

PENAMBAHAN AMMONIUM THIOSULFAT PADA TANAMAN
BANGLE (*Zingiber purpureum*) UNTUK REMEDIASI TANAH
TERCEMAR MERKURI (Hg) TAILING TAMBANG EMAS



Oleh

PRISMA SUGANDA
MINAT MENEJEMEN SUMBER DAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2014

PENAMBAHAN AMMONIUM THIOSULFAT PADA TANAMAN
BANGLE (*Zingiber purpureum*) UNTUK REMEDIASI TANAH
TERCEMAR MERKURI (Hg) TAILING TAMBANG EMAS

Oleh
PRISMA SUGANDA
105040201111135

MINAT MENEJEMEN SUMBER DAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI

SKRIPSI

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

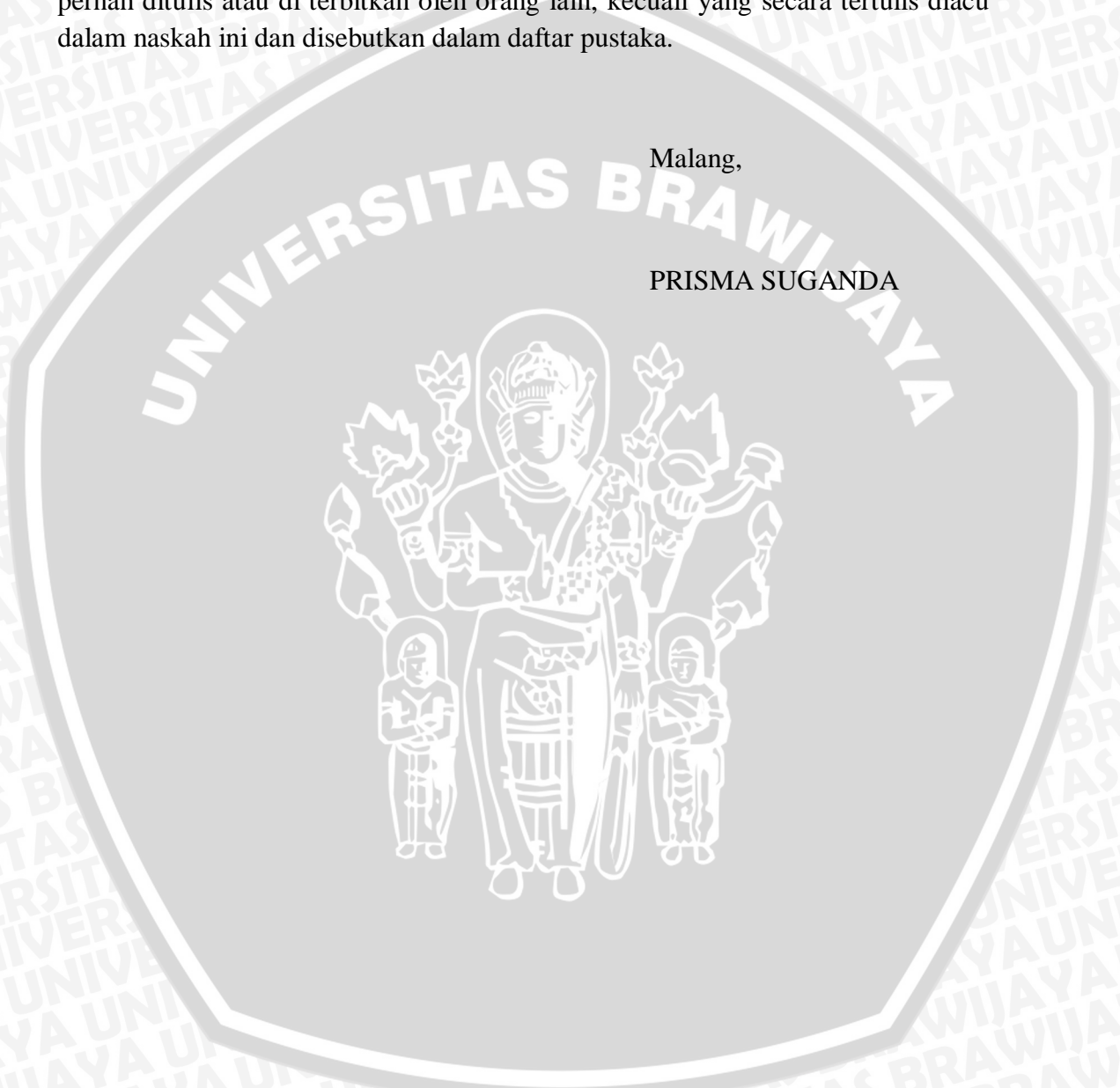
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2014

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang,

PRISMA SUGANDA



Judul Skripsi :PENAMBAHAN AMMONIUM THIOSULFAT PADA TANAMAN BANGLE (*Zingiber purpurium*) UNTUK REMEDIASI TANAH TERCEMAR MERKURI (Hg) TAILING TAMBANG EMAS

Nama : PRISMA SUGANDA

NIM : 105040201111135

Jurusan : TANAH

Program studi : AGROEKOTEKNOLOGI

Minat : Menejemen Sumber Daya Lahan

Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D
NIP. 19520305 197903 1 004

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Tanah
Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19540501 198103 1 006

RINGKASAN

PRISMA SUGANDA. 105040201111135. Penambahan Ammonium Thiosulfat Pada Tanaman Bangle (*Zingiber purpurium*) Untuk Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Tailing Tambang Emas. Dibawah bimbingan Eko Handayanto, dan Sugeng Priyono

Pertambangan emas skala kecil merupakan pertambangan yang kurang melihat kelestarian lingkungan karena salah satu proses penambangan menggunakan unsur berbahaya dalam mengikat emas yang terkandung yaitu merkuri (Hg). Salah satu pertambangan emas yang ada di Indonesia terletak di wilayah Sekotong, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat yang paling banyak menggunakan teknik amalgamasi yang menggunakan merkuri dalam jumlah besar. Pencemaran oleh unsur Hg dapat menimbulkan kerusakan tanah akibat tingginya kadar Hg dalam tanah serta dapat mengganggu pertumbuhan tanaman yang ada pada lahan serta dapat juga terakumulasi pada tubuh manusia. Salah satu teknik yang digunakan untuk mengembalikan fungsi tanah dan membuat kadar Hg pada tanah mencapai nilai yang berada pada ambang batas yang diperbolehkan yaitu dengan menggunakan teknik fitoremediasi dengan menggunakan tanaman- tanaman asli yang mampu tumbuh pada lahan yang tercemar tersebut. Salah satu tumbuhan asli daerah Sekotong yaitu *Zingiber purpureum* yang dikenal dengan Bangle yang mampu tumbuh dengan tingkat pencemaran Hg yang cukup tinggi. Maka tujuan dari penelitian ini yaitu 1). Mengetahui dan mempelajari kemampuan *Zingiber purpurium* dalam fitoremediasi tanah yang tercemar oleh limbah tambang emas yang mengandung Hg. 2). Mempelajari dan mengetahui pengaruh penambahan ligand mengandung S terhadap pelarutan Hg dalam tanah tercemar oleh limbah tanah emas yang mengandung Hg.

Penelitian ini akan dilaksanakan dari bulan Oktober 2013 hingga Januari 2014 di rumah plastik lahan percobaan Universitas Tribhuwana Tungadewi serta laboratorium kimia jurusan tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Dengan menggunakan 2 macam jenis *Tailing* yaitu *Tailing* Amalgamasi dan *Tailing* Sianidasi, serta dengan penambahan ligan mengandung S yaitu Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ dengan jumlah 0 mg/ Kg media, 4 mg/ Kg media dan 8 mg/ Kg media. Dengan menggunakan perancangan percobaan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Parameter pengamatan yang diamati yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah anakan, jumlah serapan Hg pada tanaman serta jumlah Hg yang masih terkandung dalam tanah setelah fitoremediasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ sebanyak 8 mg/ Kg media mampu meningkatkan kemampuan Hg untuk diserap oleh *Zingiber purpureum* pada kedua jenis media tanam, hal ini ditunjukkan pada perlakuan M1T3 dan M2T3 dengan jumlah Hg yang diserap sebesar 220 dan 99 mg/ Kg serta menurunkan kadar Hg pada tanah hingga 27% dan 28 %. Namun dengan meningkatnya kadar Hg yang diserap oleh tanaman *Zingiber purpureum* mengakibatkan pertumbuhan tanaman terhambat baik pada tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah anakan yang tumbuh. Kemampuan tanaman *Zingiber purpureum* dalam memremediasi tanah tercemar Hg termasuk dalam jenis fitostabilisasi yang berarti tanaman ini mengakumulasi Hg dalam

jumlah besar pada akar dibanding dengan yang terakumulasi pada tajuk tanaman, dilihat dari nilai TF dan BCF kurang dari 1. Dengan melihat nilai penurunan sebesar itu maka diperlukan beberapa tahap untuk membersihkan tanah dari unsur Hg dan dapat ditanami tanaman budidaya tanpa mengakibatkan keracunan dan kematian pada manusia.



SUMMARY

PRISMA SUGANDA. 105040201111135. Addition Ammonium Thiosulfat to Bangle (*Zingiber purpurium*) for Remediation Merkuri (Hg) Contaminated Soil gold mining waste. Supervised by Eko Handayanto dan Sugeng Prijono

Small-scale gold mining is the mining of less don't see environmental sustainability as one of the mining process uses hazardous substances contained in the binding of gold is mercury (Hg). One of the gold mining in Indonesia is located in the area of Sekotong, West Lombok, West Nusa Tenggara most used amalgamation technique that uses large amounts of mercury. By elemental Hg contamination could cause damage to the soil due to high levels of Hg in the soil and can interfere with the growth of existing plants on land and can also accumulate in the human body. One technique can be used to restore the function of the soil and make the soil Hg levels reaching values that are at allowed by using phytoremediation techniques by using native plants that could grow in the contaminated land. One native plant Sekotong area is *Zingiber purpureum* (Bangle) where is grow with Hg contamination levels are high enough. The purpose of this research are 1). Knowing and learning ability fitoremidiasi *Zingiber purpureum* in contaminated soil by gold mining waste containing Hg. 2). Study and determine the effect of S containing ligands to the dissolution of Hg in contaminated soil by sewage containing gold soil Hg.

This study conducted from October 2013 to January 2014 in the plastic field trials and laboratory Tunggadewi Tribhuwana University majoring in soil chemistry, Faculty of Agriculture, Brawijaya University. By using 2 different types of tailings which are tailings amalgamation and cyanidation tailings, and the addition of ligands containing S is ammonium thiosulfate $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ the number of 0 g / kg medium, 4 g / kg of medium and 8 g / kg medium. By using a randomized block design experiment design (RBD). Observation parameters were plant height, number of leaves, number of tillers, number of Hg uptake in plants. The results showed that the addition of ammonium thiosulfate $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ as much as 8 g / kg Hg media can increase the ability *Zingiber purpureum* to absorp on both types of growing media, this is indicated in the treatment of M1T3 and M2T3 with the amount of Hg absorbed by 220 and 99 mg/ Kg also decreasing levels of Hg in the soil up to 27% and 28%. However, with increasing levels of Hg is absorbed by the plant *Zingiber purpureum* cause in stunted plant growth both on plant height, leaf number, and the number of chicks that grow. The ability of the plant *Zingiber purpureum* to phytoremediation Hg contaminated soil, including the type fitostabilization which means these plants accumulate large amounts of Hg in roots compared with that accumulated in the plant canopy, seen from the value of TF and a BCF of less than 1. Given the decline of the value of

the required several stages to rid the land of elemental Hg and arable crops without cause poisoning and death in humans.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, karena rahmat serta berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Penambahan Ammonium Thiosulfat Pada Tanaman Bangle (*Zingiber purpurium*) Untuk Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Tailing Tambang Emas”**. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

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

1. Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D dan Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi ini hingga selesai.
2. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU selaku ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.
3. Ibu Nurul Mudarisna yang memberi bimbingan dilapang selama penelitian berlangsung.
4. Dosen-dosen Fakultas Pertanian Universitas Brawikaya Malang yang memberikan bekal ilmu pengetahuan selama kuliah.
5. Teman-teman penelitian Yeti Nurdiana, Nikawida Puspa Hidayah, Yudha Ade Candra terima kasih atas kerja samanya selama ini, suka duka dilalui hingga terselesaikan penelitian ini.
6. Relios 2010, Suryana, Fitri Wijayanti, Norfitria Hansanah, Fajarina Firliyana, Agung Budi Wahono, Kisman Topani, Rizky Fortunella, Rinda Wira Risma, Farahmitha Salsabilla terima kasih telah memberikan kekuatan, semangat, dan dorongan hingga terselesaikan skripsi ini.
7. Sahabatku Agroekotologi 2010, Patria Pikukuh dan Ahmad Ilham Tanzil yang selalu saling memberikan dukungan selama perkuliahan di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang,
8. Ayahanda tercinta Supriadi, Ibunda tercinta Sukemi, dan adik tersayang Armi Priyaswati dan Yohanes Kristantyo.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran yang bersifat membangun.

Malang, Juni 2014

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Malang, 04 April 1992 merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Putra dari Bapak Supriadi dan Ibu Sukemi.

Penulis memulai pendidikan dengan menjalani pendidikan di Taman Kanak-Kanak pada tahun 1996 di Taman Kanak-Kanak Antarlina, di Kab. Malang. Kemudian melanjutkan ke sekolah dasar di SD Negeri 2 Bandar Agung pada Tahun 1998 hingga 2004, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 3 Way Pengubuan dari tahun 2004 hingga 2007. Pada tahun tersebut penulis melanjutkan jenjang pendidikan ke SMA Negeri 1 Terbanggi Besar dari tahun 2007 hingga 2010, jenjang pendidikan SD hingga SMA ditempuh di Kab. Lampung Tengah. Pada tahun 2010 penulis mendaftar ke Universitas Brawajaya melalui Penjarangan Siswa Berprestasi (PSB) dan diterima di Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang. Penulis aktif dalam bidang akademis yaitu menjadi asisten praktikum.

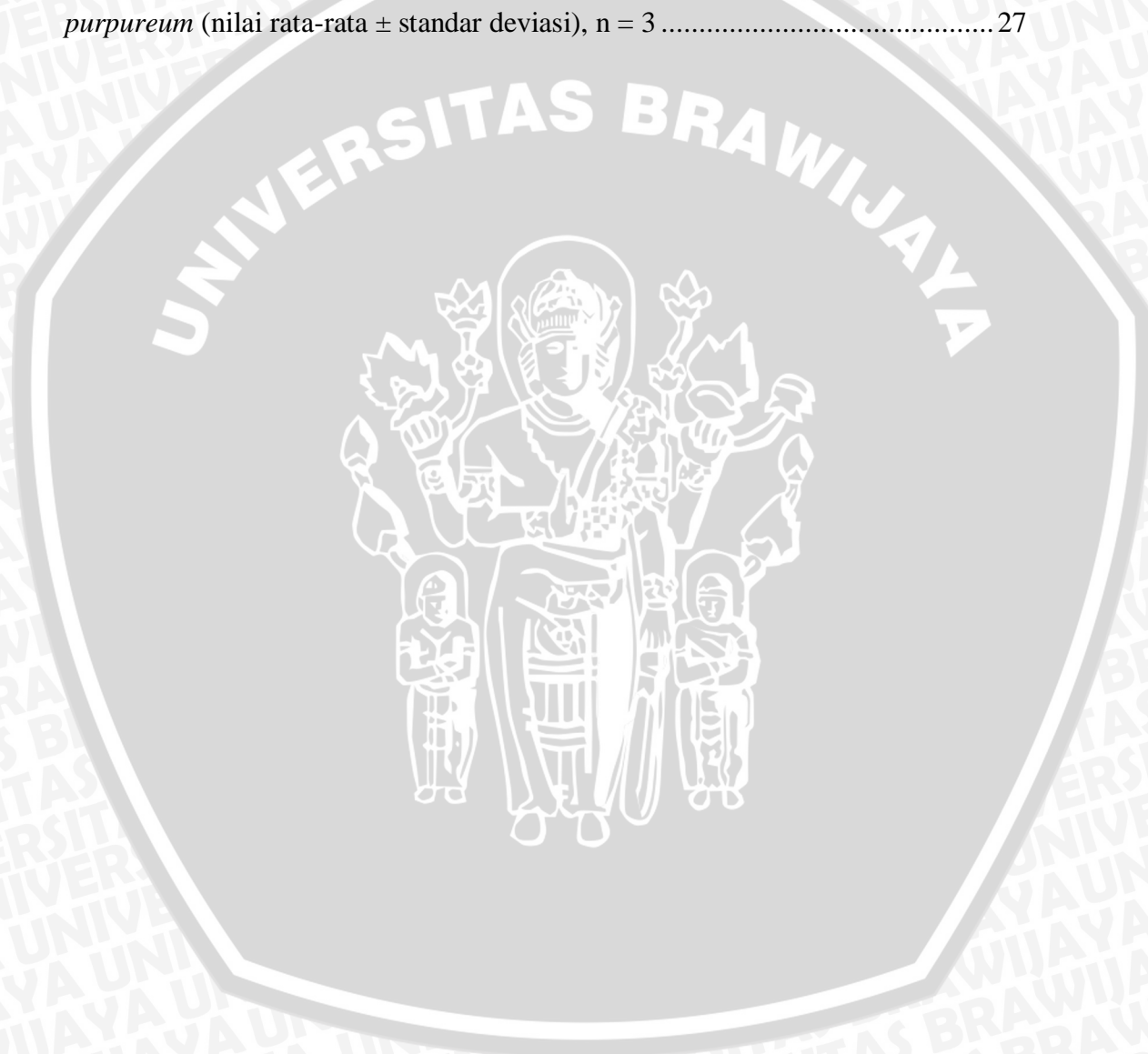


DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	iv
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Hipotesis	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Lokasi Pengambilan Sampel	4
2.2. Logam Berat	5
2.3. Pengaruh Hg Terhadap Tanaman	6
2.4. Fitoremediasi	7
2.5. Ammonium thiosulfat	8
2.6. <i>Bioaccumulation Concentrate Factor (BCF), Bioaccumulation Factor (BAC), Translocation Factor (TF)</i>	10
2.7. Tumbuhan <i>Zingiber purpurium</i>	11
III. METODE PENELITIAN	13
3.1. Waktu dan tempat penelitian	13
3.2. Bahan penelitian	13
3.3. Pelaksanaan penelitian	13
3.4. Analisis Data	16
3.5. Perancangan Penelitian	16
IV. HASIL DAB PEMBAHASAN	17
4.1. Konsentrasi Hg Awal	17
4.2. Pertumbuhan Tanaman <i>Zingiber purpureum</i>	17
4.3. Konsentrasi Hg Dalam Tajuk dan Akar Tanaman <i>Zingiber purpureum</i>	24
4.4. Kandungan Hg Tanah Pascafitoremediasi	26
4.5. Serapan Hg pada Tajuk dan Akar Tanaman <i>Zingiber purpureum</i>	27
4.6. Pembahasan Umum	30
V. KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1. Kesimpulan	33
5.2. Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
	Gambar 1. Biomassa Tumbuhan <i>Zingiber purpureum</i> setelah fitoremediasi.....	22
	Gambar 2. Kandungan Hg pada Tajuk <i>Zingiber purpureum</i> (nilai rata-rata \pm standar deviasi), n = 3	25
	Gambar 3. Kandungan Hg pada Akar <i>Zingiber purpureum</i> (nilai rata-rata \pm standar deviasi), n = 3	26
	Gambar 4. Kandungan Hg dalam Tanah setelah Fitoremediasi <i>Zingiber purpureum</i> (nilai rata-rata \pm standar deviasi), n = 3	27



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 1.	Informasi Skala Aktivitas PESK di Poboya dan Sekotong, Indonesia.....	4
Tabel 2.	Kandungan Merkuri Dalam Spesimen Rambut dari Poboya dan Sekotong, Indonesia.....	5
Tabel 3.	Analisis Dasar Tanah dan Tailing.....	14
Tabel 4.	Parameter Pengamatan.....	15
Tabel 5.	Konsentrasi Kandungan Hg pada setiap Media Tanam.....	16
Tabel 6.	Tabel Perlakuan.....	16
Tabel 7.	Pengamatan Tinggi Tumbuhan <i>Zingiber purpureum</i>	19
Tabel 8.	Pengamatan Jumlah Daun Tumbuhan <i>Zingiber purpureum</i>	20
Tabel 9.	Biomassa tanaman <i>Zingiber purpureum</i> setelah fitoremediasi.....	24
Tabel 10.	Penurunan Kadar Hg dalam Tanah setelah Fitoremediasi oleh <i>Zingiber purpureum</i>	27
Tabel 11.	Nilai BCF, BAC, dan TF Setelah Fitoremediasi.....	29



DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Proses Amalgamasi Hg pada Tambang Emas Rakyat dan Pencemaran Lahan Pertanian oleh Limbah Tambang.	40
Lampiran 2.	Peta Lokasi Sekotong, Kabupaten Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat.....	41
Lampiran 3.	Denah Percobaan	42
Lampiran 4.	Jadwal Pelaksanaan.....	43
Lampiran 5.	Analisis Ragam untuk Tinggi Tanaman Bangle (<i>Zingiber purpureum</i>)	44
Lampiran 6.	Analisis Ragam untuk Jumlah Daun Tanaman Bangle (<i>Zingiber urpureum</i>) 63 HST.....	44
Lampiran 7.	Analisis Ragam untuk Jumlah Anakan Tanaman Bangle (<i>Zingiber purpureum</i>) 63 HST.....	44
Lampiran 8.	Analisis Ragam untuk BCF.....	44
Lampiran 9.	Skematik Alur Pikir Penelitian	45
Lampiran 10.	Korelasi Antar Parameter Pengamatan.....	46
Lampiran 11.	Hubungan Antar Parameter Pengamatan.....	47
Lampiran 12.	Perhitungan Pemberian Pupuk.....	50
Lampiran 13.	Perhitungan Penambahan Bahan Organik per Satuan Luas dan per Polibag	51
Lampiran 14.	Dokumentasi Penelitian.....	53

I. PENDAHULUAN

1.1 . Latar Belakang

Indonesia salah satu negara yang memiliki kekayaan alam berupa mineral alam yang sangat banyak, namun kekayaan tersebut tidak diimbangi dengan kekayaan intelektual dari masyarakat pengelolaanya banyak penambangan-penambangan skala kecil yang dilakukan oleh masyarakat yang ada disekitar tambang mineral tersebut. Salah satu mineral yang ditambang untuk diambil hasilnya adalah emas.

Sektor pertambangan emas di Indonesia terdiri atas penambangan emas skala besar, penambangan emas skala sedang, serta penambangan emas skala kecil (PESK). Di Indonesia, dalam lima tahun terakhir telah terjadi peningkatan dua kali lipat dari jumlah titik PSEK. Situs pertambangan emas yang ada umumnya terletak di tanah milik pribadi yang dikelola oleh sebuah kelompok penambang, maupun masyarakat umum. Pada tahun 2010 terdapat sekitar 900 titik pertambangan dengan lebih dari 250.000 penambang dan banyak dari penambangan tersebut adalah wanita dan anak-anak di bawah umur, dari kegiatan penambangan tersebut lebih dari 1.000.000 masyarakat menggantungkan laju ekonomi pada kegiatan penambangan emas yang eksploitatif (Ismawati, 2010).

Salah satu daerah yang memiliki potensi tambang emas adalah wilayah Sekotong, Lombok barat. Di wilayah ini proses penambangan emas menggunakan teknologi amalgamasi menggunakan unsur Hg sebagai pelarut mineral emas yang terkandung didalam tanahnya. Teknologi ini sangat mencemari lingkungan akibat limbah yang dihasilkan oleh proses ini berupa lumpur yang mengandung Hg dalam jumlah besar (Gunradi, 2005). Limbah lumpur yang dihasilkan disalurkan kedalam lahan pertanian yang berakibat negatif terhadap produksi tanaman pangan karena pertumbuhan tanaman yang terhambat, bahkan tanaman mati, akibat keracunan Hg. Berdasarkan analisis tanah yang dilakukan oleh Universitas Mataram menunjukkan bahwa konsentrasi Hg dalam tanah kecamatan Sekotong, kabupaten Lombok Tengah memiliki rentang nilai dari 25 mg/ Kg hingga 40 mg/ Kg serta kandungan yang ada pada biji tanaman jagung dan padi mencapai nilai

0,20 mg/ Kg (Krisnayanti *et al.*, 2012). Kandungan Hg tersebut jauh melebihi konsentrasi toleransi maksimum (0.002 mg/ Kg), menurut Keputusan Menteri Kesehatan No. 907. Pembuangan lumpur sisa proses amalgamasi yang masih mengandung Hg yang tinggi ke lahan pertanian mampu mengganggu pertumbuhan tanaman serta kandungan Hg yang tinggi dalam biji jagung juga mempengaruhi kesehatan manusia karena jagung merupakan salah satu bahan makanan pokok yang dikonsumsi dan telah tercemar logam berat Hg (Subowo *et al.*, 2007).

Untuk menanggulangi hal tersebut dikenal salah satu teknologi yang baik untuk memperbaiki tanah-tanah yang tercemar logam berat yaitu fitoremediasi dengan menggunakan tanaman untuk mendegradasi, mengekstrak, atau mengambil bahan-bahan kontaminan yang berasal dari air dan tanah (Su *et al.*, 2007), sebelum logam-logam dipindahkan dari tanah menuju tanaman, hal ini harus melalui permukaan akar lalu menuju dinding sel kemudian ke dalam sel tanaman (Jadla *et al.*, 2009). Namun teknologi ini belum terlalu dikembangkan karena belum banyak para peneliti yang menemukan jenis tanaman yang mampu menyerap kadar logam dalam tanah dalam jumlah yang tinggi, Hidayati *et al.*, (2009) menunjukkan bahwa ada beberapa spesies tanaman di lokasi PESK di Jawa Barat yang mampu mengakumulasi sampai dengan 20 mg/ Kg Hg, yakni *Lindernia crustacean*, *Digitaria radicata*, *Zingiber purpurium*, *Paspalum conjugatum*, *Cyperus kylingia*, *Caladium bicolor*.

Salah satu tanaman yang memiliki kemampuan dalam memfitoremediasi tanah tercemar logam berat yaitu *Zingiber purpurium*, yang lebih dikenal dengan bangle atau bengle, dengan mudahnya tanaman ini tumbuh maka sangat memberi potensi untuk digunakan sebagai tanaman yang berpotensi untuk fitoremediasi

1.2 . Perumusan Masalah

Dengan sedikitnya tanaman yang digunakan sebagai fitoremediasi maka *Zingiber purpurium* memiliki potensi untuk dapat digunakan sebagai salah satu tanaman dalam proses fitoremediasi tanah-tanah tercemar logam berat Hg.

1.3 . Tujuan

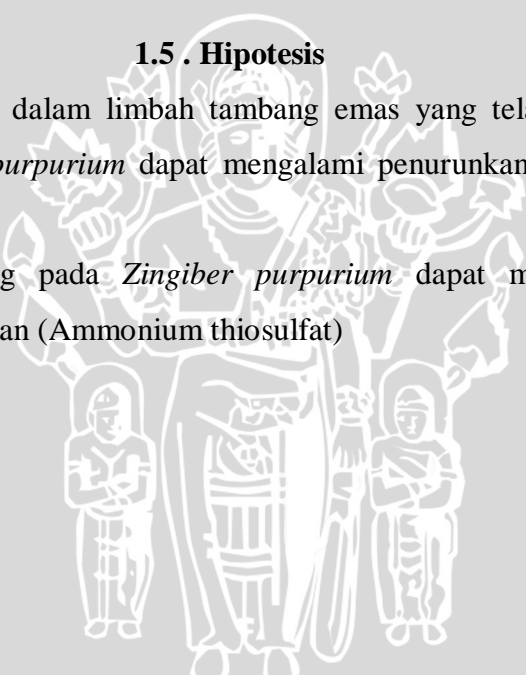
1. Mengetahui dan mempelajari kemampuan *Zingiber purpurium* dalam fitoremediasi tanah yang tercemar oleh limbah tambang emas yang mengandung Hg.
2. Mempelajari dan mengetahui pengaruh penambahan ligand mengandung S terhadap pelarutan Hg dalam tanah tercemar oleh limbah tanah emas yang mengandung Hg.

1.4 . Manfaat Penelitian

Diharapkan dapat memberikan informasi mengenai akumulasi Hg yang diserap oleh *Zingiber purpurium* pada limbah tambang meas dengan penambahan ligan.

1.5 . Hipotesis

1. Kandungan Hg dalam limbah tambang emas yang telah difitoremediasi oleh *Zingiber purpurium* dapat mengalami penurunan kadar Hg dalam tanah.
2. Daya serap Hg pada *Zingiber purpurium* dapat meningkat dengan penambahan ligan (Ammonium thiosulfat)



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Pengambilan Sampel

Penambangan emas skala kecil yang ada di wilayah Sekotong telah berlangsung dalam 3 (tiga) tahun terakhir. Berawal dari tahun 1986 berdasarkan survei yang dilakukan oleh PT. Newmont Nusa Tenggara menemukan bahwa di daerah Sekotong terdapat logam emas. Berdasarkan pertimbangan ekonomi ternyata kandungan emas di daerah Sekotong tidak ekonomis untuk ditambang dan diolah oleh perusahaan sebesar PT. Newmont Nusa Tenggara. Kemudian survei dilanjutkan oleh PT. Indotan Inc. pada tahun 2004 yang menyatakan bahwa daerah prospek emas berada di “*Kuta Ring Feature*” Kabupaten Lombok Tengah dan di daerah Sekotong Barat (Tembowong, Sepi dan Selodong). Pada awal tahun 2008 lalu, tambang emas di daerah Sekotong semakin membuat masyarakat di luar daerah Sekotong lebih tertarik untuk melakukan penambangan emas. Kandungan emas di Kecamatan Sekotong memiliki kadar emas yang tinggi namun hanya ekonomis untuk ditambang secara tradisional (Rahmawati, 2011). Walaupun terhitung ilegal minat masyarakat bukannya surut malah semakin bertambah. Hingga saat ini kegiatan penambangan emas di Kecamatan Sekotong masih berlangsung dan meluas hingga ke seluruh wilayah Kecamatan Sekotong. Pertambangan liar ini sulit untuk dihentikan karena bagi masyarakat setempat, menambang merupakan mata pencaharian mereka saat ini. Di sisi lain, jika kegiatan penambangan terus dilakukan, maka akan semakin banyak pula merkuri yang terbuang ke lingkungan dan mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan sekitar.

Tabel 1. Informasi Skala Aktivitas PESK di Poboya dan Sekotong, Indonesia.

Hot spot	Desa/Kelurahan	Jumlah penambang	Luas (hektar)	Jumlah gelundung
Poboya	4 (Poboya, Kawatuna, Tanamodindi, Lasoani)	35.000	7.000	20.000
Sekotong	3 (Buwun Mas, Kerato, Pelangan)	5.000	1.200	100

Sumber : Balifokus, 2013

Tabel 2. Kandungan Merkuri Dalam Spesimen Rambut dari Poboya dan Sekotong, Indonesia

	Ukuran sampel	Rata-rata Hg (mg/Kg)	St Dev	Hg min (mg/Kg)	Hg maks (mg/Kg)	RfD (mg/Kg)b	Persentase sampel di atas RfD
Semua sampel	20	4,32	3,28	0,82	13,30	1,00	95%
Poboya	10	5,01	4,47	0,82	13,30	1,00	90%
Sekotong	10	3,63	1,28	1,85	6,05	1,00	100%

Sumber : Balifokus, 2013

2.2. Logam Berat

Logam berat mencemari lingkungan melalui beberapa cara baik secara alami maupun akibat kegiatan manusia. Sumber yang berasal dari alam seperti erosi, mineralisasi, dan aktifitas gunung berapi, sedangkan yang berasal dari kegiatan manusia seperti pertambangan, industri, kegiatan pertanian, dan berasal dari limbah obat-obatan (Memon *et al.*, 2001). Logam berat dapat didefinisikan sebagai bahan-bahan yang mengandung metal yang memiliki daya hantar listrik dan memiliki spesifik ligand dan memiliki nomor atom diatas 20. Logam berat yang paling banyak ditemukan pada lingkungan yaitu Cd, Cr, Cu, Hg, Pb dan Zn. Sebenarnya logam berat merupakan komponen alami yang ada dalam tanah, namun apabila logam tersebut bukan berasal dari alam dan mencemari lingkungan baik tanah maupun air maka logam berat tersebut sebagai kontaminan (Lasat, 2000). Semakin tingginya kadar logam dalam lingkungan akan menimbulkan keracunan bagi lingkungan. Salah satu yang menjadi dampak dari keberadaan logam berat yang berkadar tinggi yaitu penghambatan pertumbuhan bagi tanaman yang hidup di lingkungan tersebut.

Merkuri (Hg) merupakan salah satu logam berat yang terdapat dialam namun keberadaannya mampu mengakibatkan bahaya bagi lingkungan maupun kesehatan manusia. Hg merupakan elemen yang langka terdapat di alam namun keberadaannya berasal dari kegiatan alam maupun manusia, menurut WHO, diperkirakan hampir 10.000 ton merkuri dilepaskan ke lingkungan global yang berasal dari kegiatan alam dan manusia (Boening, 1999). Dalam dunia industri menyumbangkan merkuri sekitar 640.000 ton 10 tahun terakhir (Han *et al.*, 2002)

2.3. Pengaruh Hg Terhadap Tanaman.

Merkuri dapat berada dalam bentuk oksidasi, yakni Hg^+ , Hg_2^{2+} , dan Hg^{2+} . Merkuri yang berbentuk seperti fraksi halus perlu diwaspadai apabila terakumulasi dalam jumlah yang signifikan karena mampu berdampak negatif bagi lingkungan, kandungan merkuri akan berdampak racun apabila melebihi ambang batas, seperti halnya dalam biji-bijian tanaman rumput untuk pakan ternak (Herman, 2006).

Tanaman yang menyerap Hg dapat menyebabkan tidak aktifnya beberapa enzim karena berikatan dengan unsur Hg ke dalam kelompok sulfidril dan enzim-enzim penting lainnya (Ling *et al.*, 2010). Hg juga meningkatkan aktivitas peroksida melalui pembentukan senyawa yang reaktif pada oksigen, seperti superoksida (O_2), radikal hidroksi (OH^{\cdot}) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) (Ali *et al.*, 2000). Pembentukan radikal toksik tersebut mengganggu fungsi enzim yang pada gilirannya menyebabkan perubahan metabolisme pada tingkat sel. Pada tanaman perairan dan daratan, toksisitas Hg menyebabkan penurunan produksi biomassa tanaman, aktivitas fotosintesis, total klorofil, maupun kandungan nitrogen, fosfor dan kalium (Ling *et al.*, 2010). Hasil penelitian Boening (2000) menunjukkan bahwa penurunan kandungan kalium dalam ujung akar tanaman *Picea abis* yang terpapar pada Hg terkait dengan terganggunya membran sel akar. Selain itu, peningkatan kandungan Hg dalam jaringan tanaman jagung menyebabkan peningkatan prolin, yaitu asam amino yang biasanya berasosiasi dengan adaptasi cekaman, dan toleransi Hg (Ling *et al.*, 2010). Akumulasi Hg dalam jaringan tanaman dapat juga diikuti dengan gejala cekaman oksidatif (Ali *et al.*, 2000). Tanaman perairan *Potamogeton crispus* yang dipaparkan pada Hg pada konsentrasi 101,1M menunjukkan peningkatan peroksidasi lipida dan kekurangan kalium dan penurunan kandungan klorofil. Fitokelatin tersusun atas kelompok peptida yang mampu mengkhelat unsur logam yang disintesis oleh tanaman sebagai respon terhadap cekaman logam berat. Peptida tersebut merupakan komponen utama tanaman tingkat tinggi dalam detoksifikasi logam berat (Bhargava *et al.*, 2012). Fitokelatin juga disebut sebagai non-protein thiol karena berada dalam kelompok sulfhidril dengan kandungan yang tinggi (Nagajyoti *et al.*, 2010).

Di dalam tanaman, Hg bersifat meracun dan menyebabkan kerusakan enzim, polinukleida, sistem transportasi hara dan mengganggu integritas membran sel (Patra dan Sharma, 2000). Akar yang memanjang seringkali digunakan sebagai indikasi pertama pada tanaman yang mengalami keracunan unsur Hg (Prasad, 2001). Gejala keracunan Hg pada umumnya adalah pertumbuhan biji dan akar yang terhambat, dan terjadi hambatan proses fotosintesis yang pada gilirannya menurunkan produksi tanaman. Selain itu Hg yang terakumulasi dalam jaringan akar dapat menghambat serapan K oleh tanaman (Kabata Pendias dan Pendias, 2000). Selain itu jumlah Hg yang cukup tinggi juga akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman tomat pada tinggi tanaman tomat, serta pembentukan buah. Hal ini terjadi karena tanaman tomat merupakan tanaman yang tidak toleran terhadap keracunan Hg yang cukup tinggi, lain halnya pada tumbuhan-tumbuhan yang memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam berat dalam kadar yang cukup tinggi tanpa menimbulkan hambatan dalam pertumbuhannya (Adesodun *et al.*, 2010; Sasakibara *et al.*, 2011; Shabani dan Sayadi, 2012)

2.4. Fitoremediasi

Dengan banyaknya pencemaran yang terjadi di lingkungan air maupun tanah yang oleh logam berat yang bersifat racun maka diperlukan sebuah teknologi untuk membenahi tanah dan air dari logam berat tersebut. Salah satu cara yang direkomendasikan adalah fitoremediasi yang menggunakan tanaman dalam merestorasi lahan yang tercemar limbah dan merupakan teknologi yang ramah lingkungan (Lasat, 2002). Fitoremediasi sebuah teknologi untuk membersihkan tanah dari kontaminan tanah seperti logam berat dengan menggunakan tanaman (Baker *et al.*, 1991). Penggunaan tanaman tersebut tergantung dari kemampuan dari tanaman dalam menyerap kandungan logam berat yang ada dalam tanah, kemampuan ini berbeda-beda pada tanaman yang berbeda, idealnya jenis tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi berasal dari tempat penambangan itu sendiri yang telah memiliki toleransi terhadap tingginya akumulasi bahan kontaminan (Baker dan Whiting, 2002).

Fitoremediasi terdiri atas empat jenis teknologi berbasis tanaman, yakni

- 1) Rhizofiltrasi; melibatkan penggunaan tanaman, terutama tanaman

- perairan, untuk menyerap logam dan bahan pencemar lain dalam lingkungan perairan (Kumar dan 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 (Sekhar *et al.*, 2011). Fitoekstraksi merupakan metode yang paling banyak digunakan jika tanaman yang digunakan dapat mentranslokasi unsur logam ke dalam tajuk tanaman dan unsur logam tersebut dapat dipanen melalui teknologi phytomining.

Dari keempat teknologi tersebut yang paling banyak digunakan dalam fitoremediasi tanah tercemar logam berat adalah fitoekstraksi. Fitoekstraksi merupakan suatu proses yang digunakan oleh tanaman untuk mengakumulasi logam berat yang mencemari tanah yang diserap oleh akar dan dikirimkan ke dalam semua jaringan tumbuhan, namun bentuk logam yang dapat diserap oleh tanaman harus dalam keadaan tersedia oleh tanaman, seperti ion bebas (Purwantari, 2007). Adapun dalam proses fitoekstraksi pada beberapa tumbuhan alami yang bersimbiosis dengan beberapa mikroorganisme untuk meningkatkan penyerapan kontaminan dalam tanah, seperti mikoriza yang menunjukkan hasil yang baik dalam kecepatan penyerapan metal dalam tanah (Lasat, 2002). Selain fitoekstraksi yang sering dilakukan, tidak jarang para peneliti juga menemukan kemampuan tumbuhan dalam fitostabilisasi logam berat pencemar tanah, dengan cara menstabilkan tingkat toksisitas dan mobilitas dari logam berat tersebut agar tidak mencemari tanah, namun masih berada dalam tanah. Kemampuan ini dimiliki oleh tumbuhan-tumbuhan tertentu yang memiliki toleransi terhadap kandungan logam berat yang tinggi dalam tanah (Ali *et al.*, 2013).

2.5. Ammonium thiosulfat

Hg yang dibuang ke tanah umumnya ditahan oleh padatan tanah melalui absorpsi pada sulfida, partikel liat dan bahan organik (Wuana dan Okieimen, 2011). Bentuk Hg tersebut bersifat tidak larut, sehingga relatif tidak mobil di

dalam tanah. Namun demikian, reaksi pertukaran yang terjadi dalam larutan tanah dapat menyebabkan peningkatan kelarutan dan mobilitas Hg dalam tanah. Ion-ion klorida (Cl^-) dan hidroksida (OH^-) terbentuk secara alami di dalam tanah dan kompleks HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})\text{Cl}$ dan $\text{Hg}(\text{OH})_2$ merupakan jenis Hg yang dominan dalam lingkungan yang cukup mengandung oksigen (Chen and Yang, 2012). Merkuri mempunyai afinitas kuat dengan kelompok thiol, terutama kompleks sulfida dan bisulfida (Moreno *et al.*, 2004). Asam humat-fulvat telah terbukti mampu memacu ketersediaan Hg di dalam tanah dan serapan Hg oleh organisme (Hinton, 2002).

Larutan mengandung sulfur telah digunakan untuk memacu akumulasi Hg dalam jaringan tanaman (Moreno *et al.*, 2004). Misalnya, *Brassica juncea* dapat mengkonsentrasikan Hg sampai 40 mg/kg dalam jaringan tajuk tanaman setelah aplikasi Ammonium thiosulfat ($[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3$) pada limbah tambang yang terkontaminasi dengan 2,8 mg Hg/kg. Karena kemampuannya yang dapat mengikat Hg dalam tanah dan diakumulasikan dalam tajuk tumbuhan sangat baik, maka banyak peneliti yang menggunakan Ammonium thiosulfat ($[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3$) untuk digunakan sebagai salah satu zat kimia dalam merediasi logam berat Hg yang terkandung dalam tanah tercemar. Ammonium thiosulfat memiliki gugus fungsi thiosulfat, thiosulfat merupakan senyawa yang mampu menstabilkan logam-logam berat atau senyawa beracun (Ullah, 2012). Thiosulfat memiliki struktur kimia S_2O_3^- , karena memiliki muatan 2- pada struktur senyawa tersebut maka mampu mengikat unsur-unsur yang memiliki muatan positif seperti Hg yang memiliki muatan 2+, jika penambahan ammonium thiosulfat digunakan untuk mengikat senyawa HgCl_2 dalam tailing maka senyawa HgCl_2 akan bereaksi dengan $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ menjadi NH_4Cl dan HgS_2O_3 , dua senyawa tersebut menyumbang unsur N dan S yang digunakan tumbuhan untuk tumbuh. Selain mampu merombak bentuk tak larut dari HgCl_2 menjadi senyawa terlarut HgS_2O_3 . Sifat kimia dari thiosulfat yang terkandung dalam senyawa ammonium thiosulfat mampu membentuk suatu ikatan metal-sulfida dengan tembaga, perak, maupun emas serta dapat membentuk kompleks ion dengan beberapa jumlah unsur logam seperti emas, perak, tembaga dan merkuri (Ullah, 2012). Thiosulfat dapat dipecah

menjadi bentuk sulfur atau sulfat dengan membentuk sulfat yang berikatan dengan unsur logam Hg^{2+} .

Reaksi kimia antara HgCl_2 dan $([\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3)$ adalah sebagai berikut:



Dari hasil penambahan Ammonium thiosulfat yang bereaksi dengan HgCl_2 yang ada pada tanah, selain mengikat Hg menuju ke jaringan tumbuhan juga menambahkan unsur N dan S dalam tanah yang dapat digunakan tumbuhan dalam melakukan kegiatan fisiologinya dalam membentuk sel-sel pertumbuhan. Selain itu membuat bentuk Hg yang tercemar dalam tanah lebih tidak bersifat racun dalam bentuk HgS_2O_3 dibanding dengan bentuk bebas (HgCl_2), dan meningkatkan kelarutan Hg dalam tanah sehingga akan mudah diserap oleh akar dan disimpan dalam tajuk tumbuhan (Moreno *et al.*, 2005; Ramirez *et al.*, 1999).

2.6. Bioaccumulation Concentrate Factor (BCF), Bioaccumulation Factor (BAC), Translocation Factor (TF)

Keefisienan fitoekstraksi dapat diukur dengan BCF, BAC, dan TF. Bioakumulasi konsentrat dapat menjadi indikator untuk spesies tanaman tertentu dalam melakukan remediasi pada suatu logam berat yang menimbun logam berat tersebut didalam jaringan tanaman. Berdasarkan Zhuang (2007), BCF dapat diukur dengan membagi antara konsentrasi logam pada jaringan tanaman dengan konsentrasi didalam tanah, sedangkan untuk TF menggunakan perhitungan konsentrasi yang ada pada batang dibagi dengan konsentrasi yang ada pada akar tanaman tersebut. BAC juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus pembagian antara konsentrasi logam didalam jaringan tanaman dengan konsentrasi pada tanah dan dikalikan 100 (Wilson, 2007). BCF dan TF sangat penting digunakan dalam menghitung kandungan logam berat yang telah diserap oleh tanaman dan tersimpan dalam jaringan tanaman tersebut (Wu *et al.*, 2011). Nilai TF dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu kemampuan tumbuhan untuk mengakumulasi logam berat pada jaringan tumbuhan tersebut (Zu *et al.*, 2005). Nilai TF dan BAC > 1 dapat menjadi indikasi bahwa tumbuhan tersebut memiliki kemampuan yang sangat baik dalam memindahkan logam berat dari dalam tanah menuju tajuk tumbuhan tersebut, namun bila nilai TF dan BAC < 1, maka tumbuhan tersebut tidak cocok digunakan sebagai fitoekstraksi untuk logam

berat (Yoon *et al.*, 2006). Persamaan dalam menghitung BCF, BAC, dan TF, seperti dibawah ini;

BAC = Konsentrasi logam berat pada tajuk tumbuhan / Konsentrasi logam berat pada tanah (Zu *et al.*, 2005)

BCF= Konsentrasi logam berat pada akar tumbuhan / Konsentrasi logam berat pada tanah (Yoon *et al.*, 2006)

TF = Konsentrasi logam berat pada tajuk tumbuhan / Konsentrasi logam berat pada akar tumbuhan (Zu *et al.*, 2005).

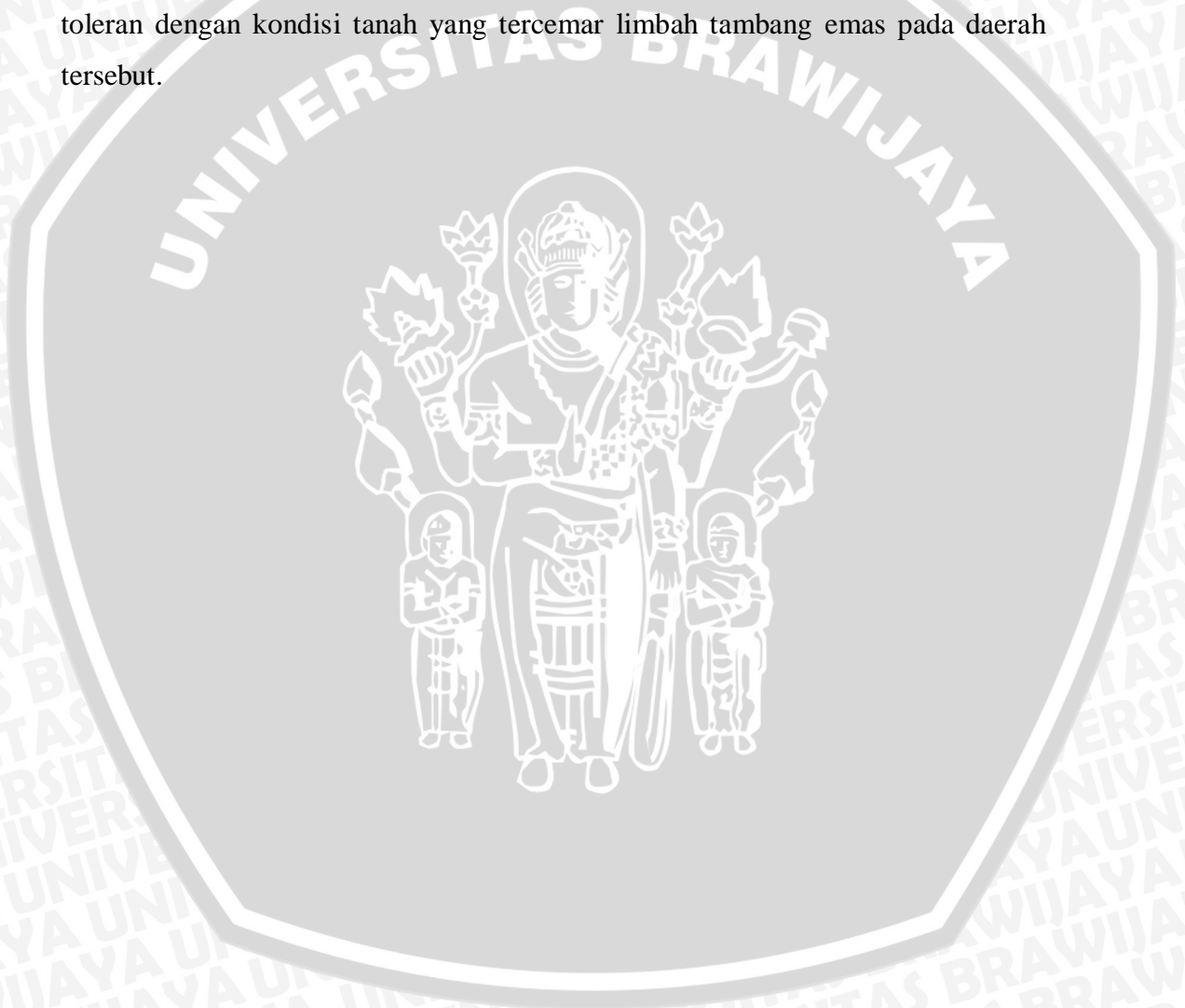
Ketiga nilai tersebut dapat digunakan dalam melihat kemampuan tumbuhan dalam mengekstraksi suatu logam berat yang mencemari tanah dan disimpan dalam tajuk tumbuhan tersebut.

2.7. Tumbuhan *Zingiber purpurium*

Nama lengkap spesies tanaman ini adalah *Zingiber purpurium* Roxb. Nama daerah yang umumnya dikenal adalah Panglai (Jawa), Pandhiyang (Madura), Bangalai (Kalimantan), Bale (Sulawesi), Unin makei (Ambon), Bangle (Tarnate), Mugle (Aceh), dan Bangele (Bali). Tanaman ini merupakan herba tahunan, tumbuh tegak, tinggi 1-1,5 m, membentuk rumpun yang agak padat, berbatang semu, terdiri dari pelepah daun yang diujung pinggirnya berambut sikat. Daun tunggal, letak berseling, helai daun lonjong tipis, ujungruncing, pangkal tumpul, tepi rata, berambut halus, jarang, pertulangan menyirip, panjang 23-25 cm, lebar 20-40 cm, warna hijau. Bunga majemuk, bentuk tandan, keluar dari ujung batang, panjang gagang samai 20 cm. bagian yang mengandung bunga bentuknya bulat telur, atau seperti gelendong, panjangnya 6-10 cm, lebar 4-5 cm. Daun kelopak tersusun seperti sisik tebal, kelopak bentuk tabung, ujung bergerigi tiga, warna merah menyala. Bibir bunga bentuknya bundar memanjang warna putih atau pucat. Bangle mempunyai rimpang yang menjalar dan berdaging, bentuk hamper bundar sampai jorong, atau tidak beraturan, tebal 2-5 mm. permukaan luar tidak rata, berkerut, kadang kadang dengan perut daun, warna coklat muda kekuningan, rasa tidak enak, pedas dan pahit. Di Jawa, bangle dibudidayakan di sekitar pekarangan rumah baik sebagai obat atau sebagai

rempah atau bumbu masakan. Rimpang dipergunakan untuk mengobati demam, sakit kepala, batuk, sakit perut, masuk angin, cacingan, rematik, kegemukan, dan liver. Sedangkan daunnya untuk mengobati masuk angin dan tidak nafsu makan.

Dalam teknologi remediasi tanah tercemar *Zingiber purpureum* dapat digunakan sebagai tanaman remediator yang baik karena mampu mengakumulasi logam berat hingga 20 mg/ Kg. Hidayati *et al.*(2009) menemukan bahwa *Zingiber purpureum* dapat megakumulasikan Hg hingga 49, 33 mg/ Kg yang ditumbuhkan di tambang emas Pongkor. Tanaman ini merupakan salah satu tanaman yang toleran dengan kondisi tanah yang tercemar limbah tambang emas pada daerah tersebut.



III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian telah dilakukan di Laboratorium Kimia Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, dan rumah plastik lapangan di lahan percobaan Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang, pada bulan Oktober – Januari 2013.

3.2. Bahan penelitian

Bahan utama yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tailing amalgamasi dan sianidasi dan tanaman Bangle (*Zingiber purpureum*). 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 0-30 cm dengan menggunakan bor tanah, kemudian dibawa ke laboratorium tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

3.3. Pelaksanaan penelitian

3.3.1. Persiapan Tanah untuk Media Tanam

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 0-30 cm dengan menggunakan bor tanah, kemudian dibawa ke laboratorium tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

Pengambilan tanah Inceptisols dilakukan di Desa Pendem, Kecamatan Junrejo, Kota Batu, Kabupaten Malang dengan petunjuk peta tanah yang dibuat berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Kementerian Pertanian melalui program ArcGIS. Penentuan titik pengambilan didasarkan dari penggunaan lahan daerah tersebut serta letak berdasarkan jalan dan sungai.

Menanam tanaman pada 5 kg media tanam yaitu campuran 70% tanah dan 30% tailing dari proses amalgamasi (proses gelondong) atau proses sianidasi (proses tong) yang ditempatkan dalam pot plastik yang diberi alas (tatakan) untuk menampung air lindi dari pot.

3.3.2. Analisis Awal

Sampel tanah di kering udarakan selama 3 hari, kemudian diayak dengan ayakan 2 mm. Analisis dasar tanah meliputi (1) kandungan N total (metode Kjeldahl), pH H₂O, P tersedia (Bray-1) dan K (flamephotometer), serta kandungan bahan organik (metode Walkley dan Black), (2) kadar Hg diukur dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorbition Spectrophotometer*). Untuk analisis kadar Hg tanah, sampel tanah dilebur menggunakan metode tungku pemanasan. Kemudian sebanyak 5 ml campuran tiga asam (asam nitrat, asam perklorat, 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 AAnalyst 50, PerkinElmer, UK, di laboratorium tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

Tabel 3. Analisis Dasar Tanah dan Tailing

No	Parameter	Tailing Proses Amalgamasi		Tailing Proses Sianidasi	
1	pH H ₂ O	8,23	Basa	7,54	Basa
2	N Total (%)	0,014	Sangat Rendah	0,01	Sangat Rendah
3	P tersedia (mg/Kg)	4,88	Tinggi	2,84	Tinggi
4	K total (%)	0,58	Sedang	0,15	Rendah
5	Karbon Organik (%)	0,20	Rendah	0,65	Rendah
6	Hg (mg/ Kg)	1.456	Sangat Tinggi	1.106	Sangat Tinggi

Tabel 4. Parameter Pengamatan

No		Parameter	Metode
1	Tanaman	Tinggi Tanaman	manual (dengan penggaris)
2		Jumlah Daun	manual
3		Jumlah Anakan	manual
4		Berat Kering Batang	timbangan analitik
5		Berat Kering Akar	timbangan analitik
6		Kandungan Hg pada Bagian Tanaman	<i>Cold Atomic Absorbantion Analyzer Of Mercury</i> (Parker Elmer dalam Fayiga, 2005)
7	Tanah	Kandungan Hg	<i>Cold Atomic Absorbantion Analyzer Of Mercury</i> (Parker Elmer dalam Fayiga, 2005)

3.3.3. Persiapan Tanam

Tanaman yang didapat harus diinkubasi apabila tanaman memiliki masa dormansi, untuk tanaman bangle ini diperlukan sedikit perlakuan untuk memutuskan masa dormansinya, yaitu penanaman yang berasal dari rimpang harus ditanam pada media kompos dan tanah lalu disiram, setelah itu media tanam dan bahan tanam ditutup dengan plastik selama 1 minggu.

Penambahan ammonium sulfat (untuk dosis 4 dan 8 mg/ Kg media) dalam bentuk larutan, dilakukan setelah tumbuhan berumur 7 minggu, atau 2 minggu sebelum panen. Selama percobaan, pemberian air dilakukan setiap hari untuk menjaga kecukupan pasokan air untuk pertumbuhan tanaman. Dua minggu setelah penambahan ammonium thiosulfat, tumbuhan dipanen (umur 9 minggu). Pada saat panen, tajuk dan akar dipisahkan, di cuci, ditimbang, kemudian di keringkan selama 48 jam pada 60°C untuk analisis serapan unsur Hg.

3.3.4. Analisis Akhir Hg

Untuk mengukur kandungan Hg dalam tanaman, 1 g tajuk dan akar (berat kering oven) di masukkan ke dalam 50 mL gelas ukur kemudian ditambah dengan 15 mL larutan HNO₃ dan HCl pada rasio 1:3. Sampel kemudian di larutkan dalam bak air pada 80°C selama 1 jam, dan filtrat dilarutkan menjadi 50 mL dengan air bebas ion.

3.4. Analisis Data

Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan analisis ragam (*One way-analysis of varians*) dilanjutkan dengan uji BNJ 5%, dan setiap parameter yang terkait akan digunakan uji korelasi antara parameter pengamatan untuk mengetahui hubungan antar parameter.

3.5. Perancangan Penelitian

Tabel 5. Konsentrasi Kandungan Hg pada setiap Media Tanam

Kode	Media Tanam	Konsentrasi Hg (mg/Kg)
M1	Media tanam 1 (70 % tanah dan 30% <i>Tailing</i> Amalgamasi)	397
M2	Media tanam 2 (70 % tanah dan 30% <i>Tailing</i> Sianidasi)	335

Tabel 6. Tabel Perlakuan

No	Kode	Keterangan
1	M1T1	<i>Zingiber purpureum</i> pada media tumbuh 1 tanpa penambahan Ammonium thiosulfat (0 g Ammonium thiosulfat/kg media)
2	M1T2	<i>Zingiber purpureum</i> pada media tumbuh 1 dengan penambahan 4 g Ammonium thiosulfat /kg media
3	M1T3	<i>Zingiber purpureum</i> pada media tumbuh 1 dengan penambahan 8 g Ammonium thiosulfat /kg media
4	M2T1	<i>Zingiber purpureum</i> pada media tumbuh 2 tanpa penambahan Ammonium thiosulfat (0 g Ammonium thiosulfat /kg media)
5	M2T2	<i>Zingiber purpureum</i> pada media tumbuh 2 dengan penambahan 4 g Ammonium thiosulfat /kg media
6	M2T3	<i>Zingiber purpureum</i> pada media tumbuh 2 dengan penambahan 8 g Ammonium thiosulfat /kg media

Dari kombinasi diatas penelitian menggunakan perancangan acak kelompok, dengan 6 kombinasi perlakuan dan setia perlakuan menggunakan 3 kali ulangan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Konsentrasi Hg Awal

Merkuri merupakan salah satu unsur metal dalam tanah yang memang ada karena aktivitas dari geologi dan lingkungan, banyak sumber pencemaran merkuri ke dalam sistem lingkungan salah satunya yaitu dari kegiatan pertambangan emas yang tidak menggunakan standar operasional yang benar. Pertambangan yang masih aktif dan semakin bertambah jumlahnya berada pada Kecamatan Sekotong Barat, Nusa Tenggara Barat, pada lokasi tersebut konsentrasi merkuri yang mencemari tanah mencapai 1000 mg/ Kg, menurut Badan Geologi Nasional kandungan merkuri yang ada dalam tanah maksimum 0,001 mg/ Kg. Jika dilihat maka tanah yang berada di Kecamatan Sekotong memiliki kandungan merkuri yang sangat tinggi, di lihat pada Tabel. 3 analisis dasar menunjukkan bahwa pada kedua jenis tailing yang digunakan memiliki konsentrasi Hg mencapai 1456 mg/ Kg (*tailing* amalgamasi) dan 1106 mg/ Kg (*tailing* sianidasi). Kandungan merkuri yang sangat tinggi dapat mengganggu kesehatan air tanah dan tumbuhan yang hidup di atasnya, kandungan merkuri yang tinggi tersebut karena proses pengolahan emas dengan menggunakan proses amalgamasi yang menggunakan merkuri dalam pengikatan logam emas yang terkandung dalam tanah tersebut dan limbah hasil proses penambangan dibuang tanpa melalui proses penyaringan yang baik sehingga merkuri yang terkandung dalam limbah terakumulasi pada tanah tanah disekitar area tambang emas tersebut.

4.2. Pertumbuhan Tanaman *Zingiber purpureum*

Pertumbuhan tanaman juga sebagai parameter bagaimana merkuri dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman *Zingiber purpureum*. Dalam penelitian pertumbuhan tanaman yang diamati yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah anakan tanaman *Zingiber purpureum*.

4.2.1. Tinggi Tanaman

Pengamatan tinggi tanaman dilakukan selama 9 minggu, untuk melihat pertumbuhan tanaman *Zingiber purpureum* akibat konsentrasi Hg yang diserap selama penelitian berlangsung.

Tinggi tanaman dapat menjadi suatu parameter pertumbuhan yang baik, dari Tabel. 7 dapat dilihat bahwa pertumbuhan tanaman *Zingiber purpureum* setiap minggunya mengalami peningkatan yang baik pada keenam perlakuan yang dilakukan selama 8 minggu setelah tanam. Tinggi tanaman yang memiliki pertumbuhan yang baik yaitu pada perlakuan M1T1 dan M2T1 yang merupakan perlakuan tanpa pemberian Ammonium thiosulfat pada media tanam. Lalu pada 63 HST yaitu 1 minggu setelah pengaplikasian Ammonium thiosulfat menunjukkan tingkat pertumbuhan yang menurun pada perlakuan yang diberi Ammonium thiosulfat 4 mg/ Kg media dan 8 g/kg media yaitu M1T2, M2T2, M1T3, dan M2T3. Dari keempat perlakuan tersebut yang menunjukkan penurunan tinggi tanaman yang signifikan terjadi pada perlakuan M1T2 dan M1T3, hal ini diakibatkan karena penambahan Ammonium thiosulfat ($[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3$) dengan jumlah 8 mg/ Kg media mampu meningkatkan konsentrasi Hg dalam tajuk dan akar tanaman tersebut dengan baik, sedangkan pada konsentrasi Ammonium thiosulfat 4 g/kg media juga menunjukkan pertumbuhan yang menurun namun tidak secara signifikan seperti pada perlakuan Ammonium thiosulfat ($[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3$) 8 g/kg media. Hal ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Shekar (2011), yang menggunakan tanaman tomat sebagai indikator untuk tanaman setelah diberi perlakuan konsentrasi Hg yang berbeda, pada penelitian tersebut didapat hasil pertumbuhan tomat khususnya tinggi tanaman yang semakin menurun nilainya diikuti dengan konsentrasi Hg pada media tanam meningkat. Kemudian penelitian Kibria (2008), yang menggunakan padi sebagai tanaman indikator, pada penelitian tersebut semakin tinggi konsentrasi Hg pada tanaman akan membuat tinggi tanaman juga menurun, hal ini karena Hg mampu mempengaruhi kerja enzim pertumbuhan dalam tanaman. Perbedaan tinggi pada setiap perlakuan dalam setiap minggu setelah tanam, setelah dianalisis datanya dapat dilihat pada Tabel. 7, pada tabel tersebut menunjukkan bahwa 7 HST dan 63 HST menunjukkan perbedaan secara nyata pada taraf 5%, lalu diuji dengan BNT 5%.

Tabel 7. Pengamatan Tinggi Tumbuhan *Zingiber purpureum*

Perlakuan	Tinggi Tanaman (Cm)								
	7	14	21	28	35	42	49	56	63*
.....Hari Setelah Tanam									
M1T1	3,63 b	6,70	11,47	18,47	22,60	27,67	31,30	41,83	45,40 b
M1T2	1,80 ab	3,45	5,43	8,83	13,30	15,83	20,37	32,77	27,60 a
M1T3	1,33 ab	3,00	6,30	10,43	16,00	18,13	21,13	29,00	22,37 a
M2T1	1,67 ab	4,33	9,67	16,53	22,63	26,97	29,17	36,83	48,35 b
M2T2	1,00 a	2,38	3,92	7,12	14,50	16,03	19,67	27,63	25,40 a
M2T3	3,17 b	6,20	9,37	13,87	18,63	20,87	23,33	30,83	28,90 ab
BNJ 5%	2,558	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn	17,08

Keterangan:

* = 1 minggu setelah pengaplikasian Ammonium thiosulfat ($[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$)

Pada 7 HST menunjukkan perbedaan secara nyata pada keenam perlakuan, dikarenakan pertumbuhan setiap tanaman pada fase awal pertumbuhan masih mengalami proses adaptasi yang berbeda untuk media tanam, walaupun menggunakan bibit yang sama namun kemampuan setiap bibit berbeda, sedangkan pada 14, 21, 28, 35, 42, dan 56 HST menunjukkan perbedaan yang tidak nyata, hal ini karena pada 14, 21, 28, 35, 42, dan 56 HST belum menggunakan Ammonium thiosulfat sebagai pengkhelat untuk meningkatkan serapan Hg pada tanaman. Kemudian pada 63 HST atau 1 minggu setelah pengaplikasian Ammonium thiosulfat ($[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$) menunjukkan perbedaan secara nyata pada taraf 5%, lalu di uji lanjutan dengan menggunakan BNJ 5%. Hasil dari uji lanjut tersebut menunjukkan bahwa penambahan Ammonium thiosulfat 4 mg/ Kg media dan 8 mg/ Kg media masih menunjukkan nilai huruf yang sama, ini berarti keempat perlakuan tersebut nilainya tidak berbeda secara besar sesuai nilai BNJ nya, namun keempat perlakuan berbeda secara nilai BNJ dengan perlakuan M1T1 dan M2T1 yang merupakan perlakuan tanpa penambahan Ammonium thiosulfat ($[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$).

4.2.2. Jumlah Daun

Jumlah daun diukur agar melihat dampak Hg yang diserap oleh tanaman *Zingiber purpureum* selama penelitian berlangsung hingga pengaplikasian Ammonium thiosulfat pada media tanam.

Penambahan jumlah daun tersebut terus meningkat karena pada setiap perlakuan penambahan Ammonium thiosulfat belum dilakukan. Perlakuan M1T1 dan M1T2 menunjukkan jumlah daun yang paling tinggi dibanding dengan perlakuan yang lain dengan rata-rata peningkatan 3 helai daun setiap minggunya, begitu juga dengan perlakuan M1T2, M2T2, M1T3, dan M2T3 menunjukkan nilai penambahan yang meningkat, namun pada 63 HST mengalami penurunan jumlah daun dikarenakan pengaplikasian Ammonium thiosulfat. Untuk perlakuan penambahan 8 mg/ Kg media tanam yaitu pada perlakuan M1T3 dan M2T3 menunjukkan penurunan yang sangat tajam dikarenakan penambahan Ammonium thiosulfat ($[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3$) dapat meningkatkan penyerapan Hg yang ada dalam tanah menuju tajuk tanaman, dengan tingginya konsentrasi Hg yang ada dalam tajuk tanaman akan membuat gangguan pada proses fisiologi tanaman yang menyebabkan tanaman menjadi mati.

Untuk analisis data yang dilakukan menunjukkan bahwa perbedaan secara nyata terjadi pada pengamatan 63 HST atau 1 minggu setelah pengaplikasian Ammonium thiosulfat, dapat dilihat pada Tabel. 8, dalam tabel tersebut ditunjukkan bahwa pada perlakuan M1T3 dan M2T3 menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada BNJ taraf 5%, namun berbeda nyata dengan perlakuan M1T1, M1T2, M2T1, dan M2T2. Dari kedua media M1 dan M2 yang diberi Ammonium thiosulfat 0 mg/ Kg media, 4 mg/ Kg media, 8 mg/ Kg media menunjukkan nilai yang semakin meurun karena konsentrasi Hg semakin tinggi yang ada pada tanaman.

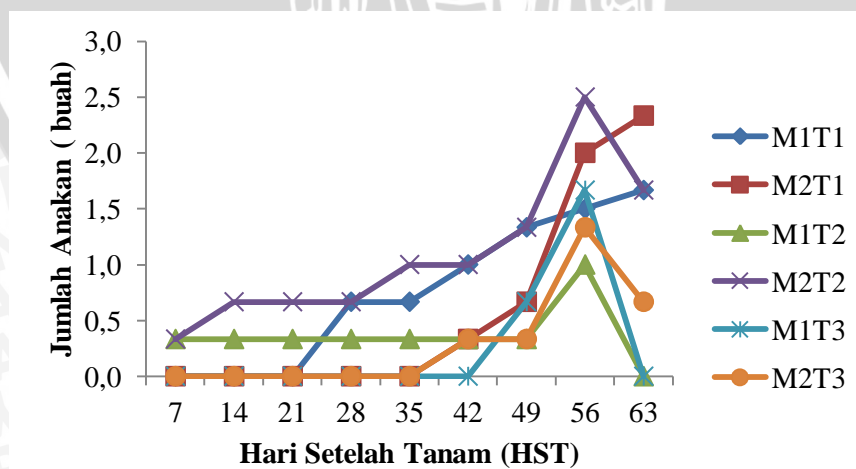
Tabel 8. Pengamatan Jumlah Daun Tumbuhan *Zingiber purpureum*

Perlakuan	Jumlah Daun								
	7	14	21	28	35	42	49	56	63
Hari Setelah Tanam								
M1T1	0,00	0,67	1,67	3,33	5,00	6,67	7,67	10,00	11,67 b
M1T2	0,00	0,00	1,00	1,67	2,67	3,33	4,67	7,00	8,67 b
M1T3	0,00	0,33	0,67	2,33	3,67	5,33	5,67	7,67	2,67ab
M2T1	0,00	0,33	1,00	2,67	4,33	6,00	7,00	8,67	10,33b
M2T2	0,00	0,00	0,67	2,00	3,00	4,67	6,00	8,00	9,33 b
M2T3	0,00	0,00	0,67	2,67	3,67	5,00	6,00	8,00	3,67 ab
BNJ 5%	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn	5,022

4.2.3 Jumlah Anakan

Jumlah anakan dilakukan pengamatan selama penelitian yaitu 63 HST, jumlah anakan ini sebagai parameter pertumbuhan yang baik, karena apabila merkuri mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu pertambahan jumlah anakan. Jumlah anakan jika semakin banyak maka kemampuan tanaman *Zingiber purpureum* dalam meremediasi tanah tercemar merkuri juga akan semakin meningkat.

Ketika 1 minggu setelah pengaplikasian (63 HST) dilakukan pengamatan terhadap jumlah anakan, menunjukkan data bahwa jumlah anakan yang ada pada perlakuan penambahan Ammonium thiosulfat 4 mg/ Kg media tanam dan 8 mg/ Kg media tanam yaitu M1T2, M2T2, M1T3, dan M2T3, menunjukkan nilai yang menurun. Namun untuk perlakuan tanpa penambahan Ammonium thiosulfat yaitu 0 g / kg media tanam menunjukkan nilai yang meningkat, hal ini karena Ammonium thiosulfat ($[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3$) mampu meningkatkan penyerapan merkuri yang ada dalam tanah menuju ke akar tanaman dengan membuat bentuk merkuri yang tidak dapat diserap tanaman menjadi bentuk yang mampu diserap oleh tanaman. Jadi, ini yang membuat anakan pada perlakuan penambahan Ammonium thiosulfat 4 mg/ Kg media tanam dan 8 mg/ Kg media tanam yaitu M1T2, M2T2, M1T3, dan M2T3 mati, karena kadar merkuri dalam tajuk tanaman sangat tinggi, kemudian pada saat kondisi masih dalam anakan tanaman maka proses fisiologi masih sangat lambat belum optimum.

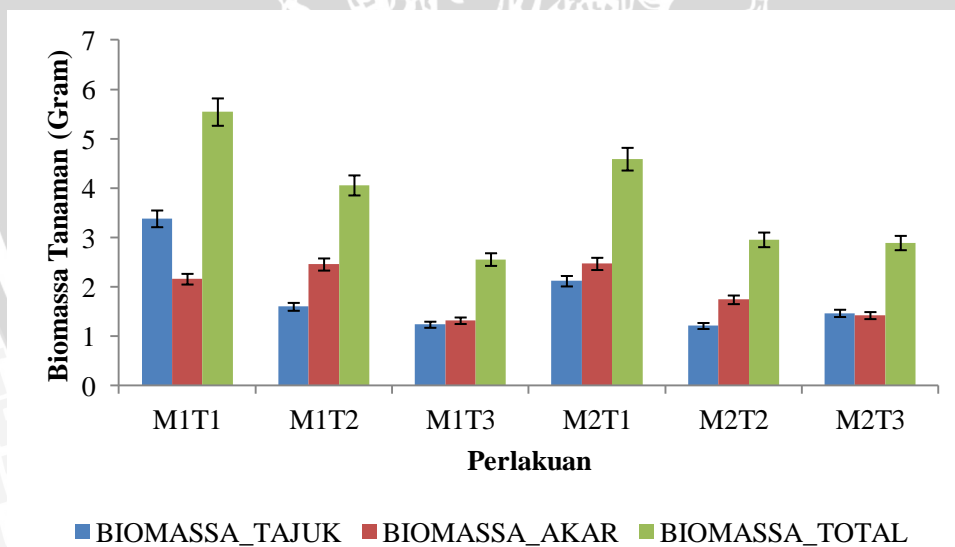


Gambar 1. jumlah anakan tanaman *Zingiber purpureum*

Perbedaan jumlah anakan juga terdapat pada media tanam yang berbeda yaitu *tailing* amalgamasi (M1) dan *tailing* sianidasi (M2), menunjukkan bahwa jumlah anakan yang ada pada media *tailing* sianidasi jumlahnya jauh lebih banyak dibanding dengan media tanam campuran *tailing* amalgamasi, ini karena jumlah merkuri yang ada pada media tanam campuran amalgamasi mencapai 395 mg/Kg, sedangkan untuk media tanam campuran *tailing* sianidasi memiliki kadar merkuri hanya 327 mg/Kg. Namun perlakuan yang ditambahkan dengan Ammonium thiosulfat ($[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3$) 8 mg/Kg media tanam menunjukkan nilai penurunan jumlah anakan yang cepat pada 63 HST, pada 63 HST setelah pengaplikasian Ammonium thiosulfat ($[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_3$) meningkatkan penyerapan Hg ke tajuk tanaman, akibat akumulasi yang tinggi maka membuat tanaman menjadi stress dan dapat membuat sel-sel tanaman mati.

4.2.4. Produksi Biomassa Tanaman *Zingiber purpureum*

Biomassa merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam keberhasilan fitoremediasi. Dari penelitian ini di dapat data biomassa tanaman saat panen dan dioven dengan suhu 40°C.



Gambar 2. Biomassa Tumbuhan *Zingiber purpureum* setelah fitoremediasi

Data menunjukkan hasil yang berbeda pada setiap perlakuan yang digunakan, biomassa tajuk paling besar ditunjukkan pada perlakuan M1T1 (media tanam *tailing* amalgamasi dan 0 g Ammonium thiosulfat/ kg media) 3,384 g (Tabel. 9) dan biomassa tajuk paling kecil didapat dari perlakuan M1T3 (media

tanam tailing amalgamasi dan 8 g Ammonium thiosulfat/ kg media tanam) 1,329 g (Tabel. 9). Dari kedua media tanam yang digunakan dan diberikan perlakuan Ammonium thiosulfat ($[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$) dengan jumlah yang sama didapat hasil bahwa semakin tinggi dosis Ammonium thiosulfat ($[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$) yang diberikan maka biomassa tajuk tanaman *Zingiber purpureum* semakin kecil, dibanding dengan perlakuan 0 g Ammonium thiosulfat/ kg media tanam, penambahan 4 g Ammonium thiosulfat/ kg media tanam dan 8 g Ammonium thiosulfat/ kg media tanam menunjukkan nilai yang semakin menurun. Hal ini ditunjukkan juga pada penelitian Wang *et al.* (2013), pada penelitian tersebut penambahan Ammonium thiosulfat 8 mg/ Kg media menghasilkan biomassa tajuk lebih kecil dibanding media tanam yang tidak ditambahkan Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ pada media tanam. Semakin tinggi konsentrasi Hg pada tanaman maka menyebabkan tinggi tanaman akan terhambat (Kibria, 2008), selain tinggi tanaman, jumlah daun juga menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi Hg pada tanaman (Soudek *et al.*, 2012) Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ digunakan dalam mengubah merkuri dalam tanah agar dapat diserap dengan mudah oleh tanaman, namun tanaman juga memiliki kadar maksimum dalam penyerapan merkuri bila kandungan merkuri tinggi akan menyebabkan tanaman mati dan mengurangi biomassa tanaman saat pemanenan dikarenakan tanaman mati terlebih dahulu.

Biomassa akar yang dihitung menunjukkan bahwa perlakuan M1T2 dan M2T1 memiliki nilai yang hampir sama sedangkan perlakuan yang memiliki biomassa akar yang paling sedikit yaitu pada perlakuan M1T3 dan M2T3 yaitu 1,239 g dan 1,469 g. Akumulasi merkuri diakar akan mempengaruhi biomassa akar itu sendiri, jika dibandingkan dengan perlakuan penambahan Ammonium thiosulfat 0 mg/ Kg media tanam dan 4 mg/ Kg media tanam, perlakuan penambahan Ammonium thiosulfat 8 mg/ Kg media tanam menghasilkan biomassa akar lebih kecil. Dari penelitian Wang *et al.* (2013), menunjukkan konsentrasi Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ yang diberikan sebanyak 8 mg/ Kg media tanam dibanding dengan tanpa penambahan Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ menunjukkan hasil biomassa yang lebih kecil.

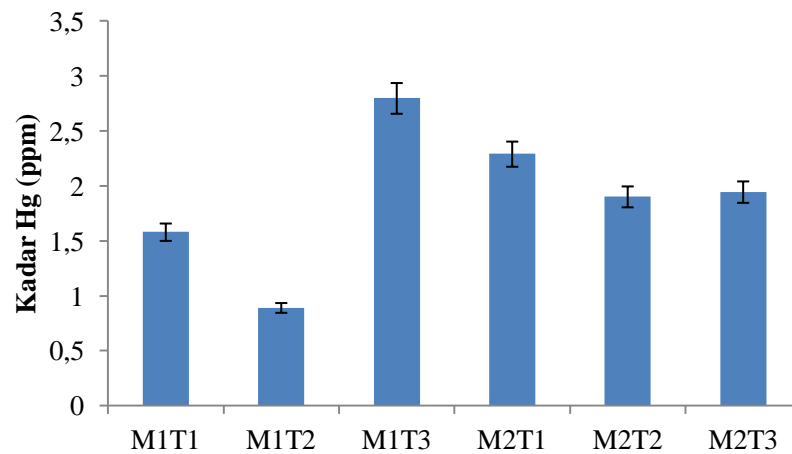
Tabel 9. Biomassa tanaman *Zingiber purpureum* setelah fitoremediasi

Perlakuan	Biomassa Tajuk (g)	Biomassa Akar (g)	Biomassa Total (g)
M1T1	3,384	2,161 ab	5,545
M1T2	1,602	2,459 ab	4,060
M1T3	1,239	1,320 a	2,559
M2T1	2,121	3,185 b	4,592
M2T2	1,214	1,744 ab	2,958
M2T3	1,469	1,425 a	2,894
BNJ 5%	tn	1,510	tn

Nilai biomassa akar tanaman secara analisis statistika menunjukkan nilai yang berbeda nyata pada taraf 5%, dari nilai BNJ tersebut menunjukkan bahwa perlakuan M1T3 dan M2T3 berbeda nyata terhadap M2T1, sedangkan tidak berbeda nyata terhadap perlakuan yang lain. Sedangkan untuk biomassa tajuk dan biomassa total tanaman tidak berbeda secara nyata setelah dianalisis lanjutan.

4.3. Konsentrasi Hg Dalam Tajuk dan Akar Tanaman *Zingiber purpureum*

Hasil dari fitoremediasi semua perlakuan pada tajuk dan akar tanaman *Zingiber purpureum* ditampilkan pada Gambar. 11 dan Gambar. 12. Gambar. 11 merupakan total Hg yang ada pada tajuk tanaman *Zingiber purpureum*, perlakuan M1T3 menunjukkan nilai serapan Hg yang tertinggi dibanding perlakuan yang lain, sedangkan untuk perlakuan M1T2 menunjukkan nilai terendah dari semua perlakuan. Tanaman *Zingiber purpureum* menyerap Hg dan terakumulasi ditajuk dengan jumlah yang sangat kecil dibanding dengan yang terakumulasi di akar tanaman, karena tanaman *Zingiber purpureum* bukan merupakan tanaman fitoekstraksi namun tanaman fitostabilisasi logam-logam berat yang terkontaminasi pada tanah.

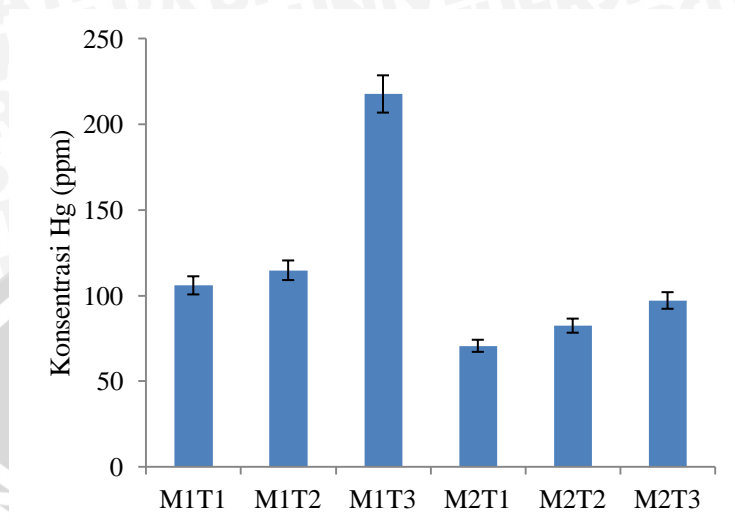


Gambar 3. Kandungan Hg pada Tajuk *Zingiber purpureum* (nilai rata-rata \pm standar deviasi), n = 3

Berbeda pada data yang ditampilkan untuk konsentrasi Hg pada akar tanaman *Zingiber purpureum*, pada akar konsentrasi Hg sangat tinggi hingga 200 mg/ Kg, ini 100 kali lebih besar dibanding jumlah yang ada pada tajuk tanaman. Dari Gambar menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi untuk konsentrasi Hg pada akar tanaman yaitu pada perlakuan M1T3 yaitu media tanam campuran tailing amalgamasi dengan penambahan 8 g Ammonium thiosulfat/ kg media tanam, dan konsentrasi Hg terendah pada perlakuan M2T1 yaitu media tanam dengan campuran 30 % tailing sianidasi dan penambahan 0 g Ammonium thiosulfat/ kg media tanam. Su *et al.* (2007) menunjukkan pada penelitiannya bahwa konsentrasi Hg pada media yang memiliki kandungan Hg tinggi juga menyebabkan serapan Hg tinggi pada akar untuk tanaman tertentu.

Penambahan Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ bertujuan untuk meningkatkan serapan Hg pada tanaman, dari Gambar. 12 menunjukkan semakin besar dosis Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ yang ditambahkan kedalam media tanam maka serapan Hg akan semakin meningkat pada akar tanaman *Zingiber purpureum*, dapat dilihat dari kedua media tanam yang digunakan yaitu M1 dan M2 menunjukkan nilai yang terus meningkat dengan meningkatnya dosis ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ yang diberikan, berarti ini menunjukkan bahwa Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ mampu meningkatkan serapan Hg pada tanaman. Peningkatan serapan Hg pada tanaman dengan penambahan Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ juga ditunjukkan oleh penelitian Wang *et al.* (2013), bahwa

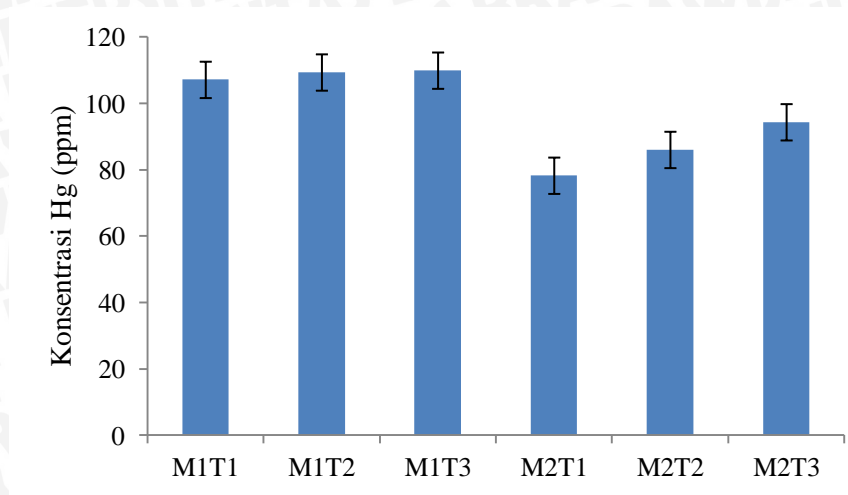
penambahan Ammonium thiosulfat 8 mg/ Kg media tanam mampu meningkatkan serapan Hg pada akar tanaman meningkat hingga 100 kali lipat dibanding tanpa pemberian Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$.



Gambar 4. Kandungan Hg pada Akar *Zingiber purpureum* (nilai rata-rata \pm standar deviasi), $n = 3$

4.4. Kandungan Hg Tanah Pascafitoremediasi

Penurunan kadar Hg pada tanah merupakan salah satu tujuan dari fitoremediasi yang dilakukan, karena tanah yang digunakan merupakan tanah yang tercemar Hg hingga kadar 1000 mg/ Kg maka perlu dilakukan pengembalian kesehatan tanah hingga kadar Hg pada nilai tertinggi yang diperbolehkan yaitu 0,002 mg/ Kg (Badan Geologi Nasional, 2013). Namun pelaksanaan fitoremediasi biasanya menggunakan tanaman asli atau yang mampu tumbuh disekitar wilayah pertambangan namun belum diketahui kemampuan tanaman dalam menyerap Hg dalam tanah, setelah dilakukan penelitian ini ditemukan bahwa penurunan Hg dari sebelum difitoremediasi dan setelah fitoremediasi menunjukkan penurunan hingga 28, 81 %. Penurunan ini ditunjukkan pada Tabel. 10, pada Gambar ditunjukkan perlakuan dengan penambahan Ammonium thiosulfat 8 mg/ Kg media tanam yaitu perlakuan M1T3 dan M2T3 menghasilkan nilai penurunan yang paling tinggi, dikarenakan Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ merupakan pengkkelat untuk menjadikan Hg yang tidak mudah diserap oleh tanaman menjadi mudah diserap oleh tanaman, maka nilai Hg dalam tanah akan semakin menurun karena peningkatan pada akar dan tajuk tanaman.



Gambar 5. Kandungan Hg dalam Tanah setelah Fitoremediasi *Zingiber purpureum* (nilai rata-rata \pm standar deviasi), n = 3

Nilai penurunan tersebut diikuti dengan peningkatan kadar Hg pada tanaman baik di akar maupun tajuk tanaman, semakin besar nilai Hg yang terakumulasi pada tajuk tanaman maka dapat menjadi indikasi hilangnya Hg dalam tanah. Dari semua perlakuan yang digunakan kehilangan Hg terbesar berada pada perlakuan penambahan Ammonium thiosulfat 8 mg/ Kg media tanam, sedangkan untuk perlakuan Ammonium thiosulfat 0 mg/ Kg media tanam menunjukkan nilai yang paling kecil. (Tabel. 12)

Tabel 10. Penurunan Kadar Hg dalam Tanah setelah Fitoremediasi oleh *Zingiber purpureum*

Perlakuan	Nilai Hg Total Fitoremediasi pada Tanaman(mg/ Kg)	Nilai Hg Sebelum Fitoremediasi (mg/ Kg)	Prosentase Penurunan kadar Hg (%)
M1T1	107,14	394,6	27,15
M1T2	109,36	394,6	27,71
M1T3	109,92	394,6	27,85
M2T1	78,25	327,5	23,89
M2T2	86,03	327,5	26,26
M2T3	94,36	327,5	28,81

4.5. Serapan Hg pada Tajuk dan Akar Tanaman *Zingiber purpureum*

Tingkat ekstraksi dari tanaman yang digunakan untuk memremediasi tanah tercemar dapat diukur dari BCF, BAC dan TF. Nilai – nilai tersebut didapat dari perhitungan yang telah digunakan pada berbagai penelitian untuk fitoremediasi

kontaminasi logam-logam berat seperti Zn, Cu, dan Pb (Yoon *et al.*, 2006). Untuk mengetahui tanaman yang ditanam merupakan tanaman fitoekstraksi atau fitostabilisasi dilihat dari nilai BCF dan TF. Nilai BAC digunakan sebagai nilai dalam menentukan kemampuan tanaman untuk remediasi tanah dengan perbandingan konsentrasi logam di tajuk dibanding dengan konsentrasi dalam tanah apabila nilai BAC menunjukkan >1 maka tanaman tersebut memiliki kemampuan sebagai fitoekstraktor, sedangkan bila <1 maka tanaman tersebut sebagai fitostabilisator (Li, 2007). Apabila nilai TF dan BAC dari tanaman tersebut memiliki nilai lebih dari 1 maka tanaman tersebut termasuk kemampuan tanaman dalam mengekstraksi logam-logam berat, sedangkan bila nilai TF dan BAC kurang dari 1 maka tanaman berpotensi sebagai tanaman fitostabilisasi. Dari perhitungan yang dilakukan untuk semua perlakuan nilai TF dan BAC kurang dari 1 (Tabel. 13), maka tanaman *Zingiber purpureum* tergolong kedalam tanaman yang memiliki kemampuan sebagai fitostabilisasi logam Hg yang mencemari tanah. BCF dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara konsentrasi logam Hg yang terkandung di akar dengan kandungan Hg yang terkandung pada tanah (Yoon *et al.*, 2006) nilai BCF digunakan untuk mengestimasi sebuah potensi tanaman sebagai fitoremediator (Ashfaq *et al.*, 2003), sedangkan TF merupakan perbandingan antara konsentrasi Hg pada tajuk tanaman dengan konsentrasi Hg pada akar tanaman (Yoon *et al.*, 2006). Pada semua perlakuan nilai BCF tertinggi pada perlakuan M1T3 dan M2T1 yaitu 0,55 dan 0,29, sedangkan nilai terkecil untuk BCF pada perlakuan M2T1 yaitu 0,21. Nilai ini menunjukkan bahwa kemampuan tanaman untuk mengakumulasikan logam berat yang berada ditanah menuju kedalam akar tanaman *Zingiber purpureum*. Untuk nilai TF tertinggi pada perlakuan M2T1 sebesar 0,031. Nilai TF menunjukkan kemampuan tanaman dalam mengakumulasikan logam berat yang berasal dari akar tanaman menuju tajuk tanaman. Namun nilai BCF dan TF menunjukkan bahwa tanaman *Zingiber purpureum* tidak dapat digunakan sebagai tanama ekstraktor untuk logam berat.

Tabel 11. Nilai BCF, BAC, dan TF Setelah Fitoremediasi

PERLAKUAN	BCF	BAC	TF
M1T1	0,26 a	0,004	0,014
M1T2	0,29 a	0,002	0,007
M1T3	0,55 b	0,007	0,012
M2T1	0,21 a	0,007	0,031
M2T2	0,25 a	0,005	0,023
M2T3	0,29 a	0,005	0,022
BNJ 5%	0,14	tn	tn

Sedangkan nilai BAC merupakan nilai untuk menunjukkan konsentrasi logam Hg yang terakumulasikan pada tajuk tanaman dengan konsentrasi Hg pada tanah (Yanqun *et al.*, 2005), nilai BCF ini hanya juga digunakan untuk mengevaluasi kapasitas kemampuan tanaman *Zingiber purpureum* dalam menyerap Hg pada tanah. Nilai BCF pada semua perlakuan memiliki nilai kurang dari 1 maka ini juga sebagai parameter kemampuan tanaman untuk mengekstraksi logam Hg pada tanah.

Dari ketiga nilai diatas dapat dikatakan bahwa tanaman *Zingiber purpureum* tidak sesuai dijadikan sebagai tanaman pengekstrak logam berat, namun lebih sesuai sebagai tanaman fitostabilisasi untuk logam berat. Fitostabilisasi merupakan suatu kemampuan tanaman dalam mengakumulasikan logam berat dalam tanah dalam jumlah besar berada di akar tanaman tersebut dan membuat unsur logam berat tersebut tidak mudah berpindah (*immobilisation*) (Cunningham *et al.*, 1995). Namun tanaman *Zingiber purpureum* bila mengakumulasikan logam berat Hg semakin banyak maka biomassa yang dihasilkan sedikit, sebagai salah satu aturan tanaman yang mengakumulasi logam berat harus memiliki kemampuan menghasilkan biomassa dalam jumlah besar dan mengakumulasikan logam berat dalam jumlah banyak (Hidayati *et al.*, 2009). Menurut penelitian Esteban *et al.* (2008), menunjukkan bahwa pada tanaman *White Lupin*, nilai TF yang kecil menunjukkan bahwa kemampuan tanaman tersebut dalam mentranslokasikan logam dari akar menuju tajuk tanaman

sangat kecil, namun terkonsentrasi pada kuat pada akar tanaman dan terperangkap pada jaringan akar tanaman dan terikat pada sel dinding akar.

4.6. Pembahasan Umum

Fitoremediasi merupakan suatu teknologi yang menggunakan tumbuhan dalam mengembalikan fungsi tanah setelah tercemar oleh bahan-bahan beracun seperti logam berat merkuri (Hg). Penelitian ini menggunakan tanaman Bangle (*Zingiber purpureum*) dalam memremediasi tanah tercemar logam berat Hg.

Penelitian ini menggunakan 2 macam tanah *Tailing* yaitu *tailing* sianidasi dan *tailing* amalgamasi, serta dengan penambahan Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ dengan kadar 0 g/ kg media tanam, 4 g/ kg media tanam, dan 8 g/ kg media tanam. Dari hasil analisis yang dilakukan kandungan Hg pada tanaman Bangle konsentrasi Hg tertinggi terdapat pada organ tumbuhan akar dibanding dengan tajuk tanaman, konsentrasi Hg pada akar tanaman Bangle mencapai 100 kali lebih tinggi dibanding dengan tajuk tanaman. Nilai konsentrasi Hg pada akar tanaman tertinggi pada perlakuan M1T3 dan M2T3 dengan penambahan Ammonium thiosulfat sebanyak 8 g/ Kg media tanam yaitu 217,647 mg/ Kg dan 97,0585 mg/ Kg. Organ akar merupakan suatu organ tanaman yang berguna dalam menyerap unsur hara dan air dalam tanah untuk pertumbuhan tanaman.

Dengan meningkatnya konsentrasi Hg akar pada tanaman menyebabkan pertumbuhan tanaman Bangle terganggu, pertumbuhan tanaman meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, serta jumlah anakan yang tumbuh selama penelitian. Tinggi tanaman dapat ditunjukkan pada Tabel. 8. Data tersebut menunjukkan bahwa perlakuan M1T3 memiliki pertumbuhan yang paling terhambat dengan tinggi tanaman setelah pengaplikasian Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ sebesar 22, 37 cm pada 63 HST, demikian pula dengan data jumlah daun sebesar 2, 67. Dengan meningkatnya konsentrasi Hg pada akar tanaman Bangle maka akan menghambat pertumbuhan tanaman Bangle khususnya pada tinggi tanaman tersebut, sedangkan konsentrasi Hg semakin meningkat pada organ tanaman diikuti dengan meningkatnya jumlah Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ yang diberikan kedalam media tanam. Selain tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah

anakan juga semakin menurun dengan meningkatnya konsentrasi Hg pada akar tanaman Bangle.

Konsentrasi Hg yang meningkat juga mempengaruhi biomassa tanaman Bangle, semakin meningkatnya Hg pada tanaman menurunkan biomassa total tanaman Bangle (Tabel. 3). Ada beberapa tanaman fitoremediasi yang mampu mengakumulasi logam berat dalam jumlah besar namun tidak diimbangi dengan biomassa yang meningkat, namun ada beberapa tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat dalam jumlah besar, dengan menghasilkan biomassa yang rendah (Jadla *et al.*, 2009). Tanaman Bangle pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya akumulasi logam berat pada tanaman Bangle menghasilkan biomassa tanaman yang rendah. Dengan hasil analisis Hg pada tanah, tajuk, dan akar tanaman Bangle didapat nilai BCF, BCF dan TF dalam mengkoreksi kemampuan tanaman Bangle dalam memremediasi tanah tersebut, dari semua perlakuan menunjukkan bahwa tanaman tersebut memiliki nilai $TF < 1$. Nilai TF menunjukkan kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan logam berat Hg dari akar tanaman menuju tajuk tanaman, nilai $TF > 1$ menunjukkan bahwa tanaman tersebut memiliki kemampuan sebagai fitoekstraksi sedangkan $TF < 1$ menunjukkan bahwa tanaman tersebut sebagai fitostabilisasi (Yoon *et al.*, 2006), akumulasi Hg yang terkonsentrasi di akar lebih besar dibanding pada tajuk tanaman maka tanaman Bangle merupakan tanaman fitostabilisasi unsur Hg, dengan mengikat dan mengakumulasi Hg dalam jumlah besar dan membuat Hg immobilisasi dalam tanah tersebut. Selain dari nilai TF, nilai BCF juga sebagai parameter untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam memremediasi tanah tercemar limbah tailing. Nilai BCF menunjukkan kurang dari 1, sama halnya dengan nilai TF, nilai BCF kurang dari 1 termasuk dalam fitostabilisasi untuk logam berat Hg pada tanah. Nilai BCF merujuk pada konsentrasi Hg pada akar tanaman dibanding dengan tanah yang tercemar. Tanaman yang memiliki kemampuan sebagai fitostabilisasi harus memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam-logam beracun dalam akar tanaman dan tidak menyalurkan dan mengakumulasi dalam jumlah besar pada bagian tajuk tanaman (Mendez and Maier, 2008).

Kemudian setelah menganalisis kandungan Hg total pada tanaman Bangle dan tanah setelah fitoremediasi menunjukkan bahwa jumlah Hg sebelum dilakukan fitoremediasi (Tabel. 5) dibanding Hg setelah dilakukan fitoremediasi (Tabel. 10) menurun hingga 27, 85 % pada perlakuan MIT3 namun bila dilihat konsentrasi Hg pada tanah setelah fitoremediasi masih tergolong dalam jumlah yang tinggi yaitu > 7 mg/ Kg untuk tanah-tanah pertanian (Zhang and Wong, 2006), penurunan ini diikuti dengan akumulasi Hg pada tajuk dan akar tanaman serta penambahan ligan Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ dapat meningkatkan penyerapan Hg pada tanaman Bangle serta mentranslokasikan ke bagian tajuk tanaman (Petruzzelli *et al.*, 2013). Bila dilihat dari kemampuan tanaman Bangle dalam memremediasi diperlukan beberapa tahap pengaplikasian tanaman hingga tanah berada pada taraf standar yang baik untuk dilakukan produksi tanaman.

Telah dijelaskan di depan tanaman Bangle memiliki kemampuan sebagai fitostabilisasi, merupakan suatu teknik yang dimiliki oleh species tanaman tertentu dalam mengimmobilisasikan logam berat pencemar pada substrat tailing dengan cara menarik logam berat menuju permukaan akar tanaman (Abreu *et al.*, 2012), diserap kedalam organ perakaran dan mengendapkan logam tersebut (White, 2014) serta menurunkan kelarutan dari logam Hg dan tidak mencemari lingkungan (Mendez and Maier, 2008).

Tanaman Bangle memiliki kemampuan fitostabilisasi ini dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama karena tanaman Bangle merupakan tanaman herba tahunan dan dapat terus hidup bertahun-tahun ini yang menjadikan tanaman Bangle sesuai untuk dijadikan tanaman remediasi tanah tercemar limbah tailing yang kaya akan logam Hg. Mekanisme tanaman Bangle dalam membuat logam Hg tidak mencemari. Dengan cara bentuk Hg dalam tanah akan ditarik/ diserap mendekati zona perakaran dan diubah bentuknya menjadi tidak tersedia, mengendap dan ditranslokasikan ke dalam jaringan akar tanaman melalui proses penyerapan unsur hara dan di simpan di vakuola (USDA, 2012).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa tanaman Bangle mampu meremediasi logam pencemar Hg pada tailing dengan sebagai fitostabilisasi Hg karena nilai TF yang dihasilkan kurang dari 1 yaitu 0,031 serta mampu menurunkan kadar Hg pada tanah hingga 28,81 %.
2. Pemberian ligan yang mengandung unsur S yaitu Ammonium thiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ mampu meningkatkan kemampuan Hg dalam diserap oleh tanaman dengan baik ditandai dengan jumlah Hg yang terserap oleh tanaman Bangle.

5.2. Saran

Dengan hasil yang ditampilkan pada penelitian ini maka dalam memperbaiki suatu tanah yang tercemar logam- logam berat atau unsur beracun dapat menggunakan tumbuhan- tumbuhan asli yang dapat tumbuh disekitar lokasi tanpa harus menggunakan bahan kimia yang dapat merusak tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abreu, M. M., E. S. Santos, M.C.F. Magalhães, M.J. Batista. 2012. *São Domingos Mine Wastes Phytostabilization Using Spontaneous Plant Species*. 9th International Symposium On Environmental Geochemistry Aveiro, 15th–21 Th July 2012.
- Adesodun, J. K., Atayese, M. O. Agbaje, T. Osadiaye, B. A. Mafe, O. Soretire. 2010. *Phytoremediation Potentials of Sunflowers (Thitonia diversifolia and Helianthus annuus) for Metals in Soil Contaminated with Zinc and Lead Nitrate*. Water Air Soil Pollut 205: 195-201.
- Ali, Hazrat, Ezzat Khan, and Muhammad Anwar sajad. 2013. *Phytoremediation of heavy metal-concepts and applications*. Chemosphere (91): 869-881.
- 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.
- Badan Geologi Nasional. 2013. Kandungan Unsur dalam Air Tanah. (Online) diakses pada tanggal 23 Oktober 2013. <http://esdm.go.id>.
- Baker A. J. M and Whiting SM. 2002. *In Search for the Holy Grail—Another step in understanding metal hyperaccumulation?*. New Phytol 155: 1–7
- Baker, A. J. M., Reeves, R. D., and S. P. Mcgrath. 1991. *In situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metal-accumulating plants-a feasibility study*. In: Hinchee RE and Olfenbuttel RF (eds) *In situ bioreclamation*, Stoneham. pp. 539-544.
- BALIFOKUS. 2013. Titik Rawan Merkuri di Indonesia Situs PESK: Poboya dan Sekotong di Indonesia.
- Berti, W.R. and S.D. Cunningham. 2000. *Phytostabilization of metals*. In: *Phytoremediation of Toxic Metals—Using Plants to Clean Up the Environment*. New York:John Wiley & Sons: 71-88.
- Bhargava, A., Carmona, F.F., Bhargava, M., and Srivastava, S. 2012. *Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals*. Journal of Environmental Management 105: 103-120.
- Boening, D.W. 2000. *Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review*. Chemosphere 40:1335-1351.
- Brook, R. R. 1998. *Plant That Hyperaccumulate Heavy Metals*. CAB International, Wallingford, New York.
- 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

- Chen, J. and Z.M. Yang. 2012. *Mercury toxicity, molecular response and tolerance in higher plants*, *BioMetals* 25 (5): 847-857.
- Cunningham, Scott D., William R. Berti and Jianwei W. Huang. 1995. *Phytoremediation of Contaminated Soil*. Elsevier 13: 393-397
- Díaz-Ramírez, I. J., H. Ramírez-Saad, M Gutiérrez-Rojas, E Favela-Torres. 2003. *Biodegradation of Maya crude oil fractions by bacterial strains and a defined mixed culture isolated from Cyperus laxus rhizosphere soil in a contaminated site*. *Canadian Journal of Microbiology* 49 (12): 755-761.
- Ensley, B. D. 2001. *Rationale for use of phytoremediation*. In: I. Raskin and B. D. Ensley (Eds.), *Phytoremediation of Toxic Metals. Using Plants to Clean up the Environment*, J. Wiley & Sons, New York, USA: 3-11.
- Esteban, Elvira , Eduardo Moreno, Jesús Peñalosa, José I. Cabrero, Rocio Millán and Pilar Zornoza. 2008. *Short and long-term uptake of Hg in white lupin plants: Kinetics and stress indicators*. *Environmental and Experimental Botany* 62 : 316–322.
- Gunradi, Rudy. 2005. *Evaluasi Sumber Daya/ Cadangan Bahan Galian untuk Pertambangan Sekala Kecil, Daerah Pulau Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Hasil Kegiatan Subdit Konservasi 12: 1-17
- Han, F.X., A. Banin, Yi Su, D.L. Monts, M.J. Plodinec, W.L. Kingery, and G.E. Triplett. 2002. *Industrial Age Anthropogenic Inputs of Heavy Metals into the Pedosphere*. *Naturwissenschaften* 89: 497-504
- Herman, Danny Zulkifli. 2006. *Tinjauan terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemaran Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari Sisa Pengolahan Bijih Logam*. *Jurnal Geologi Indonesia* 1(1): 31-36
- Hidayati, N., T. Juhaeti dan F. Syarif. 2009. *Mercury and Cyanide Contaminations in Gold Mine Environment and Possible Solution of Cleaning Up by Using Phytoextraction*. *Hayati Journal of Biosciences* 16 (3): 88-94
- Hinton, J. 2002. *Earthworms as a Bioindicator of Mercury Pollution in an Artisanal Gold Mining Community, Cachoeira do Pink Brazil*. *Master Thesis*. University of British Columbia, Canada. pp.140.
- Ismawati, Y. 2010. *Presentation at the National Mercury Roundtable Forum*, Jakarta, 4 August 2010.
- Jadla, Chhotu D and M. H. Fulekar. 2009. *Phytoremediation of Heavy Metals: Recent Techniques*. *African journal of Biotechnology* 6: 921-928.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2000. *Trace Elements in Soils and Plants*, CRC Press, Florida, USA, pp. 413.
- Keputusan Menteri Kesehatan No. 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang Pengawasan Kualitas Air Minum.

- Kibria, M. G. 2008. *Effect of Mercury on Some Growth Parameters of Rice (Oryza sativa L.)*. Soil Science Society of Palustan 27(1): 23-28
- Kibria, M. G. 2008. *Effect Of Mercury On Some Growth Parameters Of Rice (Oriza Sativa L.)*. Soil and Environ 27(1): 23-28.
- Krisnayanti, B.D., Arifin, Z. Bustan, Sudirman and Yani, A. 2012. *Mercury Concentration on Tailing and Water from One Year of ASGM at Lantung, Sumbawa, Indonesia*. In: *Environmental, Socio-economic, and Health Impacst of Artisanal and Small-Scale Minings*. E. Handayanto, B.D. Krisnayanti and Suhartini (eds): 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.
- Lasat, Mitch. M. 2000. *Phytoextraction Of Metals From Contaminated Soil: A Review Of Plant/ Soil/ Metal Interaction And Assessment Of Pertinent Agronomic Issue*. *Journal Of Hazardous Substance Research*. 2: 1-25.
- Lasat, Mitch. M. 2002. *Phytoextraction Of Toxic Metal : A Review Of Biological Mechanisms*. *J. Environ* 31 : 109-120.
- Liao, S.W. and W.L. Chang. 2004. *Heavy metal phytoremediation by Water Hyacinth at constructed wetlands in Taiwan*. *Journal of Aquatic Plant Management* 42: 60-68.
- 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.
- 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: 201-219.
- Memon, A. R., D. Aktoprakligil, A. Ozdemir, A. Vertili. 2001. *Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plant*. *Turk. J. Bot* 25: 111-121.
- Mendez, M.O., R.M. Maier. 2008. *Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments*. *Review Environment Science Biotechnology*7: 47-59.
- Mendez, Monica O. and Raina M. Maier. 2008. *Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments-An Emerging Remediation Technology*. Department of Soil, Water, and Environmental Science, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA .116 (3): 278-283.
- Moreno, Fabio. N, Chirstopher W. N. Anderson, Robert B. Stewart, Brett H. Robinson. 2004. *Phytoremediation of Mrecury Contaminated Mine Tailing*

by *Induced Plant- Mercury Accumulation*. National Association of Environmental Professionals. Environmental Practice 6: 165-175

Moreno, Fabio. N, Christopher W. N. Anderson, Robert B. Stewart, Brett H. Robinson, Roberto Nomura, Mory Ghomshei, John A. Meech. 2005. *Effect of Thioliigand of Plant Hg Accumulation and Valitilisation from Mercury Contaminated mine Tailing*. Springer. Plant and soil 275: 233-246

Nagajyoti, P.C., Lee, K.D. and Sreekanth, T.V.M. 2010. *Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review*” *Environmental Chemistry Letters* 8 (3), 199-216.

Nazir, Ashfaq, Riffat Naseem Malik, Muhamamd Ajaib, Nasrullah Khan and Muhammad Faheem Siddiqui. 2011. *Hyperaccumulators of heavy metals of industrial areas of Islamabad and Rawalpindi*. Pak. J. Bot 43 (4): 1925-1933.

Patra, M., and A. Sharma. 2000. *Mercury toxicity in plants*. Bot. Rev 66 (3): 379-422.

Petruzzelli, Gianniantonio, Francesca Pedron, Eliana Tassi, Elisabetta Franchi, Roberto Bagatin, Gloria Agazzi, Meri Barbafieri dan Irene Rosellini. 2014. *The Effect Of Thiosulfate On Arsenic Bioavailability In A Multi Contaminated Soil. A Novel Contribution To Phytoextraction*. *Research Journal Of Environmental And Earth Science* 6 (1) : 38-43.

Prasad, M. N. V. 2001. *Metals in the environment analysis by biodiversity*. Newyork: Marcel Dekker, Inc.

Purwantari, D. N. 2007. Reklamasi Area Tailing Di Pertambangan dengan Tanaman Pakan Ternak; Mungkinkah?. Balai Penelitian Ternak. WARTAZOA 17 (3): 101-108.

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 hal. 16-20.

Ramírez, I J Díaz, H Ramírez-Saad, M Gutiérrez-Rojas, and E Favela-Torres. 2003. *Biodegradation of Maya crude oil fractions by bacterial strains and a defined mixed culture isolated from Cyperus laxus rhizosphere soil in a contaminated site*. Canadian Journal of Microbiology 49(12): 755-761.

Rugh, C. L. 2004. *Genetically engineered phytoremediation: one man’s trash is another man’s transgene*. Trends in Biotechnology 22: 496-468.

Sasakibara, M., Y. Ohmori, N. T. H. Ha, S. Sano, K. Sera. 2011. *Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Water and Sediment by Eleocharis acicularis*. Clean: Soil, Air, Water 39: 735-741.

Shabani, N., M. H. Sayadi. 2012. *Evaluation of Heavy Metals Accumulation by Two Emergent Macrophyte from The Polluted Soil: an Experimental Study*. Environmentalist 32: 91-98.

- Shekar, CH. Chandra, D. Sammaiah, T. Shasthree and K. Jaganmohan Reddy. 2011. *Effect of Mercury on Tomato Growth and Yield Attributes*. International Journal of Pharma and Bio Sciences.
- Soudek, Petr, Šárka Petrová and Tomáš Vaněk. 2012. *Phytostabilization or Accumulation of Heavy Metals by Using of Energy Crop Sorghum sp.* International Conference on Biology, Environment and Chemistry IPCBEE 46: 25-29.
- Su, Y, F. Han, S. Syihab, D. L. Monts. 2007. *Phytoextraction And Accumulation Of Mercury In Selected Plant Species Grown On Soil Contaminated With Defferent Mercury Compounds*. WM '07 Conference.
- Subowo, M., S. Widodo, dan A. Nugraha. 2007. Status dan Penyebaran Pb, Cd, dan Pestisida pada Lahan Sawah Intensifikasi di Pinggir Jalan Raya. Prosiding. Bidang Kimia dan Bioteknologi Tanah, Puslittanak, Bogor.
- Ullah, Mohammad Barkat. 2012. *Mercury Stabilization Using Thiosulfate And Thioselenate*. The University Of Brithish Columbia.
- USDA. 2012. *Phytoremediation Protecting the Environment with Plants*. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Wang, J, X. Feng, C. W. N. Anderson. 2013. *Thiosulphate Assisted phytoextraction of Mercury Contaminated Soils at wanshan Mercury Mining District, Southwest China*. *Journal of Degraded and Mining Land Management* 1 (1): 1-8.
- White, Ken. 2014. *Phytostabilization*. Argone national laboratory. Universitas of Chicago.
- Wilson, B., F. B. Pyatt. 2007. *Heavy Metal Bioaccumulation by the Important Food Plant, Olea europaea L. In an Ancient Metalliferous Pollutad Area of Cyprus*. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol* 78: 390-394.
- Wu, Q., S. Wang, P. Thangavel, Q. Li, H. Zheng, J. Bai, R. Qui. 2011. *Phytostabilization potential of Jatropha curcas L. In Polymetallic Acid Mine tailing*. *Int. J. Phytorem* 13: 788-804.
- Wuana, R.A. and F.E. Okieimen. 2011. *Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation*", *ISRN Ecology* 11: 1-19.
- Wulansari, Beti. 2013. Penambahan Ammonium thiosulfat pada tanaman *Digitaria radicata* dala remediasi tanah tercemar merkuri limbah tailing tambang emas. Skripsi.
- Yanqun, Zu, Li Yuan, Chen Jianjun, Chen Haiyan, Qin Li, Christian Schwartz. 2005. *Hyperaccumulator of Pb, Zn, and Cd in Herbaceous Grown on Lead-Zinc Mining Area in Yunnan, China*. *Science direct. Environment International* 31: 755-762

Yoon, Joonki, Xinde Cao, Qixing Zhou, Lena Q. Ma. 2006. *Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site*. Science direct. *Science of the Total Environment* 368: 456-464

Zhang, L and M. H. Wong. 2006. *Environmental Mercury Contamination in China: Source and Impacts*. Elsevier. *Environment International* 33: 108-121.

Zu, Y. Q., Li Y, Schvarta C., Langlade L., Liu F. 2005. *Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead-zinc mine area, China*. *Environ Int* 30: 567– 576.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Proses Amalgamasi Hg pada Tambang Emas Rakyat dan Pencemaran Lahan Pertanian oleh Limbah Tambang.



Sumber: Wulansari, 2013



Lampiran 2. Peta Lokasi Sekotong, Kabupaten Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat



Sumber: BALIFOKUS, 2013



Lampiran 3. Denah Percobaan



U



Lampiran 4. Jadwal Pelaksanaan

No	Kegiatan	Tahun 2013			Tahun 2014							
		Bulan										
		10	11	12	1	2	3	4	5	6		
1	Persiapan penelitian (pembuatan rumah plastik, pengaturan pot, penyiapan bahan dan media tumbuh)		■									
2	Pelaksanaan penelitian (tanaman jagung)		■	■	■	■						
3	Analisis sampel tanah dan tanaman di laboratorium					■	■	■	■	■		
4	Analisis data				■	■	■	■	■	■	■	
5	Seminar hasil penelitian											■



Lampiran 5. Analisis Ragam untuk Tinggi Tanaman Bangle (*Zingiber purpureum*)

Lampiran 5a. Analisis Ragam untuk Tinggi Tanaman Bangle (*Zingiber purpureum*) 7 HST

S. K.	db	JK	KT	F hit	F Tabel
ULANGAN	2	0,640	0,320	0,31	4,10
PERLAKUAN	5	16,693	3,339	3,67*	3,33
GALAT	10	10,267	1,027		
TOTAL	17	27,600			

Lampiran 5b. Analisis Ragam untuk Tinggi Tanaman Bangle (*Zingiber purpureum*) 63 HST

S. K.	db	JK	KT	F hit	F Tabel
ULANGAN	2	30,63	15,32	0,17	4,10
PERLAKUAN	5	1189,94	237,99	7,74*	3,33
GALAT	10	906,55	90,66		
TOTAL	17	2127,13			

Lampiran 6. Analisis Ragam untuk Jumlah Daun Tanaman Bangle (*Zingiber purpureum*) 63 HST

S. K.	db	JK	KT	F hit	F Tabel
ULANGAN	2	1,444	0,722	0,180	4,10
PERLAKUAN	5	203,611	40,722	10,040*	3,33
GALAT	10	40,556	4,056		
TOTAL	17	245,611			

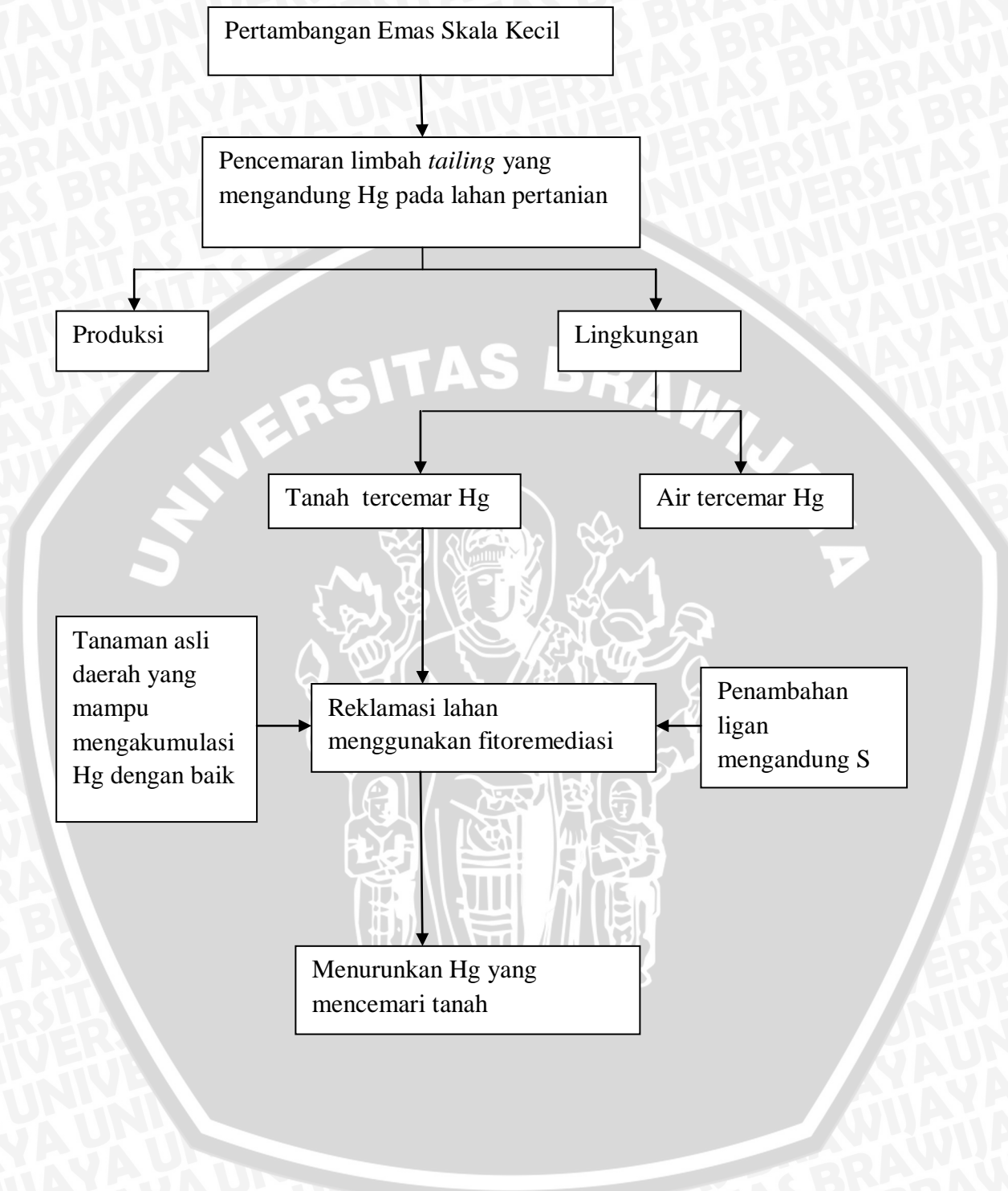
Lampiran 7. Analisis Ragam untuk Jumlah Anakan Tanaman Bangle (*Zingiber purpureum*) 63 HST

S. K.	db	JK	KT	F hit	F Tabel
ULANGAN	2	0,111	0,056	0,080	4,10
PERLAKUAN	5	142,778	28,556	4,360*	3,33
GALAT	10	65,556	0,656		
TOTAL	17	209,444			

Lampiran 8. Analisis Ragam untuk BCF

S. K.	db	JK	KT	F hit	F Tabel
PERLAKUAN	5	0,218899	0,043780	12,78*	3,33
ULANGAN	2	0,003141	0,001571	0,46	4,10
GALAT	10	0,034265	0,003427		
TOTAL	17	0,256306			

Lampiran 9. Skematik Alur Pikir Penelitian



Lampiran 10. Korelasi Antar Parameter Pengamatan

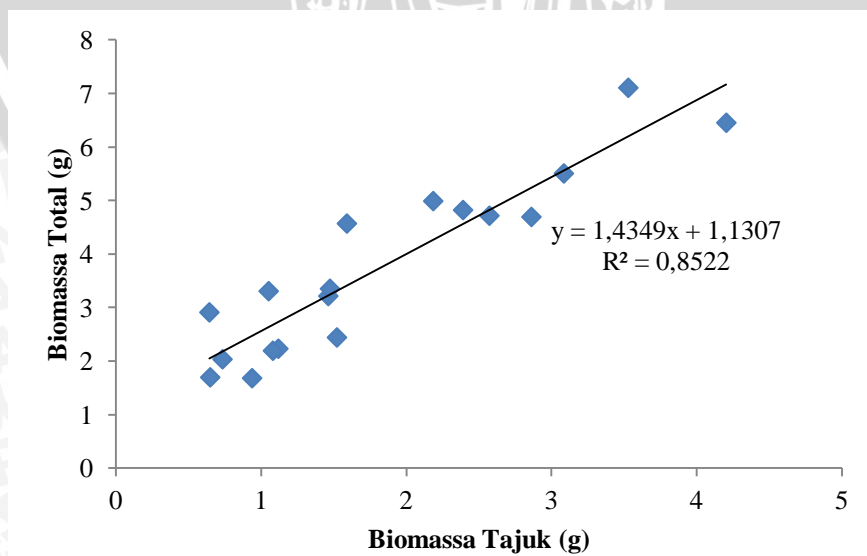
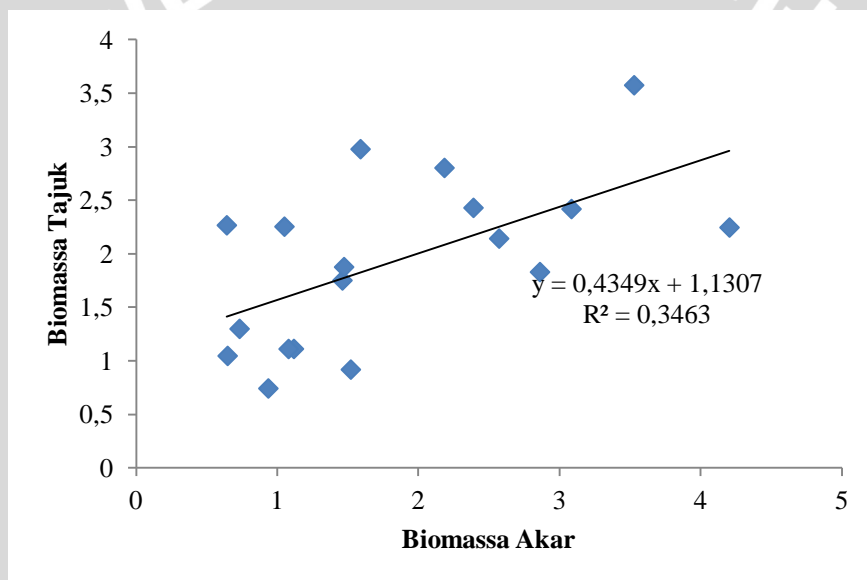
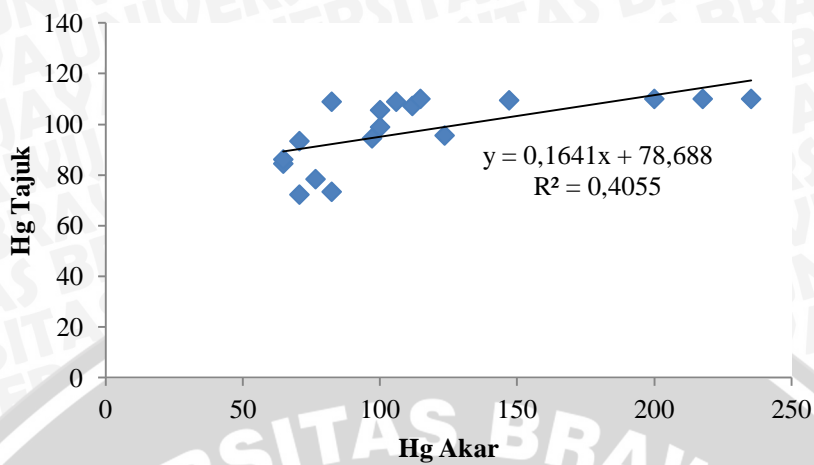
Parameter	Hg Tajuk	Hg Akar	Hg Tanah	Biomassa Tajuk	Biomassa Akar	Biomassa Total	Tinggi Tanaman	Jumlah Daun	Jumlah Anakan
Hg Tajuk	1								
Hg Akar	0,4525	1							
Hg Tanah	-0,2676	0,6961*	1						
Biomassa Tajuk	-0,2633	-0,2799	0,1359	1					
Biomassa Akar	-0,5908	-0,5498	-0,1694	0,5028*	1				
Biomassa Total	-0,4434	-0,4373	0,0225	0,9266**	0,7910**	1			
Tinggi Tanaman	0,0291	-0,2801	-0,0791	0,8953**	0,3626	0,7915**	1		
Jumlah Daun	0,223	-0,2113	-0,1412	0,8537**	0,1555	0,6719	0,8999**	1	
Jumlah Anakan	-0,095	-0,3805	-0,3538	0,037	0,063	0,0536	-0,2168	0,1328	1

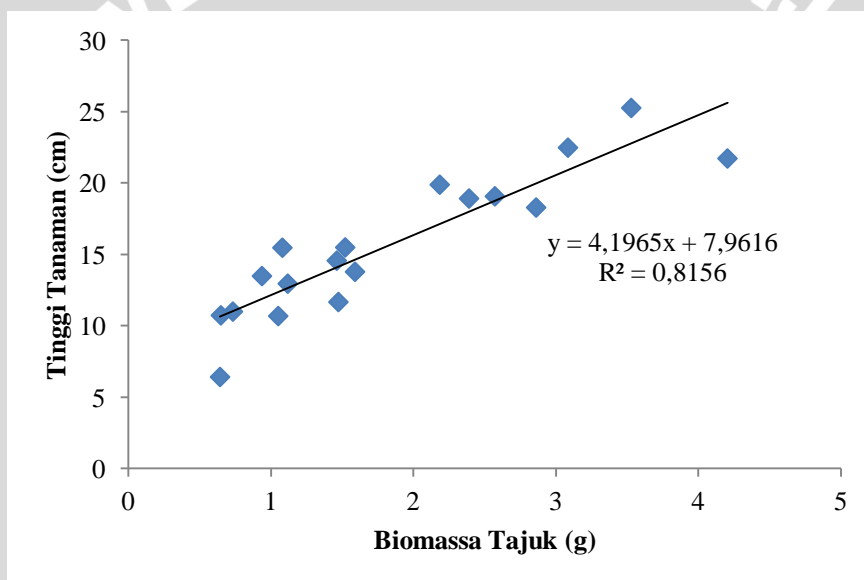
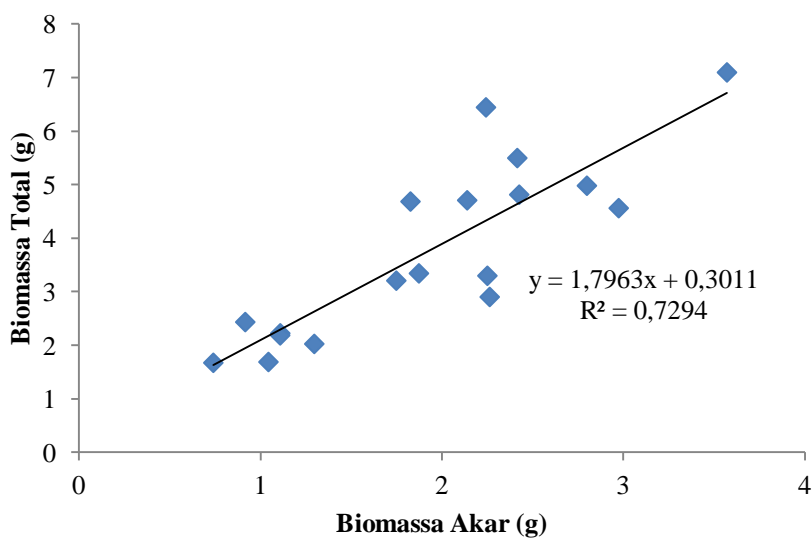
Keterangan:

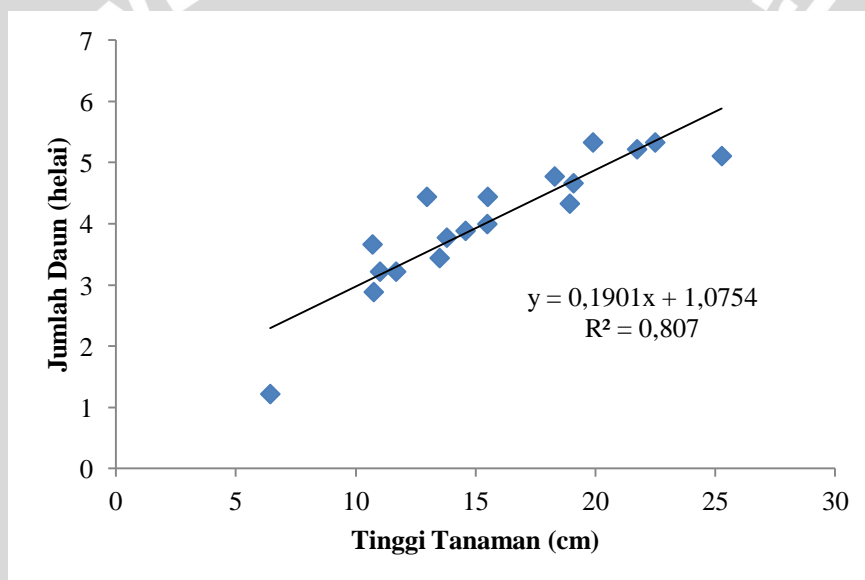
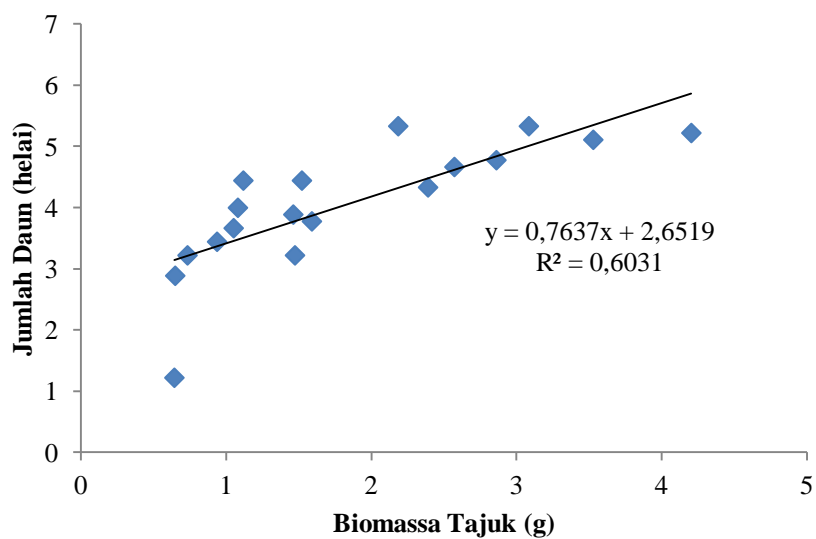
* = Berkorelasi erat.

** = Berkorelasi sangat erat.

Lampiran 11. Hubungan Antar Parameter Pengamatan







Lampiran 12. Perhitungan Pemberian Pupuk

a. Perhitungan Hektar Lapisan Olah (HLO)

Kedalamant 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 Urea/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 K/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 SP₃₆Dosis SP₃₆/ha = (100/36) x (144/64) x 50 kg P /ha

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

Dosis SP₃₆/polibag = (5 kg/24 x 10⁵ kg) x 312,5 kg SP₃₆/ha

$$= 0,651 \times 10^{-3} \text{ kg SP}_{36}/\text{ha}$$

$$= 0,651 \text{ g SP}_{36}/\text{polibag}$$

Lampiran 13. Perhitungan Penambahan Bahan Organik per Satuan Luas dan per Polibag

Perhitungan Hektar Lapisan Olah (HLO)

Kedalaman tanah yang diambil : 20 cm

BI : 1,2 g/cm³

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

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

a. Perhitungan Dosis Bahan Organik (Kompos) Per Polibag

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

$$\begin{aligned} \text{Dosis 10 ton/ ha} &= 10 \times 10 \text{ ton/ha} \\ &= 5 \text{ kg} / 24 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \times 10 \text{ ton/ ha} \\ &= 0,021 \text{ kg/ polibag} \\ &= 21 \text{ g/ polibag} \end{aligned}$$

Lampiran5. Kebutuhan air per 5kg Tanah

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

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

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

Tanah setara 5 kg tanah :

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

$$58,8 \text{ kg} = 100 \text{ BKU} - 500$$

$$558,8 \text{ kg} = 100 \text{ BKU}$$

$$\text{BKU} = 5,588 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KA KL} &= \frac{\text{BKU} - \text{BKO}}{\text{BKO}} \times 100\% \\
 32,15\% &= \frac{\text{BKU} - 5\text{kg}}{5\text{kg}} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$160,73 \text{ kg} = 100 \text{ BKL} - 500$$

$$660,73 \text{ kg} = 100 \text{ BKL}$$

$$\text{BKL} = 6,607 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah air yang harus ditambahkan} &= \text{BKL} - \text{BKU} \\
 &= 6,607 \text{ kg} - 5,588 \text{ kg} \\
 &= 1,019 \text{ ml/polibag} \\
 &= 1,02 \text{ liter} \times 80\% \text{ KL} \\
 &= 0,816 \text{ liter} \\
 &= 816 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

