

**DAMPAK PASCAFITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR LIMBAH
TAMBANG EMAS RAKYAT MENGANDUNG MERKURI (Hg) DENGAN
JUKU PAIT (*Digitaria radicata*) TERHADAP PERTUMBUHAN
TANAMAN JAGUNG**

SKRIPSI

Oleh :

NIKAWIDA PUSPA HIDAYAH

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2014**

**DAMPAK PASCAFITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR LIMBAH
TAMBANG EMAS RAKYAT MENGANDUNG MERKURI (Hg) DENGAN
JUKU PAIT (*Digitaria radicata*) TERHADAP PERTUMBUHAN
TANAMAN JAGUNG**

Oleh :

**NIKAWIDA PUSPA HIDAYAH
105040201111110**

**MINAT MANAJEMEN SUMBER DAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2014**

Judul Skripsi : **Dampak Pascafitoremediasi Tanah Tercemar Limbah Tambang Emas Rakyat Mengandung Merkuri (Hg) Dengan Juku Pait (*Digitaria radicata*) Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung**

Nama Mahasiswa : **NIKAWIDA PUSPA HIDAYAH**

NIM : 105040201111110

Jurusan : Tanah

Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pertama

Kedua

Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19520503 197803 1 004

Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU.
NIP. 19580214 198503 1 003

Ketua Jurusan Tanah

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

Tanggal Persetujuan :

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU.
NIP. 19580214 198503 1 003

Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc.,Ph.D
NIP. 19520503 197803 1 004

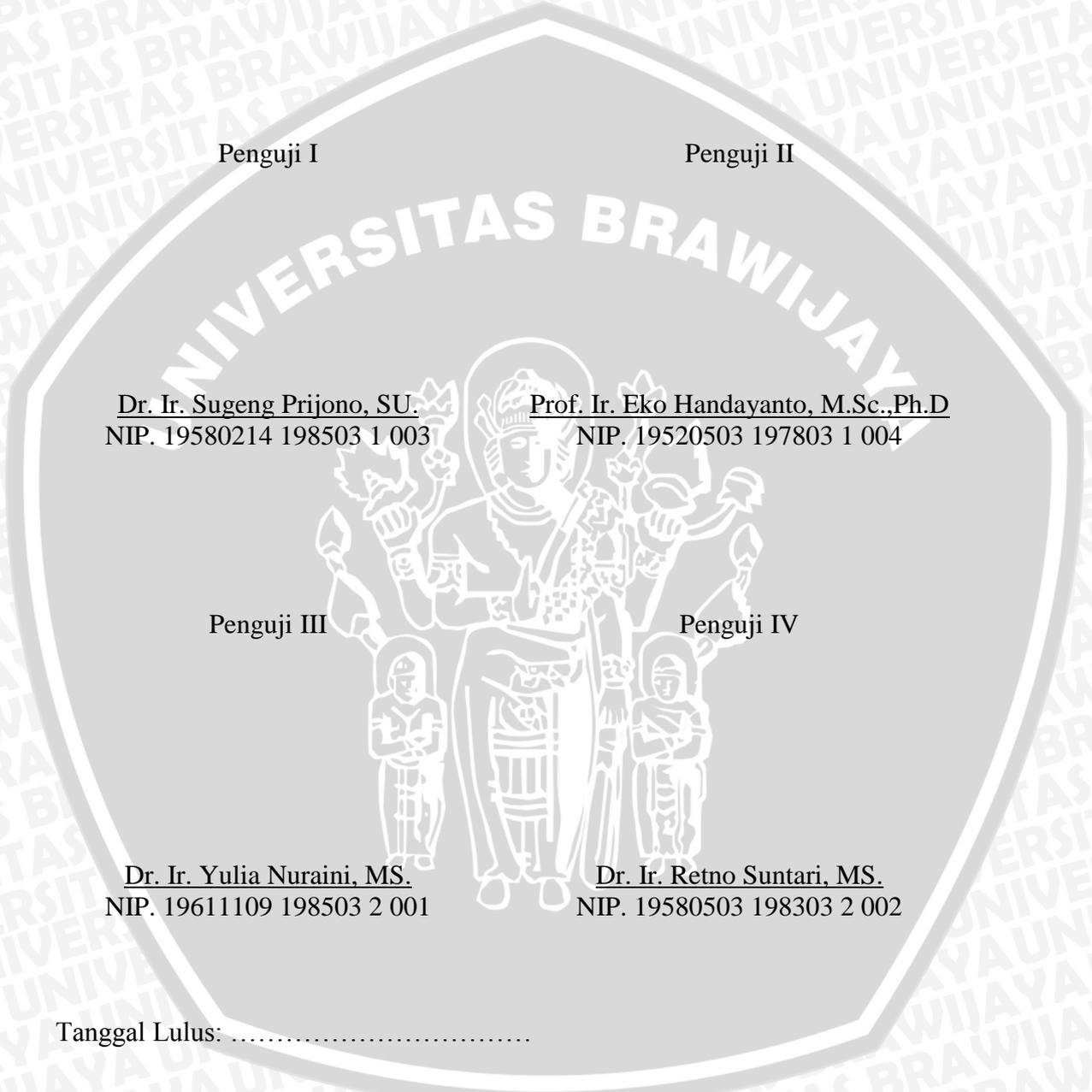
Penguji III

Penguji IV

Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS.
NIP. 19611109 198503 2 001

Dr. Ir. Retno Suntari, MS.
NIP. 19580503 198303 2 002

Tanggal Lulus:



SURAT PERNYATAAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : NIKAWIDA PUSPA HIDAYAH
NIM : 105040201111110
Jurusan / Program Studi : Jurusan Tanah / Agroekoteknologi

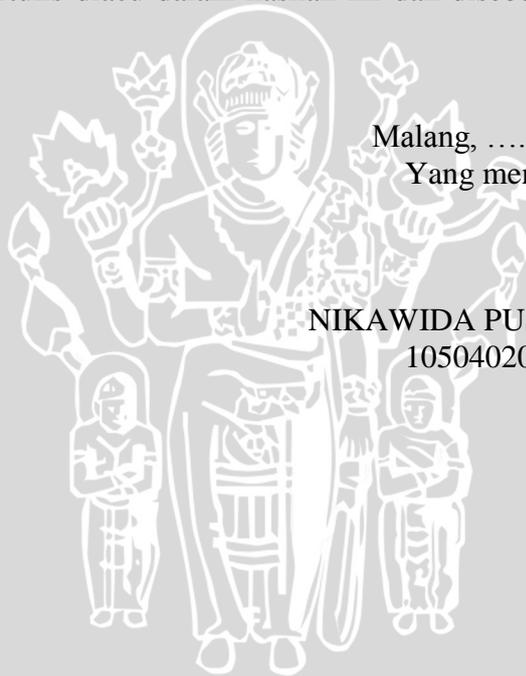
Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul
**Dampak Pascafitoremediasi Tanah Tercemar Limbah Tambang Emas
Rakyat Mengandung Merkuri (Hg) Dengan Juku Pait (*Digitaria radicata*)
terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang,

Yang menyatakan,

NIKAWIDA PUSPA HIDAYAH
105040201111110





RINGKASAN

NIKA WIDA PUSPA HIDAYAH. 105040201111110. Dampak Pascafitoremediasi Tanah Tercemar Limbah Tambang Emas Rakyat Mengandung Merkuri (Hg) Dengan Juku Pait (*Digitaria radicata*) terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung. Di bawah bimbingan Eko Handayanto dan Sugeng Prijono.

Amalgamasi merkuri (Hg) merupakan metode tradisional yang digunakan oleh penambang PESK untuk mendapatkan emas. Sisa proses tradisional tersebut berupa limbah (berlumpur) yang mengandung merkuri dan berbagai logam berat lainnya yang mencemari lahan pertanian, karena umumnya dibuang di lahan pertanian. Salah satu upaya yang dapat digunakan untuk menekan atau mengurangi kandungan logam berat yang terdapat pada daerah tercemar adalah dengan menggunakan Fitoremediasi. Tujuan dari penelitian ini Mempelajari pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada tanah tercemar merkuri (Hg) yang telah mengalami fitoremediasi dari tumbuhan lokal *Digitaria radicata*.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang, dan untuk pengamatan dan penanaman tanaman jagung (*Zea mays* L.) sendiri dilaksanakan di rumah plastik yang berada di lahan percobaan Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang. Untuk waktu penelitiannya di mulai pada bulan Desember 2013 – Maret 2014. Media tanam dalam pot yang digunakan dalam pot merupakan bahan penelitian sebelumnya (disebut media tanam pascafitoremediasi), digunakan untuk menanam jagung selama 8 minggu (akhir fase vegetatif). Perlakuan yang diterapkan adalah sama dengan perlakuan penelitian sebelumnya, yaitu 6 perlakuan (2 jenis media tanam dan 3 dosis ammonium thiosulfat), ditambah dengan 2 perlakuan kontrol. Perlakuan kontrol adalah 2 media tanam T1 dan T2, yaitu campuran 70% tanah dan 30% tailing sianidasi, dan campuran 70% tanah dan 30% tailing amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate dan tanpa proses fitoremediasi). Dengan demikian, terdapat 8 perlakuan (6 perlakuan penelitian sebelumnya dan 2 kontrol). Selama percobaan, kandungan air tanah dipertahankan pada kondisi 100% kapasitas lapangan dengan menambahkan / menyiram air secara periodik. Pertumbuhan tanaman jagung (tinggi tanaman), diamati setiap minggu selama 12 minggu. Pada saat panen (12 minggu), dilakukan pengamatan (1), berat basah dan berat kering tajuk dan akar tanaman jagung, (2) konsentrasi Hg dalam tajuk dan akar tanaman jagung, dan (3) konsentrasi Hg dalam tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman jagung (*Zea mays* L.) mampu mengakumulasi logam berat pada media Pascafitoremediasi sebesar 97,40% mg/kg untuk T1 dan 98,38% mg/kg untuk T2. Selain itu perlakuan kombinasi dengan penambaham ammonium thiosulfate 8g/kg media memiliki tingkat efektifitas penyerapan Hg pada tanaman jagung (*Zea mays* L.). Dari hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa tingkat responsive jagung terhadap Hg mampu mengakumulasi dari konsentrasi tanah sampai bagian akar, batang, daun dan biji tanaman jagung.

Kata Kunci : Merkuri, Ammonium thiosulfate, Jagung

SUMMARY

NIKAWIDA PUSPA HIDAYAH. 105040201111110. Impact of Soil Contaminated Pascaphytoremediation Gold Mine Tailing Small Scale Containing Mercury (Hg) by Juku pait (*Digitaria radicata*) Against Growth of Maize. Supervised by Eko Handayanto and Sugeng Prijono.

Amalgamation of mercury (Hg) is the traditional method used by miners to get gold PESK. The rest of the traditional process in the form of waste (muddy) containing mercury and various other heavy metals that contaminate agricultural land, because it is generally disposed of on farms. One effort that can be used to suppress or reduce the content of heavy metals found in polluted areas is to use Phytoremediation. The purpose of this study is to determine the growth of maize (*Zea mays* L.) in soil contaminated with mercury (Hg) which has undergone phytoremediation of local plant *Digitaria radicata*.

This research was conducted at the Laboratory of Soil Department of the Faculty of Agriculture, Brawijaya University, Malang, and for observation and cultivation of maize (*Zea mays* L.) itself was conducted in a plastic house which is in trials field Tribhuwana Tunggal University of Malang. The time of the research began in December 2013 until March 2014. Growing media in pots above the former study (called post phytoremediation growing media), is used to grow maize for 8 weeks (until the end phase). Treatment applied is the same as the previous study treatment, ie 6 treatments (2 types of growing media and 3 dosages of ammonium thiosulfate), combine with 2 control treatment. Control treatment is 2 planting medium, i.e T1 and T2 a mixture of 70% soil and 30% of tailings cyanidation, and a mixture of 70% soil and 30% amalgamation tailings without ammonium thiosulfate and without the phytoremediation process). Thus, there are 8 treatments (6 previous treatments studies and 2 controls). During the experiment, soil water content was maintained at 100% field capacity conditions by adding/flush water periodically. Maize plant growth (plant height), observed every week for 12 weeks. At the time of harvest (12 weeks), were observed (1) wet weight and dry weight of the canopy and roots of maize, (2) the concentration of Hg in the shoot and roots of corn plants, and (3) the concentration of Hg in the soil.

The results showed that of maize (*Zea mays* L.) were able to accumulate Hg in the media post phytoremediation 97,40% mg/kg for plant media T1 and 98,38% mg/kg for plant media T2. In addition the combination treatment with ammonium thiosulfate 8 g/kg media has the most effective level of Hg uptake in maize (*Zea mays* L.). The laboratory test results showed that the level of responsiveness of corn is capable accumulate Hg concentrations of soil to the roots, stems, leaves and maize cob.

Key words : Mercury, Ammonium thiosulfate, Maize

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT karena telah mencurahkan hidayah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Dampak Pascafitoremediasi Tanah Tercemar Limbah Tambang Emas Rakyat Mengandung Merkuri (Hg) Dengan Juku pait (*Digitaria radicata*) Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung”**. Tugas akhir ini sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc., PhD selaku pembimbing utama yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun proposal penelitian dan selaku penyandang dana penelitian ini hingga selesai.
2. Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU selaku pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulisan dalam menyusun proposal penelitian hingga selesai.
3. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU selaku ketua Jurusan 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 Kedua orang tua dan saudara laki-laki yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun moril hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
7. Sahabat Vini Angelina Tambunan, SH, Nur Solikah, S.kep, Tika Pradana A., Amd, Gita Amalia O., Layli Indah R., Hidro Jaka I., Wahyu Istiyarah.,SP, Tim Fitoremediator (Yeti, Prisma, Yudha, Andre, Intan dan ibu Nurul Mudarisna) terimakasih atas dukungan dan perhatian selama penelitian ini.
8. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Tanah Soiler (Farahmita salshabila, SP., Endah, Tomi, Prista, Tomi, Kiki, Elok, Gabryna, Bombom, Jafri dan Kiromil) terimakasih atas bantuan, dukungan dan kerjasamanya selama pelaksanaan penelitian ini.
9. Seluruh Kakak-adik seperjuangan di Jurusan Tanah, Terutama Soiler 2010, terimakasih telah memberi warna dikehidupanku, serta semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang turut berpartisipasi atas terselesaikan skripsi ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun sebagai upaya untuk lebih optimal dalam melakukan penelitian.

Malang, 24 Juni 2014
Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tulungagung, pada tanggal 14 Desember 1991 dan merupakan putri sulung dari 2 bersaudara dengan seorang ayah yang bernama Koesno Widodo dan Seorang Ibu yang bernama Sri Umi Hanik. Penulis memulai pendidikan dengan menjalani pendidikan dasar di SDN Bligo (1998-2004), dan melanjutkan ke MTs Negeri Sidoarjo (2004-2007), kemudian meneruskan ke MA Negeri Sidoarjo (2007-2010). Penulis menjadi mahasiswa Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Program Studi Agroekoteknologi, pada tahun 2010 melalui jalur PSB (Penerimaan Siswa Berprestasi).

Selama masa kuliah, penulis pernah menjadi asisten praktikum Irigasi dan Drainase (Periode 2012-2013), Manajemen Agroekosistem (Periode 2012-2013; 2013-2014), Teknologi Pupuk dan Pemupukan (2012-2013), serta Agroforestri (Periode 2013-2014). Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan yang diadakan di kampus skala Universitas maupun skala Fakultas.

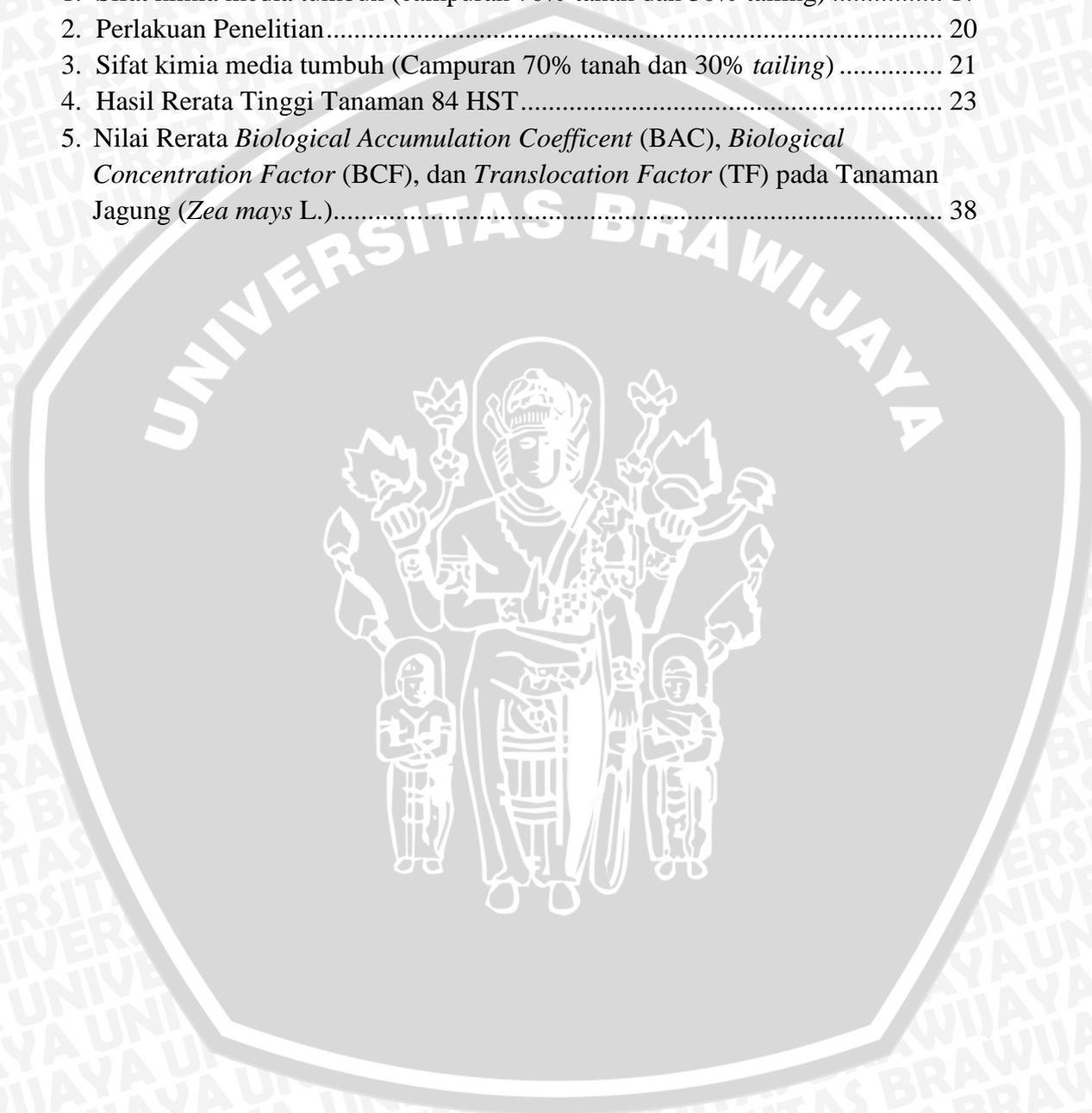


DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Hipotesis.....	4
1.4. Manfaat	5
1.5. Alur Pikir.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Keadaan Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Kecamatan Sekotong, Lombok Barat	7
2.2. Pengaruh Hg Terhadap tanaman	7
2.3. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat.....	10
2.4. <i>Digitaria radicata</i> Miq. untuk fitoremediasi tanah tercemar logam berat	11
2.5. Faktor Akumulasi.....	13
2.8. Geokimia Merkuri (Hg)	14
2.9. Syarat Tumbuh Tanaman Jagung.....	15
III. METODE PENELITIAN	16
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	16
3.3. Pelaksanaan Penelitian	18
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1. Konsentrasi Hg tanah	21
4.2. Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung	23
4.4. Pembahasan Umum.....	40
V. KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1. Kesimpulan	42
5.2. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	49

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Sifat kimia media tumbuh (campuran 70% tanah dan 30% tailing)	17
2.	Perlakuan Penelitian.....	20
3.	Sifat kimia media tumbuh (Campuran 70% tanah dan 30% <i>tailing</i>)	21
4.	Hasil Rerata Tinggi Tanaman 84 HST.....	23
5.	Nilai Rerata <i>Biological Accumulation Coefficient</i> (BAC), <i>Biological Concentration Factor</i> (BCF), dan <i>Translocation Factor</i> (TF) pada Tanaman Jagung (<i>Zea mays</i> L.).....	38



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Proses amalgamasi Hg pada tambang emas rakyat dan pencemaran lahan pertanian oleh limbah tambang.....	2
2.	Alur pikir.....	6
3.	<i>Digitaria radicata</i>	12
4.	Penyerapan senyawa/bahan kimia oleh tanaman	14
5.	Grafik rerata biomassa tajuk dan akar pada jagung	25
6.	Rerata serapan N pada tanaman jagung	28
7.	Serapan Hg pada akar tanaman jagung	30
8.	Serapan Hg pada batang tanaman jagung	32
9.	Serapan Hg pada daun tanaman jagung	33
10.	Serapan Hg pada biji tanaman jagung.....	35



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Teks	Halaman
1.	Denah Percobaan.....	50
2.	Perhitungan Penambahan Bahan Organik per Satuan Luas dan per Polibag. 51	
3.	Perhitungan Dosis Pupuk Anorganik per Satuan Luas dan per Polibag 52	
4.	Kebutuhan air per 5kg Tanah.....	53
5.	Analisis Hasil Serapan Hg Tanaman Jagung.....	54
6.	Berat Kering Tanaman Jagung.....	55
7.	Analisi Sidik Ragam (ANOVA).....	56
8.	Grafik Regresi Antar Parameter.....	58
9.	Pengambilan Sampel Tailing Sekotong, Lombok Barat.....	61
10.	Korelasi.....	62
11.	Dokumentasi.....	63



I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu dengan tingkat perkembangan dan kemajuan teknologi yang berhubungan dengan pembangunan di bidang sektor pertambangan emas yang mampu memberikan peluang untuk meningkatkan sumber devisa negara, Di Indonesia sendiri pertambangan emas dibagi menjadi tiga skala yaitu; Pertambangan Emas Skala Besar, Pertambangan Emas Skala Sedang, dan Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK), namun disisi lain pada sektor ini juga memiliki kelemahan yang sangat signifikan dengan hasil yang diraupnya. Di tahun 2010, terdapat sekitar 900 titik, yang mencakup sekitar 250.000 petambang, termasuk di dalam jumlah tersebut adalah para perempuan dan anak-anak kecil di bawah umur. Sekitar 1.000.000 populasi menggantungkan keberlangsungan kehidupan mereka dari perputaran ekonomi bisnis tambang emas yang eksploitatif, hal ini juga dibuktikan dari berbagai literatur yang menyebutkan bahwa setiap hasil tambang emas yang didapatkan dari tiap-tiap daerah mampu menghasilkan ± 10 g emas (Ismawati, 2010).

Desa Sekotong Tengah, Kecamatan Sekotong Lombok Barat, adalah diantara berbagai wilayah PESK di Indonesia yang telah beroperasi sejak tahun 2009. Amalgamasi merkuri (Hg) merupakan metode tradisional yang digunakan oleh penambang PESK untuk mendapatkan emas. Sisa proses tradisional tersebut berupa limbah (berlumpur) yang dibuang di lahan pertanian yang mengandung merkuri dan berbagai logam berat lainnya yang mencemari lahan pertanian (Gambar 1).

Proses penambangan dimulai dengan membuat lubang vertikal yang digali dengan secara manual sampai kedalaman 30 m. Pada lubang tersebut diambil deposit (batuan dan tanah) yang mengandung emas. Bahan galian yang diperoleh dari lubang galian dibawa ke lokasi pemrosesan emas (disebut lokasi 'gelondong'). Pada lokasi gelondong ini, bahan galian tersebut dihaluskan dengan palu dan kemudian dimasukkan ke dalam 'gelondong' (Gambar 1). Setiap gelondong bisa menampung 30-40 kg bahan galian, kemudian di putar selama 3-4 jam. Pada setiap jam putaran, sebanyak 1 kg Hg ditambahkan kedalam gelondong untuk proses amalgamasi.

Setelah putaran selesai, air disemprotkan ke dalam gelondong sehingga terbentuk lumpur yang ditampung dalam tempayan besar, amalgamasi emas-Hg mengendap dan sisa lumpur dibuang ke lahan pertanian (Gambar 1).



Gambar 1. Proses amalgamasi Hg pada tambang emas rakyat dan pencemaran lahan pertanian oleh limbah tambang

(Sumber: Patitis, 2013)

Dari proses kegiatan pertambangan emas di wilayah Sekotong, Lombok Barat banyak menyebabkan tanaman pertanian yang tumbuh disekitar daerah terkontaminasi logam berat mengalami penurunan hasil produksi yang disebabkan oleh limbah tambang (*tailing*), salah satu komoditas yang banyak di jumpai adalah jagung yang memiliki gejala warna kekuning-kuningan (*Khlorosis*) yang mana gejala ini disebabkan tanaman keracunan logam berat Hg (*Mercury*), selain itu keracunan Hg juga menyebabkan akar tanaman berwarna coklat, jumlah dan ukuran akar menurun, dan tudung akar rusak (Patra dan Sharma, 2000). Hasil penelitian dari Krinayanti *et al.* (2012) menyatakan bahwa konsentrasi Hg yang terdapat pada daerah lahan tambang emas ini mencapai 25 ppm sampai 40 ppm, sedangkan kandungan Hg

pada biji padi dan biji jagung yang ditanam dekat area pembuangan limbah sekitar 0,20 ppm. Menurut Yayasan Tambuhak Sinta (2010) menyatakan bahwa konsentrasi Hg yang ada di daerah PESK berkisar antara 0.6 ppm sampai 4 ppm 600-3000 kali lipat dari standar yang ditentukan oleh WHO (*World Health of Organisation*) (0.001 ppm) sedangkan untuk standarisasi dari pemerintah ini ditekan mencapai batas kisaran maksimum (0.002 ppm).

Salah satu upaya yang dilakukan untuk menetralkan dan mengurangi kandungan logam berat yang terdapat pada daerah tercemar logam berat adalah dengan menggunakan metode Fitoremediasi dimana kegiatan ini mampu untuk mengurangi dan menetralkan jumlah kandungan logam berat yang ada di daerah yang tercemar limbah tambang emas, kegiatan ini termasuk ramah lingkungan karena bahan-bahan yang digunakan berasal dari tumbuhan hijau ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk menyerap, memindahkan, menurunkan aktivitas unsur toksik, serta mengurangi kandungan senyawa toksik dalam tanah (Truu *et al.*, 2003). Fitoremediasi ini terdiri atas empat jenis teknologi yang berbasis tanaman diantaranya adalah rizofiltrasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, dan fitoekstraksi; (Chandra Sekhar *et al.*, 2005) dan dua berbasis mikroorganisme diantaranya fitodegradasi dan rizofiltrasi. Diantara ke enam teknologi ini yang paling banyak digunakan untuk penelitian limbah tambang (*tailing*) adalah fitoekstraksi hasil penelitian Hidayati *et al.* (2009). menunjukkan bahwa *Digitaria radicata* adalah salah spesies tumbuhan liar dilokasi PESK di Jawa Barat yang mampu mengakumulasi logam berat sampai dengan 20 ppm Hg, namun demikian sampai saat ini belum banyak penelitian reklamasi lahan tercemar Hg yang menggunakan spesies tumbuhan tersebut di atas.

Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Patitis (2013), menunjukkan bahwa tanaman *Digitaria radicata* mampu bertahan hidup pada media tanam dengan kandungan Hg yang tinggi. Tanaman *Digitaria radicata* mampu menyerap Hg secara optimum pada kombinasi perlakuan tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat menghasilkan serapan tertinggi pada perlakuan tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan ammonium thiosulfat 8g/kg sebesar 311,73 mg/kg. Pada kombinasi tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan

ammonium thiosulfat menghasilkan serapan tertinggi pada perlakuan tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan ammonium thiosulfat 8 g/kg sebesar 384,80 mg/kg. Karena tujuan akhir fitoremediasi tanah tercemar logam berat dalam perbaikan pertumbuhan dan produksi tanaman pangan, maka hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Patitis (2013) di atas perlu di uji lanjut pengaruhnya pada pertumbuhan tanaman pangan. Telah diuraikan di atas bahwa tanaman jagung merupakan komoditas utama di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat. Berkaitan dengan hal diatas maka dalam penelitian ini tanaman jagung digunakan sebagai tanaman indikator untuk mempelajari pengaruh fitoremediasi tanah tercemar logam berat merkuri terhadap pertumbuhan tanaman pangan apakah layak untuk dikonsumsi secara berlanjut.

1.2. Tujuan Penelitian

1. Mempelajari dampak fitoremediasi tanah tercemar limbah tambang emas dengan tanaman lokal (*Digitaria radicata*) terhadap pertumbuhan tanaman jagung.
2. Mengetahui konsentrasi Hg akhir pada tanaman lokal setelah dilakukan proses fitoremediasi dan penambahan ammonium thiosulfat terhadap pertumbuhan tanaman jagung.

1.3. Hipotesis

1. Fitoremediasi tanah tercemar logam berat dapat memperbaiki kualitas tanah yang pada gilirannya memperbaiki pertumbuhan tanaman jagung.
2. Pertumbuhan jagung pada tanah pascafitoremediasi dipengaruhi oleh spesies tumbuhan lokal (*Digitaria radicata*) dan penambahan ammonium thiosulfat yang digunakan pada proses fitoremediasi.

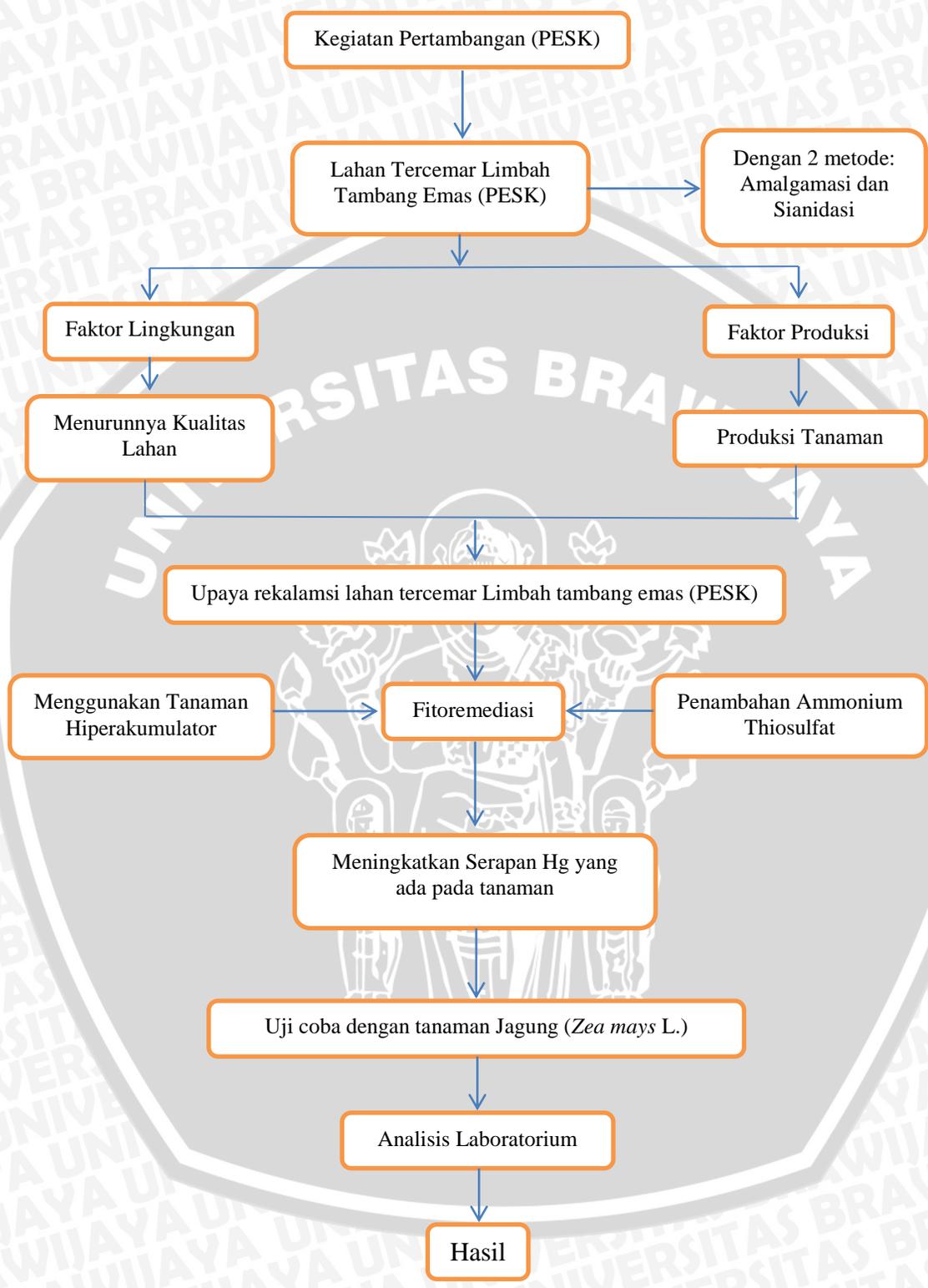
1.4. Manfaat

Dari hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi bagi petani dalam upaya untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman jagung pada lahan pertanian yang tercemar oleh limbah tambang emas rakyat (PESK) dengan proses fitoremediasi untuk meningkatkan kualitas tanah.

1.5. Alur Pikir

Kegiatan pertambangan di Indonesia ini ada tiga skala yaitu Pertambangan Emas Skala Besar, Pertambangan Emas Skala sedang, dan Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK). Maraknya kegiatan PESK ini menyebabkan degradasi lahan yang mencemari area pertanian, pada umumnya kegiatan pertambangan emas skala kecil ini masih menggunakan metode tradisional yaitu amalgamasi dan sianidasi yang menyumbang polusi berupa logam berat (Hg) yang ada di lingkungan baik di darat, laut dan udara. Meningkatnya kontaminasi logam berat ini menyebabkan menurunnya kualitas tanah dan menurunnya biota dalam tanah, sedangkan untuk faktor produksi menurunkan hasil produksi tanaman pangan yang ada di sekitar area pertambangan.

Dengan meluasnya area yang terdegradasi akibat pertambangan emas skala kecil (PESK) maka dilakukan upaya reklamasi lahan dengan menggunakan proses fitoremediasi dengan menggunakan tanaman hiperakumulator dan penambahan ammonium thiosulfate yang diharapkan mampu meningkatkan serapan logam berat (Hg) pada tanaman. Setelah proses fitoremediasi berakhir dilanjutkan dengan uji coba tanaman jagung kemudian setelah jagung dipanen tanaman kembali di uji di laboratorium untuk di analisis kandungan (Hg) yang terkandung pada tanaman jagung, apakah tanaman jagung bebas (Hg) dan layak untuk dikonsumsi secara berlanjut.



Gambar 2. Alur pikir

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Keadaan Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Kecamatan Sekotong, Lombok Barat

Kegiatan penambangan liar di daerah Sekotong berlangsung dalam 3 (tiga) tahun terakhir. Berawal dari tahun 1986 berdasarkan survei yang dilakukan oleh PT. Newmont Nusa Tenggara yang menyatakan bahwa terdapat kandungan logam emas di daerah Sekotong. Berdasarkan hasil survei kelayakan dan pertimbangan ekonomi ternyata kandungan emas di daerah Sekotong tidak ekonomis untuk ditambang dan diolah oleh perusahaan besar seperti PT. Newmont Nusa Tenggara karena nantinya akan merugikan perusahaan tersebut. Pada tahun 2004 PT. Indotan Inc. melanjutkan survey dari perusahaan sebelumnya, yang menyatakan bahwa daerah yang prospek untuk menambang emas berada di “*Kuta Ring Feature*” Kabupaten Lombok tengah dan di daerah Sekotong barat (Tembowong, Sepi dan Selodong).

Kandungan emas di kecamatan Sekotong memiliki kadar emas yang tinggi tetapi hanya efisien untuk ditambang secara tradisional, sehingga banyak warga yang jauh-jauh berdatangan untuk menambang emas, dan kegiatan ini sudah berlangsung sejak tahun 2008 lalu (Rahmawati, 2011). Hingga saat ini kegiatan penambangan emas secara liar di daerah sekotong ini masih terus berlanjut bahkan proses kegiatannya pun semakin meluas, tak heran banyak warga dari lain daerah yang berdatangan untuk mendulang emas. Kegiatan ini sangat sulit untuk dihentikan karena kegiatan ini sudah berlangsung secara turun menurun dan merupakan mata pecaharian masyarakat sekitar. Namun tidak jarang sebagian besar dari mereka melalaikan resiko keselamatan mereka untuk terhindar dari bahaya logam berat yang sering digunakan tanpa takaran tertentu untuk meraup emas yang berlimpah.

2.2. Pengaruh Hg Terhadap tanaman

Hg (merkuri) merupakan salah satu logam berat yang berbentuk cair dan berwarna perak (*silver*) yang mudah terpengaruh oleh suhu. Sebagian besar merkuri berada dalam tanah, air, udara, sedimen, dan biota yang berda dalam bentuk garam

merkuri anorganik dan argonomerkuri. Unsur Hg adalah logam berat dengan (BJ=18),. Banyak dijumpai di lingkungan dalam bentuk oksidasi, yakni Hg^+ , Hg_2^{2+} , dan Hg^{2+} . (Slowey, 2010). Selain dijumpai dalam bentuk mineral, aktivitas manusia dapat meningkatkan pelepasan Hg (merkuri) ke lingkungan seperti, penggunaan limbah tercemar merkuri, pupuk dan pestisida dalam budidaya pertanian juga dapat menyebabkan keracunan pada tanaman (Patra dan Sharma, 2000).

Seperti semua makhluk hidup pada umumnya, tanaman juga memiliki sensitifitas baik kekurangan dan kelebihan unsur-unsur esensial ion logam berat sebagai mikronutrien esensial, sedangkan yang sama pada konsentrasi tinggi dan ion seperti pada unsur Cd, Hg, As yang sangat beracun bagi metabolisme pertumbuhan tanaman. Kontaminasi tanah pertanian oleh logam berat telah menjadi perhatian lingkungan karena potensi efek samping ekologi. Unsur-unsur beracun tersebut dianggap sebagai polutan tanah akibat terjadinya luasan aktifitas industri khususnya dibidang pertambangan yang memberikan efek akut dan kronis beracun pada tanaman yang tumbuh dari tanah tersebut. Terjadinya keracunan merkuri pada tanaman dapat disebabkan oleh (a) perubahan permeabilitas membran sel, (b) reaksi gugus sulphhydryl (-SH) dengan kation, (c) afinitas untuk bereaksi dengan gugus fosfat dan gugus ADP atau ATP yang aktif, dan (d) penggantian unsur esensial, terutama unsur makro (Munzuroglu dan Geekil, 2002).

Hg yang diserap tanaman dapat menyebabkan tidak aktifnya berberapa enzim karena penggabungan Hg ke dalam kelompok sulfidril dan enzim-enzim penting (Ling *et al.*, 2010). Hg juga meningkatkan akitivitas peroksida melalui pembentukan senyawa yang reaktif pada oksigen, seperti superoksida (O_2), radikal hidroksi (OH) dan hiproden peroksida (H_2O_2) (Ali *et al.*, 2000). Didalam tanaman Hg bersifat beracun dan menyebabkan kerusakan enzim, polinukleida, sistem transportasi hara dan mengganggu integritas membrane sel (Patra dan Sharma, 2000). Indikasi pertama pada tanaman yang mengalami gejala keracunan Hg ssering dilihat pada akarnya yang memanjang (Prasad, 2001). Terhambatnya pertumbuhan biji dan akar karena gejala keracunan Hg dapat menghambat proses fotosintesis dan menurunkan produksi

tanaman. Selain itu Hg yang terakumulasi dalam jaringan akar dapat menghambat serapan K oleh tanaman (Kabata Pendias dan Pendias, 2000).

Masukan besar merkuri (Hg) ke tanah garapan telah mengakibatkan meluasnya kontaminasi merkuri diseluruh rantai makanan. Hg merupakan logam yang unik karena keberadaannya dalam berbagai bentuk misalnya HgS, Hg²⁺, Hg dan metil - Hg. Namun, dalam tanah pertanian bentuk ionik (Hg²⁺) adalah dominan (Han *et al.*, 2006). Hg dirilis ke tanah terutama berada pada fase padat melalui adsorpsi ke sulfida, partikel tanah liat dan bahan organik. Meningkatkan bukti yang menunjukkan bahwa Hg²⁺ mudah terakumulasi dalam tanaman tingkat tinggi dan air (Kamal *et al.*, 2004; Israr *et al.*, 2006). Tingginya tingkat Hg²⁺ sangat phytotoxic untuk sel tanaman. Tingkat beracun dari Hg²⁺ bisa menyebabkan luka terlihat dan gangguan fisiologis pada tanaman (Zhou *et al.*, 2007). Misalnya, Hg²⁺ dapat mengikat protein saluran air, dengan demikian menyebabkan stomata daun obstruksi dekat dan fisik aliran air pada tanaman (Zhang dan Tyerman, 1999). Tinggi tingkat Hg²⁺ mengganggu aktivitas mitokondria dan menginduksi stres oksidatif yang menyebabkan gangguan lipid biomembrane dan metabolisme sel pada tumbuhan (Messer *et al.*, 2005; Cargnelutti *et al.*, 2006).

Semua cebakan merkuri terbentuk dari larutan hidrotermal di dalam segala jenis batuan yang diakibatkan oleh kegiatan vulkanisma Tersier. Hg juga dapat terbentuk sebagai unsur jejak (*trace element*) pada kebanyakan cebakan mineral lainnya. Adapun dampak negatif yang timbul apabila terjadi keracunan oleh merkuri (Hg) nonorganik terutama mengakibatkan terganggunya fungsi ginjal dan hati. Disamping itu akan mengganggu sistem enzim dan mekanisme sintetik apabila berupa ikatan dengan kelompok sulfur didalam protein dan enzim. Merkuri (Hg) organik dari jenis metil-merkuri dapat memasuki placentra dan merusak janin pada wanita hamil, mengganggu saluran darah ke otak serta menyebabkan kerusakan otak parah pada bayi sejak dalam kandungan.

2.3. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat

Salah satu upaya yang dapat digunakan untuk menetralkan dan mengurangi kandungan logam berat yang terdapat pada daerah tercemar adalah dengan menggunakan metode Fitoremediasi dimana kegiatan ini mampu untuk mengurangi dan menetralkan jumlah kandungan logam berat yang ada di daerah sekitar yang terkontaminasi logam berat akibat pertambangan dimana proses fitoremediasi ini diharapkan mampu memperbaiki kualitas tanah, kegiatan ini termasuk ramah lingkungan karena bahan-bahan yang digunakan berasal dari tumbuhan hijau ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk menyerap, memindahkan, menurunkan aktivitas unsur toksik, serta mengurangi kandungan senyawa toksik dalam tanah (Truu *et al.*, 2003).

Tanaman adalah komponen penting dari ekosistem karena tanaman membawa unsur-unsur dari lingkungan abiotik ke lingkungan biotik (Chojnacka *et al.*, 2005). Tanaman lebih tahan dibandingkan kebanyakan mikroorganisme pada konsentrasi kontaminan tinggi, tanaman juga menyerap dan mengurangi toksisitas kontaminan jauh lebih cepat (Schnoor *et al.*, 2005). Oleh karena itu tanaman ini disebut "jantung hijau" yang menghilangkan kontaminan lingkungan fitoremediasi. Menurut Mangkoedihardjo (2005), bahwa fitoremediasi (*phytoremediation*) merupakan suatu sistem dimana tanaman tertentu secara sendiri atau bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media tanam, dapat mengubah zat kontaminan menjadi kurang atau bahkan tidak berbahaya. Tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi adalah tanaman hiperakumulator yang mentranslokasikan unsur pencemar seperti merkuri, arsen, timbal, kadmium dengan konsentrasi sangat tinggi ke jaringan dan tanpa membuat tanaman tumbuh dengan tidak normal (kerdil dan mengalami fitoksisitas).

Fitoremediasi terdiri atas empat jenis teknologi berbasis tanaman dan dua berbasis mikroorganisme, 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 melalui teknologi phytomining.
5. **Rhizodegradasi**; Polutan yang diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang disinergi / dibantu oleh penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada disekitar akar tumbuhan. Misalnya ragi, fungi, bakteri, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, dan asam. Eksudat merupakan makanan bagi mikroba yang nantinya menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya.
6. **Fitodegradasi**; proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung di daun, Batang, dan akar tumbuhan dengan bantuan enzim dehalogenese dan oksigenese yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri (Priyanto dan Prayitno, 2002).

2.4. *Digitaria radicata* Miq. untuk fitoremediasi tanah tercemar logam berat

Nama lengkap spesies tanaman ini adalah *Digitaria radicata* (J.Presl) Miq., termasuk dalam subfamily Panicoideae. Tanaman ini tidak mempunyai rhizome dan stolon pertumbuhannya dapat mencapai ketinggian 20-60 cm. banyak tersebar di Africa, Temperate Asia, Tropical Asia, Australasia, dan Pacific.



Gambar 3. *Digitaria radicata*

Kingdom	: Plantae
Division	: Magnoliophyta
Class	: Liliopsida
Ordo	: Cyperales
Family	: Poaceae
Genus	: <i>Digitaria</i> Haller
Species	: <i>D. radicata</i> (J.Presl) Miq.

(Sumber: Patitis, 2013)

Secara umum, *Digitaria radicata* adalah jenis rerumputan dengan spesies yang lebih langsing dengan beberapa cabang perbungaan (2-3 dalam spesimen dari *Corse*), sumbu hampir mulus perbungaan (tidak padat *scabrous*), sedikit lebih panjang di bagian bawah dan bagian atas *glumes*, dan *pulvini* hampir tidak berbulu. Oleh karena itu, dalam pemeliharannya *Digitaria radicata* harus dipertimbangkan secara lebih lanjut. Penyebaran *Digitaria radicata* sendiri adalah di Afrika: barat-tengah tropis, tropis timur, dan Samudra Hindia Barat, Asia beriklim: China dan Asia Timur, Asia-tropis: India, Indo-China, Malaysia, dan Papua Asia, Australia, Pacific: barat daya, selatan-tengah, barat laut, dan utara-tengah (Verloove, 2008).

Karakteristik *Digitaria radicata* Tanaman ini tergolong sebagai tanaman atau rumput tahunan dimana setiap tahunnya rumput ini selalu menghiasi ladang yang ada diberbagai daerah diataranya adalah Australia. Tanaman ini tidak memiliki *rhizomes* dan tidak memiliki *stolon*, batangnya yang menjalar memiliki tubuh yang tinggi, ramping, dan halus ini memiliki ketinggian mencapai 20-60cm, ruas batangnya berbuku, memiliki selubung daun yang berada diatas permukaan, bentuk daunnya menyerupai pisau lanset yang datar, dengan panjang daun 2-10cm dan lebar daun 2-5mm. Permukaan diatas daun ini sangat halus dan tidak berbulu (Yucely, 2011).

2.5. Faktor Akumulasi

Pada kriteria tanaman mampu dikatakan sebagai fitoekstraktor ini ditentukan berdasarkan faktor bioakumulasi dimana faktor ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar akumulasi dan translokasi tanaman terhadap logam berat. Faktor bioakumulasi ini terdiri dari tiga kategori yaitu; BCF (*Biological Concentrate Factor*), BAC (*Biological Acumulation Factor*), dan TF (*Translocation Factor*).

BCF (*Biological Concentrate Factor*) merupakan perhitungan kecepatan tanaman dalam mengakumulasi logam berat dari media yang terkontaminasi. Sesuai dengan pernyataan Fisher (2002) yang menyatakan bahwa pada faktor BCF ini terjadi karena peningkatan konsentrasi progresif terhadap suatu senyawa terhadap organisme dalam penyerapan logam berat lebih besar dibandingkan dengan pelepasan logam berat dengan persamaan sebagai berikut:

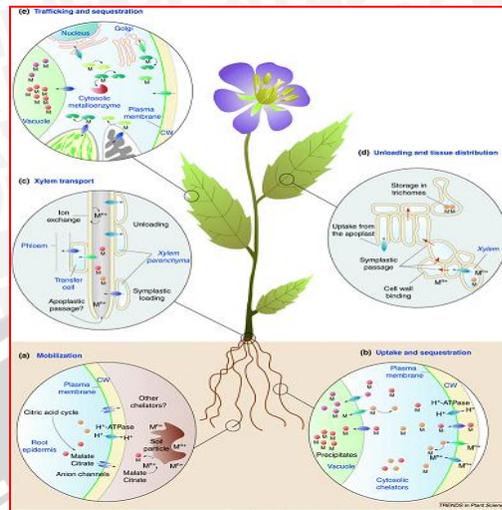
$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi logam pada akar tanaman}}{\text{Konsentrasi logam awal di dalam tanah}}$$

Kemudian untuk BAC (*Biological Acumulation Concentrate*) rasio konsentrasi dalam organisme, dimana organisme tersebut mampu mengakumulasi logam berat secara langsung pada lingkungan yang terkontaminasi (US Enviromental Protection Agency, 2010). dengan persamaan sebagai berikut:

$$BAC = \frac{\text{Konsentrasi logam pada tajuk tanaman}}{\text{Konsentrasi logam awal di dalam tanah}}$$

Sedangkan untk nilai TF (*Translocation Factor*) diperoleh dari perhitungan ratio konsentrasi logam berat pada tajuk dengan konsentrasi logam berat pada akar (Cui *et al.*, 2007). Dengan persamaan sebagai berikut:

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi logam pada tajuk tanaman}}{\text{Konsentrasi logam pada akar tanaman}}$$



Gambar 4. Penyerapan senyawa/bahan kimia oleh tanaman

(Sumber: Anonymous^a, 2014)

Data yang sudah ada pada perhitungan BAC, BCF, dan TF bisa langsung diklasifikasi jika hasil perhitungan > 1 dikatakan “Fitоекstraksi” dan < 1 dikatakan “Fitostabilisasi”. Dimana **Fitоекstraksi** adalah penggunaan tanaman untuk menyerap unsur logam dan bahan pencemar lain dari tanah dan dapat mentranslokasi unsur logam ke dalam tajuk tanaman dan unsur logam tersebut dapat dipanen melalui teknologi phytomining (Chandra Sekhar *et al.*, 2005). **Fitostabilisasi** adalah melibatkan penggunaan tanaman untuk stabilisasi dan reklamasi wilayah daratan yang tercemar dan hanya mengakumulasi pada bagian rizhosfer (Berti dan Cunningham, 2000).

2.8. Geokimia Merkuri (Hg)

Saat merkuri berikatan dengan oksigen, oksigen, belerang, dan klor, Hg akan membentuk garam merkuri yang berwujud padatan. Tingginya aktivitas manusia menyebabkan merkuri banyak terdapat dilingkungan dalam bentuk (HgO) merkuri oksida dan (HgS) merkuri sulfide yang banyak digunakan manusia untuk bahan kecantikan dan rumah tangga, selain itu (HgCl₂) merkuri klor yang banyak ditemukan didaerah industri pertambangan. Kontaminasi yang terjadi pada merkuri karena pembuangan limbah industri yang masih banyak mengandung merkuri yang

kemudian air dari limbah dibuang begitu saja ke sungai dan daerah pertanian yang menyebabkan pencemaran ekosistem (Agustina, 2010).

Akumulasi dari methyl merkuri akan berpindah pada rantai makanan :

1. Endapan methyl merkuri yang ada di air akan beralih dari hewan dan tanaman kecil seperti fitoplankton dan zooplankton yang terakumulasi methyl merkuri.
2. Kemudian ikan kecil memakan fitoplankton dan zooplankton.
3. Ikan redator yang lebih besar memakan ikan kecil, pada saat inilah methyl merkuri disimpan pada jaringan, kemudian terjadi kontaminasi saat manusia memakan ikan yang telah terakumulasi methyl merkuri.

2.9. Syarat Tumbuh Tanaman Jagung

Tanaman jagung merupakan salah satu tanaman yang termasuk tanaman palawija dimana tanaman yang mampu bertahan terhadap kekeringan yang panjang, jagung sendiri merupakan tanaman yang berasal dari daerah tropis yang mampu beradaptasi dengan lingkungan disekitarnya. Untuk mengoptimalkan pertumbuhan jagung diperlukan beberapa syarat yang dikehendakinya. Dalam pertumbuhannya tanaman jagung tidak membutuhkan syarat tanah yang khusus untuk mampu tumbuh secara optimum. Tanaman jagung memerlukan suhu 14-30°C dengan ketinggian 2200 mdpl dengan intensitas curah hujan mencapai 600mm – 1200mm per tahunnya (Kartasapoetra, 1998). Umumnya tanaman jagung dapat tumbuh dengan optimum pada tanah dengan pH 5,5-6,8 pada pH yang terlalu masam akan menurunkan hasil produksi dari tanaman jagung ini (Sutarya dan Grubben, 1995) dengan aerasi yang terjaga juga dibutuhkan tanaman jagung dalam pengaruh kelembapan dan ketersediaan air dalam tanah.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium kimia Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang, dan untuk pengamatan dan penanaman tanaman jagung (*Zea mays* L.) di laksanakan di rumah plastik yang berada di lahan percobaan Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang. Waktu penelitiannya di mulai pada bulan Desember 2013 – Mei 2014.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu adalah polibag dengan kapasitas 5kg (1), gembor untuk menyiram tanaman jagung (2), cetok untuk memindahkan benih jagung yang telah disemai kedalam polibag (3), alat tulis (penggaris, pensil, buku, penghapus) digunakan untuk mengamati pertumbuhan jagung (4), kamera untuk dokumentasi (5), timbangan analitik untuk menimbang pupuk (6).

Bahan utama yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah media bekas fitoremediasi (pascafitoremediasi) dengan *Digitaria radicata*. Pengamatan tanaman dengan menggunakan jagung (*Zea mays* L.) dengan varietas jagung hibrida (NK33) sebagai tanaman yang memiliki kemampuan dalam mentoleran logam yang berada di dalam tanah. Pupuk urea (N), pupuk SP₃₆ (P), pupuk KCl (K), kompos, dan tanah inceptisol. Karakteristik tanah pascafitoremediasi tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat kimia media tumbuh (campuran 70% tanah dan 30% tailing)

Kode	Sifat Kimia					
	pH (H ₂ O)	C organik (%)	N total (%)	P tersedia (mg/kg)	K total (%)	Hg (ppm)
Sebelum fitoremediasi						
T 1	7,59	0,55	0,009	2,79	0,11	327,0
T 2	8,43	0,21	0,013	4,94	0,59	393,6
Setelah fitoremediasi selama 8 minggu						
DRT1L0	6,29	0,42	0,08	32,54	1,81	37,33
DRT1L4	5,31	1,08	0,09	31,15	1,08	17,53
DRT1L8	5,07	1,37	0,15	29,88	1,37	15,27
DRT2L0	7,15	0,83	0,07	43,72	0,83	36,47
DRT2L4	6,00	1,06	0,12	34,63	1,06	34,47
DRT2L8	6,00	0,98	0,22	51,78	0,49	8,80

(Patitis, 2013)

Keterangan:

T1	=	Media tumbuh 1 (Campuran 70% tanah dan 30% tailing sianida)
T2	=	Media tumbuh 2 (campuran 70% tanah dan 30% tailing amalgamasi)
DRT1L0	=	Media tumbuh 1 pascafitorremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , tanpa penambahan amonium thiosulfat (0 g amonium thiosulfat/kg media)
DRT1L4	=	Media tumbuh 1 pascafitorremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , dengan penambahan 4 g amonium thiosulfat/kg media
DRT1L8	=	Media tumbuh 1 pascafitorremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , dengan penambahan 8 g amonium thiosulfat/kg media
DRT2L0	=	Media tumbuh 2 pascafitorremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , tanpa penambahan amonium thiosulfat (0 g amonium thiosulfat/kg media)
DRT2L4	=	Media tumbuh 2 pascafitorremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , dengan penambahan 4 g amonium thiosulfat/kg media
DRT2L8	=	Media tumbuh 2 pascafitorremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , dengan penambahan 8 g amonium thiosulfat/kg media

Tanah yang digunakan dalam kegiatan fitoremediasi sebelumnya diperoleh dari lahan pertanian yang tercemar limbah tambang emas di desa sekotong, Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-30cm dengan menggunakan bor tanah, kemudian dibawa ke laboratorium tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang. Sampel tanah di kering udarkan selama 3 hari, kemudian diayak dengan ayakan 2 mm. Analisis dasar tanah meliputi (1) kandungan N total (metode Kjeldahl), P tersedia (Bray-1) dan K (Flamephotometer), serta kandungan bahan organik (metode Walkley dan Black), (2) kadar Hg diukur dengan menggunakan AAS (Atomic Absorbtion Spectrophotometer). Untuk analisis kadar Hg tanah, sampel tanah dilebur menggunakan metode tungku pemanasan. Kemudian sebanyak 5 ml campuran tiga asam (asam nitrat, asam perkhlorat, asam sulfat) dengan rasio 3:1:1 ditambahkan

pada 0.1 g tanah dalam gelas ukur 100 ml. Setelah dingin, sampel kemudian diencerkan 4% asam nitrat, disaring ke dalam gelas volumetrik 100 ml, dan ditambah dengan air destilasi. Analisis kandungan Hg dilakukan dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer, type AAAnalyst 50, PerkinElmer, UK, di laboratorium tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang. Tanaman *Digitaria radicata* diperoleh dari lokasi di sekitar lokasi pengambilan sampel *tailing*. Tanaman yang digunakan dalam bentuk semai dari biji yang ditumbuhkan selama 2 minggu.

3.3. Pelaksanaan Penelitian

3.3.1. Proses Fitoremediasi

Pada penelitian sebelumnya, semai *Digitaria radicata* ditanam pada polibag 5 kg media tanam yaitu campuran 70% tanah dan 30% *tailing* dari proses amalgamasi (proses gelondong) atau proses sianidasi (proses tong) yang ditempatkan dalam plot plastik yang diberi alas (tatakan) untuk menampung air lindi dari pot. Untuk memacu serapan merkuri ditambahkan amonium thiosulfat dengan dosis 0, 4 dan 8 g/kg media (Wang *et al.*, 2012). Maka terdapat 6 perlakuan (2 jenis media tanam dan 3 dosis ammonium thiosulfat). Setiap perlakuan diulang 3 kali, dan percobaan disusun dalam rancangan acak kelompok. Untuk memaksimalkan pertumbuhan, semua media tanam di dalam pot diberi pupuk dasar N, P dan K dengan dosis setara 100 kg urea/ha, 50 kg KCl/ha, dan 50 kg SP₃₆/ha, serta kompos dengan dosis 10 t/ha. Penambahan ammonium thiosulfat (dosis 0, 4 dan 8 g/kg media) dalam bentuk larutan, dilakukan setelah tumbuhan berumur 6 minggu, atau 2 minggu sebelum panen. Selama percobaan, pemberian air dilakukan setiap hari untuk menjaga kecukupan pasokan air untuk pertumbuhan tanaman. Dua minggu sebelum dipanen diberi ammonium thiosulfat, kemudian tanaman dipanen (umur 12 minggu). Pada saat panen, tajuk dan akar dipisahkan, di cuci, ditimbang, kemudian di keringkan selama 48 jam pada 40°C untuk analisis serapan unsur Hg. Untuk mengukur kandungan Hg dalam tanaman, 1 g tajuk dan akar (berat kering oven) di masukkan ke dalam gelas ukur kemudian ditambah dengan 15 mL larutan HNO₃ dan HCl pada rasio 1:3. Sampel kemudian di

larutkan dalam gelas volumetrik dan filtrat dilarutkan menjadi 50 ml (batas miniskus) dengan air bebas ion. Pengukuran kadar Hg dilakukan dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer, type AAnalyst 50, PerkinElmer, UK. di laboratorium kimia tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

3.3.2. Uji Lanjut Dengan Tanaman Pangan Pascafitoremediasi

Media tanam dalam polibag bekas penelitian proses fitoremediasi (disebut media tanam pascafitoremediasi), digunakan untuk menanam jagung selama 12 minggu (akhir fase generatif). Perlakuan yang diterapkan adalah sama dengan perlakuan penelitian sebelumnya, yaitu 6 perlakuan (2 jenis media tanam dan 3 dosis ammonium thiosulfat), ditambah dengan 2 perlakuan kontrol. Perlakuan kontrol adalah 2 media tanam, yaitu campuran 70% tanah dan 30% *tailing* amalgamasi, dan campuran 70% tanah dan 30% *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate dan tanpa proses fitoremediasi). Dengan demikian, terdapat 8 perlakuan (6 perlakuan penelitian sebelumnya dan 2 kontrol). Masing-masing perlakuan di ulang 3 kali, sehingga terdapat 24 satuan perlakuan (Tabel 2). Setiap polibag diberi pupuk dasar setara 100 kg Urea/ha, 50 kg SP₃₆/ha dan 50 kg KCl/ha. Delapan perlakuan disusun dalam rancangan acak kelompok dengan 3 ulangan. Selama percobaan, kandungan air tanah dipertahankan pada kondisi 100% kapasitas lapangan karena pada kondisi kapasitas lapang ini keadaan tanah cukup untuk mencapai kelembapan tanah pada tanaman sehingga tanaman tidak kekurangan air dalam proses penyerapan unsur hara, pemberian air dilakukan dengan cara menambahkan/menyiram air secara periodik. Pertumbuhan tanaman jagung (tinggi tanaman), diamati setiap minggu selama 12 minggu. Pada saat panen (12 minggu), dilakukan pengamatan (1) berat basah dan berat kering tajuk dan akar tanaman jagung, (2) konsentrasi Hg dalam tajuk dan akar tanaman jagung, dan (3) konsentrasi Hg dalam tanah. Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan analisis ragam (Anova) dilanjutkan dengan uji BNJ 5%. Dan keereatan diuji dengan korelasi dengan menggunakan Microsoft excel.

Tabel 2. Perlakuan Penelitian

No	Kode	Keterangan
1	Kontrol 1	Media tumbuh 1 (campuran 70% tanah dan 30% <i>tailing</i> sianidasi)
2	Kontrol 2	Media tumbuh 2 (campuran 70% tanah dan 30% <i>tailing</i> amalgamasi)
3	DRT1L0	Media tumbuh 1 pascafitoremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , tanpa penambahan amonium thiosulfat (0 g amonium thiosulfat/kg media)
4	DRT1L4	Media tumbuh 1 pascafitoremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , dengan penambahan 4 g amonium thiosulfat/kg media
5	DRT1L8	Media tumbuh 1 pascafitoremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , dengan penambahan 8 g amonium thiosulfat/kg media
6	DRT2L0	Media tumbuh 2 pascafitoremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , tanpa penambahan amonium thiosulfat (0 g amonium thiosulfat/kg media)
7	DRT2L4	Media tumbuh 2 pascafitoremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , dengan penambahan 4 g amonium thiosulfat/kg media
8	DRT2L8	Media tumbuh 2 pascafitoremediasi dengan <i>Digitaria radicata</i> , dengan penambahan 8 g amonium thiosulfat/kg media



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Konsentrasi Hg tanah

Konsentrasi Hg pada tanah yang tercemar limbah tambang emas rakyat adalah 327 mg/kg (limbah sidasi, T1) dan 393.6 mg/kg (limbah amalgamasi, T2) (Tabel 2). Setelah fitoremediasi dengan *Digitaria radicata* selama 9 minggu dengan penambahan 0, 4 dan 8 g/kg media tanam amonium thiosulfat yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Patitis, 2013), secara berturut-turut konsentrasi Hg pada T1 berkurang 88,58%, 94,64%, dan 95,33%. Pada limbah amalgamasi, fitoremediasi dengan *Digitaria radicata* dengan penambahan 0, 4 dan 8 g/kg media tanam amonium thiosulfat menurunkan konsentrasi Hg tanah 90,74%, 91,24% dan 97,76% untuk T2 (Tabel 2 dan 3). Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis amonium thiosulfat yang ditambahkan ke dalam tanah, konsentrasi Hg yang ada dalam tanah semakin menurun karena Hg yang berikatan dengan amonium thiosulfate bersifat *seluble* dapat diserap tanaman dan/atau hilang karena proses volatilisasi (Patitis, 2013).

Tabel 3. Sifat kimia media tumbuh (Campuran 70% tanah dan 30% *tailing*)

Perlakuan	Konsentrasi Hg tanah (mg/kg)					
	Awal	9 minggu *)			21 minggu *)	
	Hg (A)	Hg (B)	% (A-B)/A	Hg (C)	% (B-C)/B	% (A-C)/A
DRT1L0	327,00	37,33	-88,58%	4,25	-88,61%	-98,70%
DRT1L1	327,00	17,53	-94,64%	6,13	-65,03%	-98,12%
DRT1L2	327,00	15,27	-95,33%	6,18	-59,52%	-98,11%
DRT2L0	393,60	36,47	-90,74%	2,50	-93,14%	-99,36%
DRT2L1	393,60	34,47	-91,24%	3,58	-89,61%	-99,09%
DRT2L2	393,60	8,80	-97,76%	1,84	-79,09%	-99,53%
K1	327,00	-	-	17,45	-	-94,66%
K2	393,60	-	-	17,45	-	-95,56%

Keterangan:

- *) = fitoremediasi selama 9 minggu dengan *D. radicata* (Patitis, 2013)
- **) = penanaman jagung pada tanah pascafitorremidiasi, selama 12 minggu (21 minggu sejak awal fitoremediasi dengan *D. radicata*)
- Hg (A) = konsentrasi Hg awal pada limbah sidanidi (T1) dan Limbah Amalgamai (T2)
- Hg (B) = konsentrasi Hg pada tanah (pascafitorremidiasi) setelah 9 minggu fitoremediasi dengan *D. radicata*
- Hg (C) = konsentrasi Hg pada tanah pascafitorremidiasi yang ditanami jagung selama 12 minggu

Setelah tanah pascafitoremediasi ditanami jagung selama 12 minggu, konsentrasi Hg tanah pada pascapanen jagung umur 12 minggu, konsentrasi Hg tanah yang tercemar limbah sianidasi berkisar dari 4,25 mg/kg (DRT1L0) sampai dengan 17,45 mg/kg (Kontrol T1), sedangkan pada tanah tersecemar limbah amalgamasi, konsentrasi Hg berkisar dari 1,84 mg/kg (DRT2L2) sampai dengan 17,45 mg/kg (Kontrol T2). Secara keseluruhan, pada tanah yang tercemar Hg limbah sianidasi (T1), setelah fitoremediasi dengan *Digitaria radicata* selama 9 minggu yang kemudian dilanjutkan dengan penanaman jagung selama 12 minggu (sehingga seluruh proses perlakuan berlangsung selama 21 minggu), terjadi penurunan konsentrasi Hg tanah rata-rata 97,40%, sedangkan pada tanah tercemar Hg limbah amalgamasi (T2) terjadi penurunan Hg rata-rata 98,38%, tergantung pada jumlah dosis ammonium thiosulfat yang ditambahkan pada saat fitoremediasi dengan *Digitaria radicata*. Konsentrasi Hg tanah yang ada pada tanah yang tidak mengalami proses fitoremediasi dengan *Digitaria radicata* selama 9 minggu (hanya ditanami jagung), penurunan Hg tanah mencapai 94,66% (pada tanah tercemar limbah sianidasi), dan 95,56% (pada tanaman tercemar limbah amalgamasi). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman jagung juga mampu menyerap Hg. Pemanfaatan tanaman jagung sebagai tanaman remediator dianggap sebagai tanaman hiperakumulator yang memiliki kemampuan baik dalam hal menyerap logam berat (Leskona *et al.*, 2012). Tetapi ada 2 kemungkinan yang menyebabkan konsentrasi Hg dalam tanah berkurang, pertama konsentrasi logam berat diserap jagung dengan bantuan bahan organik atau senyawa pengkhelat (ammonium thiosulfate) yang mampu mengakumulasi logam berat (Christianoyd, 2012). Kedua, Hg memiliki karakteristik yang unik yaitu mampu menguap di udara pada suhu 37°C. Hal ini sesuai dengan pernyataan Pivetz (2001) yang menyatakan bahwa penurunan konsentrasi Hg dalam tanah karena Hg mampu menguap di udara, dimana polutan Hg yang telah diserap oleh tanaman kemudian ditranslokasikan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke udara (volatilisasi).

4.2. Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung

4.2.1. Tinggi Tanaman Jagung

Pengukuran tinggi tanaman jagung ini dilakukan setiap minggu yaitu pada 7,14,21,28,35,42,49,56,63,70,77 dan 84 HST, pengukuran tinggi tanaman jagung ini berfungsi sebagai parameter pengamatan penelitian ini karena tanaman jagung dianggap sebagai tanaman yang responsive terhadap perlakuan yang diberikan salah satunya dengan cekaman logam berat yang ada pada media tanam. Pada penelitian ini semua kombinasi perlakuan yang ada berdasarkan analisis sidik ragam (Anova) dengan uji BNJ 5% berpengaruh nyata (Lampiran 7a) terhadap tinggi tanaman jagung, seiring berjalannya waktu tinggi tanaman semakin meningkat.

Tabel 4. Hasil Rerata Tinggi Tanaman 84 HST

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)			
	L0	L1	L2	K
T1	144bc	161,6bc	158,23bc	103,21ab
T2	170,33b	161,67bc	166,67bc	100,15a
BNJ 5%	42,15			

Keterangan :T1(Tanah tercemar *tailing* Sianidasi)), L0 (Tanpa penambahan ammonium thiosulfate), T1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media), T2 (penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K1 (Kontrol tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi), K2 (Kontrol tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Hasil rerata tinggi tanaman jagung 84 HST memiliki nilai yang bervariasi dari yang paling tinggi sampai paling rendah yaitu pada perlakuan dengan kombinasi DRT2L0 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat), kemudian diikuti dengan DRT2L2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8g/kg media), kemudian diikuti oleh DRT2L1 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4g/kg media), kemudian diikuti oleh DRT1L1 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4g/kg media), kemudian diikuti oleh DRT1L2 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8g/kg media), kemudian diikuti oleh DRT1L0 (Tanah tercemar *tailing*

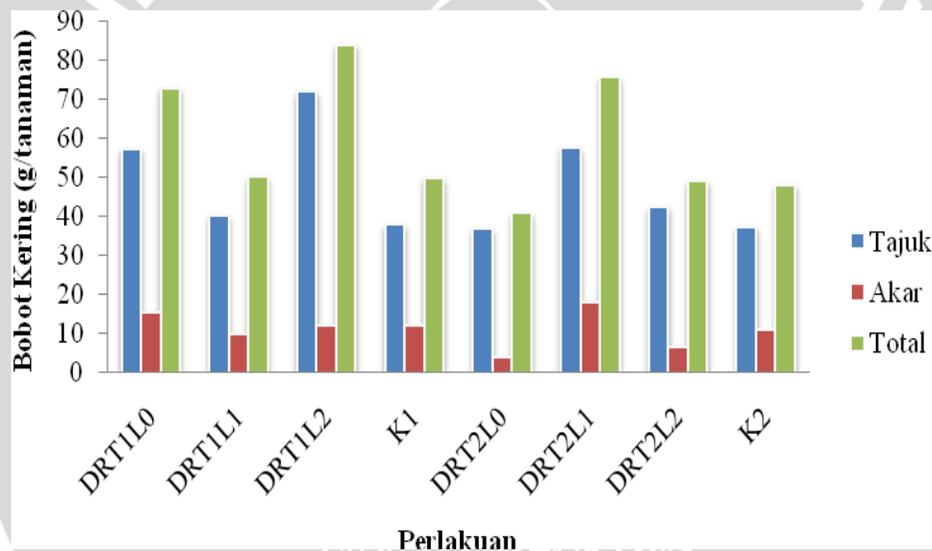
sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat), kemudian diikuti oleh K1 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa proses fitoremediasi) dan yang terakhir adalah K2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa proses fitoremediasi). Dengan nilai berturut-turut sebagai berikut 170,33 cm; 166,67 cm; 161,67 cm; 161,60 cm; 158,23 cm; 144,00 cm; 103,21 cm; dan 100,15 cm.

Hal ini karena karena tingkat keracunan pada media tanam sudah mulai menurun sehingga tanaman jagung sudah mampu untuk beradaptasi terhadap cekaman logam berat dengan konsentrasi Hg yang sudah menurun. Selain itu pemberian ataupun tanpa penambahan ammonium thiosulfat pada perlakuan kombinasi fase pascafitoremediasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan, hal ini diduga karena konsentrasi Hg yang ada didukung dengan adanya proses fitoremediasi dan penambahan ammonium thiosulfate yang mampu mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Semakin bertambahnya konsentrasi *tailing* pada media tanaman maka pertumbuhan tanaman akan semakin menurun (Rosiana, 2003).

Sedangkan pada perlakuan kontrol tanpa proses fitoremediasi dan tanpa penambahan ammonium thiosulfat memiliki tinggi tanaman yang lebih rendah dibandingkan kombinasi perlakuan yang ada hal ini karena tanaman tersebut hanya mampu berusaha untuk tetap bertahan hidup dengan kandungan nutrisi yang minim (Christianoyd, 2013). Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Febrero *et al.* (2006) yang menyatakan bahwa tanaman mampu beradaptasi dengan respon stress Hg, salah satunya dengan mengeluarkan *Phytochelatin* yang dikeluarkan melalui akar. Semakin banyak *phytokelatin* yang dikeluarkan tanaman untuk merespon stress Hg nya maka semakin tinggi respon tanaman untuk beradaptasi terhadap cekaman logam berat. Selain digunakan dalam meningkatkan serapan Hg ammonium thiosulfate yang diberikan dalam jumlah yang banyak juga akan mempengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman karena sebenarnya ammonium thiosulfat ini bersifat racun, hal ini juga dibuktikan dalam pernyataan Subiksa (2002) menurunnya kesehatan tanah ini dapat disebabkan oleh adanya akumulasi logam berat yang berlebihan yang ada didalam tanah.

4.2.2. Produksi Biomassa Tanaman Jagung

Biomassa tanaman diperoleh dari hasil penimbangan yang dilakukan setelah panen, kemudian dioven selama \pm 1 minggu dengan suhu 40°C sampai diperoleh berat yang konstan kemudian timbang berat kering tanaman selanjutnya berat kering yang sudah ditimbang digunakan sebagai bahan untuk menganalisis serapan Hg yang terkandung dalam tanaman jagung. Kemudian pisahkan bagian organ tanaman jagung antara akar, batang, daun, dan biji untuk mengetahui bagian organ tanaman bagian mana yang memiliki kandungan Hg paling tinggi sampai yang paling rendah yang terdapat pada bagian jagung yang mengandung logam berat.



Gambar 5. Grafik rerata biomassa tajuk dan akar pada jagung

Keterangan : T1(Tanah tercemar *tailing* Sianidasi), T2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi), L0 (Tanpa penambahan ammonium thiosulfate), T1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media), T2 (penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K1 (Kontrol tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi), K2 (Kontrol tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Dari hasil perhitungan dan analisis sidik ragam (Anova) dengan uji BNJ 5%, Berat kering tajuk dan berat kering akar dari semua kombinasi perlakuan tidak berpengaruh nyata. Rerata berat kering tanaman jagung tertinggi sampai terendah pada bagian tajuk tanaman jagung terdapat pada perlakuan DRT1L2 (Tanah tercemar

tailing sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media) sebesar 72,20 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT2L1 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4g/kg media) sebesar 57,73 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT1L0 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate) sebesar 57,46 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT2L2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media) sebesar 42,53 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT1L1 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media) sebesar 40,26 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh K1 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi) sebesar 37,88 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh K2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi) sebesar 37,42 g/tanaman, dan yang terakhir adalah DRT2L0 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) sebesar 36,96 g/tanaman.

Sedangkan rerata berat kering akar tanaman jagung tertinggi sampai yang terendah adalah DRT2L1 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media) sebesar 18,2 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT1L0 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) sebesar 15,6 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT1L2 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg tanaman), selanjutnya diikuti oleh K1 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi) sebesar 12,00 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh K2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi) sebesar 10,8 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT1L1 (Tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media) sebesar 10,00 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT2L2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg) 6,6 g/tanaman, selanjutnya diikuti oleh DRT2L0 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) sebesar 3,9 g/tanaman.

Tinggi dan rendahnya suatu bobot biomassa ini ditentukan dari berat kering masing-masing bagian tanaman yang dipengaruhi oleh pertumbuhan dan perkembangan dari masing-masing organnya (Dwijoseputro, 1994). Pembentukan organ tanaman seperti akar, batang dan daun dipengaruhi oleh ketersediaan air, dan serapan air dalam organ tanaman akan mempengaruhi berat basah tanaman (Leskona *et al.*, 2013). Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Fitter *et al.*(2001) yang menyatakan bahwa tingginya tingkat cekaman logam berat yang terkandung pada tanaman akan mempengaruhi sistem metabolisme yang mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan dan perkembangan pada akar sehingga asupan nutrisi menjadi terhambat dan menurunkan pertumbuhan tanaman bagian atas.

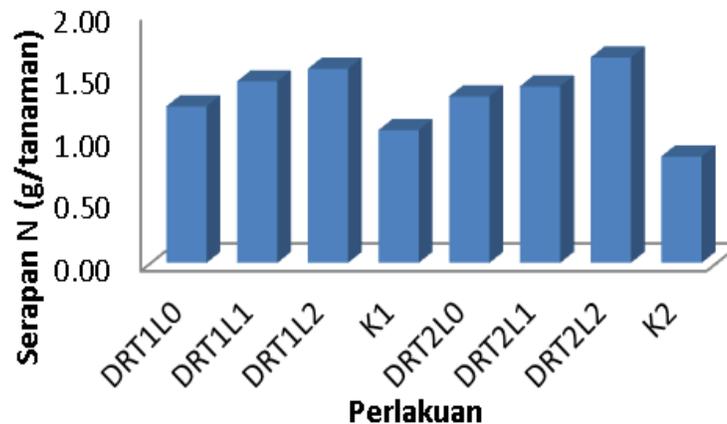
Hal ini sesuai dengan penelitian dari Suherlina (2010), bahwa penambahan $(\text{NH}_4)_2\text{S}_3\text{O}_4$ ternyata hanya berfungsi dalam meningkatkan serapan Hg (Merkuri) pada tanaman saja, tetapi tidak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap pertumbuhan (Tinggi tanaman, panjang akar, dan berat kering). Menurut Simarmata (2005) menyatakan bahwa akumulasi dalam penyerapan bahan-bahan organik pada saat fotosintesis mempengaruhi berat kering tanaman.

4.2.3. Serapan N pada Tanaman Jagung

Unsur N merupakan salah satu unsur esensial makro yang dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan khususnya tanaman jagung, unsur N sebagai pembentukan klorofil salah satu bahan yang digunakan semua tanaman untuk fotosintesis sehingga menghasilkan fotosintat. N merupakan salah satu unsur esensial makro yang sangat dibutuhkan oleh tanaman sebagai pembentukan klorofil, dengan adanya klorofil tanaman mampu meningkatkan proses fotosintesis yang akan berpengaruh baik terhadap jumlah daun dan luasan daun (Dwidjoseputro, 1994).

Pada proses fotosintesis ini ada berbagai siklus tanaman yang terjadi seperti metabolisme pada tanaman yang akan memacu semua sistem kerja tanaman pada fase vegetatif dan generatif sehingga tanaman mampu menghasilkan cadangan makan berupa tongkol untuk tanaman jagung. Hasil perhitungan Serapan N ini di dapatkan dari Nilai kadar N total dikalikan dengan berat kering total tanaman. Dari hasil

analisis sidik ragam (ANOVA) dengan uji BNJ 5% menunjukkan bahwa pemberian kombinasi pada perlakuan memiliki pengaruh yang nyata (Lampiran 7b) terhadap serapan N.



Gambar 6. Rerata serapan N pada tanaman jagung

Keterangan : T1 (Tanah tercemar *tailing* Sianidasi), T2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi), L0 (Tanpa penambahan ammonium thiosulfate), T1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media), T2 (penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K1 (Kontrol tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi), K2 (Kontrol tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Dapat dilihat nilai serapan N tanaman dari yang paling tinggi sampai dengan yang paling rendah yaitu pada DRT2L2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media), selanjutnya DRT1L2 (tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media), selanjutnya DRT1L1 (tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan tambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), selanjutnya DRT2L1 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), selanjutnya DRT2L0 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat), selanjutnya DRT1L0 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate), selanjutnya K1 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), selanjutnya K2 (tanah tercemar

tailing amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi). Dengan nilai berturut-turut 1.64 g/tanaman; 1.55 g/tanaman; 1.45 g/tanaman; 1.41 g/tanaman; 1.33 g/tanaman; 1.25 g/tanaman; 1.06 g/tanaman; 0.85 g/tanaman.

Tinggi rendahnya serapan N pada tanaman ini dipengaruhi oleh konsentrasi Hg pada *tailing* dengan penambahan ammonium thiosulfate sebagai pengkhelat, semakin tinggi kandungan *tailing* maka akan mempengaruhi tanaman untuk beradaptasi terhadap lingkungan tersebut, sehingga menyebabkan terhambatnya serapan N pada tanaman. Berikut reaksi kimia HgCl₂ dan (NH₄)₂S₂O₃ :

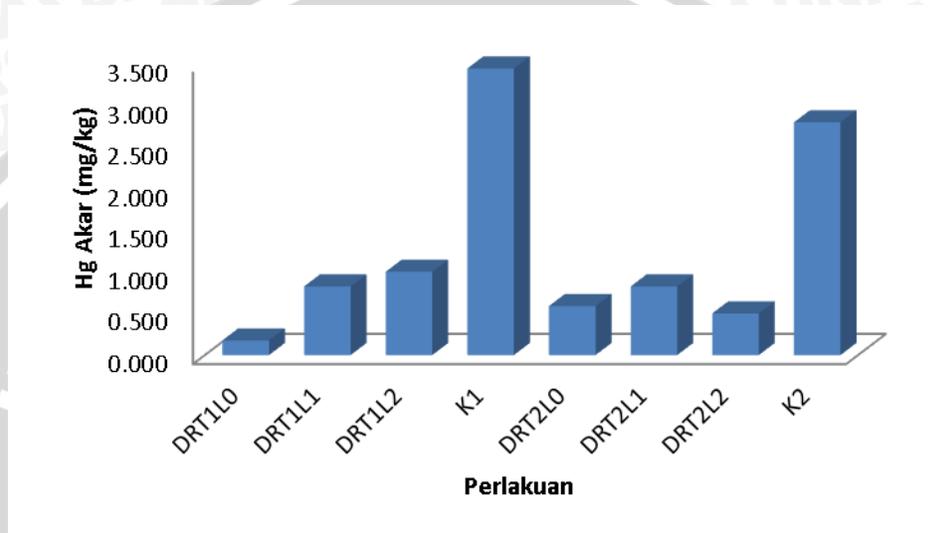


Ikatan antara HgCl₂ dan (NH₄)₂S₂O₃ menghasilkan HgS₂O₃ (Hg-thiol-sulfat) sebagai senyawa kompleks yang kuat dan stabil, dan juga diduga mempunyai toksistas yang lebih rendah dibandingkan ion bebas (Moreno *et al.*, 2005; Irwan, 2009; Febrero *et al.*, 2006).

Namun disisi lain senyawa khelat ini sangat bergantung pada faktor konsentrasi Hg yang ada pada media dan presentase pemberian ammonium thiosulfate pada media tanamnya karena penambahan ammonium thiosulfate ini mampu meningkatkan serapan Hg pada tanaman secara maksimum. Menurut Fitter *et al.* (2001) tumbuhan memiliki kemampuan dalam mengakumulasi ion sampai tingkat konsentrasi tertentu. Selain itu penambahan khelat Ammonium thiosulfate ini juga dapat meningkatkan asupan unsur N dan S bagi tanaman pada substrat (Remirez *et al.*, 1991). Tetapi disisi lain pemberian senyawa khelat yang berlebihan akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, karena khelat akan memacu toksik pada tanah sehingga bersifat racun bagi tanaman dan dapat mengganggu proses metabolisme pada tanaman.

4.3.2. Serapan Hg pada tanaman jagung

Hasil perhitungan Serapan Hg pada tanaman jagung dari hasil analisis sidik ragam (Anova) dengan uji BNJ 5% bahwa pemberian kombinasi pada perlakuan memiliki pengaruh yang nyata terhadap serapan Hg pada tanaman jagung (Lampiran 7c).

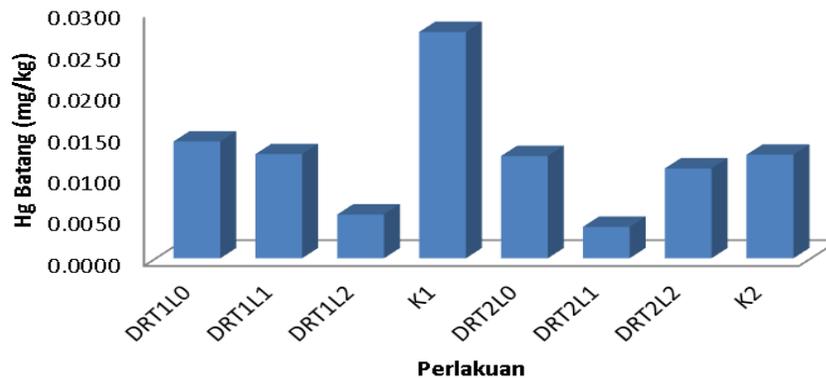


Gambar 7. Serapan Hg pada akar tanaman jagung

Keterangan : T1 (Tanah tercemar *tailing* Sianidasi), T2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi), L0 (Tanpa penambahan ammonium thiosulfate), T1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media), T2 (penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K1 (Kontrol tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi), K2 (Kontrol tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Dari hasil penelitian didapatkan nilai serapan Hg paling tinggi di dapat pada perlakuan kombinasi K1 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), selanjutnya diikuti oleh K2 (tanah tercemar *tailing* amalgamadi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), selanjutnya diikuti oleh DRT1L2 (tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh DRT2L1 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh DRT1L1 (tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh DRT2L0 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan

ammonium thiosulfat), selanjutnya diikuti oleh DRT2L2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media), dan yang terakhir adalah DRT1L0 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat). Dengan nilai sebagai berikut secara berturut-turut K1 (3,441 mg/kg); K2 (2,794 mg/kg); DRT1L2 (1,000 mg/kg); DRT2L1 (0.824 mg/kg); DRT1L1 (0.824 mg/kg); DRT2L0 (0.588 mg/kg); DRT2L2 (0.500 mg/kg); DRT1L0 (0.176 mg/kg). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Hg pada tanah yang tercemar Hg akan meningkatkan serapan Hg pada tanaman, sedangkan untuk perlakuan dengan kombinasi penambahan ammonium thiosulfate memiliki serapan Hg yang lebih rendah dikarenakan pada perlakuan kombinasi ini telah berlangsung proses fitoremediasi yang mampu menurunkan konsentrasi Hg yang ada pada media yang tercemar Hg. Selain itu akar merupakan salah satu organ tanaman yang pertama kali memulai proses akumulasi logam berat yang ada pada media sehingga menyebabkan serapan Hg pada akar lebih tinggi di bandingkan bagian organ tanaman lainnya (Sagita, 2002). Tanaman jagung yang tumbuh pada media dengan kombinasi yang ada ini telah beradaptasi dengan media terhadap cekaman Hg yang ada pada media tanam hal ini juga sesuai dengan pernyataan Febrero *et al.* (2006) menyatakan bahwa adanya proses adaptasi tanaman dengan merespon stress Hg adalah dengan mengeluarkan *phytochelatin* yang dikeluarkan melalui akar. Tanaman jagung mampu mengabsorpsi ion dari logam berat yang ada pada media dengan menurunkan tingkat toksic Hg pada tanaman dengan cara pembentukan khelat (*Chelation*), pengenceran, lokalisasi atau bahkan ekskresi (Corseuil dan Moreno, 2000).



Gambar 8. Serapan Hg pada batang tanaman jagung

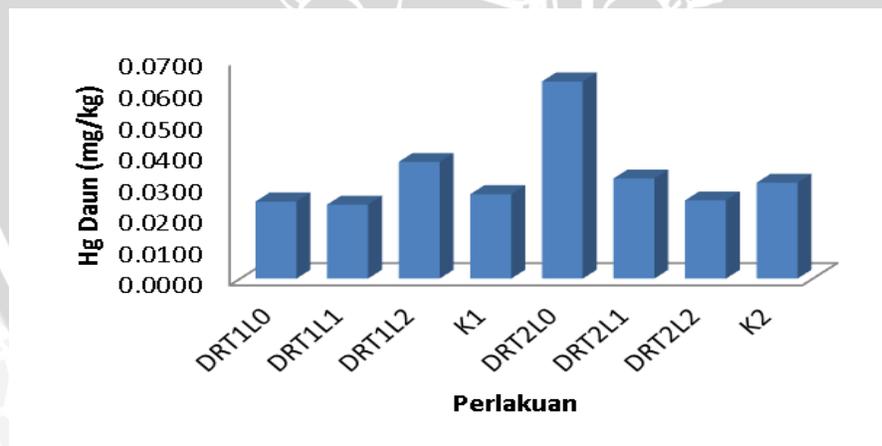
Keterangan : T1/ (Tanah tercemar *tailing* Sianidasi), T2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi), L0 (Tanpa penambahan ammonium thiosulfate), T1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media), T2 (penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K1 (Kontrol tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi), K2 (Kontrol tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Dari hasil penelitian yang ada bahwa serapan Hg pada batang berdasarkan analisis sidik ragam (Anova) dengan uji BNJ 5% memiliki pengaruh yang nyata (Lampiran. 7d) di dapatkan nilai serapan Hg paling tinggi sampai dengan yang paling rendah pada perlakuan kombinasi K1 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), kemudian diikuti oleh DRT1L0 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat), kemudian diikuti oleh DRT1L1 (tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh K2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), selanjutnya diikuti oleh DRT2L0 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) kemudian diikuti oleh DRT2L2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media), kemudian diikuti oleh DRT1L2 (tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media) kemudian diikuti oleh DRT2L1 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media). Dengan nilai sebagai berikut secara berturut-turut K1 (0.027 mg/kg); DRT1L0 (0.014 mg/kg);

DRT1L1 (0.012 mg/kg); K2 (0.012 mg/kg); DRT2L0 (0.0124 mg/kg); DRT2L2 (0.010 mg/kg); DRT1L2 (0.005 mg/kg) dan yang terakhir DRT2L1 (0.003 mg/kg).

Pada perlakuan K1 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), serapan Hg pada batang lebih tinggi dibandingkan dengan kombinasi perlakuan yang lainnya hal ini masih berhubungan dengan *phytochelatin* yang dihasil tanaman jagung untuk beradaptasi terhadap cekaman logam berat, sehingga kemampuan tanaman untuk mentranslokasikan ion logam berat semakin bertambah dan menyebabkan serapan Hg pada batang tertinggi terdapat pada perlakuan dengan kombinasi K1.

Hal ini juga dikarenakan tanaman jagung dianggap memiliki sifat dengan tanaman hiperakumulator yang memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat dengan baik (Leskona *et al.* 2013). Menurut Connel & Miller (1995) menyatakan bahwa kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi dan menyerap logam berat dibagi menjadi tiga proses yang saling berkaitan, yaitu; akumulasi logam berat oleh akar, translokasi logam berat dari sel-sel dari akar untuk dilanjutkan ke bagian tumbuhan lain melalui floem dan xylem, dan yang terakhir lokalisasi logam berat ke bagian sel tertentu pada tanaman agar tidak menghambat proses metabolisme.



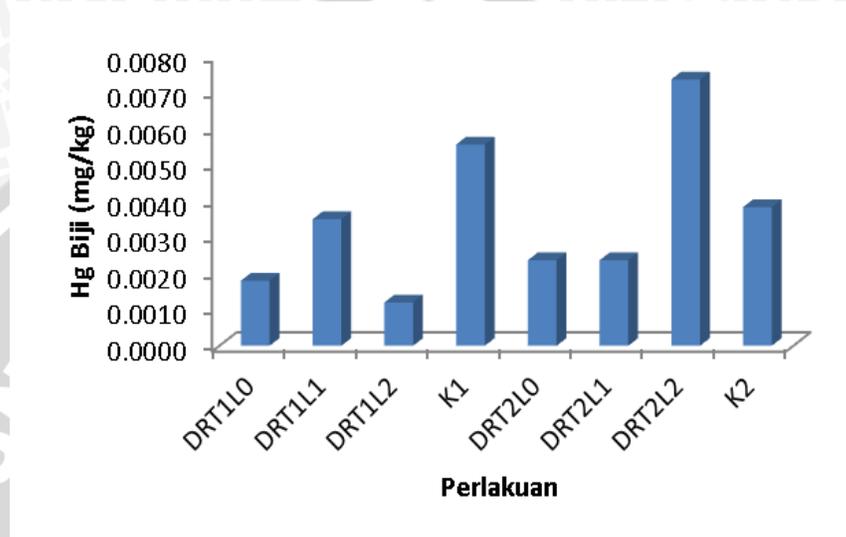
Gambar 9. Serapan Hg pada daun tanaman jagung

Keterangan :T1/(Tanah tercemar *tailing* Sianidasi), T2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi), L0 (Tanpa penambahan ammonium thiosulfate), T1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media), T2 (penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K1 (Kontrol tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi), K2 (Kontrol tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Dapat dilihat dari hasil penelitian yang ada serapan Hg pada daun dengan analisis sidik ragam (Anova) dengan uji BNJ 5% memiliki pengaruh yang nyata (Lampiran. 7e), dengan nilai serapan Hg sebagai berikut berturut-turut mulai dari yang paling tinggi sampai dengan yang paling rendah dimulai dari perlakuan DRT2L0 (tanah tercemar tailing amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat), selanjutnya diikuti oleh DRT1L2 (tanah tercemar tailing sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh DRT2L1 (tanah tercemar tailing amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh K1 (tanah tercemar tailing sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), selanjutnya diikuti oleh K2 (tanah tercemar tailing amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), selanjutnya diikuti oleh DRT2L2 (tanah tercemar tailing amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh DRT1L0 (tanah tercemar tailing sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat), dan yang terakhir DRT1L1 (tanah tercemar tailing sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media). Dengan nilai serapan sebagai berikut secara berturut-turut DRT2L0 (0.063 mg/kg); DRT1L2 (0.037 mg/kg); DRT2L1 (0.032 mg/kg); K1 (0.030 mg/kg); K2 (0.020 mg/kg); DRT2L2 (0.025 mg/kg); DRT1L0 (0.024 mg/kg); dan DRT1L1 (0.024 mg/kg).

Hal ini terjadi karena terjadi perpindahan logam berat dari jaringan akar menuju jaringan sel tumbuhan lainnya sesuai dengan pernyataan Febrero *et al.* (2006) yang menyatakan menyatakan bahwa adanya proses adaptasi tanaman dengan merespon stress Hg adalah dengan mengeluarkan *phytochelatins* yang dikeluarkan melalui akar. Pengangkutan logam pada bagian tumbuhan dari sel satu menuju sel yang lainnya dibantu oleh protein yang ada pada tumbuhan tersebut dan didorong dengan adaptasi dari tanaman itu sendiri sehingga tanaman mampu untuk mengkumulasi dan mentranslokasikan logam berat tersebut menuju ke jaringan tanaman yang lainnya. Hal ini juga ditunjang dengan hasil penelitian dari Roberts *et al.* (2004) yang menyatakan bahwa pengangkutan logam berat oleh tumbuhan ini

dibantu oleh senyawa khelat dalam bentuk kompleks seperti fitosederofor. Senyawa organik yang terlarut pada molekul dapat meningkatkan translokasi logam berat menuju sel membrane tumbuhan dengan bantuan senyawa khelat yang dimiliki oleh tumbuhan itu sendiri (Notohadiprawiro *et al.*, 1991)



Gambar 10. Serapan Hg pada biji tanaman jagung

Keterangan :T1(Tanah tercemar *tailing* Sianidasi), T2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi), L0 (Tanpa penambahan ammonium thiosulfate), T1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media), T2 (penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K1 (Kontrol tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi), K2 (Kontrol tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Dari data hasil penelitian yang ada serapan Hg pada biji jagung yang memiliki nilai tertinggi sampai dengan yang paling rendah adalah dengan kombinasi perlakuan sebagai berikut DRT2L2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh K1 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi), selanjutnya diikuti oleh K2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat), selanjutnya diikuti oleh DRT1L1 (tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh DRT2L1 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), selanjutnya diikuti oleh DRT2L0 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate), selanjutnya

diikuti oleh DRT1L0 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) dan yang terakhir adalah DRT1L2 (tanah tercemar *tailing* sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfate 8 g/kg media). Dengan niali berturut-turut sebagai berikut DRT2L2 (0.0074 mg/kg); K1 (0.0056 mg/kg); K2 (0.0038 mg/kg); DRT1L1 (0.0035 mg/kg); DRT2L1 (0.0024 mg/kg); DRT2L0 (0.0024 mg/kg); DRT1L0 (0.0018 mg/kg); dan yang terakhir DRT1L2 (0.0012 mg/kg).

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa nilai serapan Hg sangat bervariasi pada media bekas fitoremediasi dengan ataupun tanpa penambahan ammonium thiosulfate. Logam yang sudah diserap akar akan mengalami transpirasi yang akan mencapai daun, sedangkan akumulasi logam yang diserap oleh tanaman akan membentuk mekanisme sel dan ikut terserap oleh bersama air yang dibutuhkan tanaman sebagai nutrisi (Muin, 2003). Menurut Priyanto dan Prayitno (2002) akumulasi dan penyerapan tanaman terhadap logam berat dibagi menjadi 3 yaitu: 1) penyerapan oleh akar, 2) translokasi dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan 3) lokalisasi logam pada bagian sel tertentu yang menjaga agar tidak mengganggu proses metabolisme tumbuhan. Pengangkutan logam pada bagian tumbuhan dari sel satu menuju sel dibantu oleh protein yang ada pada tumbuhan tersebut dan didorong dengan adaptasi dari tanaman itu sendiri sehingga tanaman mampu untuk mengkumulasi dan mentranslokasikan logam berat tersebut menuju ke jaringan tanaman yang lainnya. Hal ini juga ditunjang dengan hasil penelitian dari Roberts *et al.* (2004) yang menyatakan bahwa pengangkutan logam berat oleh tumbuhan ini dibantu oleh senyawa khelat dalam bentuk kompleks seperti fitosederofor. Senyawa organik yang terlarut pada molekul dapat meningkatkan translokasi logam berat menuju sel membrane tumbuhan dengan bantuan senyawa khelat yang dimiliki oleh tumbuhan itu sendiri (Notohadiprawiro *et al.*, 1991).

Perbedaan pada bagian tajuk dan akar ini memberikan perbedaan pada nilai BAC (Biological Accumulation Factor) dan BCF (Biological Concentrate Factor). Dari hasil data penelitian di dapatkan bahwa serapan Hg pada akar lebih tinggi dibandingkan serapan Hg pada tajuk. Dari hasil analisis sidik ragam (Anova) dengan uji BNJ 5% menunjukkan bahwa BCF berpengaruh nyata (Lampiran 7f) hal

dikarenakan dengan adanya penambahan atau tanpa ammonium thiosulfate tidak mempengaruhi seberapa besar jagung menyerap Hg yang ada didalam tanah pascafitorremediasi. Dapat dilihat pada Tabel 4. Bahwa nilai BCF tertinggi di dapatkan pada perlakuan kombinasi DRT2L0 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) sebesar 0,031 mg/kg dan terendah adalah K2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi) sebesar 0,003 mg/kg. Hal yang sama juga terjadi pada BAC dengan hasil analisis sidik ragam (Anova) dengan uji BNJ 5% menunjukkan bahwa BAC tidak berpengaruh nyata terhadap penambahan ataupun tanpa penambahan ammonium thiosulfate hal ini sesuai dengan data BAC yang ada bahwa nilai BAC tertinggi di dapatkan dari perlakuan kombinasi DRT2L2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media) sebesar 0,277 mg/kg, sedangkan nilai terendah di dapatkan pada perlakuan DRT1L0 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) sebesar 0,040 mg/kg. Sedangkan untuk nilai TF (translokasi Factor) dengan hasil analisis sidik ragam (Anova) dengan uji BNJ 5% menunjukkan hasil yang tidak nyata, dimana nilai tertinggi dari perlakuan kombinasi di dapatkan pada DRT1L0 (tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) sebesar 0,380 mg/kg sedangkan nilai terendah di dapatkan pada perlakuan dengan kombinasi K2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa proses fitoremediasi) sebesar 0,017 mg/kg.

Hal ini disebabkan dengan adanya penambahan ataupun tanpa penambahan ammonium thiosulfate tidak mempengaruhi serapan Hg pada media yang sebelumnya sudah diaplikasikan dengan penambahan ammonium thiosulfate. Ikatan antara HgCl_2 dan $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ menghasilkan HgS_2O_3 (Hg-thiol-sulfat) sebagai senyawa kompleks yang kuat dan stabil, dan juga diduga mempunyai toksistas yang lebih rendah dibandingkan ion bebas (Moreno *et al.*, 2005; Irwan, 2009; Febrero *et al.*, 2006).

Tabel 5. Nilai Rerata *Biological Accumulation Coefficient* (BAC), *Biological Concentration Factor* (BCF), dan *Translocation Factor* (TF) pada Tanaman Jagung (*Zea mays* L.)

Perlakuan	BCF	BAC	TF
	(Hg Akar/Hg Tanah)	(Hg Tajuk/Hg Tanah)	(Hg Tajuk/Hg Akar)
DRT1L0	0.010ab	0.040	0,380
DRT1L1	0.007ab	0.145	0,088
DRT1L2	0.007ab	0.198	0,049
K1	0.003ab	0.199	0,019
DRT2L0	0.031c	0.239	0,139
DRT2L1	0.012b	0.267	0,047
DRT2L2	0.024cd	0.277	0,089
K2	0.003a	0.161	0,017
BNJ 5%	0.0078	0,173	0,273

Keterangan : T1(Tanah tercemar *tailing* Sianidasi), T2 (Tanah tercemar *tailing* amalgamasi), L0 (Tanpa penambahan ammonium thiosulfate), T1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media), T2 (penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K1 (Kontrol tanah tercemar *tailing* sianidasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi), K2 (Kontrol tanah tercemar *tailing* amalgamasi tanpa pemberian ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Dari hasil penelitian pada factor translokasi ini menandakan bahwa tanaman jagung (*Zea mays* L.) dapat dikategorikan sebagai tanaman akumulator sesuai dengan pernyataan Tjahaja (2006), bahwa nilai FT (faktor transfer) relatif >1 (kisaran 1,06–8) berpotensi menjadi tanaman akumulator merkuri sebagai fitoekstraktor, jika FT relatif <1 berpotensi menjadi tanaman akumulator merkuri sebagai fitostabilisator. Namun FT <20 kurang efektif dan ekonomis untuk diaplikasikan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan dari Chaney (1995), yang menyatakan bahwa sebagian besar spesies dari beberapa famili memiliki sifat hipertoleran, yaitu dapat mentoleransi unsur logam dengan konsentrasi tinggi dan mengakumulasi logam berat tersebut pada jaringan akar dan tajuknya, dan sifat hiper akumulator. Kriteria tanaman yang dapat digolongkan sebagai tanaman hiper akumulator adalah : 1) tahan terhadap unsur logam berat dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuk tanaman; 2) tingkat laju penyerapan unsur logam berat yang ada di tanah lebih tinggi di dibandingkan dengan tanaman lainnya; 3) memiliki kemampuan untuk mentranslokasikan dan mengakumulasikan logam berat dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi (Brown, 1995).

4.3.4. Hubungan Antar Parameter dengan pertumbuhan jagung

Hubungan antara Hg tanah dengan serapan Hg pada akar ini memiliki hubungan sangat erat dengan nilai positif ($r=0.873$) (Lampiran. 10) karena semakin tinggi konsentrasi Hg pada tanah maka semakin tinggi pula serapan Hg pada akar. Hubungan Hg Tanah dengan serapan Hg pada batang memiliki hubungan yang sedang dengan nilai positif ($r=0.514$) (Lampiran. 10) karena semakin tinggi konsentrasi Hg pada tanah semakin tinggi pula serapan Hg pada batang. Kemudian hubungan serapan Hg daun dengan BCF memiliki hubungan yang sedang dengan nilai positif ($r=0,549$) (Lampiran. 10) karena semakin tinggi serapan Hg daun maka semakin tinggi pula nilai BCF nya, dimana nilai BCF ini diperoleh dari ratio konsentrasi Hg pada akar dengan konsentrasi Hg tanah, yang mampu mempengaruhi serapan Hg pada bagian tanaman dari akar sampai tajuknya dan yang akan menentukan fungsi tanaman sebagai agen remediator stabilisator atau ekstraktor. Kemudian Hubungan serapan N dengan nilai TF memiliki hubungan yang sedang dengan nilai positif ($r=0,557$) (Lampiran. 10) karena semakin tinggi serapan N maka semakin tinggi pula nilai TF nya, dimana nilai TF ini diperoleh dari ratio konsentrasi Hg pada tajuk dengan konsentrasi Hg akar, yang mampu mempengaruhi serapan nutrisi bagi tanaman. Kemudian hubungan BCF dengan tinggi tanaman memiliki hubungan yang sedang dengan nilai positif ($r=0,541$) (Lampiran. 10) semakin tinggi nilai BCF maka semakin tinggi pula tinggi tanaman, dimana nilai BCF ini diperoleh dari ratio konsentrasi Hg akar dengan konsentrasi Hg pada tanah yang berpengaruh terhadap tinggi tanaman.

Sedangkan untuk parameter yang berkorelasi dengan nilai negatif antara konsentrasi Hg pada tanah dengan nilai BCF dan tinggi tanaman kemudian serapan Hg akar dengan nilai BCF dan tinggi tanaman. Hal ini menunjukkan konsentrasi Hg ini mampu mempengaruhi nilai parameter, dimana semakin tinggi nilai konsentrasi Hg pada tanah dan akar maka nilai BCF nya pun juga akan semakin tinggi nilai tinggi tanaman. Nilai korelasi negative ini menunjukkan tiap-tiap parameter ini memiliki hubungan tetapi berbanding terbalik.

4.4. Pembahasan Umum

Dari hasil penelitian sebelumnya dengan perlakuan kombinasi T1 (tanah tercemar *tailing* sianidasi), T2 (tanah tercemar *tailing* amalgamasi), L0 (tanpa penambahan ammonium thiosulfat), L1(dengan penambahan ammonium thiosulfat 4 g/kg media), dan L2 (penambahan ammonium thiosulfat 8 g/kg media) ini menghasilkan presentase penurunan Hg yang signifikan (Tabel 3.) dimana secara berturut-turut penurunana konsentrasi Hg pada media T1 berkurang 88,58%, 94,64% dan 95,33%, sedangkan pada media T2 turun secara berturut 90,74%, 91,24%, dan 97,76%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi pemberian dosis ammonium thiosulfate yang diberikan pada media T1 dan T2 mampu menurunkan konsentrasi Hg yang ada di dalam tanah, konsentrasi Hg yang ada didalam tanah semakin menurun disebabkan Hg yang larut karena tambahan ammonium thiosulfate dan/atau dapat hilang karena proses volatilisasi (Patitis, 2013). Setelah dilakukan fitoremediasi yang bertujuan untuk menetralsir dan mengurangi konsentrasi Hg yang ada pada tanah maka dilanjutkan dengan menanam tanaman pangan jagung sebagai indikator ketahanan pangan apakah jagung yang ditanaman pada lokasi yang tercemar logam berat mampu mengakumulasi logam tersebut, dan apakah jagung tersebut boleh dikonsumsi secara layak.

Dari hasil analisis kandungan Hg pada tanaman jagung, ternyata tanaman jagung mampu menyerap logam berat yang ada pada media yang tercemar *tailing*. Dimana pada perlakuan kombinasi dengan konsentrasi Hg setelah pascapanen jagung terjadi penurunan pada media T1 4,25 mg/kg (DRT1L0) sampai dengan 17,54 mg/kg (K1) sedangkan pada media T2 18,4 mg/kg (DRT2L2) sampai dengan 17,54 mg/kg (K2). Tanaman jagung memiliki potensi sebagai agen remediator sebagai fitostabilisator dengan nilai TF < 1 yang artinya tanaman mampu mengakumulasi logam berat pada bagian rizhosfer untuk mengurangi kontaminasi logam berat yang ada di dalam tanah. Untuk memaksimalkan peran tanaman jagung sebagai tanaman akumulator yaitu dengan cara memanen seluruh tanaman jagung mulai dari akar sampai ke tongkolnya, guna mengurangi logam berat yang sudah diakumulasi oleh akar tanaman jagung sehingga mampu mengurangi konsentrasi logam berat yang ada

dalam tanah. Karena hal ini sesuai dengan kemampuan potensial tanaman jagung sebagai tanaman agen remediator sebagai fitostabilisator yang mampu untuk mengakumulasi logam berat pada bagian rizhosfer.

Hal ini sesuai dengan pernyataan Leskona *et al.*, (2013), yang menyatakan pemanfaatan tanaman jagung sebagai remediator dianggap memiliki sifat seperti tanaman hiperakumulator yang mampu menyerap logam berat lebih baik. Pada umumnya Semua tanaman memiliki keragaman dalam tingkat penyerapan logam berat (Chaney, 1995). Sejumlah spesies banyak dikategorikan mampu untuk menyerap logam berat dengan konsentrasi tinggi pada bagian akar dan tajuk karena memiliki sifat hipertoleran pada. Tanaman yang memiliki sifat hipertoleran ini dapat mengakumulasi logam berat konsentrasi tinggi yang berada pada tanah untuk di akumulasikan pada tajuk yang disebut dengan proses fitoekstraksi sedangkan tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat pada bagian akar disebut dengan proses fitostabilisasi. Kriteria tanaman yang dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator adalah : 1) tahan terhadap unsur logam berat dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuk tanaman; 2) tingkat laju penyerapan unsur logam berat yang ada di tanah lebih tinggi di dibandingkan dengan tanaman lainnya; 3) memiliki kemampuan untuk mentranslokasikan dan mengakumulasikan logam berat dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi (Brown, 1995). Gejala keracunan pada tanaman jagung umumnya tidak terlihat dengan jelas, tetapi berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman jagung (Tinggi tanaman, jumlah dau, dan berat kering tanaman) (Christianoyd, 2013).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Tanaman jagung (*Zea mays* L.) memiliki potensi sebagai tanaman agen remediator sebagai fitostabilisator ($TF > 1$) dengan nilai TF tertinggi pada perlakuan kombinasi DRT1L0 (Tanah tercemar tailing sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat) sebesar 0,380 mg/kg.
2. Dengan penambahan atau tanpa penambahan ammonium thiosulfat mampu meningkatkan serapan Hg pada tanaman jagung pada bagian akar dengan perlakuan kombinasi K1 (Tanah tercemar tailing sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate dan tanpa proses fitoremediasi) sebesar 3,441 mg/kg, serapan Hg pada bagian batang pada perlakuan kombinasi K1 (Tanah tercemar tailing sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate dan tanpa proses fitoremediasi) sebesar 0,027 mg/kg, serapan Hg pada daun pada perlakuan kombinasi DRT2L0 (Tanah tercemar tailing amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate) sebesar 0,063 mg/kg, dan serapan Hg pada biji pada perlakuan kombinasi DRT2L2 (Tanah tercemar tailing amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8g/kg media) sebesar 0,007 mg/kg.

5.2. Saran

Dengan adanya data penelitian ini diperlukan adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui seberapa maksimum hasil serapan Hg pada tanaman ketahanan khususnya tanaman jagung (*Zea mays* L.) apakah sudah layak untuk dikonsumsi lebih lanjut bila sudah dilakukan proses fitoremediasi yang berlanjut. Serta diharapkan proses fitoremediasi ini mampu diterapkan dalam skala lanskap untuk menekan tingkat laju konsentrasi Hg yang ada didalam tanah yang terkontaminasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous^a, 2014.
http://www.pflanzenphysiologie.unibayreut.de/pflanzenphysiologie/en/forschung/gru/html.php?id_obj=41050. Departement of Plant Physiology.
“Proses Fitoremediasi” diakses pada tanggal 25 Juli 2014.
- Agustina, T. 2010. *Kontaminasi Logam Berat pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan*. Jurnal TEKBUKUNAGA Vol 2. No 2.
- 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.
- 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 & Sons.
- Brown, S. L., R. L. Chaney, J. S. Angel and A. J. M. Baker. 1995. *Zinc and Cadmium uptake by Hyperaccumulator Thlaspi caerulescens Grown in Nutrient Solution*. *Soil Sci Soc Am* J59:125-133.
- Cargnelutti, D., L. A.Tabaldi., R. M. Spanevello., G. O.Jucoski., V. Battisti., M. Redin., C. E. B. Linares., V. L. Dressler., M. M. Flores., F. T. Nicoloso., V.M. Morsch., and M.R.C. Schetinger, 2006. *Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings*. *Chemosphere* 65:999–1106.
- 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 Hyperaccumulator*. *Mining Environ Manag.*
- Chojnacka K., A. Chojnacki., H. Gorecka and H. Gorecki, 2005. *Bioavailability of heavy metals from polluted soils to plants*. *Science of the Total Environment*.Vol. 337. P. 175–182
- Christianoyd, Bonauli. 2013. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Limbah Tambang Emas Menggunakan Lindernia crustacea, Digitaria radicata, dan Cyperus rotundus Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.

- Connel, D. W. & G. J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksilogi Pencemaran*. Jakarta. UI Press.
- Corseuil, H. X and F. N. Moreno. 2000. *Phytoremediation Potential Of Willow Trees For Aquifers Contaminated With Ethanol-Blended Gasoline*. Pergamon Press. Elsevier Science Ltd.
- Cui, S., Q. Zhou, and L. Chaou. 2007. *Potential Hyper-accumulator of Pb, Zn, Cu, and Cd in endurent plant distributed in an old smeltery, Northeast China*. Environmental Geology 51: 1043-1048.
- Dwidjoseputro, D. 1994, *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Febrero, J., A. Roca., F. Patino., I. Rivera., L. Hernandez., M. Perez., E. Salinas., and M. Reyes. 2006. *Decomposition and Cynadation Kinetics of the Argentinian Ammonium Jarosite in NaOH Media*. J. Mex Chen. Soc. Sociedad Quimica de Mexico.
- Feller, A. K. 2000. *Phytoremediation of Soils and Waters Contaminated with Essencials Former Chemical Warfare Instalation*. Open University Press. Milton Keynes. New york: Marcek Dekker Inc.
- Fisher, R. S. Perkins., A. Wlaker., and E. Wolfart. 2002. *Adaptive Thresholding*. Dalam <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm>.
- Fitter, A. H, and Hay, R. K. M. 2001. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Terjemahan oleh Sri Andani dan E. D. Purbayanti. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Han, F. X., Y. Su., D. L. Monts., A. C. Waggoner and J. M. Plodinec, 2006. *Binding distribution, and plant uptake of mercury in a soil from Oak Ridge, Tennessee, USA*. Science of the Total Environment 368:753-768.
- Hidayati, N, T. Juhaeti., and F. Syarif, 2009. *Mercury and Cyanide Contaminations in Gold Mine Environment and Possible Solution of Cleaning Up by Using Phytoextraction*. Hayati Journal of Biosciences 16 (3): 88-94.
- Irwan, N., I. Yacob., I. Johan., M. R., and B.C., Ang. 2009. *Characterization and Stability Monitoring of Maghemite Nanoparticle Suspensions*. In: Advanced Materials Research Vol. 576 (2012) PP 398-401. Eds. Trans Tech Publications, Switzerland.
- Ismawati, Y. 2010. *Presentation at the National Mercury Roundtable Forum*, Jakarta, 4 August 2010.

- Israr, M., S. Sahi., R. Datta, and D. Sarka, 2006. *Bioaccumulation and physiological effects of mercury in Sesbania drummonii*. Chemosphere 65:591–598.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias, 2000. *Trace Elements in Soils and Plants*, CRC Press, Florida, USA, 413 pp.
- Kamal, M., A. E. Ghalya, N. Mahmouda, and R. Cote, 2004. Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. *Environment International* 29:1029–1039.
- Kartasapoetra, A. G. 1998. *Teknologi Budidaya Tanaman Pangan di Daerah Tropik*. Bina Angkasa, Jakarta.
- Khan A. G. 2005. <http://www.google.co.id/search?hl=id&q=Vetiver+grass+as+an+Ideal+Phytosymbiont&btnG=Telusuri&meta=&aq=null&oq=>; *Vetiver grass as an Ideal Phytosymbiont for Glomalian Fungi for Ecological Restoration of Heavy Metal* didownload 8 Januari 2010.
- Krisnayanti, B. D., Z. Arifin, Bustan, Sudirman, and A. Yani, 2012. *Mercury Concentration on Tailing and Water from One Year of ASGM at Lantung, Sumbawa, Indonesia*. In: *Environmental, Socio-economic, and health Impacts of Artisanal and small-scale Minings*. E. Handayanto, B.D. Krisnayanti and Suhartini (eds). P 61-66. UB Press, Malang, Indonesia.
- Kumar, P. and R. Chandra, 2004. *Detoxification of distillery effluent through Bacillus thuringiensis (MTCC 4714) enhanced phytoremediation potential of Spriodela polyrrhiza (L.) Schliden*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 73:903-910.
- Ling, T., Y. Fangke, and R. Jun, 2010. *Effect of Mercury to Seed Germination, Coleoptile Growth and Root Elongation of Four Vegetables*. Research Journal in Phytochemistry 4 (4): 225-233.
- Leskona, D., L. Riza, dan Mukarlina. 2013. *Pertumbuhan Jagung (Zea mays L.) dengan pemberian Glomus aggregatum dan Biofertilizer pada Tanah Bekas Penamabangan Emas*. Jurnal Probiot Vol. 2(3) : 176-180.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. *Fitoteknologi dan Ekotoksilogi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah, Seminar Nasional Teknologi Lingkungan III ITS* (online), (<http://www.its.ac.id/sarwoko-enviro-Seminar%20sampah%20TL.pdf>)
- 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.

- Messer, R. L., P. E. Lockwood., W. Y Tsengm., K. Edwards., M. Shaw, G.B. Caughman., J. B. Lewis, and J. C. Wataha, 2005. *Mercury (II) alters mitochondrial activity of monocytes at sublethal doses via oxidative stress mechanisms*. Journal of Biomedical Material Research B 75: 257–263.
- Moreno, F. N., C. W. N. Anderson., R. B. Stewart., B. H. Robinson., R. Nomura., M. Ghomsei, and J. A. Meech. 2005. *Effect of thioligands on plant-Hg accumulation and volatilition from mercury-contaminated mine tailings*. Plant and Soil 275: 233-246.
- Muin, A. 2003. *Penggunaan Mikoriza untuk Menunjang Pembangunan Hutan pada Lahan Kritis atau Marginal*. <http://www.hayati-ipb.com/users/PPs702.htm>.
- Munzuroglu, O. and H. Geekil, 2002. *Effect of metals on seed germination root elongation and coeoptiles and hypocotyls growth in Triticum aestivum and Cucumis salivus*. Archieve of Environmental and Contamination Toxicology. 43: 203-213.
- Notohadiprawiro, T., M. S. Suryanto., Hidayat, dan A. A. Asmara. 1991. *Nilai Pupuk Sari Kering Limbah (sludge) Kawasan Industri dan Dampak Penggunaannya sebagai Pupuk atas Lingkungan*. Ilmu Pertanian 4: 361-384
- Patra, M., and A. Sharma, 2000. *Mercury toxicity in plants*. Botanical Review 66(3):379-422.
- Patitis, N. E. 2013. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Limbah Tambang Emas Menggunakan Digitaria radicata dengan Penambahan Amonium Thiosulfat*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Pivetz, B. E. 2001. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sitcs*. EPA (United States Enviromental 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 Prayitno, I. 2002. *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran , Khususnya Logam Berat*. Dalam <http://lfl.bppt.tripod.com/sublab/lflora.htm>
- Rahmawati, I. 2011. *Pengaruh Kemiskinan Terhadap Maraknya Pertambangan Tanpa Ijin (Studi Kasus Di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat)*. Media Bina Ilmiah, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram, Desember 2011: 16-20.

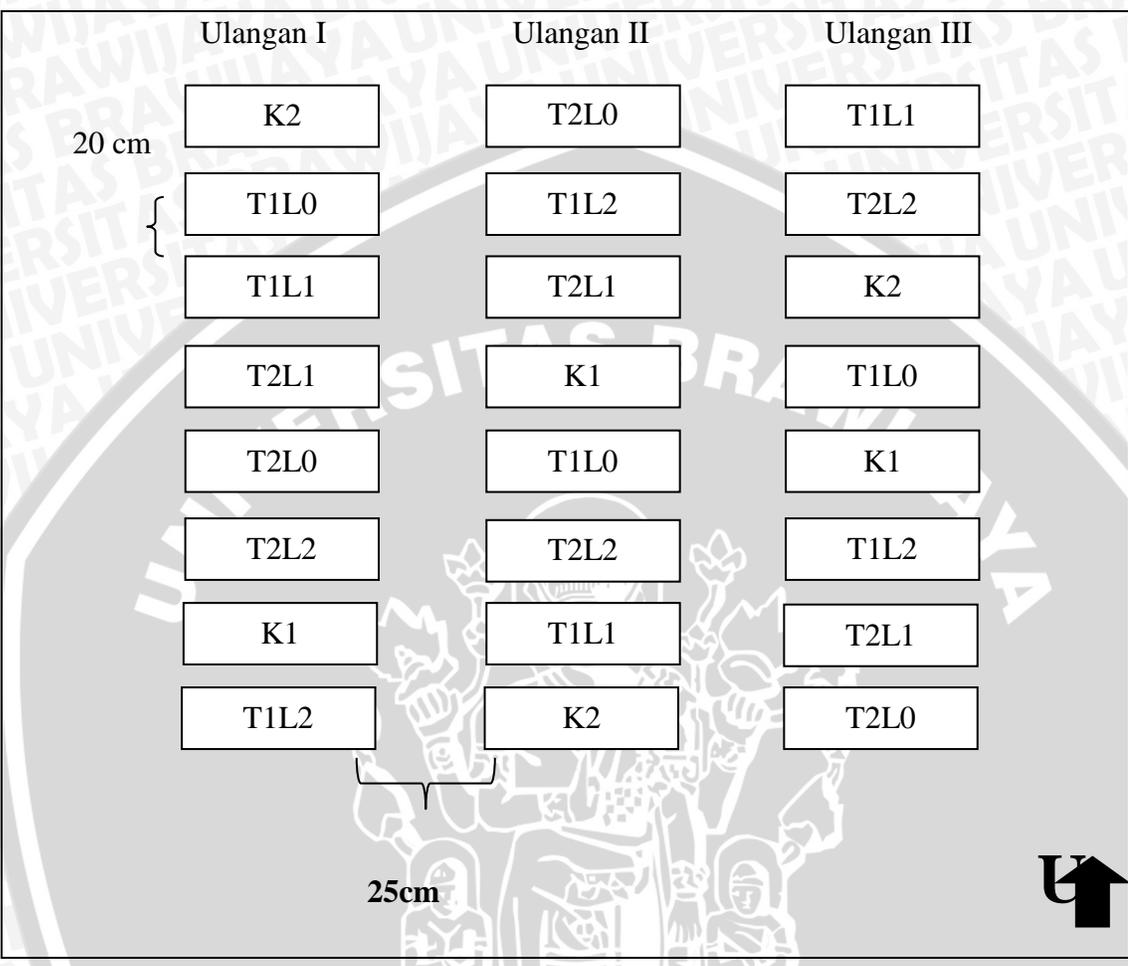
- Ramirez, D. Miguel., and Khan, Shahryar. 1991. *Cointegration Analysis of PPP*. Trinity College, USA.
- Roberts, L. A., A. J. Pierson, Z. Panaviene, and E. L. Walker. 2004. *Yellow Stripel. Expanded roles for the maize iron phytosiderophore transporter*. *Plant Physiol.* 135: 112-120.
- Rossiana, N. dan Titin, S. 2003. *Fitoremediasi Lumpur Minyak Bumi Dengan Tanaman Sengon (Paraserianthes falcataria (L) Nielsen) Bermikoriza Skala Rumah Kaca*. Dalam Seminar dan Pameran Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulum Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan. Bandung.
- Rugh, C. L. 2004. *Genetically engineered phytoremediation: one man's trash is another man's transgene*. *Trends in Biotechnology* 22: 496-468.
- Sagita, W. A. 2002. *Uji Kemampuan Akumulasi Logam Kadmium dari Media oleh Rumput Gagajahan (Panicum maximum Jacq)*. Skripsi. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Schnoor J. L., L. A. Licht, S. C. McCutcheon., N. L. Wolfe., L. H. Carrier, 2005. *Phytoremediation: an emerging technology for contaminated sites*. <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/ Abstracts/schnoor.html> (2007 01 12).
- Simarmata, T, 2005, *Revitalisasi Kesehatan Ekosistem Lahan Kritis dengan Memanfaatkan Pupuk Biologis Mikoriza dalam Percepatan Pengembangan Pertanian Ekologis di Indonesia, Dalam Seminar Nasional dan Workshop Cendawan Mikoriza*, Universitas Jambi, Jambi
- Slowey, A. J. 2010. *Rate of formation and dissolution of mercury sulfide nanoparticles: "The dual role of natural organic matter"*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74 (16), 4683-4708.
- Subiksa, I. G. M. 2002. *Pemanfaatan Mikoriza untuk Penanggulangan Lahan Kritis*. Dalam http://rudycr.tripod.com/sem2_012/igm_subiksa.htm
- Suherlina, Tatin. 2010. *Potensi ammonium thiosulfat dalam meningkatkan serapan merkuri pada tanaman sentro (Centro pubescens Benth.) Sebagai Agen Fitoremediasi*. Skripsi. FMIPA. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Sutarya, R dan Grubben, 1995. *Pedoman bertanam sayuran dataran rendah*. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.

- Tjahaja, Poppy I. 2006. *Penyerapan¹³⁴Cs dari Tanah oleh Tanaman Bunga Matahari (Helianthus annuus, Less)*. Jurnal Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Remediator, BATAN. Bandung.
- Truu, J. E. Talpsep., E. Vedler., E. Heinaru., and A. Heinaru., 2003. *Enhanced Biodegradation of Oil Shale Chemical Industry Solid Wastes by Phytoremediation and Bioaugmentation*. Estonia Academy Publisher.
- U.S. Environmental Protection Agency, 2010, *Solid waste and emergency response glossary--Bioaccumulation*: U.S. Environmental Protection Agency, access date June 29, 2010.
- Verloove, F. (2008). Studies within the genus *Digitaria* Haller (Poaceae, Panicoideae) in southwestern Europe. *Candollea* 63: 227-233. In English
- Wang, J., X. Feng., and C. W. N. Anderson, 2012. *Thiosulphate Assisted Phytoextraction of Mercury (Hg) Contaminated Soils at The Wanshan Mercury Mining District, Southwest China*. In: *Environmental, Socio-economic, and Health Impact of Artisanal and Small-Scale Minings*. E. Handayanto, B.D. Krisnayanti and Suhartini (eds). p 67-76. UB Press, Malang, Indonesia.
- Wilde E. W., Brigmon R. L., Dunn D. L., Heitkamp M. A., Dagnan D. C. 2005. *Phytoextraction of lead from firing range soil by Vetiver grass*. *Chemosphere*. Vol. 61. P. 1451-1457.
- Yucely, A. 2011. <http://ausgrass2.myspecies.info/content/Digitaria-radicosa> "Karakteristik *Digitaria radicata*" Diakses pada tanggal 20 Oktober 2013
- Yayasan Tambuhak Sinta. 2010. Scoping Study Report of Poboya, Palu ASGM Site.
- Zhang, W. H. and S. D. Tyerman., 1999. *Inhibition of water channels by HgCl₂ in intact wheat root cells*. *Plant Physiology* 120:849-857.
- Zhou, Z. S., S. Q. Huang., K. Guo., S. K. Mehta., P. C. Zhang., and Z. M. Yang, 2007. *Metabolic adaptations to mercury-induced oxidative stress in roots of Medicago sativa L.* *Journal of Inorganic Biochemistry* 101:1-9.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Denah Percobaan



Keterangan

Kode	Perlakuan
I	kelompok 1
II	kelompok 2
III	kelompok 3
T1L0	<i>tailing</i> sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate
T1L1	<i>tailing</i> sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4g/kg media
T1L2	<i>tailing</i> sianidasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8g/kg media
T2L0	<i>tailing</i> amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate
T2L1	<i>tailing</i> amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 4g/kg media
T2L2	<i>tailing</i> amalgamasi dengan penambahan ammonium thiosulfat 8g/kg media
K1	<i>tailing</i> sianidasi tanpa penambahan ammonium thiosulfate dan tanpa Fitoremediasi
K2	<i>tailing</i> amalgamasi tanpa penambahan ammonium thiosulfat dan tanpa fitoremediasi

Lampiran 2. Perhitungan Penambahan Bahan Organik per Satuan Luas dan per Polibag

a. Perhitungan Hektar Lapisan Olah (HLO)

Kedalaman tanah yang diambil : 20 cm

BI : 1,2 g/cm³

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

$$\begin{aligned} \text{Berat 1 HLO} &= \text{luasan hektar} \times \text{kedalaman olah} \times \text{BI tanah} \\ &= 10^8 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm} \times 1,2 \text{ g/cm}^3 \\ &= 24 \times 10^8 \text{ g} \\ &= 24 \times 10^5 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Dosis Bahan Organik (Kompos) Per Polibag

$$\text{Dosis Bahan Organik (kompos)/polibag} = \text{tanah per polibag} / 1 \text{ HLO} \times \text{dosis ton/ha}$$

$$\begin{aligned} \text{Dosis 10 ton/ ha} &= 10 \cdot 10^3 \text{ kg/ha} \\ &= 5 \text{ kg} / 24 \times 10^5 \text{ kg/ha} \times 10 \cdot 10^3 \text{ kg/ha} \\ &= 0,021 \text{ kg} \\ &= 21 \text{ g/polibag} \end{aligned}$$

Lampiran 3. Perhitungan Dosis Pupuk Anorganik per Satuan Luas dan per Polibag

a. Perhitungan Hektar Lapisan Olah (HLO)

Kedalaman tanah yang diambil : 20 cm

BI tanah : 1,2 g/cm³1 Ha = 10⁴ m² = 10⁸ cm²

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

Dosis Urea/ha = (100/46) x 100 kg N/ha

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

Dosis Urea/polibag = (5 kg/24 x 10⁵ kg) x 217,3913 kg N/ha

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

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

c. Dosis KCl

Dosis KCl/ha = (100/50) x (94/78) x 50 kg KCl/ha

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

Dosis KCl/polibag = (5 kg/24 x 10⁵ kg) x 120.5128 kg KCl/ha

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

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

d. Dosis SP36

Dosis SP36/ha = (100/36) x (142/62) x 50 kg SP36/ha

$$= 318,3 \text{ kg SP36/ha}$$

Dosis SP₃₆/polibag = (5 kg/24 x 10⁵ kg) x 318,3 kg SP36/ha

$$= 0.663 \times 10^{-3} \text{ kg SP36/ha}$$

$$= 0.663 \text{ g SP36/polibag}$$

Lampiran 4. Kebutuhan air per 5kg Tanah

KODE	BB+K (g)	BO+K (g)	K (k)	BB (g)	BO (g)
KA KU	15,02	14,04	5,54	9,5	8,5
KA KL	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 :

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah air yang harus ditambahkan} &= \text{BKL} - \text{BKU} \\
 &= 6,607 \text{ kg} - 5,588 \text{ kg} \\
 &= 1,019 \text{ ml/polibag} \\
 &= 1,02 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Lampiran 5. Analisis Hasil Serapan Hg Tanaman Jagung

Kode	Ulangan	Serapan Hg pada Tanaman jagung (mg/kg)				
		Hg tanah	Hg akar	Hg batang	Hg daun	Hg Biji
DRT1L0	1	3,02	0,058	0,023	0,022	0,0018
DRT1L1	1	8,77	1,411	0,007	0,026	0,0029
DRT1L2	1	3,58	1,235	0,003	0,020	0,0012
K1	1	16,98	4,647	0,024	0,032	0,0082
DRT2L0	1	2,74	0,588	0,017	0,058	0,0029
DRT2L1	1	2,08	0,882	0,004	0,029	0,0024
DRT2L2	1	1,60	0,500	0,013	0,031	0,0074
K2	1	17,92	2,294	0,010	0,019	0,0024
DRT1L0	2	4,25	0,294	0,011	0,025	0,0012
DRT1L1	2	6,13	0,235	0,017	0,024	0,0035
DRT1L2	2	6,18	1,000	0,007	0,037	0,0012
K1	2	17,92	2,235	0,030	0,022	0,0029
DRT2L0	2	2,50	0,411	0,007	0,063	0,0024
DRT2L1	2	3,58	0,794	0,003	0,032	0,0018
DRT2L2	2	1,84	0,588	0,008	0,025	0,0018
K2	2	16,98	3,294	0,012	0,042	0,0053
DRT1L0	3	5,47	0,176	0,007	0,027	0,0024
DRT1L1	3	3,49	0,823	0,012	0,021	0,0041
DRT1L2	3	8,77	0,764	0,005	0,055	0,0012
K1	3	17,45	3,441	0,027	0,027	0,0056
DRT2L0	3	2,26	0,764	0,012	0,068	0,0018
DRT2L1	3	5,09	0,794	0,003	0,035	0,0029
DRT2L2	3	2,08	0,411	0,010	0,019	0,0129
K2	3	17,45	2,794	0,013	0,031	0,0038

Keterangan : T1(Tanah Tercemar *tailing* sianidasi); T2(Tanah tercemar *tailing* amalgamasi); L0(tanpa penambahan ammonium thiosulfate); L1 (Penamabahan ammonium thiosulfate 4g/kg media); L2(Penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K(Kontrol Tanpa penambahan ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Lampiran 6. Berat Kering Tanaman Jagung.

Perlakuan	Berat Kering Tanaman Jagung (g/tanaman)			
	Ulangan	Tajuk	Akar	Total
DRT1L0	1	24.4	2.1	26.5
DRT1L1	1	20.1	12.3	32.4
DRT1L2	1	71.1	17.4	88.5
K1	1	33.95	11.52	45.47
DRT2L0	1	15.9	0.8	16.7
DRT2L1	1	23.6	11.3	34.9
DRT2L2	1	23.9	5.3	29.2
K2	1	44.01	10.63	54.64
DRT1L0	2	89.8	8.8	98.6
DRT1L1	2	30.5	9.1	39.6
DRT1L2	2	99.3	7.4	106.7
K1	2	44.76	10.91	55.67
DRT2L0	2	45.5	5.5	51
DRT2L1	2	64.3	19.3	83.6
DRT2L2	2	39.9	5.7	45.6
K2	2	32.67	10.54	43.21
DRT1L0	3	58.2	35.8	94
DRT1L1	3	70.2	8.5	78.7
DRT1L2	3	46.2	11.3	57.5
K1	3	34.95	13.5	48.45
DRT2L0	3	49.5	5.5	55
DRT2L1	3	85.3	23.9	109.2
DRT2L2	3	63.8	8.9	72.7
K2	3	35.58	11.3	46.88

Keterangan : T1(Tanah Tercemar *tailing* sianidasi); T2(Tanah tercemar *tailing* amalgamasi); L0(tanpa penambahan ammonium thiosulfate); L1 (Penambahan ammonium thiosulfate 4g/kg media); L2(Penambahan ammonium thiosulfate 8g/kg media), K(Kontrol Tanpa penambahan ammonium thiosulfate dan tanpa fitoremediasi).

Lampiran 7. Analisis Sidik Ragam (ANOVA)

Lampiran 7a. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Pengaruh Jenis *Tailing* dan Penambahan Ammonium Thiosulfat Terhadap Tinggi Tanaman Jagung.

Sk	db	jk	kt	F.hit	F tab 5%
Ulangan	2	1213	606.5	1.3	3.47
Perlakuan	7	16993.7	2427.7	5.2**	2.76
Galat	14	6532.6	466.6		
Total	23	24739.3			
BNJ 5%	42.15				

Lampiran 7b. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Pengaruh Jenis *Tailing* dan Penambahan Ammonium Thiosulfat Terhadap Serapan N pada Tanaman Jagung.

Sk	Db	jk	kt	F hit	F tab 5%
Ulangan	2	0.03611	0.01805	0.65	3.47
Perlakuan	7	1.41667	0.20238	7.24**	2.76
Galat	14	0.39116	0.02794		
Total	23	1.84393			
BNJ 5%	0.326				

Lampiran 7c. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Pengaruh Jenis *Tailing* Dan Penambahan Ammonium Thiosulfat Terhadap Serapan Hg pada Akar Tanaman Jagung.

Sk	Db	jk	kt	F hit	F tab 5%
Ulangan	2	0.4836	0.2418	0.88	3.47
Perlakuan	7	29.2862	4.1837	15.26**	2.76
Galat	14	3.8383	0.2742		
Total	23	33.6081			
BNJ 5%	1.021				

Lampiran 7d. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Pengaruh Jenis *Tailing* Dan Penambahan Ammonium Thiosulfat Terhadap Serapan Hg pada Batang Tanaman Jagung.

Sk	db	Jk	kt	F hit.	F tab 5%
Ulangan	2	0.00000842	0.00000421	0.22	3.47
Perlakuan	7	0.00106134	0.00015162	7.91**	2.76
Galat	14	0.00026851	0.00001918		
Total	23	0.00133827			
BNJ 5%	0.0085				

Lampiran 7e. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Pengaruh Jenis *Tailing* Dan penambahan Ammonium Thiosulfat Terhadap Serapan Hg pada Daun Tanaman Jagung.

Sk	db	jk	kt	F hit	F tab 5%
Ulangan	2	0.000141	0.00007029	1.03	3.47
Perlakuan	7	0.003545	0.00050645	7.45**	2.67
Galat	14	0.000952	0.00006801		
Total	23	0.004638			
BNJ 5%	0.016				

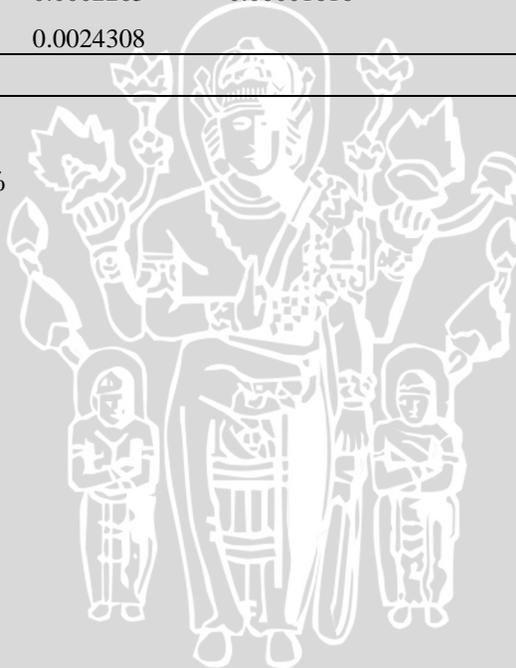
Lampiran 7f. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Pengaruh Jenis *Tailing* Dan penambahan Ammonium Thiosulfat Terhadap BCF (*Biological Concentration Factor*) Tanaman.

Sk	db	jk	kt	F hit	F Tab 5%
Ulangan	2	0.0000299	0.00001495	0.93	3.47
Perlakuan	7	0.0021747	0.00031067	19.22**	2.76
Galat	14	0.0002263	0.00001616		
Total	23	0.0024308			
BNJ 5%	0.0078				

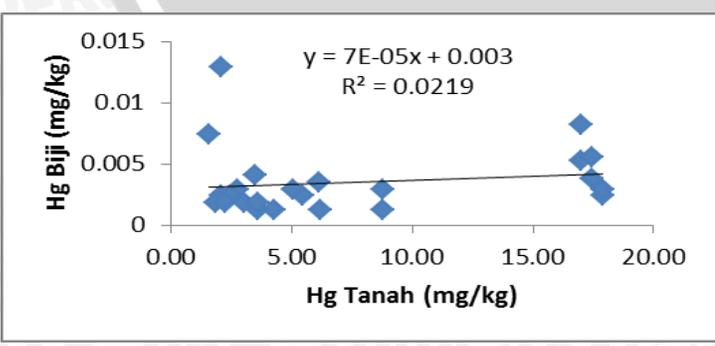
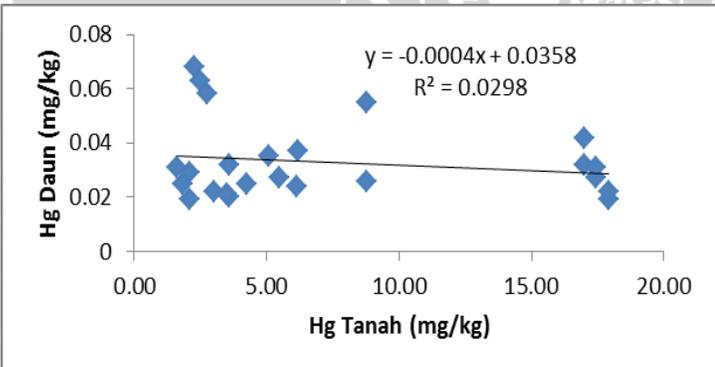
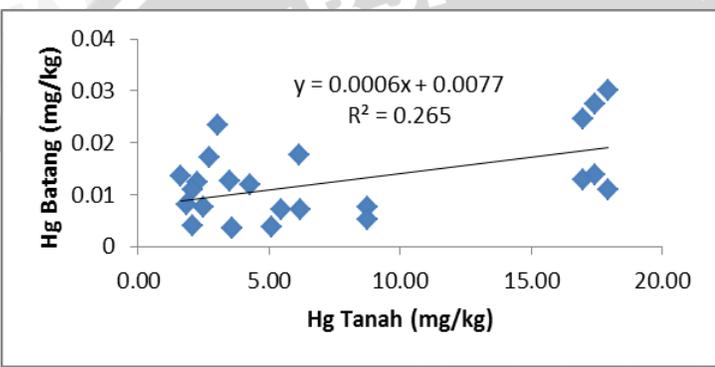
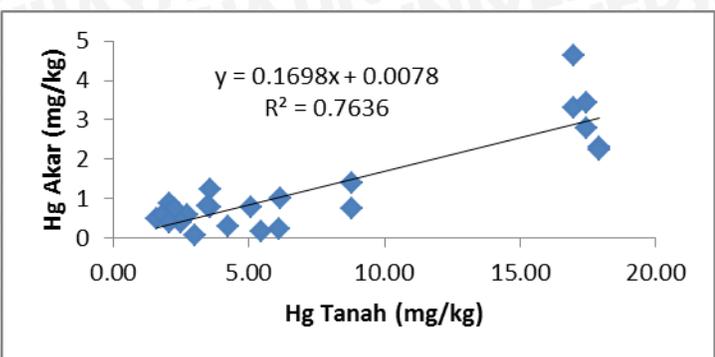
Keterangan :

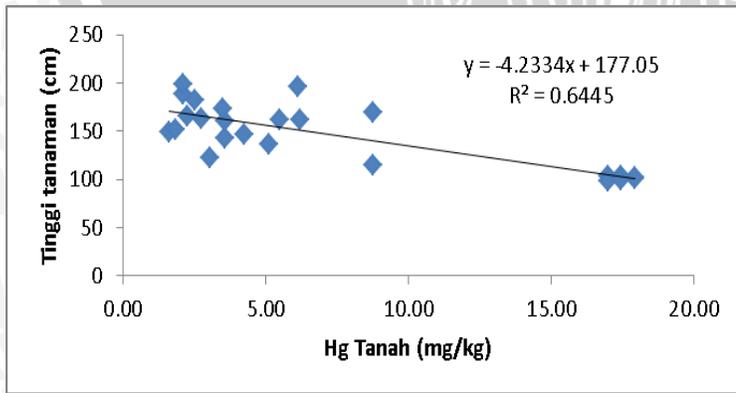
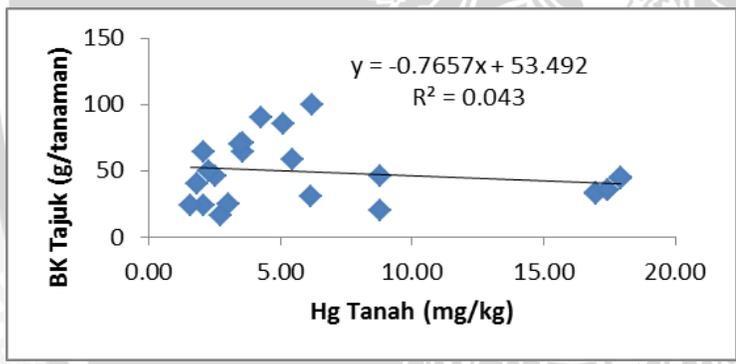
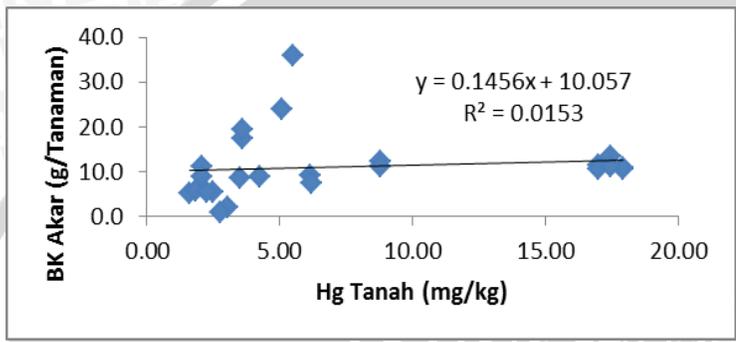
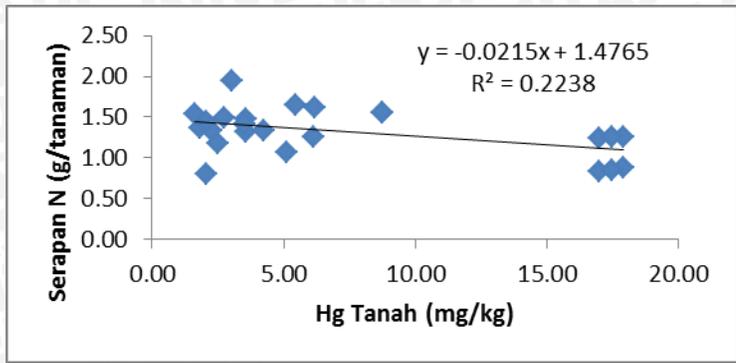
**beda nyata pada taraf 5%

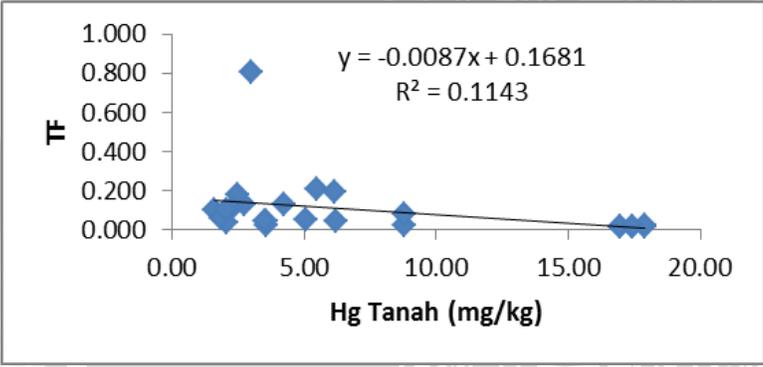
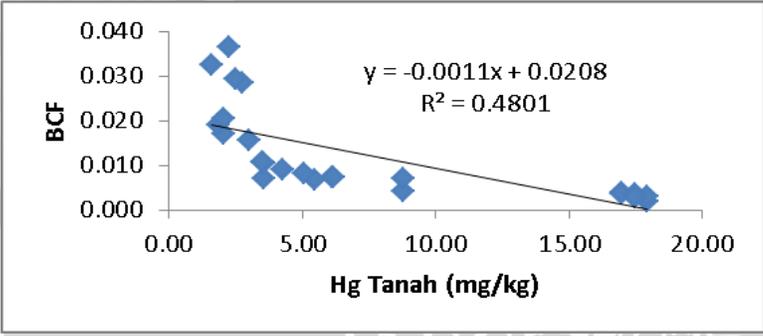
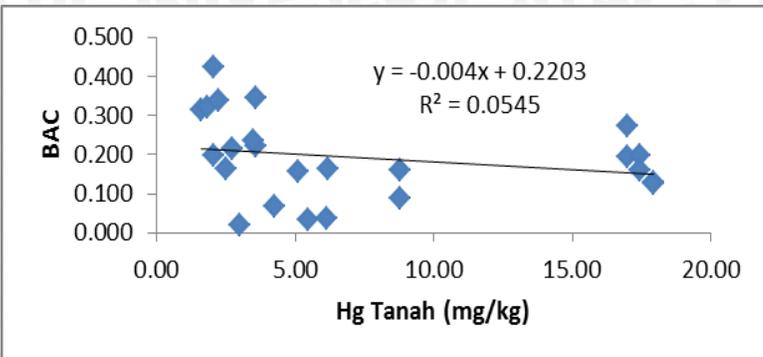
tn : Tidak nyata



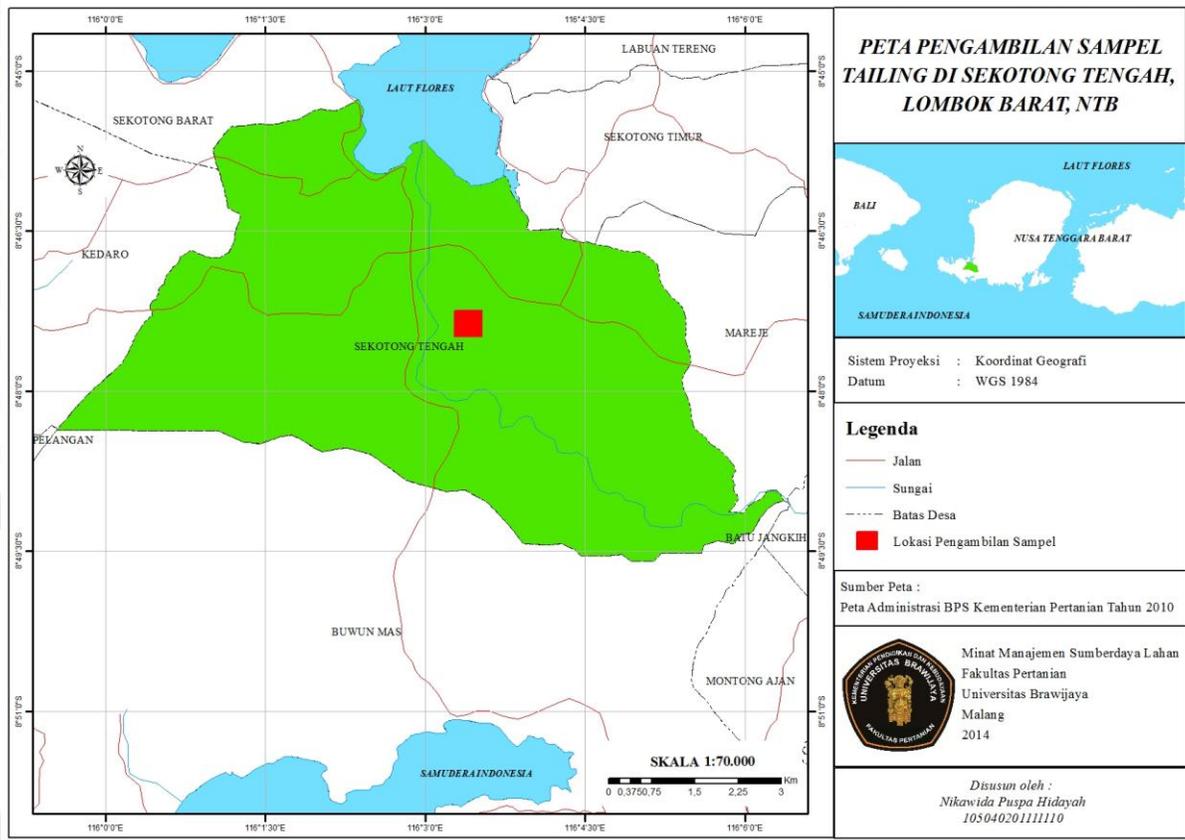
Lampiran 8. Grafik Regresi Antar Parameter







Lampiran 9. Pengambilan Sampel Tailing Sekotong, Lombok Barat.



Lampiran 10. Korelasi

	Hg Tanah	Hg Akar	Hg Batang	Hg Daun	Hg Biji	Serapan N	BK Akar	BK Tajuk	BAC	BCF	TF	T.Tanaman
Hg Tanah	1											
Hg Akar	0.873856	1										
Hg Batang	0.514769	0.474271	1									
Hg Daun	-0.17252	-0.09363	-0.15464	1								
Hg Biji	0.148127	0.310577	0.31458	-0.22042	1							
Serapan N	-0.47307	-0.49374	0.072544	-0.04203	-0.07822	1						
BK Akar	0.123513	0.048943	-0.33595	-0.25607	-0.09241	-0.07685	1					
BK Tajuk	-0.20741	-0.23199	-0.40258	-0.11886	-0.17832	0.110171	0.343589	1				
BAC	-0.23343	0.158979	-0.22609	0.132683	0.156734	-0.27994	-0.18406	-0.12825	1			
BCF	-0.6929	-0.52287	-0.12125	0.549751	0.099279	0.223505	-0.47516	-0.19201	0.413445	1		
TF	-0.33814	-0.44218	0.244066	-0.03782	-0.14202	0.55705	-0.22296	-0.19592	-0.45474	0.240474	1	
T. Tanaman	-0.80281	-0.75804	-0.47005	0.232774	0.003226	-0.249045	-0.07285	0.220788	0.12658	0.541017	0.103859	1

Keterangan:

0.00 – 0.25	Lemah (tidak ada hubungan)
0.26 – 0.55	Sedang
0.57 – 0.75	Kuat
0.76 – 1	Sangat Kuat

Lampiran 11. Dokumentasi

Keterangan

Gambar

Pengamatan Minggu 5



Pengamatan Minggu 6



Pengamatan Minggu 7



Pengamatan Minggu 8

