 21-32°C dan Suhu yang terlalu panas (>32°C) akan menyebabkan pertumbuhan terganggu meski tidak menyebabkan tanaman menjadi dorman. *C. bicolor* secara alami tumbuh pada daerah tepi- tepi sungai, di hutan- hutan tropis, dan pada keadaan tanah yang lembab. *C. bicolor* tumbuh dengan tinggi 40 - 90cm dan lebar daun 15 - 45cm. Tanaman *C. bicolor* mudah tumbuh dan daya bertahan hidupnya tinggi dengan berbagai keadaan di sekitarnya. *C. bicolor* bersifat dorman saat berada dalam keadaan kekurangan air, namun *C. bicolor* dapat tumbuh jika keadaan tanah tetap dalam kondisi lembab (Rambe, 2010).

2.4.2 *Paspalum conjugatum*

Klasifikasi *P. conjugatum* berdasarkan sistem klasifikasi tumbuhan adalah sebagai berikut:

Kingdom	:	<u>Plantae</u>
Subkingdom	:	<u>Tracheobionta</u>
Super Divisi	:	<u>Spermatophyta</u>
Cladus	:	<u>Liliopsida</u>
Ordo	:	<u>Poales</u>
Familia	:	<u>Poaceae</u>
Genus	:	<u><i>Paspalum</i></u>
Species	:	<i>Paspalum conjugatum</i>



Gambar 2. *Paspalum conjugatum* P.J. Bergius

P. conjugatum tergolong gulma tahunan. Dengan ciri daun berbentuk garis atau lanset, permukaan dan tepian daun berbulu, lidah daun pendek. Perbungaan bulir, umumnya bercabang dua. *P. conjugatum* berkembangbiak dengan biji dan stek batang. Rumput tumbuh berumpun, buluh menjalar, rimpang tunggal atau bercabang, hingga 75 cm. *P. conjugatum* merupakan jenis rumput mampu tumbuh dengan baik di tempat yang miskin hara bahkan di tempat yang banyak mengandung merkuri (Hg). Tanaman *P. conjugatum* tumbuh di sepanjang tepi sungai, tepi jalan dan di daerah terganggu (Achmad, 2010).

2.4.3. *Comelina nudiflora*

Klasifikasi *Caladium* berdasarkan sistem klasifikasi tumbuhan adalah sebagai berikut :

Diviso	:	<u>Magnoliophyta</u>
Cladus	:	<u>Magnoliopsida</u>
Cladus	:	<u>Scrophulariaceae</u>
Ordo	:	<u>Scrophulariales</u>
Familia	:	<u>Commelinaceae</u>
Genus	:	<u><i>Lindernia</i></u>
Species	:	<i>Comelina nudiflora</i>



Gambar 3. *Comelina nudiflora* L.

Tanaman *C.nudiflora* merupakan jenis tumbuhan yang tersebar luas baik di daerah tropis maupun sub tropis. *C.nudiflora* tumbuh di tempat dengan cahaya penuh sampai yang sangat terlindung, di tempat yang agak basah (lembab) seperti di tepi sungai juga di sawah. Pada batang berbentuk tegak, ruas gundul. Daunnya membentuk selubung pada sekitar batang. Bunganya terdiri dari 3 kelopak, atas dua berwarna biru- ungu dan panjangnya 15mm. Pembungaannya pada bulan Mei- Oktober (Rambe, 2010).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2011 sampai November 2012 di rumah kaca Fakultas Pertanian. Analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah Jurusan Tanah, Universitas Brawijaya, Malang. Pengambilan sampel tanah terdiri dari 2 lokasi yang berbeda, yakni (1) pengambilan sampel tanah tailing bekas tambang emas di Desa Genteng, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi (Lampiran 16a), dan (2) pengambilan sampel tanah tidak terkontaminasi di Desa Slamparejo, Kecamatan Jabung, Kabupaten Malang (Lampiran 16b). Penelitian dilaksanakan dalam 2 tahap, yakni (1) penggunaan tanaman *C. bicolor*, *P. conjugatum*, dan *C. nudiflora* untuk fitoremediasi tanah tercemar limbah tambang emas mengandung Hg, dan (2) pertumbuhan dan produksi tanaman jagung pada tanah tercemar limbah tambang emas pascafitoremediasi Hg.

3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial. Faktor pertama adalah persentase tanah yang tercemar limbah tailing, faktor kedua adalah perbedaan jenis tumbuhan fitoekstraktor pada tanah tercemar limbah tailing dan faktor ketiga adalah pemberian dosis bahan organik dan tanpa bahan organik. Dengan kombinasi 16 perlakuan dan masing-masing kombinasi diulang 3 kali sehingga menghasilkan 48 pengamatan. Kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 2. Penentuan kombinasi perlakuan dilakukan secara acak dalam kelompok. Desain plot penelitian disajikan pada Lampiran 2.

Tabel 2. Kombinasi Antar Perlakuan

Perlakuan Tanaman Fitoekstraktor		F0	F1	F2	F3
T1	B0	T1F0B0	T1F0B1	T2F0B0	T2F0B1
	B1	T1F1B0	T1F1B1	T2F1B0	T2F1B1
T2	B0	T1F2B0	T1F2B1	T2F2B0	T2F2B1
	B1	T1F3B0	T1F3B1	T2F3B0	T2F3B1

Keterangan : T1 (Tanah tercemar tailing 10%); T2 (Tanah tercemar tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan bahan organik); B1 (Dengan bahan organik setara 10 ton/ha); F0 (Tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (Tanaman fitoekstraktor *C.bicolor*); F2 (Tanaman fitoekstraktor *P. conjugatum*); F3 (Tanaman fitoekstraktor *C. nudiflora*).

3.3. Tahap 1. Fitoremediasi tanah tercemar Hg (percobaan di rumah kaca)

3.3.1. Pengambilan contoh tanah tercemar dan tanaman fitoekstraktor

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, kemudian dibawa ke laboratorium tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Sampel tanah dikering udarakan selama 3 hari dan diayak dengan ayakan 2mm. Analisis dasar tanah meliputi (1) kandungan N total (metode Kjeldahl), P tersedia (Molybdat) dan K total (metode Flamephotometer), serta kandungan bahan organik (metode Walkley dan Black), (2) kadar Hg (metode uap dingin). Tanaman fitoekstraktor yang digunakan adalah *C. bicolor*, *P. conjugatum*, dan *C. nudiflora* yang dijumpai di daerah sekitar lokasi tambang rakyat.

3.3.2. Pelaksanaan Penelitian

Masing-masing biji tanaman dari 3 tanaman di atas ditanam pada 5 kg tanah tercemar limbah yang diberi bahan organik (setara 10kg/ha), dan tanpa pemberian bahan organik. Dengan demikian terdapat 16 perlakuan (kombinasi 3 perbedaan jenis tanaman fitoekstraktor pada tanah tercemar limbah tailing, 2 dosis bahan organik dan 2 perbedaan tanah yang 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. Sisa tanah dalam pot (pascafitoremediasi), kemudian digunakan untuk penanaman tanaman jagung (percobaan tahap II).

3.4. Tahap 2. Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung pada tanah pascafitoremediasi Hg

Selama masa percobaan, pemberian air yang dilakukan setiap hari agar menjaga kecukupan pasokan air pada pertumbuhan tanaman. Setelah pertumbuhan selama 60 hari, tanaman dipanen dan dilakukan analisis kadar Hg dalam biomassa tanaman (tajuk dan akar) serta tanah dalam pot. Sisa tanah dalam pot pascafitoremediasi, digunakan untuk penanaman tanaman jagung. Tanah tercemar limbah tailing pascafitoremediasi digunakan untuk penanaman tanaman jagung selama 82 hari. Setiap pot diberi pupuk dasar setara 100kg N/ha, 50kg P/ha, dan 50kg K/ha. Jagung dikecambahkan atau ditanam terlebih dahulu selama 1 minggu atau sampai tanaman mempunyai perakaran yang siap untuk menyerap unsur hara, kemudian masing-masing polybag perlakuan ditanami tanaman jagung. Pada saat panen, dilakukan pengamatan yang meliputi berat basah dan berat kering tanaman jagung, berat dan jumlah tongkol jagung, berat biji jagung, kandungan Hg dalam tanaman jagung serta kandungan Hg dalam tanah.

3.5. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam tahap I dan tahap II penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 :

Tabel 3. Alat dan Bahan Penelitian

No.	Kegiatan Penelitian	Metode	Alat	Bahan	Keterangan
1.	Persiapan Penelitian	-	-	Bibit tumbuhan <i>C. bicolor</i> (keladi), <i>P. conjugatum</i> , <i>C. nudiflora</i>	Yang sudah dikecambahkan
2.				Bibit tanaman jagung (<i>zea mays L.</i>)	
3.				Pupuk Kompos	
4.	N total	Kjeldahl	Destilasi	H ₂ SO ₄ (Pengekstrak Asam Kuat)	- Analisa awal - Pasca fitoremediasi pada tanah - Setelah tanam pada daun saja
5.	P tersedia	Molybdat blue	Spectrophotometer	Larutan Bray I (Amonium Florat)	Analisa awal
6.	K total	Flamephotometer	Flamephotometer	HCl 25%	Analisa awal
7	C-Organik	Walkey and Black	Buret	H ₂ SO ₄ H ₃ PO ₄ , difenilamina K ₂ Cr ₂ O ₇	Analisa awal
8	Merkuri (Hg)	Uap Dingin	Cold Atomic Absorption Analyze of Mercury	HNO ₃ , HCl, SnCl	- Analisa awal - Pasca fitoremediasi pada tanah - Setelah tanam pada tanah, batang, daun, tongkol (pipilan dan bonggol)
9	pH Tanah	Elektrode	pH Meter	H ₂ O(Aquades)	Analisa awal

3.6. Pengamatan Pertumbuhan Tanaman Jagung

Pengamatan tanaman dilakukan dengan dua cara, yaitu secara destruktif dan non destruktif.

1. Pengamatan non destruktif

Parameter yang diamati:

1. Tinggi tanaman

Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai bagian tanaman yang paling tinggi yang dilakukan dengan menggunakan penggaris (cm) dan diukur setiap seminggu sekali selama 82 hari penanaman (Sitompul dan Guritno, 1995).

2. Jumlah daun

Perhitungan jumlah daun dilakukan setiap seminggu sekali selama 56 hari penanaman. Daun yang dihitung dari seluruh daun yang membuka sempurna dan tidak keriting dan yang menunjukkan warna hijau agak tua, karena diduga sudah aktif melakukan fotosintesis yang mendukung pertumbuhan tanaman (Sitompul dan Guritno, 1995).

2. Pengamatan destruktif

Biomassa tanaman (bobot kering) yang diperoleh dengan cara mengoven semua bagian tanaman pada suhu 70° selama 2 x 24 jam, kemudian dihaluskan dan ditimbang selanjutnya dianalisis di Laboratorium Kimia Tanah sesuai dengan metode yang digunakan.

3.7 Analisa Data

Data-data yang diperoleh dianalisis dengan Anova pada taraf 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan. Untuk membandingkan perbedaan pengaruh masing-masing perlakuan dilanjutkan dengan uji Duncan. Hubungan antar parameter pengamatan dilakukan uji korelasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tanah Tercemar Merkuri (Hg)

Variasi nilai kandungan Hg pada tanah tercemar tailing dapat mempengaruhi terhadap kerusakan lingkungan, namun juga dapat menyebabkan meningkatnya kandungan logam berat pada hasil tanaman sehingga menurunnya kualitas tanah dan menyebabkan keracunan pada tanaman. Pada Tabel 4, diketahui tanah tercemar *tailing* 20% (T2) memiliki kandungan Hg dua kali lebih banyak dibandingkan tanah tercemar *tailing* 10% (T1).

Tabel 4. Hasil analisa Hg

Perlakuan	Kandungan Hg (mg/kg)	
	T1	T2
B0	38.01	75.01
B1	37.03	72.01

Keterangan :T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(Dengan kompos);

Kondisi kandungan Hg yang tinggi dapat dikatakan bahwa tanah tersebut keracunan logam berat yang dapat mencemari lingkungan.Alloway (2005) menyatakan kelebihan logam berat dalam tanah bukan hanya meracuni tanaman dan organisme, tetapi dapat berimplikasi pada pencemaran lingkungan.

Perlakuan pemberian bahan organik menyebabkan kandungan Hg pada tanah tercemar lebih rendah.Dalam Tabel 4 terlihat bahwa pemberian bahan organik dapat menurunkan kandungan Hg pada tanah tercemar tailing, karena bahan organik ini dapat memberikan dampak positif dalam menurunkan kandungan Hg pada tanah tercemar tailing.Pemberian bahan organik dapat membantu sifat tailing untuk menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh pertumbuhan tanaman dan dapat membantu dalam meningkatkan kesuburan tanah.

4.2 Pasca Fitoremediasi

4.2.1. Hg Tanah Pascafitoremediasi

Hg tanah pascafitoremediasi merupakan hasil dari remediasi menggunakan tanaman fitoekstraktor *C. bicolor*, *P. conjugatum*, dan *C. nudiflora*. Pada Tabel 5 terlihat bahwa perlakuan T1 (tanah tercemar tailing 10%) memiliki kandungan Hg lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan T2 (tanah tercemar tailing 20%). Hal ini dikarenakan tanah tercemar tailing 10% memberikan dampak positif bagi tanaman rumput sehingga tanaman *C. bicolor*, *P. conjugatum* dan *C. nudiflora* menunjukkan toleran tumbuh terhadap tanah tercemar tailing dan dapat menyerap kandungan logam berat lebih banyak sehingga kandungan Hg dalam tanah berkurang. Penurunan kandungan logam berat Hg dalam tanah berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman selanjutnya yaitu jagung.

Tabel 5. Perubahan Hg dalam Tanah Pascafitoremediasi

Perlakuan		Perubahan Hg dalam Tanah Pascafitoremediasi (mg /kg)			
		Hg Awal	Hg Akhir	Penurunan Hg	
T1	B0	F1	38.01	36.20	1.81
		F2	38.01	35.11	2.90
		F3	38.01	33.91	4.09
	B1	F1	37.03	32.88	4.15
		F2	37.03	29.07	7.96
		F3	37.03	26.27	10.76
T2	B0	F1	75.01	70.50	4.52
		F2	75.01	68.93	6.08
		F3	75.01	67.70	7.32
	B1	F1	72.02	65.90	6.12
		F2	72.02	65.05	6.97
		F3	72.02	63.35	8.67

Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1 (Dengan kompos); F1 (*C. bicolor*); F2 (*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*)

Penurunan pada T1 (tanah tercemar tailing 10%) lebih tinggi dibandingkan T2 (tanah tercemar tailing 20%). Hal ini berarti tumbuhan fitoekstraktor masih

mampu menjalankan fungsinya yaitu menurunkan kandungan logam berat pada tanah tercemar limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Hg pada tanah setelah fitoremediasi dengan F1 (*C. bicolor*) memiliki kandungan Hg lebih tinggi dibandingkan F2 (*P. conjugatum*), namun pada F3 (*C. bicolor*) memiliki nilai kandungan Hg yang rendah daripada F2 (*P. conjugatum*). Hal ini berarti bahwa F3 (*C. bicolor*) dapat menurunkan kandungan Hg lebih besar dibandingkan tumbuhan lain, atau dengan kata lain F3 (*C. bicolor*) mempunyai potensi lebih besar sebagai fitoekstraktor. Hidayati (2004) menyatakan bahwa rumput *C. nudiflora* merupakan jenis tanaman rumput yang menunjukkan kapasitas dalam membersihkan polutan (kemampuan menyerap Hg) yang tinggi sehingga dapat menunjukkan toleransi yang tinggi juga terhadap lingkungan. Dari hasil penelitian yang diamati secara keseluruhan, diketahui bahwa tumbuhan *C. nudiflora* merupakan tumbuhan yang tumbuh paling baik pada pascafitorremediasi karena memiliki kemampuan menyerap logam berat Hg lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan dan tumbuhan yang lain. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Maiti (2004) bahwa setiap tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda bertahan pada berbagai macam tanah terkontaminasi dan menyerap logam.

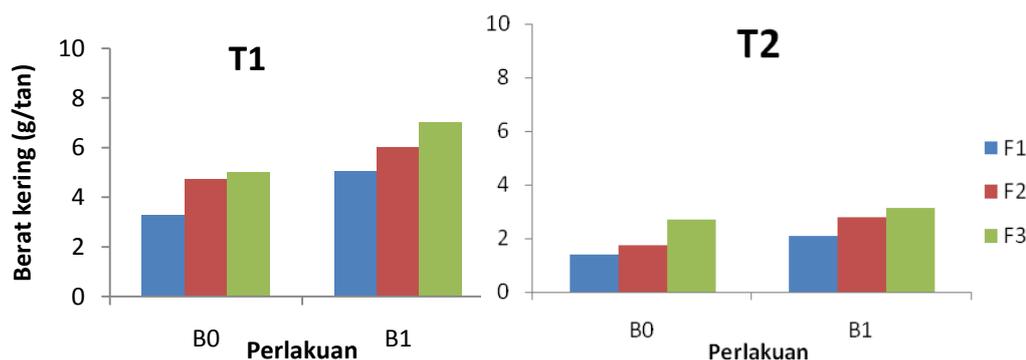
Kemampuan menurunkan kandungan Hg lebih besar jika bahan organik ditambahkan. Hal tersebut menandakan bahwa pemberian bahan organik sangat membantu pertumbuhan tanaman pada tanah tercemar limbah tailing dan dapat meningkatkan produksi biomasa tanaman. Dengan meningkatnya produksi biomassa ini maka diharapkan banyak polutan yang diserap akan meningkat. Menurut Setyaningsih (2007) menyatakan bahwa pemberian kompos ditujukan untuk memperbaiki sifat fisik kimia tailing yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman dan meningkatkan pH tanah serta menyumbang sejumlah unsur hara makro dan mikro melalui proses mineralisasi yang berdampak pada pertumbuhan tanaman.

Penurunan Hg merupakan hasil dari pengurangan kandungan Hg awal dengan Hg pascafitorremediasi. Penurunan kandungan Hg yang terdapat pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) pada semua tingkatan konsentrasi dapat dikatakan bahwa perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki kemampuan untuk meremediasi tanah yang tercemar limbah tailing yang tinggi yaitu dengan cara menyerap unsur Hg. Perlakuan F1 (*C. bicolor*) meremediasi tanah yang tercemar limbah

tailing lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan F2 (*P. conjugatum*). Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Maiti (2004) bahwa setiap tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda bertahan pada berbagai macam tanah terkontaminasi dan menyerap logam.

4.2.2 Produksi Biomass Tumbuhan Fitoekstraktor

Berat kering tanaman diperoleh dari hasil penimbangan yang dilakukan pada saat panen, setelah tanaman di oven 2x24 jam dengan suhu $\pm 40^{\circ}\text{C}$ untuk tanaman yang mengandung logam berat (Hg). Gambar 4 menunjukkan bahwa tanaman fitoekstraktor yang ditanam pada T2 memiliki berat kering yang rendah dibandingkan dengan T1. Hasil dari analisis ragam perlakuan konsentrasi tailing terhadap produksi biomass tumbuhan fitoekstraktor menunjukkan tidak pengaruh nyata, karena tingginya kandungan Hg yang terkandung dalam tanah mengakibatkan menurunnya pertumbuhan tanaman sehingga berat kering tanaman menjadi rendah (Lampiran 12b). Terhambatnya pertumbuhan rumput 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 berat kering tanaman (Fitter *et al.*, 2001).



Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1 (dengan kompos); F1 (*C. bicolor*); F2 (*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Gambar 4. Produksi Biomass

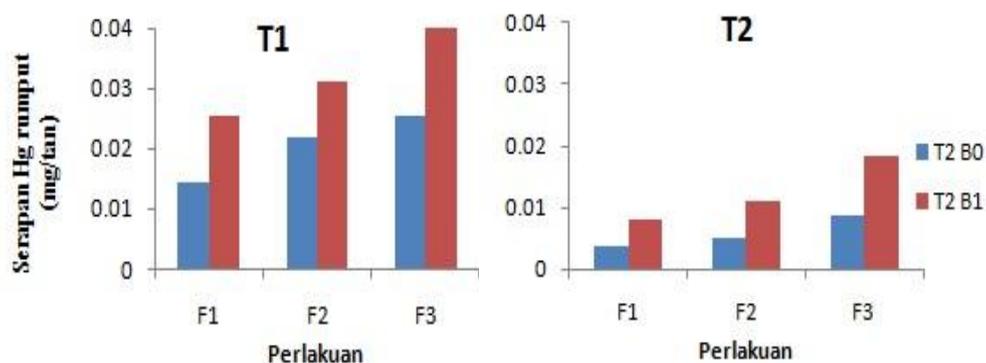
Dapat diketahui bahwa pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki berat kering tanaman lebih besar dibandingkan dengan perlakuan F2 (*P. conjugatum*) dan perlakuan F1 (*C. bicolor*). Hal ini dikarenakan tanaman *C. nudiflora* mampu beradaptasi dengan lingkungan dengan baik sehingga dapat membersihkan logam berat, namun jumlah kandungan Hg yang tinggi akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Pertumbuhan yang kurang optimal mengakibatkan berat kering tanaman menjadi rendah. Fauziah (2009) pemberian bahan organik dapat menambah unsur hara yang dibutuhkan tanaman, sehingga penyerapan dapat berjalan dengan baik yang berpengaruh dalam menaikkan proses fotosintesis. Jika hasil fotosintesis semakin banyak, maka berat kering tanaman pun akan meningkat.

Adanya pemberian bahan organik menyebabkan tingginya berat kering tanaman. Hal ini terjadi karena bahan organik tersebut dapat membantu dalam penyediaan nutrisi atau unsur hara bagi tanaman rumput sehingga pertumbuhan tanaman rumput meningkat dan mikroorganisme yang ada pada tanah akan semakin terbantu dalam penyediaan nutrisinya. Dengan hal tersebut, maka dapat menciptakan kondisi pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa pemberian bahan organik. Menurut Istomo (1994) tinggi berat kering tanaman dikarenakan kecepatan dekomposisi pemberian bahan organik yang mampu menyediakan unsur hara yang digunakan tanaman dalam pertumbuhannya, sehingga semakin banyaknya pemberian bahan organik maka menyebabkan akan meningkatnya berat kering pada tanaman. Malla (2011) menambahkan peningkatan berat kering tanaman tersebut disebabkan karena jumlah unsur yang diserap berpengaruh terhadap kandungan protein yang mempengaruhi pertumbuhan sel-sel tanaman.

4.2.3 Serapan Hg pada Tumbuhan Fitoekstraktor

Dari analisis ragam (Lampiran 12c), perlakuan yang menggunakan tumbuhan fitoekstraktor berpengaruh nyata terhadap nilai serapan Hg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga jenis tumbuhan rumput yang ditanam pada tanah tercemar limbah tailing mampu menyerap logam, akan tetapi penyerapan setiap tanaman berbeda-beda. Hal ini pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa serapan Hg tanaman pada perlakuan T2 (tanah tercemar tailing 20%) memiliki nilai

serapan lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan T1 (tanah tercemar tailing 10%). Kandungan Hg yang tinggi dalam tanah dapat mempengaruhi terhambatnya perkembangan tanaman rumput yang menyebabkan tanaman tidak dapat melakukan penyerapan Hg dengan optimal. Pada dasarnya, logam berat yang terkandung dalam tanaman semakin meningkat sejalan dengan pertambahan konsentrasi. Namun, serapan per tanaman semakin menurun sejalan dengan pertambahan konsentrasi. Menurut Arsiati (2002) mengemukakan semakin besar kandungan Hg pada tanah tercemar maka semakin menurun dan terhambatnya pertumbuhan tanaman yang diakibatkan oleh cekaman logam berat sehingga tanaman kurang optimal dalam menyerap kandungan Hg pada tanah.



Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(dengan kompos); F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Gambar 5. Serapan Hg Tanaman Fitoekstraktor

Serapan kandungan Hg terbesar terdapat pada tanaman *C. nudiflora* sebesar 0.043 mg/tanaman. Dapat diketahui pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki serapan lebih besar dibandingkan dengan perlakuan F2 (*P. conjugatum*), namun pada F2 (*P. conjugatum*) juga memiliki serapan Hg lebih besar dibandingkan dengan F1 (*C. bicolor*). Hal ini dapat terjadi karena tanaman rumput *C. nudiflora* mampu beradaptasi dengan lingkungan yang tercemar oleh limbah tailing sehingga memiliki kemampuan menyerap lebih banyak dibandingkan dengan rumput lainnya. Sesuai dengan pernyataan Hidayati (2004) menyatakan bahwa rumput *C. nudiflora* merupakan jenis tanaman rumput yang menunjukkan

kapasitas dalam membersihkan polutan (kemampuan menyerap Hg) yang tinggi sehingga dapat menunjukkan toleransi yang tinggi juga terhadap lingkungan.

Untuk meningkatkan produktivitas tanaman pada tanah tercemar tailing, maka dilakukan pemberian bahan organik yang memiliki peran penting dalam menjaga keberlangsungan suplai dan ketersediaan hara pada tanah. Peningkatan serapan Hg tanaman dapat ditunjukkan dengan adanya pertumbuhan tanaman yang tumbuh dengan optimal pada tanah tercemar tailing. Pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki serapan lebih besar dibandingkan dengan perlakuan F2 (*P. conjugatum*) dan F1 (*C. bicolor*). Hal tersebut dikarenakan tanaman *C. nudiflora* menyerap logam berat lebih banyak dengan penambahan bahan organik sehingga tanaman tumbuh dengan optimal dan daya serap yang dihasilkan meningkat. Leiwakabessy (1998) menerangkan bahwa pemberian bahan organik pada tanah yang produktivitasnya rendah dapat memenuhi kebutuhan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Serapan Hg dapat meningkat dikarenakan bahan organik memiliki peranan penting dalam membantu proses pertumbuhan tanaman, yaitu dengan menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh setiap tanaman. 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.

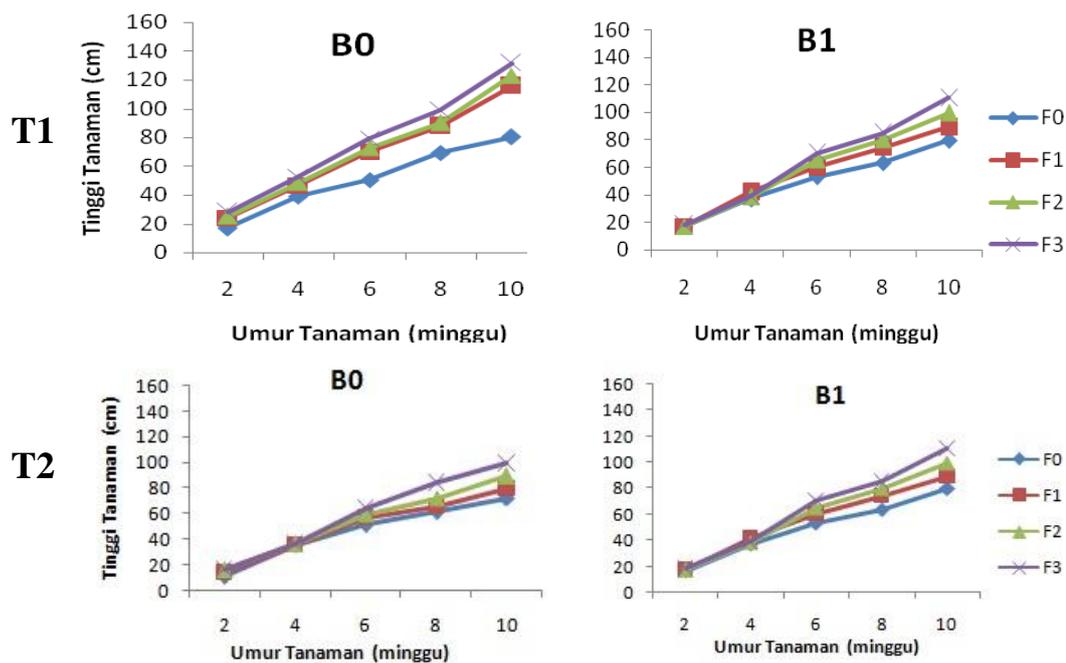
4.3. Pertumbuhan Tanaman Jagung Pascafitoremediasi

4.3.1 Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan parameter pertumbuhan yang diamati secara keseluruhan dengan tujuan mengetahui perkembangan tanaman jagung pada setiap waktu pengamatan dan mudah untuk mengetahui kualitas tumbuhnya. Pertambahan tinggi merupakan salah satu cara pengukuran untuk mengetahui pertumbuhan suatu tanaman pada fase vegetatif yang ditentukan oleh perkembangan dan pertumbuhan sel, semakin cepat sel membelah dan memanjang (membesar) semakin cepat tanaman meninggi.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai rerata tinggi tanaman jagung pada T2 (tanah tercemar tailing 20%) lebih rendah dibandingkan dengan T1 (tanah

tercemar tailing 10%). Hal ini disebabkan karena pada T2 (tanah tercemar tailing 20%) memiliki kandungan Hg dua kali lebih besar dibandingkan dengan T1 (tanah tercemar tailing 10%) sehingga dengan peningkatan kandungan Hg pada tanah dapat memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap pertumbuhan tanaman jagung yang berdampak terhadap pertumbuhan tanaman jagung. Tingginya kandungan Hg pada tanah dapat mengganggu pertumbuhan tanaman sehingga mengakibatkan menurunnya kualitas tanaman yang dipanen. Ditinjau dari kandungan logam berat dalam jumlah berlebih menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah sehingga sesuai dengan pernyataan Rosiana (2003) bahwa semakin bertambahnya konsentrasi tailing pada media tanam semakin menurun pertumbuhan tanaman. Terhambatnya pertumbuhan tanaman juga diduga tanaman mengalami defisiensi unsur fosfor, kalium dan besi akibat cekaman logam berat, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat.



Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1(*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Gambar 6. Tinggi Tanaman

Pada perlakuan kontrol yaitu F0 (tanpa menggunakan tumbuhan fitoekstraktor) pada tanah pascafitoremediasi memiliki tinggi tanaman yang lebih

rendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini dikarenakan kandungan Hg yang masih tinggi sehingga pertumbuhan tinggi tanaman sangat lambat dibandingkan perlakuan lainnya yang menggunakan tumbuhan fitoekstraktor. Dari hasil pengamatan dikatakan bahwa tanaman jagung hanya bisa berusaha untuk tetap mempertahankan hidupnya karena nutrisi yang dibutuhkan tidak terpenuhi. Hal ini berbeda dengan tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F1 (*C. bicolor*), F2 (*P. conjugatum*) dan F3 (*C. nudiflora*) yang memiliki pertumbuhan yang sedikit lebih baik. Tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki rerata tinggi tanaman yang paling tinggi dibandingkan dengan tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F2 (*P. conjugatum*) dan F1 (*C. bicolor*), sehingga dapat dikatakan perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memberikan respon yang efektif terhadap pengaruh pertumbuhan tanaman karena mampu menyerap kandungan Hg dalam jumlah yang cukup banyak sehingga dengan berkurangnya kandungan Hg, maka tanaman jagung dapat tumbuh lebih baik.

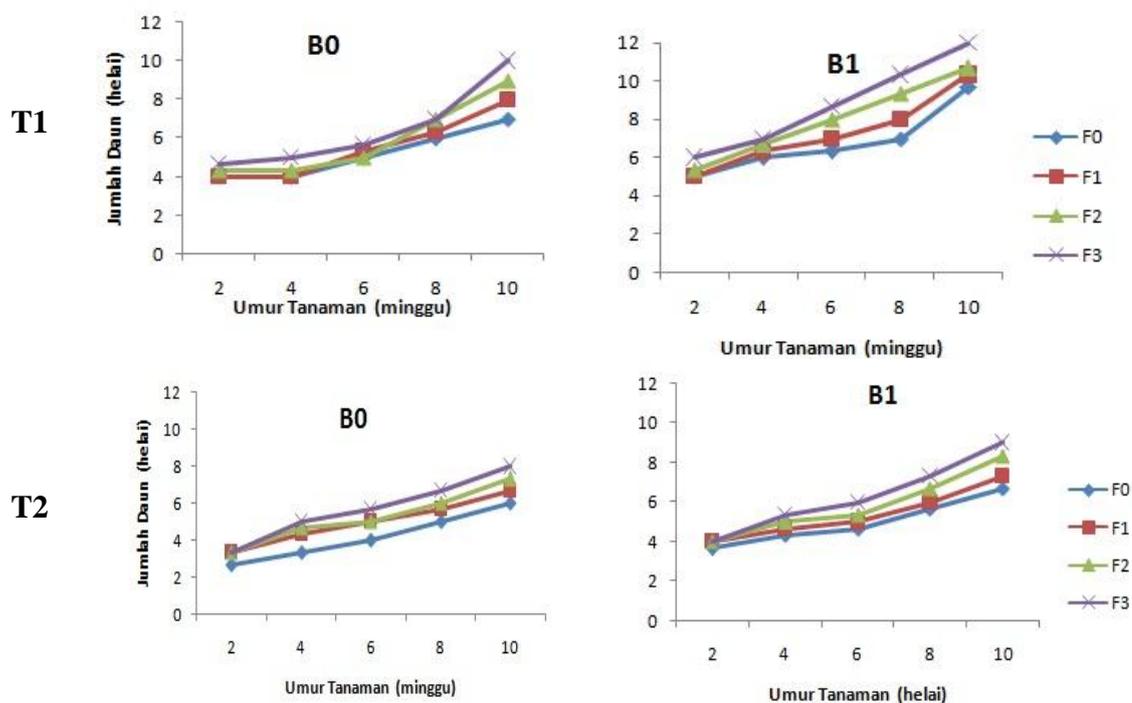
Pemberian bahan organik dapat meningkatkan tinggi tanaman jagung. Hal ini menandakan bahwa bahan organik sangat membantu dalam menyediakan unsur yang dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Suidiana (2004) menyatakan, tinggi tanaman dipengaruhi oleh kandungan hara yang ada didalam tanah, sehingga dapat dikatakan bahwa tanaman yang diberi dengan bahan organik akan mengalami pertumbuhan yang lebih baik.

4.3.2. Jumlah Daun

Pengamatan jumlah daun sangat diperlukan sebagai indikator pertumbuhan dan sebagai data penunjang untuk menjelaskan proses pertumbuhan yang terjadi seperti pada pembentukan biomassa tanaman. Pengamatan daun dapat didasarkan atas fungsinya sebagai penerima cahaya dan alat yang berperan dalam proses fotosintesis. Pengamatan jumlah daun pada tanaman jagung dilakukan setiap 2 minggu sekali.

Besarnya kandungan Hg dalam tanah dapat memberikan pengaruh yang tidak baik pada pertumbuhan tanaman karena pertumbuhan tinggi tanaman

berbanding lurus dengan jumlah daun. Semakin tinggi tanaman maka semakin banyak jumlah daun. Jumlah daun tanaman jagung sangat tergantung pada tinggi rendahnya kandungan logam berat yang terdapat dalam tanah dan unsur hara yang berada didalamnya. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 7 yaitu potensi kandungan tailing 10% (T1) yang dapat memberikan pengaruh lebih besar terhadap banyaknya jumlah daun yang terbentuk pada tanaman jagung dibandingkan dengan kandungan tailing 20% (T2) yang memiliki jumlah daun lebih sedikit.



Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Gambar 7. Jumlah Daun

Hasil penelitian terlihat pada Gambar 7 menunjukkan tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F1 (*C. bicolor*), F2 (*P. conjugatum*), dan F3 (*C. nudiflora*) memiliki jumlah daun yang berbeda. Nilai rerata jumlah daun tanaman jagung tertinggi terdapat pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*), sehingga dapat

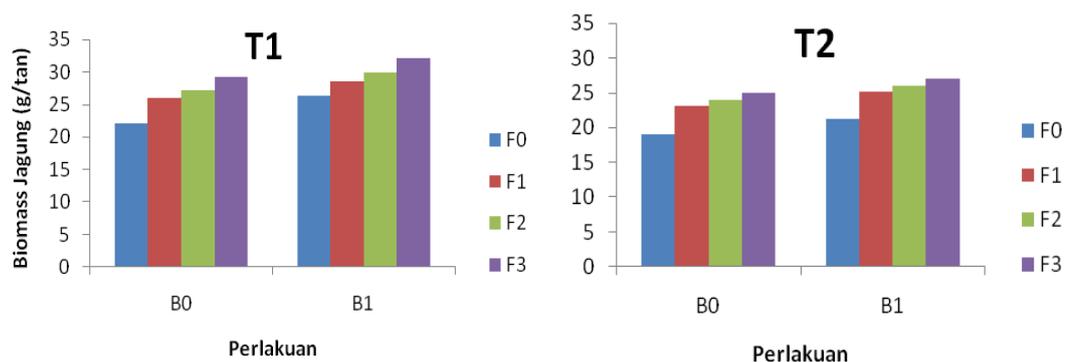
dikatakan perlakuan F3 memberikan respon positif terhadap pertumbuhan tanaman yang berpengaruh terhadap jumlah daun dibandingkan dengan perlakuan F1 dan F2. Pada perlakuan kontrol yaitu F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor) terlihat memiliki jumlah daun lebih sedikit dibandingkan dengan perlakuan lainnya yang diakibatkan logam berat (Hg) yang terkandung dalam tanah masih banyak bahkan belum mengalami penurunan. Selain itu pembentukan daun melalui proses fotosintesis oleh tanaman terbatas karena ketersediaan hara untuk beradaptasi dengan keadaan lingkungannya kurang sesuai yang berdampak pertumbuhan tanaman tidak optimal. Karti (2003) menyatakan kandungan nutrisi yang rendah pada tanah tercemar limbah tailing akan dapat menghambat pertumbuhan tanaman.

Perlakuan dengan pemberian bahan organik pada tanaman jagung memiliki jumlah daun yang lebih banyak. Hal ini dapat terjadi karena pemberian bahan organik mampu memberikan ketersediaan unsur hara pada tanah tercemar limbah tailing. Pemberian bahan organik merupakan unsur yang dibutuhkan tanaman, sehingga ketersediaan unsur hara dalam tanah dapat membantu pertumbuhan organ-organ tanaman, salah satunya adalah jumlah daun. Pada dasarnya daun dapat tumbuh semakin banyak seiring dengan adanya unsur hara yang cukup didalam tanah, jika tanah tersebut kekurangan unsur hara maka akan berdampak pada pertumbuhan organ-organ tanaman seperti jumlah daun (Rizqiani, 2007).

4.3.3. Produksi Biomass Tanaman Jagung

Berat kering tanaman jagung diperoleh dari hasil penimbangan yang dilakukan pada saat panen, setelah tanaman di oven 2x24 dengan suhu $\pm 70^{\circ}\text{C}$. Berat kering tanaman merupakan peubah yang sangat penting dijadikan pedoman untuk mengetahui tingkat pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dari hasil analisis ragam (taraf 5%), perlakuan konsentrasi kandungan Hg berpengaruh nyata terhadap rerata produksi biomass tanaman jagung (Lampiran 12e). Berat kering tanaman pada perlakuan T2 (tanah tercemar limbah tailing 20%) memiliki nilai rerata lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan T1 (tanah tercemar limbah tailing 10%). Hal ini dapat terjadi karena semakin bertambahnya

kandungan tailing maka dapat memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap pertumbuhan tanaman. Tingginya kandungan tailing dapat menghambat pertumbuhan tanaman sehingga dapat menurunkan kualitas tanaman yang mengakibatkan rendahnya berat kering yang dihasilkan. Berat kering tanaman jagung dapat disajikan pada Gambar 8.



Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Gambar 8. Biomass Tanaman Jagung

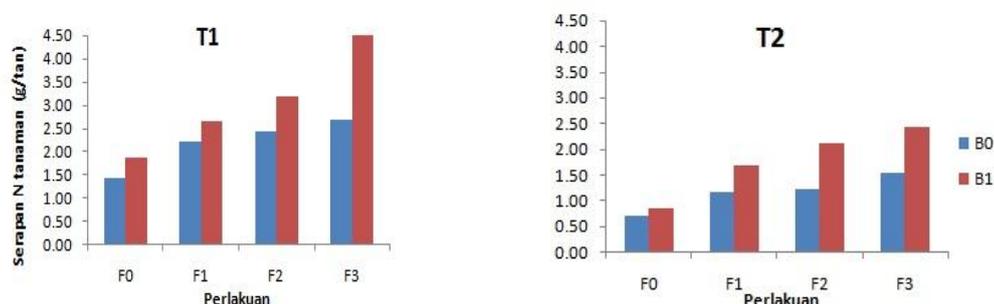
Berat kering tanaman jagung pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki nilai rerata lebih tinggi dibandingkan F2 (*P. conjugatum*) dan F1 (*C. bicolor*), sedangkan pada perlakuan kontrol (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor) memiliki nilai rerata lebih rendah daripada perlakuan F1 (*C. bicolor*), F2 (*P. conjugatum*), dan F3 (*C. nudiflora*). Hal ini dapat terjadi karena perlakuan F3 (*C. nudiflora*) pada tahap fitoremediasi banyak menyerap kandungan Hg lebih banyak sehingga kandungan Hg dalam tanah berkurang. Penurunan kandungan Hg dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Jika pertumbuhan tanaman tersebut baik maka berat kering yang dihasilkan tinggi.

Tinggi dan rendahnya nilai berat kering tanaman dapat dipengaruhi oleh perlakuan dengan pemberian bahan organik dan tanpa pemberian bahan organik. Perlakuan dengan pemberian bahan organik memiliki nilai berat kering yang tinggi karena dengan pemberian bahan organik dapat membantu dalam penyediaan nutrisi atau unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan sel. Pertumbuhan sel dan jaringan yang baik pada

akar, dapat meningkatkan biomassa tanaman sehingga akan meningkatkan berat kering tanaman. Menurut Fauziah (2009) pemberian bahan organik pada tanah tercemar akan menambah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga penyerapan unsur hara oleh tanaman berjalan baik dimana berpengaruh dalam menaikkan proses fotosintesis. Jika hasil fotosintesis semakin banyak, maka berat kering tanaman pun akan meningkat. Mimbar (1990) menambahkan peningkatan berat kering ini sejalan dengan perkembangan tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun dan luas daun serta perkembangan tongkol dan biji. Sedangkan nilai rerata berat kering yang rendah terdapat pada perlakuan tanpa pemberian bahan organik, dikarenakan kurangnya asupan unsur hara yang cukup didalam tanah untuk pertumbuhan tanaman.

4.3.4. Serapan N Tanaman Jagung

Serapan N tanaman pada perlakuan T2 (tanah tercemar limbah tailing 20%) memiliki nilai rerata lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan pada T1 (tanah tercemar limbah tailing 10%). Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan Hg ditanah yang dapat menyebabkan tanaman belum mampu beradaptasi dengan lingkungan sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Dengan kondisi yang sedemikian, maka mengakibatkan tanaman menjadi kerdil dan menghasilkan serapan yang kurang optimal sehingga dampak terhadap hasil serapan tersebut dapat didukung atau dikendalikan dengan pemberian bahan organik. Seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Gambar 9. Serapan N Tanaman Jagung

Serapan N yang dimiliki oleh tanaman jagung menunjukkan nilai rerata yang bervariasi pada setiap perlakuan. Pada perlakuan F0 (kontrol tanpa tanaman fitoekstraktor), tanaman jagung terlihat memiliki serapan N tanaman yang lebih rendah dibandingkan perlakuan yang menggunakan tanaman fitoekstraktor karena tanaman tersebut hanya bisa berusaha untuk tetap mempertahankan hidupnya karena nutrisi yang dibutuhkan kurang tersedia sehingga menciptakan tanaman tidak dapat tumbuh dengan optimal. Dapat ditunjukkan serapan N pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki nilai rerata lebih tinggi dibandingkan dengan F2 (*P. conjugatum*), namun serapan N pada perlakuan F1 (*C. bicolor*) lebih rendah dibandingkan perlakuan pada F2 (*P. conjugatum*). Hal ini dikarenakan perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki potensi menyerap Hg lebih banyak dalam tahap fitoremediasi sehingga kandungan Hg berkurang dan pada penanaman selanjutnya tanaman dapat menghasilkan pertumbuhan yang baik. Pertumbuhan tanaman yang baik tersebut disebabkan memiliki asupan hara dari pemberian bahan organik sehingga memiliki serapan N lebih banyak. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nursyamsi (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.

Dari analisis ragam (taraf 5%), perlakuan pemberian bahan organik menunjukkan pengaruh nyata terhadap serapan N tanaman jagung (Lampiran 12g). Peningkatan pertumbuhan tanaman diikuti dengan peningkatan serapan N karena pertumbuhan tanaman erat kaitannya dengan penyerapan unsur hara sehingga semakin tinggi tanaman jagung maka semakin banyak pula jumlah daunnya, sehingga semakin tinggi juga serapan N tanaman yang dihasilkan. Serapan N tanaman pada perlakuan penambahan bahan organik memiliki nilai rerata lebih tinggi karena bahan organik mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah sehingga dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman. Menurut Yuwono (2006) alasan pemberian bahan organik pada tanah lebih bertujuan selain membantu dalam penyediaan nutrisi juga untuk memperbaiki kondisi tanah karena bahan organik cenderung berperan menjaga fungsi tanah agar unsur hara mudah diserap oleh tanaman dan Becti (2001) menambahkan bahan organik dalam tanah merupakan kunci utama untuk kesehatan tanah.

Sedangkan nilai rerata serapan N yang rendah terdapat pada perlakuan yang tidak menggunakan pemberian bahan organik, karena kurangnya pasokan unsur hara dalam tanah sehingga menciptakan pertumbuhan yang kurang baik.

4.4. Kandungan Hg Pasca Tanaman Jagung

4.4.1. Kandungan Hg

Kandungan Hg pada semua perlakuan pasca panen tanaman jagung ditunjukkan pada Tabel 6. Kandungan Hg pada T2 dua kali lebih besar dibandingkan dengan T1. Hal ini disebabkan beberapa logam berat yang terkandung dalam tanah belum mengalami penurunan atau belum terakumulasi oleh tanaman yang bersifat hiperakumulator pada tahap fitoremediasi, karena akumulasi logam berat setiap tanaman berbeda-beda. Hal ini sesuai dengan pernyataan Chaney (1995) bahwa semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi. Subiksa (2002) menambahkan bahwa keracunan akibat adanya akumulasi logam berat yang berlebih akan dapat mengakibatkan penurunan kesehatan tanah secara bertahap.

Tabel 6. Nilai Kandungan Hg tanah Setelah Tanaman Jagung

Perlakuan		Kandungan Hg dalam tanah setelah jagung (mg/5kg)			
		Hg Awal	Hg Akhir	Penurunan Hg	
T1	B0	F0	38.01	37.18	0.82
		F1	36.20	34.15	2.05
		F2	35.11	31.40	3.71
	B1	F3	33.91	28.79	5.12
		F0	37.03	35.43	1.60
		F1	32.88	25.13	7.75
T2	B0	F2	29.07	20.27	8.80
		F3	26.27	17.55	8.72
		F0	75.01	55.61	19.40
	B1	F1	70.50	49.33	21.16
		F2	68.70	47.56	21.37
		F3	67.70	59.13	8.57
B1	F0	72.02	69.15	2.88	
	F1	65.90	58.85	7.05	
	F2	65.05	58.18	6.87	
		F3	63.35	49.15	14.20

Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*); Hg (Merkuri)

Kandungan Hg yang tinggi pada tanah tercemar tailing akan berdampak pada aktivitas pertumbuhan tanaman yang menyebabkan kerusakan atau pertumbuhannya kurang optimal, dikarenakan tailing dapat 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 mati. Kandungan Hg yang terkandung dalam tanah akan meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi yang diberikan, namun jumlah kandungan Hg dalam tanah dapat berkurang dengan dilakukannya pemberian bahan organik dan penggunaan teknik fitoremediasi menggunakan tanaman hiperakumulator sehingga dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman jagung.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor) memiliki kandungan Hg dua kali lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan F1 (*C. bicolor*), F2 (*P. conjugatum*), dan F3 (*C. nudiflora*). Setiap tanaman memiliki tipe jaringan dan kemampuan yang berbeda

serta tingkat toleransi penyerapannya pun juga berbeda sehingga kandungan Hg yang tersisa bervariasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Maiti (2004) bahwa setiap tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda bertahan pada berbagai macam tanah terkontaminasi dan menyerap logam. Kandungan Hg yang terdapat pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) tahap fitoremediasi, mengalami penurunan Hg lebih banyak sehingga kandungan Hg banyak berkurang dibandingkan dengan perlakuan yang lain, sehingga dapat dikatakan bahwa tanaman *C. nudiflora* lebih toleran tumbuh terhadap tanah tercemar limbah tailing bahkan memiliki kemampuan menyerap kandungan logam lebih banyak. Dengan kondisi demikian, maka dapat menciptakan pertumbuhan tanaman jagung menjadi lebih baik. 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 penelitian ini terbukti bahwa tanaman jagung dapat tumbuh pada tanah yang tercemar limbah tailing, namun mengalami pertumbuhan kurang baik, sehingga terlihat seperti halnya kekurangan hara. Tanaman jagung tumbuh diketahui tidak hanya menyerap hara di dalam tanah, akan tetapi juga menyerap Hg dalam tanah sehingga kandungan Hg pada tanah tercemar limbah tailing menjadi berkurang. Hal ini dikarenakan oleh beberapa faktor yakni (1) unsur Hg memiliki sifat menguap yang diakibatkan oleh sinar matahari, (2) terjadi karena terserap oleh tanaman jagung yang diikuti dengan bahan organik karena dapat membantu mengikat logam berat. Pemberian bahan organik dapat membantu dalam menurunkan kandungan Hg dalam tanah sehingga efektifitas tanaman dalam menyerap logam berat meningkat dan kandungan Hg berkurang. Hasil analisa dalam tabel 7 menunjukkan bahwa perlakuan dengan pemberian bahan organik menyebabkan kandungan Hg pada tanah yang tercemar limbah tailing menjadi sedikit lebih rendah, sehingga dapat memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman dan dapat menghasilkan pertumbuhan yang optimal. Menurut Stevenson (1997) bahan organik memiliki peranan penting selain sebagai

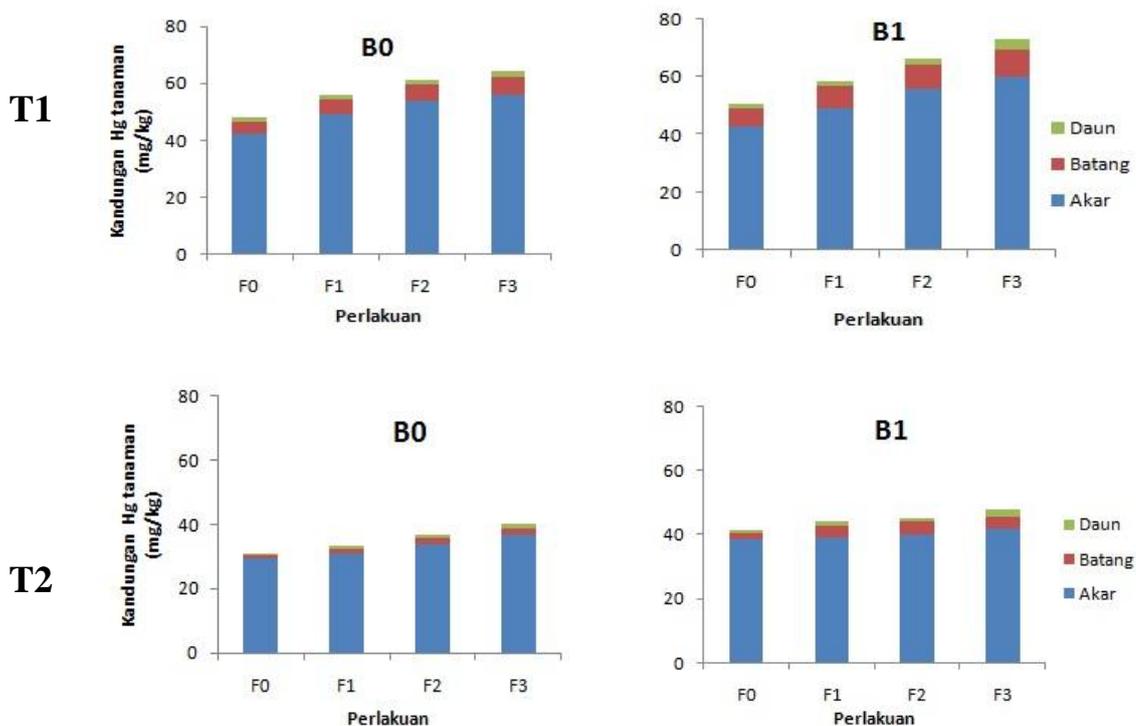
penyangga pH, sebagai sumber hara, dapat meningkatkan *water holding capacity*, juga dapat mengkelat logam-logam.

4.4.2. Kandungan Hg pada bagian-bagian tanaman jagung

Pertumbuhan tanaman adalah proses terjadinya peningkatan jumlah serta ukuran daun dan batang. Pertumbuhan tanaman tidak hanya terjadi pada bagian atas (tajuk) tanaman, akan tetapi juga terjadi pada bagian bawah (akar) tanaman. Akar merupakan bagian dari tanaman yang menentukan kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi dan air, pertumbuhannya ditentukan oleh area daun yang aktif melakukan fotosintesis karena akar bergantung pada penangkapan energi oleh daun. Pada saat suplai energi terbatas, maka energi yang ada digunakan oleh jaringan tanaman yang paling dekat dengan lokasi fotosintesis. Oleh karena itu, akar menerima energi hanya pada saat ada kelebihan energi yang diproduksi melalui fotosintesis yang tidak digunakan untuk pertumbuhan tajuk tanaman. Peranan akar dalam pertumbuhan tanaman sangat berhubungan dengan tajuk, karena tajuk berfungsi dalam fotosintesis dan akar berfungsi dalam menyediakan unsur hara dan air yang digunakan dalam metabolisme tanaman (Guritno dan Sitompul, 1995). Untuk pengamatan terhadap kandungan Hg pada tanaman dipisahkan antara akar, batang, tajuk dan buah. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagian tanaman yang mampu dalam menyerap logam berat dan bagian mana yang dapat melakukan translokasi logam berat ke tanaman.

Analisis kandungan Hg dilakukan pada akar, batang, tajuk dan buah tanaman jagung, dalam penelitian ini ditemukan hasil yang bervariasi pada kandungan Hg tanaman jagung. Gambar 10 secara keseluruhan menunjukkan dari hasil analisa kandungan Hg pada tanaman jagung memiliki kandungan logam paling banyak yang terdapat pada bagian bawah tanaman yaitu akar dibandingkan pada batang, dan tajuk yang semakin keatas maka kandungan unsur logam berat semakin sedikit. Namun kandungan Hg pada buah atau biji tanaman jagung dapat dikatakan tidak terdeteksi karena memiliki nilai rerata 0 mg/tanaman pada semua perlakuan. Jagung yang dikatakan tanaman yang bersifat hiperakumulator tersebut dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi baik pada akar, batang dan tajuknya dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam

proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk dan diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen. Menurut Brady (1990) menambahkan perkembangan akar berhubungan langsung dengan pertumbuhan bagian atas tanaman sehingga rendahnya berat kering akar diikuti oleh penurunan berat kering tajuk. Fungsi akar tanaman adalah sumber energi bagi jasad renik bila mati dan bila hidup mempengaruhi keseimbangan unsur hara dalam larutan tanah dan penyediaan unsur hara yang pertama melalui absorpsi dan kedua melalui produksi asam organik sehingga akar dapat digambarkan berfungsi sebagai pelarut. Dari penelitian ini ditemukan hasil yang bervariasi kandungan Hg pada tanaman jagung, hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Gambar 10. Kandungan Hg Tanaman Jagung

Disamping itu, tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan T1 (tanah tercemar limbah tailing 10%) memiliki nilai kandungan Hg lebih tinggi bila dibandingkan dengan perlakuan T2 (tanah yang tercemar limbah tailing 20%),

sehingga hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman jagung ternyata mampu menyerap Hg dalam pada tanah tercemar limbah tailing. Ini berarti bahwa tanaman jagung memiliki potensi sebagai tanaman hiperakumulator, namun pertumbuhan semakin terhambat dengan peningkatan kandungan Hg sehingga kemampuan sebagai fitoekstraktor semakin menurun seiring dengan peningkatan kandungan dalam tanah. Dalam menentukan apakah suatu tumbuhan 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 (Brown, 1995). Dengan hal tersebut maka Huang (1997) menyatakan bahwa tanaman pangan (jagung) dapat menyerap Hg melalui penambahan EDTA di dalam tanah. Dari hal tersebut maka, menunjukkan bahwa tanaman pangan ternyata mampu berperan dalam fitoremediasi terhadap tanah yang tercemar. Hal ini menuntut untuk lebih waspada dalam mengonsumsi hasil dari tanaman- tanaman yang memiliki potensi sebagai tanaman hiperakumulator tersebut. Untuk menghindari terjadinya akumulasi logam- logam berat berbahaya didalam tanaman pangan perlu dikaji lebih mendalam mengenai komposisi media tumbuhnya yaitu tanah.

Dari hasil penelitian didapat bahwa tanaman yang memiliki peran sebagai tanaman hiperakumulator tersebut mampu menurunkan kandungan Hg dalam tanah yang tercemar limbah tailing. Tanaman jagung yang ditanam pada tanah tahap pascafitoremediasi memiliki nilai kandungan Hg yang bervariasi pada setiap perlakuan, namun tidak semua tanaman yang bersifat hiperakumulator tersebut mampu menyerap logam berat dalam jumlah yang tinggi. Dapat ditunjukkan bahwa tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan yang menggunakan tanaman fitoekstraktor memiliki nilai kandungan Hg dua kali lebih rendah dibandingkan tanaman jagung yang tumbuh pada perlakuan tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor. Hal ini dapat ditunjukkan pada perlakuan F3 (*C. nudiflora*) memiliki kandungan Hg lebih rendah dibandingkan dengan

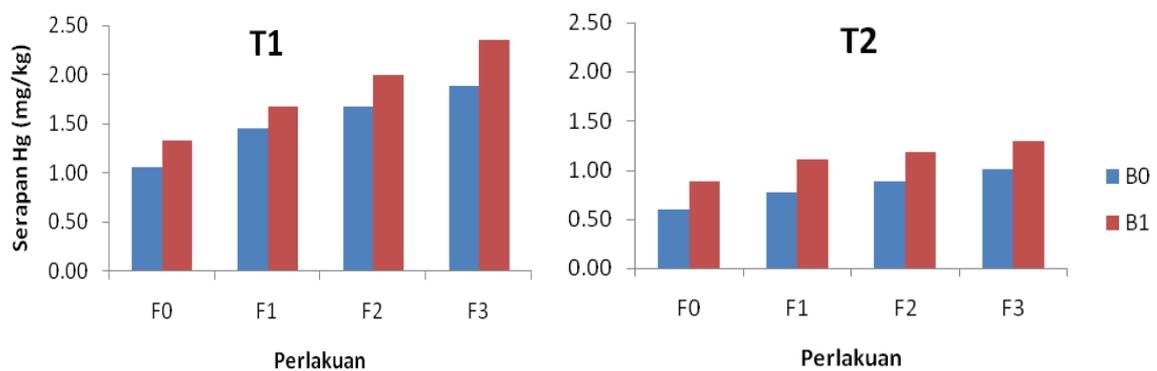
perlakuan F2 (*P. conjugatum*), namun pada perlakuan F1 (*C. bicolor*) memiliki kandungan Hg lebih tinggi dibandingkan dengan F2 (*P. conjugatum*). Sedangkan pada perlakuan F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor) memiliki kandungan Hg yang lebih tinggi diantara lainnya, sehingga hal ini menyebabkan pertumbuhan tanaman jagung mengalami pertumbuhan yang kurang optimal. Hal ini dapat terjadi karena setiap tanaman memiliki kemampuan penyerapan yang berbeda, sehingga kandungan Hg yang terserap dalam tanaman dan yang tersisa didalam tanah pun juga bervariasi.

Perlakuan pemberian bahan organik dan tanpa bahan organik dimaksudkan untuk mengetahui tingkat perbandingan terhadap pertumbuhan tanaman jagung. Hasil analisis ragam (taraf 5%), menunjukkan bahwa kombinasi antara tanaman, konsentrasi tailing dan pemberian bahan organik berpengaruh nyata terhadap tanaman jagung (Lampiran 12h), (Lampiran 12i) dan (Lampiran 12j) karena pada dasarnya pemberian bahan organik dapat meningkatkan produksi biomassa tanaman. Dengan meningkatnya produksi biomassa ini maka banyak polutan yang diserap juga akan meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan penggunaan pemberian bahan organik efektif menurunkan kandungan logam berat, sehingga memberikan pengaruh yang baik untuk pertumbuhan tanaman jagung. Pemberian kompos dan pupuk tersebut dapat mengaktifkan mikroba tanah yang berfungsi untuk mempercepat sistem humifikasi, sehingga dapat bermanfaat untuk mempercepat pembentukan humus pada daerah perakaran tanaman, serta dapat memperbaiki kondisi fisik tanah dan mempercepat perkembangan akar tanaman (Sudiana, 2004).

4.4.3. Serapan Hg Tanaman Jagung

Hasil analisis ragam, tanaman jagung menunjukkan pengaruh nyata terhadap semua perlakuan (Lampiran 12f). Pada pengamatan menunjukkan bahwa nilai serapan Hg pada tanaman jagung memberikan nilai yang bervariasi pada setiap perlakuan, karena jumlahnya serapan Hg dapat mempengaruhi terhadap pertumbuhan tanaman. Terlihat pada diagram Gambar 11 bahwa tanaman yang ditanam pada T2 (tanah tercemar tailing 20%) menunjukkan nilai serapan Hg dua kali lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan T1 (tanah

tercemar limbah tailing 10%), sehingga dapat dikatakan tingginya kandungan Hg pada tanah tercemar tailing 20% secara nyata dapat menghambat dan mengganggu kestabilan perkembangan tanaman serta dapat meracuni ekosistem dan berbahaya terhadap lingkungan. Logam berat yang terkontaminasi kedalam tanah dapat menyebabkan tanah menjadi tercemar dan dapat menyebabkan penurunan kualitas pertumbuhan, produktivitas tanaman serta menyebabkan kematian pada tumbuhan (Connell, 1995).



Keterangan : T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Gambar 11. Serapan Hg Tanaman Jagung

Menurunnya serapan Hg diakibatkan oleh adanya peningkatan kandungan Hg yang dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman jagung. Pada perlakuan F3 (*C. bicolor*) menunjukkan tanaman jagung mampu bertahan hidup pada tanah tercemar dan dapat mengakumulasi kandungan Hg lebih banyak daripada tanaman jagung yang ditanam pada perlakuan F0 (tanpa menggunakan tumbuhan fitoekstraktor), F1 (*C. bicolor*) dan F2 (*P. conjugatum*) yang menghasilkan serapan kandungan Hg kurang optimal. Menurut Muin (2003) jika logam berat yang terdapat didalam tanah tinggi, maka bisa terjadi penurunan penyerapan oleh tanaman.

Tanaman jagung mampu berperan dalam potensi menyerap logam berat (Hg) pada tanah. Meningkatnya serapan Hg pada tanaman jagung dipengaruhi oleh pemberian bahan organik, karena bahan organik mempunyai kemampuan

untuk mengikat kelebihan logam yang bersifat racun sehingga tanaman dapat beradaptasi. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa tanaman jagung mampu beradaptasi dengan tanah tercemar limbah tailing, namun pertumbuhannya sedikit terhambat dan tidak normal seperti tanaman yang tumbuh pada tanah sehat. Menurut pendapat Verloo (1993) bahwa hasil dekomposisi bahan organik menghasilkan senyawa-senyawa sederhana yang langsung dapat dimanfaatkan oleh tanaman dan membentuk senyawa kompleks yang berfungsi untuk mengurangi sifat racun logam berat.

4.5. Hubungan produksi biomassa terhadap kandungan Hg pascafitoremediasi

Kolerasi antara berat kering tanaman dengan kandungan Hg pascafitoremediasi yakni negatif dengan nilai (-0.492) sehingga hubungan antar keduanya kurang erat, namun pada taraf uji 5% menunjukkan berbeda nyata dengan p-value (0.000**) (Lampiran 13a). Hubungan kolerasi ini dapat dikatakan tingginya kandungan Hg yang terkandung dalam tanah mengakibatkan menurunnya pertumbuhan tanaman sehingga berat kering tanaman menjadi rendah. Terhambatnya pertumbuhan tanaman fitoekstraktor dikarenakan adanya cekaman logam berat, sehingga pertumbuhan dan perkembangan jaringan pada akar menjadi terhambat. Menurunnya jaringan pada akar mengakibatkan penurunan pertumbuhan bagian atas dan pada akhirnya menurunkan berat kering tanaman (Fitter *et al.*, 2001).

Hasil analisis korelasi menunjukkan korelasi negatif dan berbeda nyata antara serapan Hg pascafitoremediasi dan kandungan Hg pascafitoremediasi (tanah) dengan nilai kolerasi (-0.687) pada nilai p-valuenya (0.000*) (Lampiran 13a), sehingga antar keduanya sangat erat. Menurut Muin (2003) jika logam berat yang terdapat di dalam tanah tinggi, maka bisa terjadi penurunan penyerapan oleh tanaman. Semakin tinggi tanaman menyerap kandungan Hg, maka kandungan logam berat yang ada di tanah semakin berkurang sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman selanjutnya.

4.6. Hubungan antara parameter tanaman jagung terhadap kandungan Hg

Hasil penelitian diketahui bahwa hubungan antara tinggi tanaman pada tiap minggunya dengan kandungan Hg pascafitoremediasi (tanah) menunjukkan berkolerasi negatif pada minggu ke-2 sampai minggu ke-10. Hal ini terjadi karena semakin tinggi pertumbuhan tanaman semakin rendah kandungan Hg, sehingga hubungan keduanya erat dan menunjukkan berbeda nyata karena memiliki nilai p-valuenya (0.000**) (Lampiran 13a).

Pada minggu ke-4 kolerasi antara jumlah daun dan kandungan Hg pascafitoremediasi (tanah) berkolerasi negatif yaitu (-0.475) dengan nilai p-value (0.000**), sehingga menunjukkan hubungan negatif dan nyata pada taraf uji 5% (Lampiran 13b), namun hubungan keduanya kurang erat. Sedangkan kolerasi pada minggu ke-2 sampai minggu ke-10 menunjukkan kolerasi yang nyata.

Hubungan antar tinggi tanaman (Lampiran 13a) dan jumlah daun (Lampiran 13b) pada tanah pascafitoremediasi menunjukkan berkolerasi negatif, namun berbeda nyata karena nilai p-value (0.000**) pada uji taraf 5%. Hubungan kolerasi ini berarti semakin tinggi tanaman maka semakin banyak jumlah daun. Jumlah daun tanaman jagung sangat tergantung pada tinggi rendahnya kandungan logam berat yang terdapat dalam tanah. Sebaliknya semakin besar kandungan Hg maka pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun akan terganggu, sehingga semakin besarnya kandungan Hg maka akan dapat menghambat pertumbuhan tanaman jagung. Menurut Rosiana (2003), semakin bertambahnya konsentrasi tailing pada media tanam semakin menurun pertumbuhan tanaman. Terhambatnya pertumbuhan tanaman juga diduga tanaman mengalami defisiensi unsur fosfor, kalium dan besi akibat cekaman logam berat, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat.

Hasil analisis korelasi menunjukkan korelasi negatif dan berbeda nyata antara serapan Hg pascapanen dan kandungan Hg pascapanen (tanah) menunjukkan berkorelasi negative dengan nilai (-0.598) dengan nilai p-valuenya (0.000*) (Lampiran 13a). Hal ini dikarenakan semakin tinggi serapan Hg maka semakin rendah kandungan Hg yang ada didalam tanah, namun serapan Hg dapat menghambat dan menyebabkan pertumbuhan tanaman kurang optimal.

Semakin tingginya tanaman dalam menyerap Hg yang terdapat dalam tanah, maka akan semakin berkurang kandungan Hg dalam tanah. Hal ini ditunjukkan pada data pengamatan hubungan akar, batang dan daun terhadap kandungan Hg pascapanen (tanah) yang menunjukkan kolerasi negatif sehingga kolerasinya kurang erat, namun pada taraf uji 5% menunjukkan beda nyata dengan p-value (0.000**). Sedangkan Hg yang diserap oleh tanaman akan semakin terakumulasi dalam tubuh tanaman. Dari hasil penelitian kandungan Hg yang terdapat pada bagian-bagian tanaman jagung menunjukkan bahwa seluruh bagian tubuh jagung mengakumulasi Hg dengan volume berbeda-beda. Bagian tanaman jagung yang paling banyak mengakumulasi Hg atau mengandung Hg terdapat pada akar tanaman. Sedangkan pada bagian yang lebih atas (batang dan daun) kandungan Hg semakin berkurang yang ditunjukkan pada kolerasi positif dengan p-value (0.000**) yang menunjukkan hubungan keduanya sangat erat (Lampiran 13a). Dari hasil penjelasan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa tanaman jagung merupakan tanaman hiperakumulator yang mempunyai kemampuan dalam menyerap logam berat.

Semakin tingginya kemampuan tanaman dalam menyerap Hg maka semakin banyak Hg yang terakumulasi dalam tubuh tanaman sehingga menyebabkan terganggunya pertumbuhan tanaman. Unsur Hg yang terdapat dalam tubuh tanaman akan menghambat dan mengganggu proses metabolisme tanaman, yang mengakibatkan tidak optimalnya pembentukan sel-sel tanaman pada proses pertumbuhan tanaman. Semakin tidak optimalnya pembentukan sel-sel tanaman maka akan berpengaruh langsung pada proses pertumbuhan tanaman (pembentukan jaringan, pembentukan organ dan perkembangan tanaman). Alasan ini diperkuat dengan pernyataan 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 berat kering tanaman.

4.7. Pembahasan Umum

Setiap tanaman pada dasarnya memiliki aktivitas tumbuh yang berbeda, hal ini berkaitan dengan kemampuan tanaman dan tingkat toleransi bagi tanaman tumbuh pada tanah beracun atau tanah tercemar logam berat. Tanaman fitoekstraktor yakni, *C. bicolor*, *P. conjugatum* dan *C. nudiflora* memiliki kemampuan dalam menurunkan kandungan logam berat merkuri (Hg) pada tanah tercemar tailing. Ketiga tanaman fitoekstraktor tersebut menunjukkan mampu beradaptasi tumbuh pada tanah beracun, namun salah satu diantaranya yang berpotensi dalam menurunkan kandungan Hg lebih besar adalah perlakuan F3 (*C. nudiflora*) dibandingkan dengan perlakuan F1 (*C. bicolor*) dan F2 (*P. conjugatum*). Dengan kata lain F3 (*C. nudiflora*) mempunyai potensi yang lebih besar sebagai fitoekstraktor dan masih mampu menjalankan fungsinya meskipun kandungan Hg dalam tanah meningkat, sehingga dengan hal tersebut keberadaan logam berat pada tanah tercemar menjadi berkurang.

Untuk memperbaiki kondisi tumbuhnya tanaman ditempat yang tercemar limbah tailing, maka tanaman fitoekstraktor perlu diberi bahan organik agar kinerja tanaman dalam proses penyerapan logam berat lebih cepat dan untuk memperbaiki sifat tanah serta membantu tailing dalam menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga dengan perlakuan pemberian bahan organik menyebabkan kandungan Hg pada tanah tercemar tailing sedikit lebih rendah. Penurunan kandungan logam berat dalam tanah dapat dikatakan cukup aman dan dapat mempengaruhi terhadap pertumbuhan tanaman selanjutnya yaitu jagung.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa tanaman jagung mampu beradaptasi, namun pertumbuhannya sedikit terhambat dan tidak normal seperti tanaman lain pada umumnya seiring dengan adanya akumulasi logam Hg yang lebih tinggi. Pertumbuhan tanaman jagung setelah difitoremiasi dengan F3 (*C. nudiflora*) menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan F2 (*P. conjugatum*) dan F1 (*C. bicolor*). Hal ini dikarenakan tanaman *C. nudiflora* menunjukkan kapasitas dalam membersihkan polutan yang tinggi dan

menunjukkan toleransi yang tinggi juga terhadap lingkungan sehingga kandungan Hg pada tanah tercemar limbah tailing menjadi lebih sedikit berkurang.

Pada tanah tercemar limbah tailing 10% (T1) ternyata mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan tanah tercemar limbah tailing 20% (T2). Hal ini berarti bahwa tanaman jagung juga berperan dalam potensi menyerap logam berat pada tanah tercemar limbah tailing pada kondisi kandungan Hg menurun. Meningkatnya pertumbuhan jagung seiring dengan meningkatnya serapan Hg pada tanaman jagung dipengaruhi oleh pemberian bahan organik, karena pemberian bahan organik berperan dalam penyediaan unsur hara pada tanah tercemar limbah tailing sehingga telah mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung dan membantu dalam proses penyerapan logam berat lebih cepat yang dapat menyebabkan berkurangnya logam berat di tanah. Oleh karena itu, terjadinya penurunan logam berat pada tanah tercemar limbah tailing dikarenakan pemberian bahan organik mempunyai kemampuan untuk mengikat kelebihan logam yang bersifat racun sehingga tanaman dapat beradaptasi. Ini berarti bahwa tanaman jagung memiliki potensi sebagai tanaman hiperakumulator, namun pertumbuhan semakin terhambat dengan peningkatan kandungan Hg sehingga kemampuan sebagai fitoekstraktor semakin menurun seiring dengan peningkatan kandungan dalam tanah.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil Penelitian Menunjukkan Bahwa :

1. Tanaman *C. bicolor*, *P. conjugatum* dan *C. nudiflora* dapat menurunkan kandungan Hg dalam tanah tercemar limbah tailing. Kemampuan serapan tanaman *C. nudiflora* lebih besar dibandingkan *C. bicolor* dan *P. conjugatum*, namun semakin tinggi kandungan Hg maka semakin rendah serapannya.
2. Pemberian bahan organik dapat meningkatkan serapan Merkuri (Hg) pada tanaman fitoekstraktor.
3. Meningkatnya pertumbuhan tanaman jagung dipengaruhi dengan adanya penurunan kandungan Hg pascafitoremediasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Hg pada tanaman jagung banyak terdapat pada bagian akar serta diikuti bagian batang dan daun, sehingga semakin ke atas maka kandungan Hg semakin sedikit.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan jenis leguminosae lainnya dan tanaman pangan lainnya yang berfungsi sebagai tanaman hiperakumulator karena setiap jenis tanaman mempunyai asosiasi yang berbeda terhadap pertumbuhan dengan tanah tercemar tailing emas.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut penambahan variasi perlakuan seperti variasi dosis bahan organik dan kadar konsentrasi tailing yang digunakan sehingga dapat diketahui dosis yang tepat untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, S., S.W. Basuki, dan R. Mien. 2010. Pedoman Pengenalan Berbagai Jenis Gulma Penting Pada Tanaman Perkebunan. Jakarta.
- Ali, M. B., P. Vajpayee, R. D. Tripathi, U. N. Rai, A. Kumar, N. Singh, H. M. Behl, and S. P. Singh, 2000. Mercury bioaccumulation induces oxidative stress and toxicity to submerged macrophyte *Potamogeton crispus* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 65:573-582.
- Alloway, B. J. 2005. Heavy Metals in Soils. 2nd Edition. Blackie Academic and Professional – Chapman and Hall. London-Glasgow-Wenheim-New York. Tokyo-Melbourne-Madras. 368 p.
- Angle, J. S., R. L. Chaney, A. J. M. Baker, Y. Li, R. Reeves, V. Volk, R. Roseberg, E. Brewer, S. Burke, and J. Nelkin. 2000. Developing commercial phytoextraction technologies: practical considerations. *South African Journal of Science* 97: 619-623
- Arsiati, A. 2002. Sifat-sifat Asam Humat Hasil Ekstraksi dari Berbagai Jenis Bahan dan Pengestak. [skripsi] Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. IPB.
- Baker, A. J. M. and R. R. Brooks. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metal elements- a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1:81-126.
- Berti, W. R. and S. D. Cunningham. 2000. Phytostabilization of metals. In: *Phytoremediation of Toxic Metals-Using Plants to Clean Up the Environment*. I. Raskin and B. D. (eds), p 71-88. New York: John Wiley and Sons.
- Brady, N. C and R. R. Weil. 1990. *The Nature and Properties of Soils*. 13th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Chandra Sekhar K., C. T. Kamala, N. S. Chary, V. Balaram, and G. Garcia. 2005. Potential of *Hemidesmus indicus* for phytoextraction of lead from industrially contaminated soils. *Chemosphere* 58: 507-514.
- Chaney, R. L. 1995. Potential use of metal hyperaccumulators. *Mining Environ Manag* 3:9-11.
- Connell, D. W. and G. J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Ensley, B. D. 2000. Rationale for use of phytoremediation. In: I. Raskin and B. D. Ensley (Eds.), *Phytoremediation of Toxic Metals. Using Plants to Clean up the Environment*, J. Wiley and Sons, New York, USA: 3-11
- Evans, L. J. 1989. Chemistry of metal retention by soils. *Environmental Science and Technology* 23(9):1046-1056.
- Fauziah, A. B. 2009. Pengaruh Asam Humat dan Kompos Aktif untuk Memperbaiki Sifat Tailing dengan Indikator Pertumbuhan Tinggi Semai. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.

- Ferreira, C., C. Lopes Vieira, H. Azevedo, and G. Caldeira. 1998. The effects of high levels of Hg on senescence, proline accumulation and stress enzymes activities of maize plants. *Agrochimica* 42(5):209-218.
- Firdaus, L. N., 2002. Teknologi Fitoremediasi Lingkungan. Dalam http://www.terranel.or.id/goto_berita.php?id=14350
- Fitter, A. H., and R. K. M Hay. 2001. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Terjemahan oleh Sri Andani dan E.D. Purbayanti. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Glass, D. J. 2000. Economic potential of phytoremediation. In: I. Raskin and B. D. Ensley, (Eds), *Phytoremediation of Toxic Metals. Using Plants to Clean up the Environment*, J. Wiley and Sons, New York, USA: 15-31.
- Heryando, dan Palar. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit PT Rieneka Cipta. 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.
- Hidayati, N., T. Juhaeti, dan F. Syarif. 2004. Karakterisasi limbah dan vegetasi pada penambangan emas berskala besar di pongkor. Laporan teknik. Bogor, Pusat Penelitian Biologi LIPI 2004.hlm 103-110.
- Hinton, J. 2002. Earthworms as a Bioindicator of Mercury Pollution in an Artisanal Gold Mining Community, Cachoeira do Pink Brazil. Master Thesis. University of British Columbia, Canada, 140 pp.
- Huang, P. M. and M. Schintzer. 1997. Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikroba. Goenadi, V. H. dan Sudarsono. Penerjemah Gadjah Mada University Press. Terjemahan dari : Interaktion of Soil Mineral With Natural Organics and Microbes.
- Istomo. 1994. Bahan Bacaan Ekologi Hutan: Lingkungan Fisik Ekologi Hutan: Proses dan Struktur Tanah. Laboratorium Ekologi Hutan, Jurusan Manajemen Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Kumar, P. and R. Chandra. 2004. Detoxification of distillery effluent through *Bacillus thuringiensis* (MTCC 4714) enhanced phytoremediation potential of *Spridela polyrrhiza* (L.) Schliden. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 73:903-910.
- Leiwakabessy, F. M. 1998. Bahan kuliah Kesuburan Tanah. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian Institut Pertanian, Bogor. Bogor.
- Li, Y. M., R. Chaney, E. Brewer, R. Rosenberg, Angle, A. J. M. Baker, R. D. Reeves, and J. Nelkin. 2003. Development of technology for commercial phytoextraction of nickel: economic and technical considerations. *Plant and Soil* 249: 107-115.
- Liao, S. W. and W. L. Chang. 2004. Heavy metal phytoremediation by Water Hyacinth at constructed wetlands in Taiwan. *Journal of Aquatic Plant Management* 42: 60-68

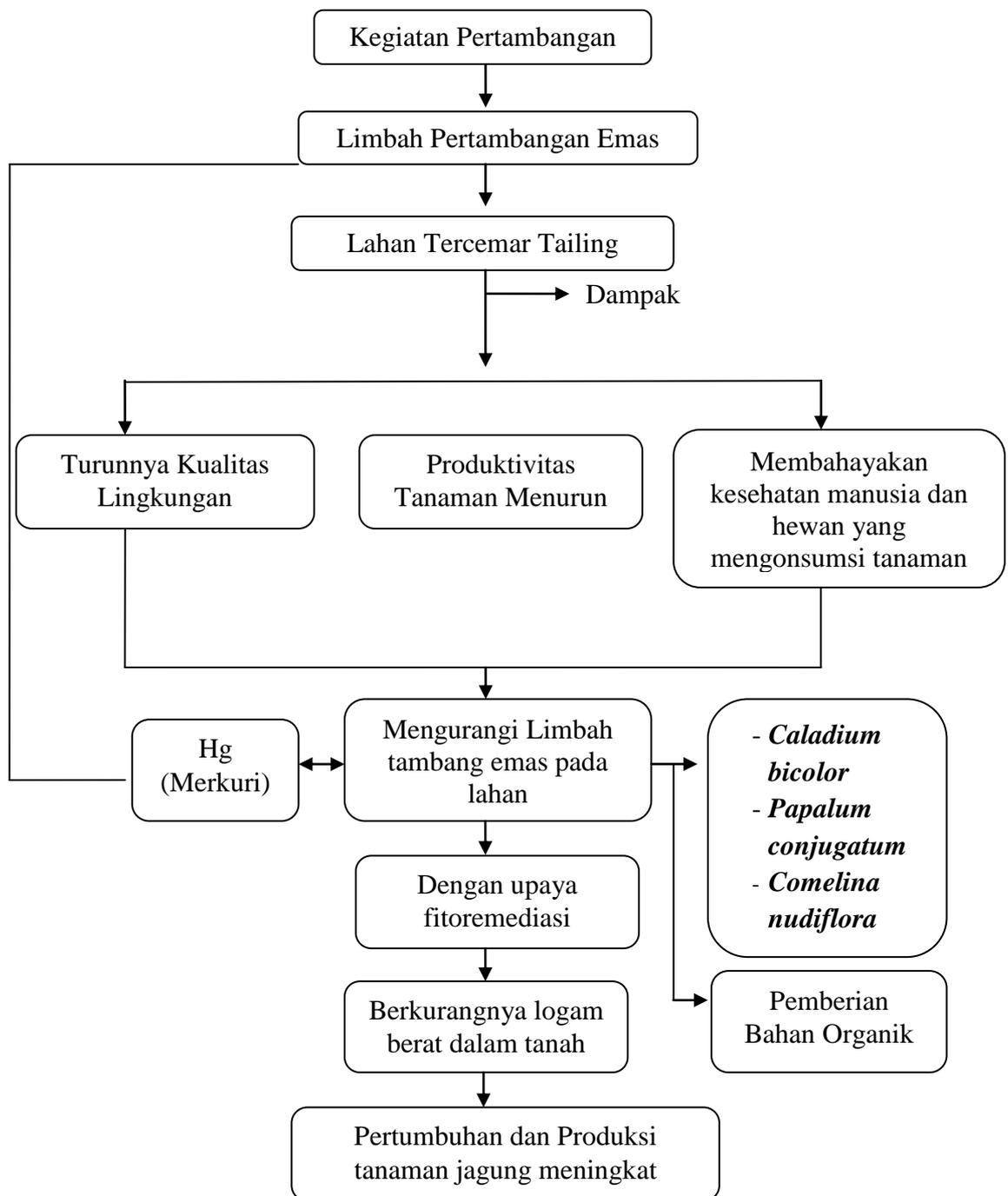
- Maiti, R. K., and L. Jourge. 2004. *Plant Based Bioremediation and Mechanisms Heavy Metal Tolerance of Plants*. P. 1-12. Proc. Indian natn Sci Acad. 1.Biology.Faculty.Univ. of.De Neuvo Leon. Mexico.
- Meagher, R. B., C. L. Rugh, M. K. Kandasamy, G. Gragson, and N. J. Wang. 2000. Engineering phytoremediation of mercury pollution in soil and water using bacterial genes. In: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*, N. Terry, and G. Bailuelos. Eds. Lewis Publishers, USA, pp 201-219
- Mitra, S. 1986. Mercury in the ecosystem its dispersion and pollution today.Netherlands: Technomic Publishing Co., Inc.
- Morel, F. M. M., A. M. L. Kraepiel, and M. Amyot. 1998. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual Reviews in Ecological Systems* 29:543-566.
- Muin, A. 2003.Penggunaan Mikoriza untuk Menunjang Pembangunan Hutan pada Lahan Kritis atau Marginal.<http://www.hayati-ipb.com/users/PPs702.htm>
- Mulder, H., A. M. Breure, and W. H. Rulkens. 2001. Prediction of complete bioremediation periods for PAH soil pollutants in different physical states by mechanistic Memasukkan: Agustus 2009.Diterima: September 2009 models. *Chemosphere* 43:1085–1094.
- Nursyamsi D., L. O. Syafuan, D. W. Purnomi.2005. Peranan Bahan Organik dan Dolomit dalamMemperbaiki Sifat-Sifat Tanah Podsolik dan Pertumbuhan Jagung (*Zea Mays L.*). Jurnal Penelitian Pertanian.
- Patra, M., dan V. Sharma. 2000. Mercury toxicity in plants. *Bot. Rev*, 66(3), 379-422.
- Pendias, A. K., and H Pendias. 2000. Trace Elements in soils and plants. 2nd edition. London: CRC press.
- Pilon-Smits, E. 2005.*Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology* 56:15-39.
- Pivet, B. E. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sits.EPA (United States Environmental Protection Agency), Office of Research and Development.
- Prasad, M. N. V. 2001. Metals in the environment analysis by biodiversity. Newyork: Marcel Dekker, Inc.
- Priyanto, B., dan J. Prayitno. 2002. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat. <http://www.ltl.bppt.com/sublab/lflora1.htm>
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan H. M. D. Rosidi. 2008. Peta Geologi Lembar Gunradi R., Sukmana, Ta'în, Z. dan Nixon, 2000. *Laporan Penyelidikan Pemantauan Unsur Hg (Merkuri) Akibat Penambangan Emas Tanpa Ijin (PETI) di Daerah Pongkor, Jawa Barat dengan Pemetaan Geokimia.*

- Koordinator Urusan Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Barat.
- Rambe, T. D., P. Lasiman, Sudharto, and J. P. Caliman. 2010. Pengelolaan Gulma Pada Perkebunan Kelapa Sawit di PT. Smart Tbk. Jakarta.
- Reeves, R. D. 1992. *The Hyperaccumulation of Nickel by Serpentine Plants*. Di dalam: Baker A.J.M, Proctor J, Reeves R.D (ed). *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils*. Hampshire: Intercept Ltd. Hlm 253-277.
- Rizqiani, N. F., E. Ambarwati, W. N. Yuwono. 2007. Pengaruh Dosis dan Frekuensi Pemberian Pupuk cair Terhadap Pertumbuhan dan Hasil.
- Rossiana, N., dan S. Titin. 2003. Fitoremediasi Lumpur Minyak Bumi Dengan Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) Bermikoriza Skala Rumah Kaca. Dalam Seminar dan Pameran Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo- Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan. Bandung.
- Schnoor, J. L, and Jerald. 1997. *Phytoremediation*. Ground Water Remediation Technologies Analysis Center.
- Schnoor, J. L., L. A. Light, S. C. Mccutcheon, N. L. Wolfe, and L. H. Carreira. 1995. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. *Environmental Science and Technology* 29: 3 18-323.
- Schuster, E. 1991. The behaviour of mercury in the soil with special emphasis on the complexation and adsorption processes- a review of the literature. *Water, Air, and Soil Pollution* 56:667-680.
- Selinawati dan Sobandi, 2004. *Distribusi Pencemaran Air Raksa Pada Tambang Rakyat Cineam*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung.
- Setyaningsih, L. 2007. Pemanfaatan Cendawam Mikoriza Arbuskula dan Kompos Aktif untuk Meningkatkan Pertumbuhan semai mindi (*Melia azedarach* LINN) pada Media Tailing Tambang Emas Pongkor. [tesis] Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Sitompul, S. M. dan B. Guritno. 1995. Analisis Pertumbuhan Tanaman. UGM Press, Yogyakarta
- 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 solubilizing bacteria, and mycorrhiza. *Agrikultura* 15: 5-9.

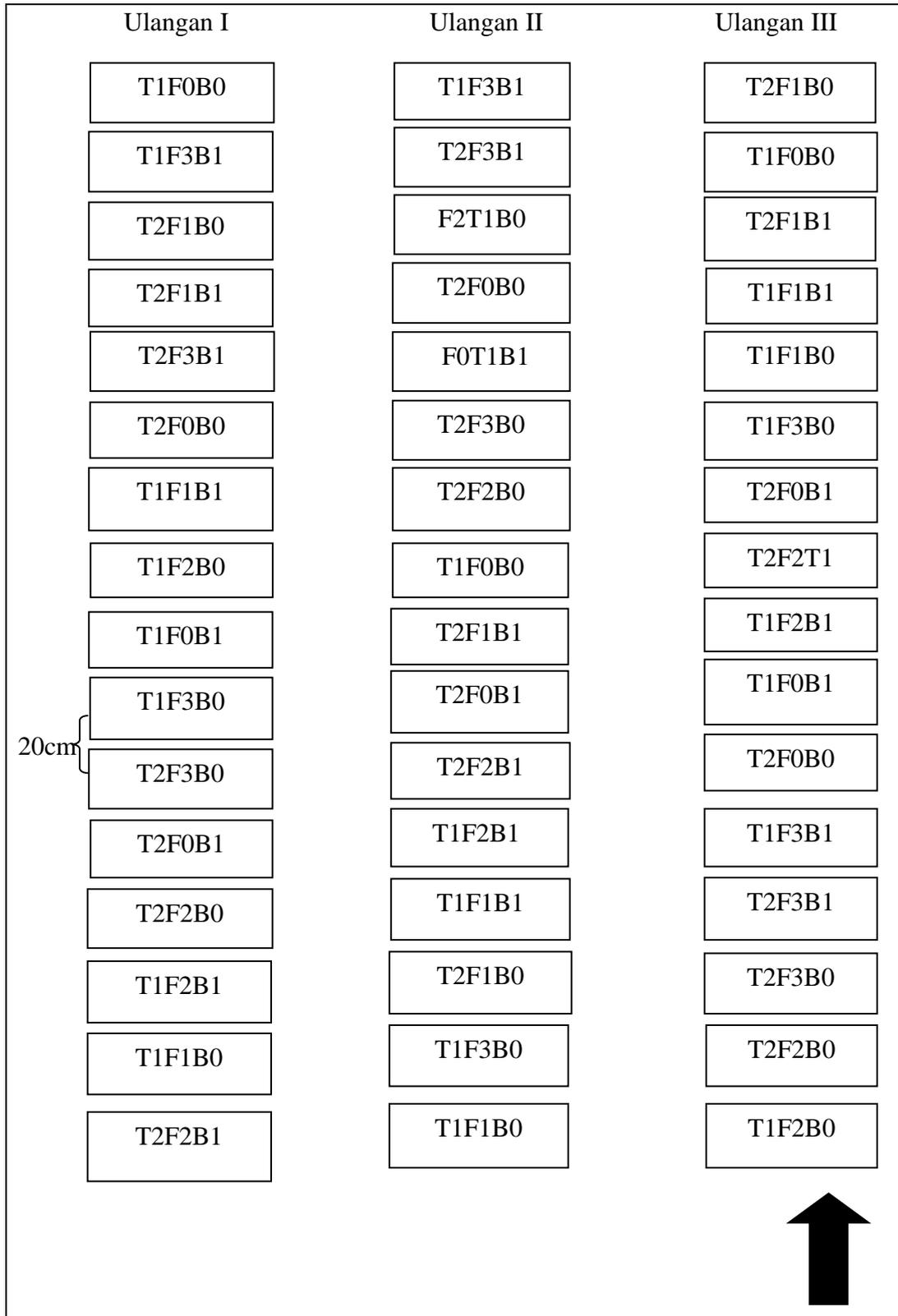
- Thangavel, P., and C. V. Subhram. 2004. Phytoextraction – Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. Part B 70: 109–130.
- Verloo, M. 1993. Chemical Aspect of Soil Pollution. ITC-Gen Publications series No. 4:17-46
- Walhi.2006. Dampak Lingkungan Hidup Operasi Pertambangan Tembaga dan emas Feeport-Rio Tinto di Papua.25 Tahun WALHI, Wahana Lingkungan Hidup Indonesia. Jakarta.
- Wallschlager, D., V. M. M. Desai, and R. Wilken. 1996. The role of humic substances in the aqueous mobilization of mercury from contaminated floodplain soils. *Water, Air, and Soil Pollution* 90:507-520.
- Wallschlager, D., V. M. M. Desai, M. Spengler, and R. Wilken.1998 a. Mercury speciation in floodplain soils and sediments along a contaminated river transect. *Journal of Environmental Quality* 27:1034-1044.
- Wolfe, A. K., and D. J. Bjornstad.2002. Why would anyone object? An exploration of social aspects of phytoremediation acceptability.*Critical Reviews in Plant Science* 21: 429-438.
- Yuwono, N. W. 2009. Membangun Kesuburan Tanah Di Lahan Marginal. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*,Vol.9, No.2,p: 137-141.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur Pikir Penelitian



Lampiran 2. Plot Denah Percobaan



Lampiran 3. Hasil Analisis Dasar

Lampiran 3a. Analisis Dasar Limbah Tailing Tambang Emas

Parameter	Satuan	Nilai	Kategori
N total	%	0.223	Sangat rendah
P tersedia	mg/kg	4.15	Sangat rendah
C-organik	%	0	Sangat rendah
K total	mg/kg	0.62	Sangat rendah
pH H ₂ O	-	7.02	Tinggi

Lampiran 3b. Analisis Dasar Tanah Tidak Terkontaminasi

Parameter	Satuan	Nilai	Kategori
N total	%	0.67	Rendah
P tersedia	mg/kg	22.84	Sedang
C-organik	%	0.65	Sangat rendah
K total	mg/kg	5.14	Rendah
pH H ₂ O	-	6.27	Netral

Lampiran 4. Hasil Analisis Perlakuan (tanah dan *tailing*)

Perlakuan	Satuan	Nilai Hg
T1B0	mg /kg	38.01
T1B1	mg /kg	37.03
T2B0	mg /kg	75.01
T2B1	mg /kg	72.02

Lampiran 5. Perhitungan Pemberian Bahan Organik

a. Perhitungan Hektar Lapisan Olah (HLO)

Kedalaman tanah yang diambil : 20 cm

BI : 1,2 g/cm³

$$1 \text{ Ha} = 10^4 \text{ m}^2 = 10^8 \text{ cm}^2$$

Berat 1 HLO = luasan hektar x kedalaman olah x BI tanah

$$= 10^8 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm} \times 1,2 \text{ g/cm}^3$$

$$= 24 \times 10^8 \text{ g}$$

$$= 24 \times 10^5 \text{ kg}$$

b. Perhitungan Dosis Bahan Organik (Kompos) Per Polibag

Dosis Bahan Organik (kompos) / polibag = tanah per polibag / 1 HLO x dosis

- **Dosis 10 ton/ ha = 10 . 10³ kg.ha⁻¹**

$$= 5 \text{ kg} / 24 \times 10^5 \text{ kg.ha}^{-1} \times 10 . 10^3 \text{ kg.ha}^{-1}$$

$$= 0,021 \text{ kg}$$

$$= 21 \text{ g/polibag}$$

Lampiran 6. Perhitungan Dosis Pupuk Anorganik

a. Perhitungan Hektar Lapisan Olah (HLO)

Kedalaman tanah yang diambil : 20 cm

BI tanah : 1,2 g/cm³

$$1 \text{ Ha} = 10^4 \text{ m}^2 = 10^8 \text{ cm}^2$$

Berat 1 HLO = luasan hektar x kedalaman olah x BI tanah

$$= 10^8 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm} \times 1,2 \text{ g/cm}^3$$

$$= 24 \times 10^8 \text{ g}$$

$$= 24 \times 10^5 \text{ kg}$$

b. Dosis Urea

$$\text{Dosis Urea/ha} = (100/46) \times 100 \text{ kg KCL/ha}$$

$$= 217,3913 \text{ kg KCL/ha}$$

$$\text{Dosis Urea/polibag} = (5 \text{ kg}/24 \times 10^5 \text{ kg}) \times 217,3913 \text{ kg KCL/ha}$$

$$= 0,453 \times 10^{-3} \text{ kg KCL /ha}$$

$$= 0.453 \text{ g KCL /polibag}$$

c. Dosis KCl

$$\text{Dosis KCl/ha} = (100/50) \times (94/78) \times 50 \text{ kg KCL/ha}$$

$$= 120.5128 \text{ kg KCL/ha}$$

$$\text{Dosis KCl/polibag} = (5 \text{ kg}/24 \times 10^5 \text{ kg}) \times 120.5128 \text{ kg KCL/ha}$$

$$= 0.251 \times 10^{-3} \text{ kg KCL /ha}$$

$$= 0.251 \text{ g KCL /polibag}$$

d. Dosis SP₃₆

$$\text{Dosis SP}_{36}/\text{ha} = (100/36) \times (144/64) \times 50 \text{ kg SP}_{36} /\text{ha}$$

$$= 312,5 \text{ kg SP}_{36}/\text{ha}$$

$$\text{Dosis SP}_{36}/\text{polibag} = (5 \text{ kg}/24 \times 10^5 \text{ kg}) \times 312,5 \text{ kg SP}_{36}/\text{ha}$$

$$= 0.651 \times 10^{-3} \text{ kg SP}_{36}/\text{ha}$$

$$= 0.651 \text{ g SP}_{36}/\text{polibag}$$

Lampiran 7. Kebutuhan air per 5kg Tanah

Kode	BB+K (g)	BO+K (g)	K (k)	BB (g)	BO (g)
KAKU	15,02	14,04	5,54	9,5	8,5
KAKL	285,04	220,61	20,21	264,83	200,40

$$\begin{aligned}
 \text{KA KU (kadar air kering udara)} &= \frac{\text{BTKU} - \text{BKO}}{\text{BKO}} \times 100\% \\
 &= \frac{9,5 - 8,5}{8,5} \times 100\% \\
 &= 11,76\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KA KL (kadar air kapasitas lapang)} &= \frac{\text{BTKL} - \text{BKO}}{\text{BKO}} \times 100\% \\
 &= \frac{264,83 - 200,40}{200,40} \times 100\% \\
 &= 32,15\%
 \end{aligned}$$

Tanah setara 5 kg tanah :

$$\begin{aligned}
 \text{KA KU} &= \frac{\text{BKU} - \text{BKO}}{\text{BKO}} \times 100\% \\
 11,76\% &= \frac{\text{BKU} - 5\text{kg}}{5\text{kg}} \times 100\% \\
 58,8 \text{ kg} &= 100 \text{ BKU} - 500 \\
 558,8 \text{ kg} &= 100 \text{ BKU} \\
 \text{BKU} &= 5,588 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KA KL} &= \frac{\text{BKU} - \text{BKO}}{\text{BKO}} \times 100\% \\
 32,15\% &= \frac{\text{BKU} - 5\text{kg}}{5\text{kg}} \times 100\% \\
 160,73 \text{ kg} &= 100 \text{ BKL} - 500 \\
 660,73 \text{ kg} &= 100 \text{ BKL} \\
 \text{BKL} &= 6,607 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah air yang harus ditambahkan = BKL-BKU

$$\begin{aligned}
 &= 6,607 \text{ kg} - 5,588 \text{ kg} \\
 &= 1,019 \text{ ml/polibag} \\
 &= 1,02 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Lampiran 8. Analisis Kandungan Hg Pascafitoremediasi

Perlakuan	Kandungan Hg awal (mg/kg)	Kandungan Hg pascafitoremediasi (mg/kg)	Serapan Hg tanaman Fitoekstraktor (mg/tanaman)	Penurunan Kandungan Hg	Persentase kemampuan serapan Hg tanaman
T1F1B0	38.01	36.2 c	0.014 de	1.81	0.047
T1F2B0		35.11 bc	0.022 f	2.9	0.058
T1F3B0		33.91 bc	0.026 i	4.1	0.068
T1F1B1	37.03	32.88 bc	0.026 i	4.15	0.007
T1F2B1		29.07 b	0.031 h	7.96	0.007
T1F3B1		26.27 a	0.043 i	10.76	0.1
T2F1B0	75.01	70.5 efg	0.004 ab	4.51	0.005
F2T2B0		68.93 def	0.005 ab	6.08	0.007
F3T2B0		67.7 def	0.009 bc	7.31	0.012
T2F1B1	72.02	65.9 def	0.008 bc	6.12	0.011
T2F2B1		65.05 de	0.011 cd	6.97	0.015
T2F2B1		63.35 d	0.015 ef	8.67	0.021

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji Duncan taraf 5%. T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(Dengan kompos);F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*)

Lampiran 9. Analisis Kandungan Hg Setelah Tanaman Jagung

Perlakuan	Kandungan Hg Pascafitoremediasi (mg/kg)	Kandungan Hg Setelah Tanaman Jagung (mg/kg)	Serapan Hg tanaman Jagung (mg/kg)	Penurunan Kandungan Hg	Persentase kemampuan serapan Hg tanaman
T1F0B0	38.01 c	37.18 abcde	1.06 cde	0.83	21.2
T1F1B0	36.2 c	34.15 abcde	1.46 fg	2.05	29.2
T1F2B0	35.11 bc	31.4 abcde	1.67 gh	3.75	33.4
T1F3B0	33.91 bc	28.79 abcd	1.88 hi	5.12	37.6
T1F0B1	37.03 c	35.43 abcde	1.33 ef	1.6	26.6
T1F1B1	32.88 bc	25.13 abc	1.67 gh	7.75	33.4
T1F2B1	29.07 b	20.27 ab	1.99 i	8.8	39.8
T1F3B1	26.27 a	17.55 a	2.35 j	8.72	47
T2F0B0	75.01 g	55.61 def	0.59 a	19.4	11.8
T2F1B0	70.5 efg	49.33 cdef	0.77 ab	21.17	15.4
T2F2B0	68.93 defg	47.56 bcdef	0.89 bc	21.37	17.8
T2F3B0	67.07 def	59.13 ef	1.01 bcd	8.57	20.2
T2F0B1	72.02 fg	69.15 f	0.88 bc	2.87	17.6
T2F1B1	65.9 def	58.85 ef	1.11 cde	7.05	22.2
T2F2B1	65.05 de	58.18 ef	1.18 def	6.87	23.6
T2F3B1	63.35 d	49.15 cdef	1.29 ef	14.2	25.8

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji Duncan taraf 5%. T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1 (Dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2 (*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Lampiran 10. Analisis Kandungan Hg pada Tanaman Jagung

Perlakuan		Kandungan Hg Tanaman Jagung (mg/kg)			
		Akar	Batang	Daun	
T1	B0	F0	42.43 f	4.21 g	1.23 ef
		F1	49.12 g	5.43 h	1.24 f
		F2	54.01 h	5.58 i	1.84 i
	B1	F3	56.14 h	6.21 j	2.23 k
		F0	43.12 f	6.25 j	1.29 g
		F1	49.36 g	7.45 k	1.76 h
		F2	56.17 h	8.15 l	2.31 l
		F3	60.17 i	9.21 m	3.58 m
		F0	29.67 a	0.84 a	0.59 a
T2	B0	F1	31.03 a	1.38 b	1.02 c
		F2	33.87 b	1.95 c	1.07 d
		F3	36.87 c	2.13 d	1.21 e
	B1	F0	38.45 cd	2.15 d	0.86 b
		F1	38.97 cd	3.88 e	1.22 e
		F2	40.12 de	3.91 ef	1.23 ef
		F3	41.78 ef	4.03 f	2.04 j

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji Duncan taraf 5%. T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1(Dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2(*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Lampiran 11. Analisis Hasil Pertumbuhan Tanaman Jagung

Lampiran 11a. Tinggi Tanaman Jagung

Perlakuan		Tinggi Tanaman (cm)						
		2 MST	4 MST	6 MST	8 MST	10 MST		
T1	B0	F0	17.28 abc	39.45 ab	65.1 bc	69.6 abc	80.4 a	
		F1	24.18 de	52.19 bc	79.77 de	111.13 d	115.87 cde	
		F2	25.26 de	59.36 cd	81.9 de	111.23 d	122.97 def	
	B1	F3	28.16 ef	62.18 cd	83.9 e	113.03 d	131.65 ef	
		F0	21.43 cd	44.43 ab	66.03 bc	70.33 abc	91.27 ab	
		F1	29.18 ef	67.26 d	87.37 e	125.77 de	137.67 f	
	T2	B0	F2	32.18 fg	69.26 d	89.07 e	128 de	139.57 f
			F3	37.18 g	71.17 de	90.63 e	132.73 e	141.67 f
			F0	11.34 a	35.57 a	51.36 a	61.33 a	71.77 bcd
B1		F1	14.26 ab	35.83 a	57.17 abc	66.18 ab	79.67 a	
		F2	16.37 abc	36.19 a	59.36 abc	72.17 abc	89.14 a	
		F3	17.21 abc	36.97 a	64.54 abc	84.12 c	99.18 abc	
B1		F0	16.92 abc	37.17 a	53.19 ab	63.43 ab	79.83 a	
		F1	17.03 abc	42.1 ab	60.1 abc	74.29 abc	89.29 a	
		F2	17.21 abc	38.53 ab	65.28 bc	80.02 bc	99.45 abc	
		F3	18.2 bc	39.00 ab	70.38 cd	85.06 c	110.45 bcd	

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji Duncan taraf 5%. T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1 (Dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2 (*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Lampiran 11b. Jumlah Daun Tanaman Jagung

Perlakuan		Jumlah Daun (helai)						
		2 MST	4 MST	6 MST	8 MST	10 MST		
T1	B0	F0	4.00 bcd	4.00 ab	5.00 abc	6.00 ab	7.00 abc	
		F1	4.00 bcd	4.00 ab	5.33 abc	6.33 b	8.00 bcd	
		F2	4.33 cde	4.33 ab	5.00 abc	7.00 bc	9.00 def	
	B1	F3	4.67 def	5.00 bcd	5.67 bc	7.00 bc	10.00 ef	
		F0	5.00 ef	6.00 cde	6.33 cd	7.00 bc	9.67 efg	
		F1	5.00 ef	6.33 de	7.00 de	8.00 cd	10.33 fg	
	T2	B0	F2	5.33 fg	6.67 e	8.00 ef	9.33 de	10.67 gh
			F3	6.00 g	7.00 e	8.67 f	10.33 e	12.00 h
			F0	2.67 a	3.33 a	7.00 de	5.00 a	6.00 a
B1		F1	3.33 ab	4.33 ab	5.00 abc	5.67 ab	6.67 ab	
		F2	3.33 ab	4.67 abc	5.00 abc	6.00 ab	7.33 abc	
		F3	3.33 ab	5.00 bcd	5.67 bc	6.67 bc	8.00 bcd	
B1	F0	3.67 bc	4.33 ab	4.67 ab	5.67 ab	6.67 ab		
	F1	4.00 bcd	4.67 e	5.00 abc	6.00 ab	7.33 abc		
	F2	4.00 bcd	5.00 bcd	5.33 abc	6.67 bc	8.33 cde		
		F3	4.00 bcd	5.33 bcd	6.00 bcd	7.33 bc	9.00 def	

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji Duncan taraf 5%. T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1 (Dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); F1 (*C. bicolor*); F2 (*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Lampiran 11c. Berat Kering Tanaman

Perlakuan		Berat Kering Tanaman Jagung (gr/tan)			
		F0	F1	F2	F3
T1	B0	22.15 abc	26.24 bcde	26.53 ef	27.1 cde
	B1	26.27 bcde	28.53 def	29.17 ef	30.61 f
	B0	19.06 a	24.34 bcd	24.76 bcd	25.98 cde
T2	B1	21.29 ab	25.01 bcde	25.19 de	25.06 bcde

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji Duncan taraf 5%. T1 (Tanah tercemar limbah tailing 10%); T2 (Tanah tercemar limbah tailing 20%); B0 (Tanpa menggunakan kompos); B1 (Dengan kompos); F0 (tanpa menggunakan tanaman fitoekstraktor); (F1 (*C. bicolor*); F2 (*P. conjugatum*); F3 (*C. nudiflora*).

Lampiran 12. Analisis Sidik Ragam

Lampiran 12a. Hasil analisa sidik ragam pengaruh ketiga jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap Kandungan Hg pascafitoremediasi

SK	JK	db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	16670.475	15	1111.365	94.145	0.000**
Ulangan	171.089	2	85.545	0.228	0.797
Tanaman	577.891	3	192.630	16.318	0.000**
Konsentrasi	15518.178	1	15518.178	1314.561	0.000**
B0	322.922	1	322.922	27.355	0.000**
Tanaman*konsentrasi	52.403	3	17.468	1.480	0.239
Tanaman*B0	100.579	3	33.526	2.840	0.053
Konsentrasi*B0	18.278	1	18.278	1.548	0.222
Tanaman*konsentrasi*B0	80.224	3	26.741	2.265	0.100

Lampiran 12b. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap BKO tanaman fitoekstraktor

SK	JK	db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	231.475	15	15.432	4.700	0.000**
Ulangan	10.016	2	5.008	0.690	0.507
Tanaman	140.463	3	46.821	14.259	0.000**
Konsentrasi	55.685	1	55.685	16.958	0.000**
B0	9.828	1	9.828	2.993	0.093
Tanaman*konsentrasi	19.551	3	6.517	1.985	0.136
Tanaman*B0	3.284	3	1.095	0.333	0.801
Konsentrasi*B0	1.512	1	1.512	0.461	0.502
Tanaman*konsentrasi*B0	1.151	3	0.384	0.117	0.950

Lampiran 12c. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap serapan tanaman fitoekstraktor

SK	JK	db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	0.008	15	0.001	58.418	0.000**
Ulangan	0.000	2	0.000	0.037	0.963
Tanaman	0.004	3	0.001	141.405	0.000**
Konsentrasi	0.002	1	0.002	248.544	0.000**
B0	0.001	1	0.001	71.806	0.000**
Tanaman*konsentrasi	0.001	3	0.000	30.168	0.203
Tanaman*B0	0.000	3	0.000	10.479	0.000**
Konsentrasi*B0	0.000	1	0.000	6.563	0.015
Tanaman*konsentrasi*B0	0.000	3	0.000	1.068	0.376

Lampiran 12d. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap Kandungan Hg tanah Setelah Tanaman jagung

SK	JK	Db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	10994.869	15	732.991	3.377	0.002*
Ulangan	1259.780	2	629.890	1.699	0.194
Tanaman	861.051	3	287.017	1.323	0.284
Konsentrasi	8833.962	1	8833.962	40.705	0.000**
B0	16.728	1	16.728	0.077	0.783
Tanaman*konsentrasi	69.010	3	23.003	0.106	0.956
Tanaman*B0	425.209	3	141.736	0.653	0.587
Konsentrasi*B0	605.659	1	605.659	2.791	0.105
Tanaman*konsentrasi*B0	183.250	3	61.083	0.281	0.838

Lampiran 12e. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap BKO Tanaman jagung

SK	JK	db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	511.680	15	34.112	4.991	0.000**
Ulangan	9.993	2	4.997	0.312	0.773
Tanaman	244.523	3	81.508	11.925	0.000**
Konsentrasi	177.062	1	177.062	25.905	0.000**
B0	80.679	1	80.679	11.804	0.002*
Tanaman*konsentrasi	4.072	3	1.357	0.199	0.897
Tanaman*B0	1.392	3	0.464	0.068	0.977
Konsentrasi*B0	2.995	1	2.995	0.438	0.513
Tanaman*konsentrasi*B0	0.958	3	0.319	0.047	0.986

Lampiran 12f. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap Serapan Hg Tanaman jagung

SK	JK	db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	10.578	15	0.705	29.404	0.000**
Ulangan	0.067	2	0.034	0.134	0.875
Tanaman	2.866	3	0.955	39.832	0.000**
Konsentrasi	6.069	1	6.069	253.062	0.000**
B0	1.154	1	1.154	48.136	0.000**
Tanaman*konsentrasi	0.432	3	0.144	6.005	0.002*
Tanaman*B0	0.019	3	0.006	0.266	0.849
Konsentrasi*B0	0.001	1	0.001	0.026	0.872
Tanaman*konsentrasi*B0	0.036	3	0.012	0.507	0.680

Lampiran 12g. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap Serapan N Tanaman jagung

SK	JK	Db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	46.331	15	3.089	16.499	0.000**
Ulangan	0.129	2	0.064	0.055	0.946
Tanaman	16.583	3	5.528	29.525	0.000**
Konsentrasi	18.651	1	18.651	99.627	0.000**
B0	6.663	1	6.663	35.588	0.000**
Tanaman*konsentrasi	1.616	3	0.539	2.877	0.051
Tanaman*B0	2.033	3	0.678	3.620	0.023
Konsentrasi*B0	0.269	1	0.269	1.435	0.240
Tanaman*konsentrasi*B0	0.517	3	0.172	0.921	0.442

Lampiran 12h. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap Bagian dari Tanaman jagung (Akar)

SK	JK	Db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	3954.544	15	263.636	164.311	0.000**
Ulangan	5.707	2	2.854	0.032	0.968
Tanaman	734.366	3	244.789	152.565	0.000**
Konsentrasi	2689.959	1	2689.959	1676.518	0.000**
B0	229.731	1	229.731	143.180	0.000**
Tanaman*konsentrasi	192.936	3	64.312	40.083	0.000**
Tanaman*B0	0.745	3	0.248	0.155	0.926
Konsentrasi*B0	80.938	1	80.938	50.445	0.000**
Tanaman*konsentrasi*B0	25.869	3	8.623	5.374	0.004*

Lampiran 12i. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap Bagian dari Tanaman jagung (Batang)

SK	JK	db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	282.043	15	18.803	2728.346	0.000**
Ulangan	0.006	2	0.003	0.001	0.999
Tanaman	26.894	3	8.965	1300.788	0.000**
Konsentrasi	194.810	1	194.810	28267.503	0.000**
B0	56.030	1	56.030	8130.168	0.000**
Tanaman*konsentrasi	1.507	3	0.502	72.895	0.000**
Tanaman*B0	1.025	3	0.342	49.577	0.000**
Konsentrasi*B0	0.730	1	0.730	105.944	0.000**
Tanaman*konsentrasi*B0	1.046	3	0.349	50.597	0.000**

Lampiran 12j. Hasil analisa sidik ragam pengaruh jenis tanaman, konsentrasi tailing, dan BO terhadap Bagian dari Tanaman jagung (Daun)

SK	JK	db	KT	F	Nilai Signifikansi
Perlakuan	24.024	15	1.602	8637.984	0.000**
Ulangan	0.001	2	0.000	0.001	0.999
Tanaman	10.598	3	3.553	19052.419	0.000**
Konsentrasi	7.285	1	7.285	39291.011	0.000**
B0	2.746	1	2.746	14807.910	0.000**
Tanaman*konsentrasi	1.463	3	0.488	2629.828	0.000**
Tanaman*B0	1.554	3	0.518	2793.019	0.000**
Konsentrasi*B0	0.159	1	0.159	855.910	0.000**
Tanaman*konsentrasi*B0	0.220	3	0.073	396.375	0.000**

Lampiran 13. Kolerasi Antar Parameter

Lampiran 13a.Korelasi : Perlakuan, Hg Pascafitoremediasi, Berat Kering Rumput (BKO), Serapan Rumput dengan Tinggi Tanaman

	Perlakuan	Hg Ft (tanah)	BKO	Serapan Ft.	Hg Jg. (tanah)	BKO Jg.	Serapan Jg.	Serapan N Jg.
Hg Ft. (tanah)	- 0.140 0.342							
BKO	0.556 0.000	- 0.492 0.000						
Serapan Ft	0.625 0.000	- 0.687 0.000	0.754 0.000					
Hg Jg. (tanah)	- 0.235 0.108	0.723 0.000	- 0.448 0.001	- 0.523 0.000				
BKO Jg.	0.553 0.000	- 0.742 0.000	0.738 0.000	0.895 0.000	- 0.604 0.000			
Serapan Jg.	0.352 0.014	- 0.881 0.000	0.582 0.000	0.829 0.000	- 0.598 0.000	0.859 0.000		
Serapan N Jg.	0.527 0.000	- 0.753 0.000	0.651 0.000	0.887 0.000	- 0.570 0.000	0.892 0.000	0.854 0.000	
Akar Jg.	0.391 0.006	- 0.898 0.000	0.629 0.000	0.849 0.000	- 0.603 0.000	0.859 0.000	0.943 0.000	0.845 0.000
Batang Jg.	0.262 0.072	- 0.922 0.000	0.589 0.000	0.793 0.000	- 0.621 0.000	0.855 0.000	0.931 0.000	0.856 0.000
Daun Jg.	0.627 0.000	- 0.730 0.000	0.640 0.000	0.882 0.000	- 0.551 0.000	0.820 0.000	0.851 0.000	0.895 0.000

Keterangan: Ft.: Pasca Fitoremediasi; Jg.: Jagung; tnm : tanaman; BKO : Berat Kering Oven
 Bagian kolom : Persen korelasi; P-Value

Lampiran 13b.Korelasi : Perlakuan, Hg Pascafitoremediasi, Berat Kering Rumput (BKO), Serapan Rumput dengan Tinggi Tanaman

	Perlakuan	Hg Ft (tanah)	BKO	Serapan Ft.	Hg Jg. (tanah)	BKO Jg.	Serapan Jg.	Serapan N Jg.
Hg Ft. (tanah)	- 0.140 0.342							
BKO	0.556 0.000	- 0.492 0.000						
Serapan Ft	0.625 0.000	- 0.687 0.000	0.754 0.000					
Hg Jg. (tanah)	- 0.235 0.108	0.723 0.000	- 0.448 0.001	- 0.523 0.000				
BKO Jg.	0.553 0.000	- 0.742 0.000	0.738 0.000	0.895 0.000	- 0.604 0.000			
Serapan Jg.	0.352 0.014	- 0.881 0.000	0.582 0.000	0.829 0.000	- 0.598 0.000	0.859 0.000		
Serapan N Jg.	0.527 0.000	- 0.753 0.000	0.651 0.000	0.887 0.000	- 0.570 0.000	0.892 0.000	0.854 0.000	
Jumlah Daun 2 MST	0.241 0.099	- 0.812 0.000	0.433 0.002	0.677 0.000	- 0.541 0.000	0.743 0.000	0.844 0.000	0.806 0.000
Jumlah Daun 4 MST	0.379 0.008	- 0.475 0.001	0.441 0.002	0.533 0.000	- 0.502 0.000	0.645 0.000	0.555 0.000	0.628 0.000
Jumlah Daun 6 MST	0.390 0.006	- 0.654 0.000	0.470 0.001	0.687 0.000	- 0.441 0.002	0.653 0.000	0.701 0.000	0.749 0.000
Jumlah Daun 8 MST	0.641 0.001	- 0.661 0.000	0.550 0.000	0.727 0.000	- 0.583 0.000	0.738 0.000	0.718 0.000	0.754 0.000
Jumlah Daun 10 MST	0.480 0.001	- 0.747 0.000	0.553 0.000	0.768 0.000	- 0.569 0.000	0.837 0.000	0.817 0.000	0.831 0.000

Keterangan: Ft.: Pasca Fitoremediasi; Jg.: Jagung; BKO : Berat Kering Oven
Bagian kolom : Persen korelasi; P-Value

Lanjutan Lampiran 13b.

	Akar	Batang	Daun	Jumlah daun 2MST	Jumlah daun 4 MST	Jumlah daun6 MST	Jumlah daun8 MST
Batang	0.922 0.000						
Daun	0.841 0.000	0.827 0.000					
Jumlah daun2 MST	0.798 0.000	0.901 0.000	0.785 0.000				
Jumlah daun4 MST	0.497 0.000	0.653 0.000	0.644 0.000	0.655 0.000			
Jumlah daun6 MST	0.666 0.000	0.784 0.000	0.779 0.000	0.759 0.000	0.739 0.000		
Jumlah daun8 MST	0.714 0.000	0.777 0.000	0.817 0.000	0.708 0.000	0.749 0.000	0.835 0.000	
Jumlah daun10 MST	0.797 0.000	0.859 0.000	0.834 0.000	0.801 0.000	0.734 0.000	0.798 0.000	0.812 0.000

Lampiran 14. Kondisi Tempat Penelitian



Lampiran 15. Hasil Penelitian

Lampiran 15a. Sebelum Remediasi



Lampiran 15b. Tahap Fitoremediasi



Lampiran 15 c. Tahap Pascafitoremediasi dan Pasca Panen Tanaman Jagung

(2 MST)



(4 MST)



(6 MST)



(8 MST)



(8 MST)



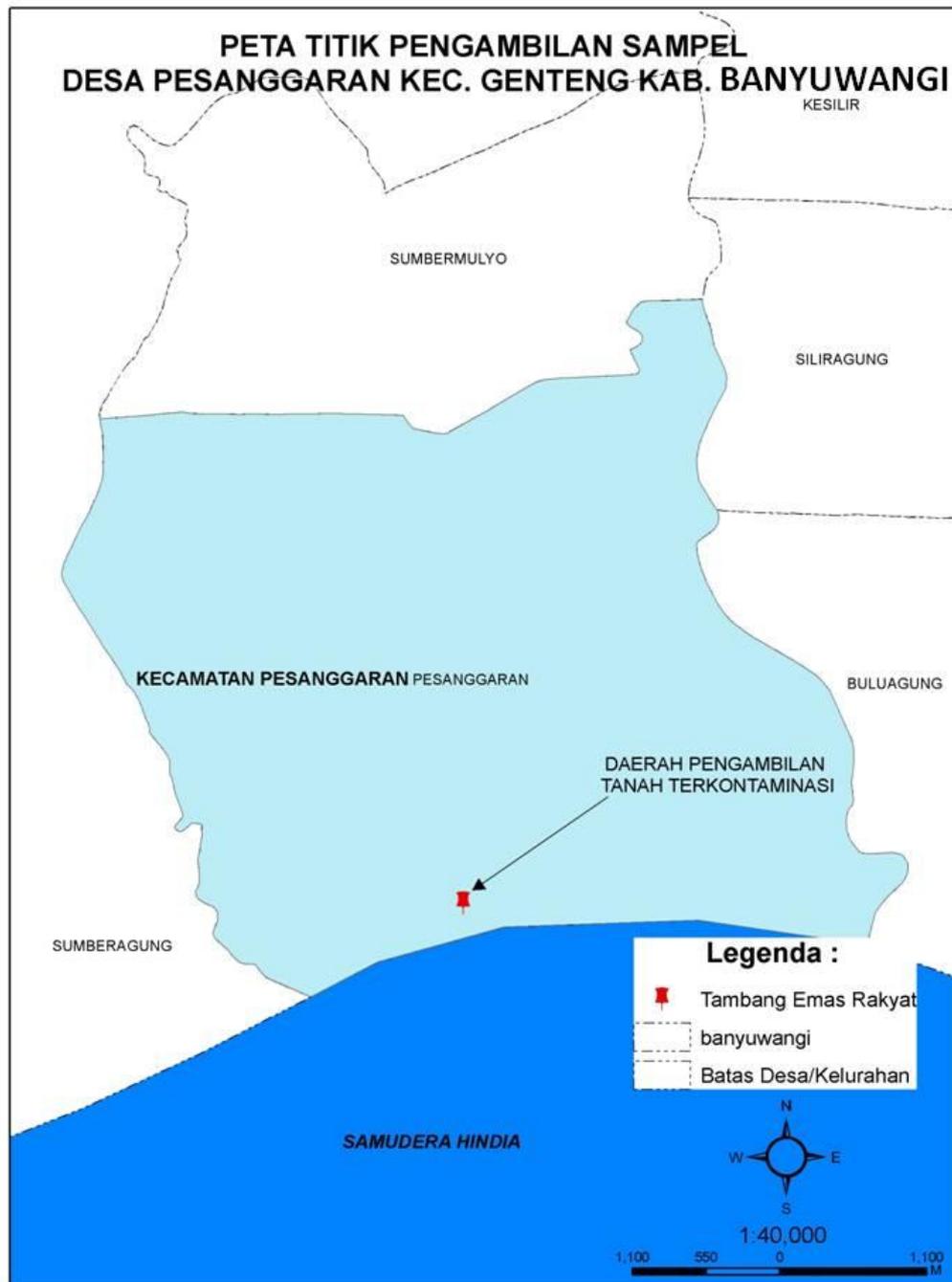
(10 MST)



(Hasil Panen Jagung)



Lampiran 16. Peta Lokasi Pengambilan Sampel
Lampiran 16a. Tanah tercemar limbah tailing tambang emas



Lampiran 16b. Tanah tidak terkontaminasi

