

**FITOREMEDIASI TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN TANAMAN
KIRINYU (*Chromolaena odorata*) BERMIKORIZA PADA MEDIA TANAM
TERCEMAR TAILING TAMBANG EMAS**

Oleh:
AHMAD YUSUF



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2011**



**PDF-File
PDF Creator**

This PDF-file is Created by trial version of PDF-File PDF Creator.
Please use purchased version to remove this message.

**FITOREMEDIASI TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN TANAMAN
KIRINYU (*Chromolaena odorata*) BERMIKORIZA PADA MEDIA TANAM
TERCEMAR TAILING TAMBANG EMAS**

Oleh

AHMAD YUSUF

0610430002 - 43

SKRIPSI

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

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS PERTANIAN

JURUSAN TANAH

MALANG

2011



**PDF-File
PDF Creator**

This PDF-file is Created by trial version of PDF-File PDF Creator.
Please use purchased version to remove this message.

RINGKASAN

Ahmad Yusuf (0610430002). **Fitoremediasi Timbal Menggunakan Tanaman Kirinyu (*chromolaena odorata*) Bermikoriza Pada Media Tanam Tercemar Tailing Tambang Emas.** Dibawah bimbingan Budi Prasetya dan Eko Handayanto.

Logam berat yang terdapat pada tanah dapat menyebabkan toksik pada tumbuhan. Hal ini akan berpengaruh terhadap ekosistem dan dapat mengganggu perkembangan dan pertumbuhan tanaman. Pengolahan limbah secara biologis untuk mengurangi ion logam berat adalah teknologi yang berpotensi untuk dikembangkan. Salah satu proses biologis tersebut adalah fitoremediasi, yaitu pemanfaatan tumbuhan hijau dan ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk menyerap, memindahkan, menginaktifkan, serta mengurangi konsentrasi senyawa toksik dalam tanah. Tujuan penelitian adalah mempelajari pengaruh inokulasi mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman kirinyu (*Chromolaena odorata*) dan mempelajari kemampuan tanaman kirinyu (*Chromolaena odorata*) dalam menurunkan kandungan Pb dalam media tanam.

Penelitian dilaksanakan melalui percobaan di rumah kaca. Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahap yaitu pengambilan contoh tanah di lapangan, percobaan pertumbuhan tanaman rumah kaca dan penelitian di laboratorium yang dilaksanakan pada bulan februari-desember 2010. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 6 perlakuan dengan 3 ulangan. Perlakuan yang diberikan adalah TOM0 (tailing 0% + alfisol 100% dan inokulasi mikoriza); TOM1 (tailing 0% + alfisol 100% dan tanpa inokulasi mikoriza); T1M0 (tailing 15% + alfisol 85% dan inokulasi mikoriza); T1M1 (tailing 15% + alfisol 85% dan tanpa inokulasi mikoriza); T2M0 (tailing 30% + alfisol 70% dan inokulasi mikoriza); T2M1 (tailing 30% + alfisol 70% dan tanpa inokulasi mikoriza). Pengolahan atau analisis data yang diperoleh dilakukan pengujian dengan analisis ragam atau uji F dengan taraf nyata 5%, untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan dilakukan uji duncan taraf nyata 5%, untuk mengetahui hubungan antara parameter dari perlakuan tersebut dilakukan analisa uji korelasi taraf 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman kirinyu yang diinokulasi mikoriza tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan kandungan timbal (Pb), namun memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap pertumbuhan tanaman. Tanaman kirinyu mampu bertahan hidup pada media tanam tertinggi yaitu 205.42 mg 5kg⁻¹. Nilai serapan tertinggi pada perlakuan T1M1 (4.96 mg) yang mampu mengurangi Pb didalam tanah sebesar 3.04 % dari kandungan pb total di dalam media tanam. Persentasi kemampuan serapan Pb oleh tanaman antara 0.83% sampai 4.57% terhadap total kandungan Pb dalam media tanam.

Kata Kunci : fitoremediasi, kirinyu, timbal (Pb), mikoriza, tailing



SUMMARY

Ahmad Yusuf (0610430002). **Phytoremediation of Lead (Pb) Using Kirinyu Plants (*Chromolaena odorata*) with Mycorrhiza Inoculation on Experimental Pot Design Contaminated Gold Mine Tailings.** Under the guidance Budi Prasetya and Eko Handayanto

Heavy metals contained in the soil can cause toxicity in plants. This will affect the ecosystem and can interfere with the development and growth of a biological waste treatment plants to reduce heavy metal ions is a technology that has the potential to be developed. One of the biological process is phytoremediation, is the use of green plants and microorganisms or associated, to absorb, move, unactivated, and reduce the concentration of toxic compounds in the soil. Phytoremediation has many benefits and advantages, name the process is environmentally friendly, easy to implement, efficient and aesthetic, can work on a variety of pollutants, and the main thing isn't require a high cost. The purpose of research is to learn effect mychorizae inoculated for growth of plants kirinyu and learn be ability kirinyu plant to reduce Pb concentration in the planting medium

This research conducted in the greenhouse. The research was conducted in three phases, that is take soil sampling in the field, greenhouse plant growth experiments and research in laboratorium at the februari – december 2010. The research using Random Design Group (DRG) with 6 treatment with 3 replication. The treatment is TOM0 (tailing 0% + alfisol 100% and mychorizae inoculated); TOM1 (tailing 0% + alfisol 100% and not mychorizae inoculated); T1M0 (tailing 15% + alfisol 85% and mychorizae inoculated); T1M1 (tailing 15% + alfisol 85% and not mychorizae inoculated); T2M0 (tailing 30% + alfisol 70% and mychorizae inoculated); T2M1 (tailing 30% + alfisol 70% and not mychorizae inoculated). Data obtained were statistically research by analisis of variance to level 5% for known difference between treatment, to know corelations between parameters from treatment using correlation test to level 5%.

The result showed that kirinyu plant with mychorizae inoculated don't to the effect for reduce Pb concentration in the planting medium, but giving effect to be better for growth plant. The kirinyu plant survival in the planting medium higher that 205.42 mg 5kg⁻¹. Uptake value higher to treatment T1M1 (4.96 mg) be able reduce Pb in the planting medium 3.04% from total Pb concentration in the planting medium. Percentage of uptake capability Pb by kirinyu plant between 0.83% to 4.57% from total Pb concentration in the planting medium.

Keywords : phytoremediation, kirinyu, Pb, mychorizae, tailing



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Skripsi dengan judul “Fitoremediasi timbal (Pb) menggunakan tanaman kirinyu (*Chromolaena odorata*) bermikoriza pada media tanam tercemar tailing tambang emas”, merupakan salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

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

1. Dr. Ir. Budi Prasetya, MS dan Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc. PhD selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi ini hingga selesai.
2. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Universitas Brawijaya Malang.
3. Dosen-dosen di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama kuliah.
4. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, atas bantuan dan informasi yang diberikan.
5. Orang tua tercinta dan kakak-kakak yang telah memberikan dukungan baik materil maupun moril hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh kakak-kakak, adik-adik seperjuangan di Tanah, terutama Soiler 2006, terima kasih atas dukungan, perhatian, bantuan, serta kenangan indah selama ini, serta semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang turut berpartisipasi atas terselesaikan skripsi ini.

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

Malang, Juni 2011

Penulis



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bojonegoro, pada tanggal 17 Juli 1988 dan merupakan putra sulung dari 3 bersaudara dengan seorang ayah yang bernama Drs. H. Fatah, M.Pd dan seorang ibu bernama Siti Indasah. Penulis memulai pendidikan dengan menjalani pendidikan dasar di SDN Malo II(1994-2000), dan melanjutkan ke MTS Negeri 1 Bojonegoro (2000-2003), kemudian meneruskan ke SMAN 1 Bojonegoro (2003-2006). Penulis menjadi mahasiswa Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, program studi Ilmu Tanah, pada tahun 2006 melalui jalur SPMB.

Selama menjadi mahasiswa Fakultas Pertanian, penulis pernah menjadi asisten mata kuliah Dasar Ilmu Tanah (2007-2009), menjadi asisten mata kuliah Kesuburan Tanah (2008/2009) Analisis Lansekap (2008/2009), Wanatani (2009/2010) dan Ekologi Pertanian (2009/2010.), serta pernah mengikuti lomba karya tulis ilmiah “Lomba Karya Tulis Maha siswa Baru” tahun 2007, “Lomba Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa Lama” tahun 2008, “Program kreatifitas Mahasiswa” tahun 2008 dan 2009, “Seminar Nasional Hari lingkungan Hidup di Universitas Jendral Soedirman” sebagai Pemakalah pada tahun 2011. Pernah mendapatkan beasiswa PPA (Peningkatan Prestasi akademik) serta aktif dalam beberapa organisasi mahasiswa intra kampus.



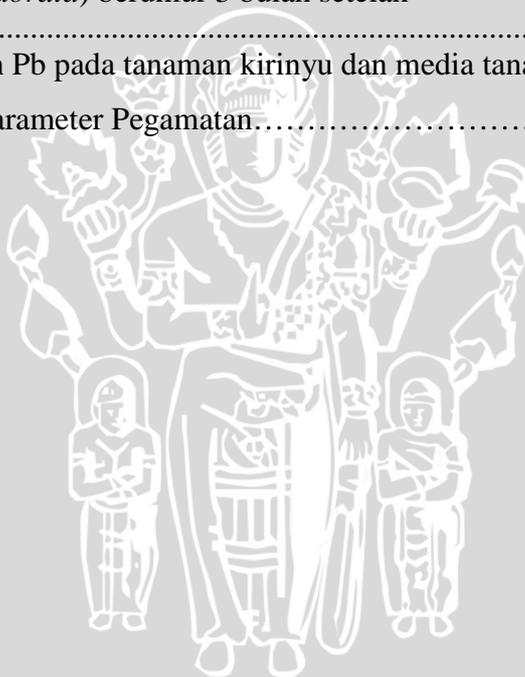
DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	ii
SUMMARY	iii
KATA PENGANTAR	iv
RIWAYAT HIDUP	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Hipotesa Penelitian.....	4
1.4 Batasan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Karakteritik Pb (Timbal).....	5
2.2 Fitoremediasi.....	9
2.3 Mikoriza.....	12
2.4 Tinjauan BotanisTanaaman Kirinyu (<i>Chromolaena odorata</i>)	17
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Metode Percobaan	20
3.4 Pelaksanaan Penelitian	21
3.5 Pengambilan Data	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengaruh Perlakuan Tailing dan Mikoriza Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kirinyu.....	28
4.2 Serapan Pb Tanaman Dan Penurunan Kandungan Pb Pada Media Tanam	31
4.3 Hubungan antar Parameter Pengamatan.....	33
4.3 Pembahasan Umum.....	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	49



DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Jenis batuan induk pembentuk tanah yang mengandung Logam Berat Timbal (Pb	5
2.	Kandungan Logam Berat dalam tanah secara alamiah	6
3.	Kisaran kadar logam berat sebagai pencemar dalam tanah dan tanaman.....	7
4.	Nilai Ambang Batas Kandungan Logam Berat.....	10
5.	Perlakuan yang diberikan saat Penelitian.....	20
6.	Variabel pengamatan dan metode analisis.....	27
7.	Rekapitulasi data parameter penelitian tanaman kirinyu (<i>Chromolaena Odorata</i>) berumur 3 bulan setelah tanam.....	28
8.	Nilai Pengamatan Pb pada tanaman kirinyu dan media tanam....	31
9.	Korelasi Antar Parameter Pegamatan.....	35



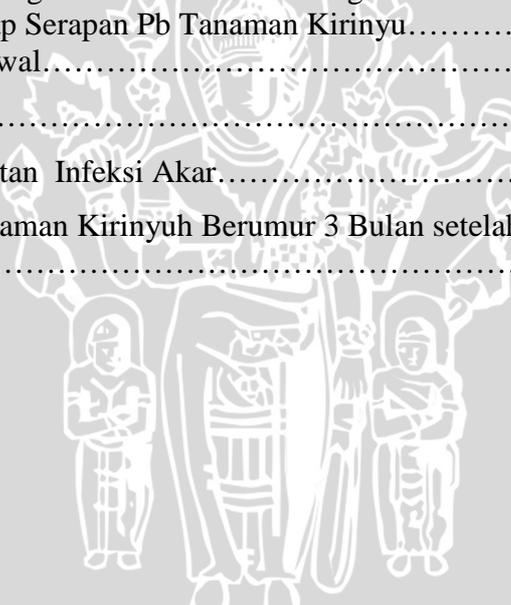
DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Struktur Vesikula, arbuskula dan spora Endomikoriza.....	15
2.	Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.	Cara menghitung Lrv dengan metode Tennant.....	25
4.	Hubungan Serapan Pb Tanaman dengan Tinggi Tanaman.....	35
5.	Hubungan Serapan Pb Tanaman dengan Jumlah Daun.....	35
6.	Hubungan Serapan Pb Tanaman dengan Bobot Kering Tanaman.....	35
7.	Hubungan Serapan Pb Tanaman dengan Bobot Kering Akar.....	35
8.	Hubungan Total Panjang Akar dengan Bobot Kering Akar.....	36
9.	Hubungan Bobot Kering Akar dengan Tinggi Tanaman.....	36
10.	Hubungan Bobot Kering Akar dengan Jumlah Daun.....	36
11.	Hubungan Bobot Kering Akar dengan Bobot Kering Tanaman.....	36
12.	Hubungan Bobot Kering Tanaman dengan Tinggi Tanaman.....	36
13.	Hubungan Bobot Kering Tanaman dengan Jumlah Daun.....	36
14.	Hubungan Jumlah Daun dengan Tinggi Tanaman.....	37



DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Halaman
1.	Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Tinggi Tanaman.....	49
2.	Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Jumlah Daun.....	49
3.	Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Berat Kering Tanaman.....	49
4.	Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Total Panjang Akar.....	49
5.	Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Berat Kering Akar.....	50
6.	Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Persentasi Koloni Mikoriza.....	50
7.	Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Jumlah Spora Mikoriza.....	50
8.	Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Serapan Pb Tanaman Kirinyu.....	50
9.	Analisis Tanah Awal.....	51
10.	Denah Percobaan.....	52
11.	Gambar Pengamatan Infeksi Akar.....	53
12..	Pertumbuhan Tanaman Kirinyuh Berumur 3 Bulan setelah tanam.....	54



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesehatan tanah merupakan kapasitas secara berlanjut dari suatu tanah untuk berfungsi sebagai suatu sistem hidup yang vital dalam ekosistem dan batas-batas tataguna untuk menopang produktivitas biologi, menaikkan kualitas lingkungan udara dan air serta menjaga kesehatan tanaman, hewan dan manusia.

Pencemaran tanah oleh logam berat merupakan masalah serius yang pasti dihadapi pada lahan-lahan pertambangan, keracunan akibat akumulasi logam berat yang berlebih akan dapat mengakibatkan penurunan kesehatan tanah secara bertahap. Logam berat yang terdapat pada tanah dapat menyebabkan toksik pada tumbuhan. Hal ini akan berpengaruh terhadap ekosistem dan dapat mengganggu perkembangan dan pertumbuhan tanaman (Subiksa, 2002).

Pengolahan limbah secara biologis untuk mengurangi ion logam berat adalah teknologi yang berpotensi untuk dikembangkan (Suhendrayatna, 2001). Salah satu proses biologis tersebut adalah fitoremediasi, yaitu pemanfaatan tumbuhan hijau dan ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk menyerap, memindahkan, menginaktifkan, serta mengurangi konsentrasi senyawa toksik dalam tanah (Truu dkk, 2003). Fitoremediasi dapat diterapkan pada polutan organik dan polutan metal (anorganik) (Firdaus, 2003). Fitoremediasi banyak memiliki manfaat dan keuntungan, yaitu prosesnya ramah lingkungan, mudah untuk diterapkan, efisien dan estetik, dapat bekerja pada berbagai polutan, serta yang utama adalah tidak memerlukan biaya yang tinggi (Zynda, 2001). Teknologi fitoremediasi belum begitu berkembang di Indonesia, mengingat akan kekayaan hayati tumbuhan Indonesia yang besar serta ditunjang iklim tropis, tentunya peranan tumbuhan dalam mengendalikan pencemaran perlu dikaji dan diteliti lebih lanjut, serta diterapkan di indonesia.

Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi logam berat berbahaya. Akhir-akhir ini teknik reklamasi dengan fitoremediasi mengalami perkembangan pesat karena terbukti lebih murah dibandingkan metode lainnya, misalnya penambahan lapisan permukaan tanah. Fitoremediator tersebut dapat berupa herba, semak bahkan



pohon. Semua tumbuhan mampu menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi, tetapi beberapa tumbuhan mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi.

Dalam pelaksanaan fitoremediasi, diperlukan tanaman dan asosiasinya yang cocok, serta mempunyai kemampuan untuk memperbaiki lingkungan (Priyanto dan Prayitno, 2002). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman sengon bermikoriza dapat meningkat pertumbuhannya 2-3 kali lipat dibandingkan sengon tanpa mikoriza. Hal ini menunjukkan terjadinya asosiasi antara tanaman sengon dan mikoriza, yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi (Setiadi, 2001). Konsep dari tanaman sengon dan inokulasi mikoriza ini dapat dijadikan rujukan bagi penggunaan tanaman potensial lain dengan perlakuan yang sama.

Salah satu tanaman yang dianggap mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai agen fitoremediator adalah tanaman kirinyu (*Chromolaena odorata*). Tanaman kirinyu berasal dari Amerika selatan, di Indonesia tumbuh dengan baik pada ketinggian 200 – 1800 mdpl. Secara ekologi, kirinyu dianggap sebagai tumbuhan pengganggu. Di tanah yang tidak subur sering tumbuh banyak sekali (Gaige and Ahmed, 1988).

Selama ini, tanaman kirinyu yang merupakan tanaman liar dan mudah ditemui di sekitar kita, belum dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan pengendali biologi. Selain itu tanaman ini mampu hidup dengan baik pada lahan yang tercemar tailing, sehingga perlu dilakukan analisa mengenai kemampuan tanaman kirinyu menurunkan konsentrasi pencemaran logam berat timbal (Pb) yang terjadi serta kemampuannya dalam bertahan hidup. Tanaman yang tumbuh pada limbah pertambangan batubara diteliti Rani dkk, dalam Subiksa (2002), menunjukkan bahwa dari 18 spesies tanaman setempat yang diteliti, 12 diantaranya bermikoriza. Tanaman yang tumbuh dengan baik di lahan limbah batubara tersebut, ditemukan adanya "oil droplets" dalam vesikel akar mikoriza. Hal ini menunjukkan bahwa ada mekanisme penyerapan, sehingga bahan dalam minyak tersebut tidak sampai diserap oleh tanaman. Tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza dapat tumbuh dengan baik pada lahan bekas penambangan nikel. Isolat-isolat MA *Gigaspora rosea*, *Glomus etunicatum*, *Glomus manihotis*, dan *Acaulospora scrobiculata* telah terbukti pengaruh aktif berasosiasi dengan



bibit sengon serta dapat digunakan untuk mereklamasi lahan-lahan bekas tambang nikel dan batubara (Iskandar , 2001)

Akar tanaman yang berasosiasi dengan mikoriza diketahui dapat berperan dalam mereklamasi lahan-lahan yang terkontaminasi logam berat. *Glomus mosseae* yang berasosiasi dengan tanaman *Phaseolus vulgaris* terbukti berpengaruh aktif dalam menyerap logam berat, yaitu Cd, Zn, dan Cu. *Glomus claroideum* dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman *Allium porrum* dan *Sorghum bicolor* pada tanah terkontaminasi logam berat, serta dapat menurunkan konsentrasi logam berat, yaitu Zn, Cd, Cu, Ni, Pb. Mekanisme perlindungan terhadap logam berat dan unsur beracun yang diberikan mikoriza dapat melalui pengaruh filtrasi, menonaktifkan secara kimiawi atau akumulasi unsur tersebut dalam hifa jamur. Jamur mikoriza dapat terjadi secara alami pada tanaman pionir di lahan limbah yang terkontaminasi logam berat (Rossiana, 2003). Pemanfaatan jamur mikoriza dalam fitoremediasi tanah tercemar, disamping adanya akumulasi bahan tersebut dalam hifa, juga dapat melalui mekanisme penguraian logam tersebut oleh sekresi hifa eksternal (Subiksa, 2002).

Hal-hal tersebut diatas menunjukkan bahwa inokulasi mikoriza sangat penting dalam proses pertumbuhan tanaman dan penyerapan logam berat pada tanah tercemar. Pernyataan ini didukung oleh Subiksa (2002), bahwa jamur mikoriza arbuskular dapat berperan sebagai biokontrol penyerapan logam berat, dan dapat membantu tanaman terhindar dari keracunan logam berat

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengaruh inokulasi mikoriza terhadap pertumbuhan dan serapan Pb pada tanaman Kirinyu (*chromolaena odorata*).
2. Mempelajari dan mengetahui kemampuan tanaman kirinyu (*Chromolaena odorata*) dalam fitoremediasi tanah yang tercemar limbah tambang emas mengandung Pb.



1.3 Hipotesa Penelitian

Hipotesa yang diajukan dalam penelitian ini adalah :

1. Inokulasi mikoriza pada akar tanaman dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman kirinyu (*Chromolaena odorata*)
2. Tanaman yang mampu hidup pada lahan tercemar tailing mempunyai kemampuan untuk menyerap dan menurunkan konsentrasi timbal (Pb).

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini didasarkan pada penggunaan tanah pembuangan limbah tambang emas (*tailing*) yang diambil dari limbah pembuangan pada lahan tambang emas rakyat di Desa Sekotong Kec. Sekotong Kab.Lombok Barat yang kemudian dicampur dengan tanah Alfisol dengan komposisi yang sudah ditentukan.
2. Sifat tanah yang dianalisa awal meliputi KTK, pH, N, P, K, Tekstur, Basa-basa tersedia, Persentase Koloni dan jumlah spora Mikoriza serta analisa Timbal (Pb) pada tailing dan media tanam.
3. Tanaman yang digunakan adalah tanaman kirinyu (*Chromolaena odorata*).

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh inokulasi mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman kirinyu.
2. Memberikan informasi mengenai kemampuan tanaman kirinyu dalam menyerap Pb.
3. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang pengolahan lahan tercemar tailing tambang emas dengan fitoremediasi dan asosiasi tanaman dengan mikoriza.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan logam lunak kebiruan atau kelabu keperakan yang lazim terdapat dalam kandungan endapan sulfit yang tercampur mineral-mineral lain, terutama seng dan tembaga. Penggunaan Pb terbesar adalah dalam industri baterai kendaraan bermotor seperti timbal metalik dan komponen-komponennya. Kandungan Pb (Tabel 1) dalam batuan beku dan batuan sedimen adalah sebagai berikut: batuan beku basalt 3 - 6 ppm, batuan beku granit 18 - 24 ppm, lempung dan liat 20 - 23 ppm, batu pasir < 13 ppm (Lepp, 1981).

Logam merupakan kelompok toksikan yang unik. Logam ditemukan dan menetap dalam alam, tetapi bentuk kimianya dapat berubah akibat pengaruh fisikokimia, biologis, atau akibat aktivitas manusia (Lu, 1994). Heryando (1994), menggunakan istilah logam berat ke dalam 3 kelompok biologi dan kimia (biokimia). Pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen.
2. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur sulfur.
3. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti.

Logam berat dapat menimbulkan pengaruh-pengaruh khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat merupakan bahan toksik yang dapat meracuni tubuh makhluk hidup (Heryando, 1994).

Tabel 1. Jenis-jenis batuan induk pembentuk tanah yang mengandung logam berat Pb.

Jenis Batuan	Pb (ppm)
Ultra basalt	1 – 14
Basalt	3 – 6
Ganit	18 – 24
Sabs dan liat	20 – 23
Sabs hitam	20 – 30
Pasir	10 – 12
Kapur	5 – 9

Sumber: Peterson and Alloway (1979) dalam Darmono (1995)



Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah dan spesies tanaman (Darmono, 1995).

2.1.1 Kadar Meracun Timbal (Pb) Pada Tanaman

Tanah merupakan bagian dari siklus logam berat. Pembuangan limbah ke tanah apabila melebihi kemampuan tanah dalam mencerna limbah akan mengakibatkan pencemaran tanah. Jenis limbah yang potensial merusak lingkungan hidup adalah limbah yang termasuk dalam Bahan Beracun Berbahaya (B3) yang di dalamnya terdapat logam berat. Menurut Arnold (1990 dalam Subowo dkk. 1995), logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 g cm^{-3} , antara lain Cd, Hg, Pb, Zn, dan Ni. Logam berat Cd, Hg, dan Pb dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup.

Kandungan logam berat didalam tanah secara alamiah sangat rendah, kecuali tanah tersebut sudah tercemar (Tabel 2). Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman (Darmono 1995).

Tabel 2. Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah

Jenis Logam	Kandungan (Rata-rata) ($\mu\text{g/g}$)
As	100
Co	8
Cu	20
Pb	10
Zn	50
Cd	0,06
Hg	0,03

Sumber: Peterson and Alloway (1979) dalam Darmono (1995)



Logam berat merupakan unsur yang berbahaya, yang dapat bersifat toksik bagi lingkungan dan ekosistem (Subiksa, 2002). Hal ini karena logam berat dapat terakumulasi sampai pada rantai makanan, sehingga mengganggu kestabilan dan keseimbangan rantai makanan. Hal ini juga mengakibatkan meningkatnya keracunan terhadap air, tanah, dan udara (Suhendrayatna, 2001). Sifat umum dari logam berat adalah potensial toksisitasnya terhadap mikroorganisme dan bentuk kehidupan yang lain (Gadd, 1990). Timbal merupakan logam berat yang sangat beracun pada seluruh aspek kehidupan (Tabel 3). Sumber utama timbal berasal dari komponen gugus alkil timbal pada bahan additive bensin. Mobilitas timbal di tanah dan tumbuhan cenderung lambat dengan kadar normalnya pada tumbuhan berkisar 0,5 – 10 ppm. Logam berat dalam tanah pada prinsipnya berada dalam bentuk bebas (mobil) maupun tidak bebas (immobil). Dalam keadaan bebas, logam berat dapat bersifat racun dan terserap oleh tanaman. Sedangkan dalam bentuk tidak bebas dapat berikatan dengan hara, bahan organik, ataupun anorganik lainnya. Dengan kondisi tersebut, logam berat selain akan mempengaruhi ketersediaan hara tanaman juga dapat mengkontaminasi hasil tanaman. Jika logam berat memasuki lingkungan tanah, maka akan terjadi keseimbangan dalam tanah, kemudian akan terserap oleh tanaman melalui akar, dan selanjutnya akan terdistribusi ke bagian tanaman lainnya.

Tabel 3. Kisaran kadar logam berat sebagai pencemar dalam tanah dan tanaman (Soepardi, 1983)

Unsur	Kisaran Kadar logam Berat	
	Tanah (ppm)	Tanaman (ppm)
As	0,1-40	0,1-5
b	2-100	30-75
F	30-300	2-20
Cd	0,1-7	0,2-0,8
Mn	100-4000	15-200
Ni	10-1000	1
Zn	10-300	15-200
Cu	2-100	4-15
Pb	2-200	0,1-10



Pencemaran logam berat pada tanah dapat didegradasi dengan proses fitoremediasi, yaitu proses biologis yang menggunakan tumbuhan dan organisme yang berasosiasi dengannya untuk mengurangi polutan logam berat di tanah yang terkontaminasi (Schnoor,1997).

2.1.3 Tailling Tambang Emas

Tailing merupakan limbah lumpur sisa proses sianida CIL (proses pelarutan emas dan perak, yang diikuti penyerapan oleh karbon aktif). Pada pengolahan emas dan perak dilarutkan secara selektif menggunakan larutan sianida sebanyak 700-900 ppm. Pertambahan Pb-nitrat dilakukan dengan katalis pelarutan perak. Kandungan sianida masih tinggi di dalam *tailing* diambil kembali melalui pengaliran air yang dihasilkan dari *Counter Current Decantation Thickener*, kemudian dikembalikan ke dalam proses penggilingan (*milling*) dari peluruhan (*leaching*) dalam pengolahan emas. Lalu lumpur *tailing* dipompakan kembali ke dalam *backfiil cyclone* untuk mendapatkan fraksi kasar ($\pm \mu 10$) yang selanjutnya digunakan sebagai material pengisi rongga di dalam tambang dan ditampung juga di dalam tailing dam (Antam, 2002). Danny (2006) menambahkan secara umum pembuangan tailing dilakukan di darat yaitu pada depresi topografi atau penampung buatan; sungai atau danau dan laut. Secara mineralogi *tailing* dapat terdiri atas berbagai mineral seperti silika, silikat besi, magnesium, natrium, kalium, dan sulfida. Dari mineral-mineral tersebut, sulfida mempunyai sifat aktif secara kimiawi, dan apabila bersentuhan dengan udara akan mengalami oksidasi sehingga membentuk garam-garam bersifat asam dan cairan asam mengandung sejumlah logam beracun seperti As, Hg, Pb, dan Cd yang dapat mencemari atau merusak lingkungan

Secara periodik, lumpur yang mengendap di dalam *tailing* diangkut dan ditimbun sementara pada lahan sekitar *dam* tersebut. Lumpur tanah ini mempunyai beberapa sifat kimia yang tidak menguntungkan bagi makhluk hidup. Menurut Siringoringo dkk, (2001) hasil analisa lumpur tailing emas pada PT. Aneka Tambang di Pongkor, Desa Bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor mengandung Cu total 12560 ppm, Fe tersedia 130 ppm, Pb total 524 ppm, P₂O₅ total 174 mg / 100 g, P₂O₅ yang tidak terukur, K₂O total 72



me/100g, K_{DB} 2,0 ME/100g, Na_{dd} 3,0 me/100g, KTK 29,0 me/100g, KB 86% dan nilai pH KCL 6,8, pH H_2O 7,8.

2.2 Fitoremediasi

2.2.1 Definisi Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi yang bersifat biologi, yaitu pemanfaatan jasa tumbuhan hijau dan ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk mengurangi polutan lingkungan, baik pada air, tanah, maupun udara, baik yang disebabkan oleh polutan metal maupun organik (Firdaus, 2003). Fitoremediasi pada lahan yang terkontaminasi logam berat dapat dilakukan melalui tiga cara (EPA, 2001), yaitu

1. Fitoekstraksi, yaitu penyerapan polutan logam berat (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) di dalam tanah oleh akar tumbuhan, dan mengakumulasi senyawa tersebut ke bagian tumbuhan, anatra lain akar, batang, atau daun.
2. Rhizofiltrasi, yaitu pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam (Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, Mn, Zn, Cr) dari permukaan atau aliran air yang terkontaminasi Limbah.
3. Fitostabilisasi, yaitu penggunaan jenis tumbuhan tertentu untuk mengimobilisasi polutan di daerah rhizosfer tanah dan permukaan air, melalui absorpsi dan akumulasi oleh akar

2.2.2 Penyerapan logam oleh tanaman

Jerapan dan pertukaran kation memegang peranan praktis yang sangat penting dalam penyerapan hara olah tanaman, kesuburan tanah, retensi hara, dan pemupukan. Kation yang terjerap umumnya tersedia bagi tanaman melalui pertukaran dengan ion H^+ yang dihasilkan oleh respirasi akar tanaman. Hara yang ditambahkan kedalam tanah dalam bentuk pupuk akan ditahan oleh permukaan koloid dan untuk sementara waktu terhindar dari pencucian. Kation-kation yang dapat mencemari air tanah dapat tersaring oleh kegiatan jerapan koloid tanah. Oleh karena itu, kompleks jerapan dianggap sebagai gudang kation dan memberikan kapasitas penyangga kation dalam tanah (Tan 1991).



Tabel 4. Nilai ambang batas kandungan logam berat (Mengel dan Kirkby (1987) dalam Notohadiprawiro (2006).

Logam berat	Kadar gawat ($\mu\text{g g}^{-1}$ bahan kering) dalam			
	Tanaman	Tanah	Ternak	Manusia
Hg	2-5	0.01-0.3	1-10	1-30
Cd	5-10	0.1-7	0.5-1	0.5-3
Pb	10-20	20-30	10-30	1-10
Cu	15-20	2-100	30-100	100
Ni	20-30	10-1.000	50-60	50-100
Zn	150-200	10-300	500	500-700

Nilai ambang batas kandungan logam berat berbeda pada setiap makhluk hidup (tabel 4) hal ini dipengaruhi oleh daya tahan tubuh terhadap menstimulasi unsur beracun yang masuk ke bagian tubuhnya. Timbal sebagian besar diakumulasi oleh organ tanaman, yaitu daun, batang, akar, dan akar umbi-umbian. Perpindahan Pb dari tanah ke tanaman tergantung komposisi unsur hara lain pengikat dalam tanah dan pH tanah, serta KTK. Konsentrasi timbal yang tertinggi ($> 200 \text{ mg/kg}$) akan mengakibatkan pengaruh toksik pada proses fotosintesa dan pertumbuhan. Timbal hanya mempengaruhi tanaman bila konsentrasi tinggi (Tan, 1991). Tanaman dapat menyerap logam Pb pada saat kondisi kesuburan tanah, kandungan bahan organik, serta KTK tanah rendah. Pada Keadaan ini logam berat Pb akan terlepas dari ikatan tanah dan berupa ion yang bergerak bebas pada larutan tanah. Jika logam lain tidak mampu menghambat keberadaannya, maka akan terjadi serapan Pb oleh akar tanaman.

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

1. Penyerapan oleh akar

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



2. Translokasi di dalam tubuh tanaman

Setelah logam masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut, xylem dan floem ke bagian tumbuhan yang lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat. Berbagai molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan, misalnya histidin yang terikat pada Ni dan fitokhelatin-glutation yang terikat pada Cd.

3. Lokalisasi logam pada jaringan

Untuk mencegah toksisitas logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (untuk Cd pada *Silene dioica*), trikhoma (untuk Cd), dan lateks (untuk Ni pada *Serbetia acuminata*)

2.2.3 Peranan Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan teknologi yang relatif baru berkembang dan belum banyak mendapat perhatian di Indonesia (Firdaus, 2003). Mengingat akan kekayaan hayati tumbuhan Indonesia yang besar serta iklim yang tropis, tentunya peranan tumbuhan untuk mengendalikan pencemaran perlu lebih dikaji lebih teliti dan diterapkan di Indonesia.

Fitoremediasi dapat memberikan keuntungan dan juga kerugian. Keuntungan fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara *insitu* dan *eksitu*, mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar (Zynda, 2001). Sedangkan kerugian fitoremediasi ini adalah prosesnya memerlukan waktu lama, bergantung kepada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomasa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Zynda, 2001). Selain itu, fitoremediasi belum bisa diterapkan pada semua lahan yang terkontaminasi, karena proses fitoremediasi tergantung kepada kedalaman dan kemampuan akar dalam menyerap polutan (Frazar, 2000). Oleh karena itu, dengan



adanya asosiasi antara tanaman kirinyu dengan mikoriza diharapkan proses fitoremediasi dapat berjalan lebih optimum dan pengaruhtif.

2.3 Mikoriza

Mikoriza merupakan asosiasi mutualisme antara jamur di tanah dan akar tanaman. Bibit bermikoriza memiliki keunggulan untuk mampu bertahan hidup pada kondisi lahan marginal. Oleh karena itu bibit bermikoriza sangat baik untuk ditanam dalam rangka rehabilitasi lahan kritis, yang pada umumnya lahannya sudah marginal (Harijoko, 2006)

Kata mikoriza berasal dari kata “mykes” yang berarti jamur dan “rhiza” yang berarti akar. Mikoriza merupakan bentuk hubungan simbiosis mutualisme antara jamur dengan akar tanaman. Hubungan mutualisme tersebut sangat tinggi ketergantungannya yaitu tanaman inang menerima hara mineral sementara jamur menerima senyawa karbon hasil fotosintesis. Asosiasi mikoriza melibatkan interaksi tiga komponen yaitu tanaman inang, jamur mutualistik dan tanah (Harijoko, 2006)

Harijoko (2006) menjelaskan bahwa bibit bermikoriza memiliki pertumbuhan yang lebih optimal dari pada bibit non mikoriza. Kelebihan bibit bermikoriza antara lain:

- 1 Bibit bermikoriza lebih tahan terhadap kekeringan Bibit yang bermikoriza akarnya diselimuti oleh hifa-hifa eksternal yang menyebar luas disekitar zona rhizosfer. Hifa tersebut memiliki sifat seperti kapas yang memiliki daya absorpsi air yang sangat tinggi. Ukuran diameter hifa sangat kecil sehingga mampu menerobos pori-pori mikro tanah dan menambah daerah jelajah serapan air di tanah. Dengan demikian bibit bermikoriza mampu menyerap air dalam kapasitas yang tinggi serta efisiensi dalam penyerapannya. Daerah sekitar rhizosfer pada bibit yang bermikoriza biasanya lebih lembab karena banyak eksudat yang dipertukarkan. lingkungan tersebut memberikan keuntungan bagi mikroorganismen tanah yang bermanfaat untuk mendukung pertumbuhan tanaman.
- 2 Bibit bermikoriza lebih tahan terhadap serangan patogen akar. Akar bibit



jaring hartig dipermukaan akar. Akar yang terkoloni mikoriza mengalami pembengkakan membentuk struktur monokotom, dikotom bahkan trikotom. Selain itu hifa jamur mikoriza ada yang mengeluarkan eksudat yang bersifat toksik bagi patogen akar. Dengan demikian akar bermikoriza memiliki kemampuan perlindungan dari gangguan luar baik secara fisik maupun secara kimia.

- 3 Bibit bermikoriza memiliki efisiensi dalam penyerapan unsur fosfor. Bibit bermikoriza sangat berpengaruh aktif dalam penyerapan unsur fosfor (P) tanah, apalagi dalam keadaan P tanah kurang tersedia karena diikat oleh unsur lain. Unsur P ini menjadi faktor pembatas pada lahan-lahan marginal. Dengan absorpsi unsur P yang cukup, maka pertumbuhan tanaman menjadi optimal.
- 4 Bibit bermikoriza memiliki pertumbuhan yang lebih cepat. Daya jelajah absorpsi unsur hara oleh bibit bermikoriza menjadi lebih luas dikarenakan bibit tersebut mendapat perpanjangan saluran melalui hifa eksternal. Ketersediaan unsur fosfor di tanah sering menjadi faktor pembatas pertumbuhan bibit. Mikoriza dapat membantu penyerapan unsur fosfor secara pengaruhiif dan efisien. Disamping itu mikoriza dapat memacu produksi hormon seperti auksin untuk memacu pertumbuhannya.

Isolat mikoriza banyak tersedia di alam, di bawah tegakan hutan, pada lapisan tanah top soil. Jenis ektomikoriza sering ditemukan dalam tanah di bawah tegakan pinus dan meranti, sedangkan untuk jenis endomikoriza (MA) sering ditemukan dibawah tegakan leguminosae seperti sengon, sesang, kemelandingan, flamboyan dan sebagainya. Dengan mengetahui teknik eksplorasi dan isolasi serta inokulasi mikoriza, maka spora mikoriza dapat diperbanyak agar tetap tersedia untuk digunakan.

2.3.1 Tipe-Tipe Asosiasi Mikoriza

Berdasarkan hubungan jamur dengan inangnya serta susunan anatomi koloninya, terdapat tiga macam mikoriza, yaitu endomikoriza, ektomikoriza, dan ektendomikoriza. Jamur ektomikoriza mudah dikenali tanpa melalui pewarnaan.



Hifa ektomikoriza tumbuh di dalam ruang interseluler diantara epidermis dan korteks, dan membentuk mantel yang menyelimuti akar yang disebut dengan *Hartig net* dan sifatnya tidak merusak akar (Islami dan Utomo, 1995).

Tipe kedua yaitu endomikoriza, yang struktur hifanya tidak membentuk mantel atau selubung luar, tetapi hidup di dalam sel-sel akar dan membentuk hubungan langsung antara sel-sel akar dan tanah sekitarnya (Rao, 1994). Di dalam jaringan akar, endomikoriza membentuk arbuskel dan vesikel, yang terbentuk melalui penggelembungan hifa terminal. Struktur-struktur ini membentuk landasan bagi penyebut endomikoriza sebagai Arbuskular Mikoriza (MA). Tipe ketiga adalah mikoriza yang strukturnya diantara ekto dan endomikoriza, oleh karena itu disebut ektendomikoriza. Ektendomikoriza mempunyai penyebaran yang terbatas, sehingga pengetahuan mengenai jenis mikoriza ini masih sedikit (Islami dan Utomo, 1995).

2.3.2 Endomikoriza

Endomikoriza merupakan suatu bentuk asosiasi yang saling menguntungkan antara jamur dan akar tanaman tingkat tinggi, dimana hifa dari jamur mengkoloni sampai masuk ke dalam sel-sel penyusun korteks tanaman inang (Gambar 1). Endomikoriza umumnya termasuk ke dalam ordo Glomales (Zygomycetes), yang terbagi ke dalam subordo Glominae dan Gigasporinae (Pujiyanto, 2001). Pertumbuhan spora endomikoriza dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tanah dan kondisi edafik. Kondisi lingkungan tanah yang cocok untuk perkecambahan biji juga cocok untuk perkecambahan spora. Pertumbuhan hifa juga dipengaruhi oleh kadar fosfor dalam jaringan tanaman inang, eksudat akar, dan CO₂ (Sylvia dalam Pujiyanto, 2001). Endomikoriza melakukan penetrasi terhadap epidermis akar melalui tekanan mekanis dan aktivitas enzim, yang selanjutnya tumbuh menuju korteks (Pujiyanto, 2001).





Gambar 1. Struktur Vasikula, arbuskula dan spora Endomikoriza (Harijoko, 2006)

Akar yang terkoloni oleh endomikoriza akan memiliki perubahan morfologi yang berbeda dibandingkan dengan asosiasi antara akar dengan ektomikoriza. Endomikoriza terdiri atas tiga anak kelompok, namun sejauh ini yang paling lazim dikenal adalah Mikoriza Arbuskula (MA)

Jamur Mikoriza Arbuskular (MA) merupakan jenis jamur endomikoriza yang membentuk vesikel dan arbuskel di dalam akar. Arbuskel yang terbentuk di dalam jaringan akar akan berfungsi sebagai tempat pertukaran antara jamur mikoriza dengan akar tanaman inang. Vesikel merupakan organ yang berbentuk kantung yang terletak di ujung hifa. Vesikel mengandung banyak lemak yang berfungsi untuk penyerapan. Pertumbuhan hifa, pembentukan, dan *senescense* arbuskel serta pembentukan vesikel berhubungan langsung dengan pembentukan akar (Sylvia dalam Pujiyanto, 2001).

Jamur MA mempunyai pengaruh yang spesifik terhadap jenis tanaman yang terkoloni. Hal ini karena MA tidak mempunyai sifat morfologi dan fisiologi yang sama. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui identitas atau jenis dari MA ini. Salah satu strain mikoriza adalah mikofer, yang merupakan campuran dari beberapa jenis jamur mikoriza yang terdiri atas *Acaulospora sp*, *Gigaspora sp*, *Glomus sp*, dan *Glomus manihotis* (Setiadi, 2001)

1. Glomus

Perkembangan spora Glomus adalah dari hifa. Ujung hifa akan membesar sampai ukuran maksimal dan terbentuk spora. Sporanya disebut Chlamidospora.



Hifa yang lain kadang-kadang bercabang dan tiap cabang terbentuk *Chlamydozooids* dan ini disebut *sporocarp*.

2. Gigaspora

Perkembangan spora Gigaspora tidak berasal dari hifa. Ujung hifanya pertama-tama membulat dan dinamakan suspensor. Di atas suspensor ini timbul bulatan kecil yang semakin lama semakin membesar dan mencapai ukuran maksimum lalu akhirnya menjadi spora. Spora ini dinamakan *azygospora*.

3. Acaulospora

Proses perkembangan Acaulospora seolah-olah dimulai dari hifa, padahal sebenarnya tidak. Pertama-tama terbentuk substending hifa yang dihasilkan oleh hifa terminus. Diantara dua organ tersebut timbul bulatan kecil yang semakin besar. Selama proses perkembangan, hifa terminus akan rusak dan hancur. Isi dari hifa terminus tersebut adalah spora. Karena perkembangan spora bukan dari hifa, maka dinamakan *azygospora*.

2.3.3 Manfaat Mikoriza Bagi Tanaman

Secara umum mikoriza memiliki fungsi sebagai (1) membantu meningkatkan suplai hara kepada tanaman, terutama unsur P, (2) melindungi akar tanaman dari serangan patogen akar, (3) meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan dan (4) memproduksi hormon dan zat pengatur tumbuh.

Menurut Harijoko (2006), manfaat dari mikroriza sebagai berikut:

1. Meningkatkan suplai hara tanaman dengan menambah luas daerah serapan pada tanah yang bisa dijangkau oleh tanaman
2. Meningkatkan suplai hara tanaman dengan menyerap bentuk hara yang secara normal tidak tersedia bagi tanaman.
3. Beberapa jamur ME dan ericoid memiliki kemampuan memecahkan senyawa fenol di tanah yang dapat menghambat pengambilan hara
4. Kolonisasi akar oleh jamur ME dan MA dapat terlindung dari jamur parasite dan nematoda.
5. Manfaat mikoriza meliputi peningkatan hasil, akumulasi hara, dan atau keberhasilan reproduksi.



6. Mikoriza dapat menyebabkan perubahan pertumbuhan arsitektur akar dan jaringan pembuluh dsb.
7. Penekanan terhadap kompetisi dari tanaman bukan inang oleh jamur mikoriza.
8. Jumlah transfer karbon yang significant melalui miselia jamur ME yang menghubungkan beberapa jenis tanaman telah diukur Hal ini dapat menurunkan kompetisi di antara tanaman dan berkontribusi terhadap stabilitas dan keragaman ekosistem.
9. Jaringan hifa yang dibangun oleh pohon dominan dapat menolong anakan untuk bisa mapan atau berkontribusi terhadap pertumbuhan tanaman yang ada di bawah naungan
10. Transfer hara dari tanaman yang mati ke tanaman yang hidup dapat terjadi.

Namun demikian, respon tanaman tidak hanya ditentukan oleh karakteristik tanaman dan jamur, tapi juga oleh kondisi tanah dimana percobaan dilakukan. Pengaruhktivitas mikoriza dipengaruhi oleh faktor lingkungan tanah yang meliputi faktor abiotik (konsentrasi hara, pH, kadar air, temperatur, pengolahan tanah dan penggunaan pupuk/pestisida) dan faktor biotik (interaksi mikrobial, spesies jamur, tanaman inang, tipe perakaran tanaman inang, dan kompetisi antar jamur mikoriza).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tidak semua jenis tanaman selalu memberikan respon positif terhadap aplikasi MA (Setiadi, 2001). Hal ini selain ditentukan oleh tingkat pengaruhktivitas isolat dan nutrisi substrat, juga sangat ditentukan oleh tingkat ketergantungan tanaman terhadap mikoriza.

2.4 Tinjauan Botanis Tanaman Kirinyu (*Chromolaena odorata*)

Salah satu tumbuhan yang dianggap mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai agen fitoremediator adalah tumbuhan kirinyu (*Chromolaena odorata*). Tumbuhan *C. odorata* berasal dari Amerika selatan, di Indonesia tumbuh dengan baik pada ketinggian 200 – 1800m. dpl. Secara ekologi, kirinyu dianggap sebagai tumbuhan pengganggu. Di tanah yang tidak subur sering tumbuh banyak sekali (Gainge and Ahmed, 1988).



Tumbuhan ini merupakan perdu yang tumbuh tegak dan bercabang banyak. Tinggi tumbuhan *C. odorata* 2-6 m. Diameter batang *C. odorata* sekitar 2 cm (Heyne, 1987). Daun tunggal, berhadapan, bulat telur, tepi bergerigi, ujung dan pangkal runcing, permukaan berbulu halus pertulangan menyirip, berwarna hijau muda dengan panjang 4-5 cm dan lebar 1-1,5 cm, serta bertangkai pendek. Bunga majemuk, malai, tumbuh di ujung batang, kelopak bentuk lonceng dan mahkota bunga berbentuk jarum. Buah kecil, berbulu coklat kehitaman dengan biji berbentuk jarum, kecil dan berwarna hitam (Hidayat, 1995). Selama ini, tanaman kirinyu (*C odorata*) yang merupakan tanaman liar dan mudah ditemui di sekitar kita, belum dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan pengendali biologi padahal tersedia dalam jumlah yang melimpah (Lampiran 12).



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui percobaan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahap yaitu pengambilan contoh tanah di lapangan, percobaan pertumbuhan tanaman rumah kaca dan penelitian di laboratorium. Waktu penelitian dilaksanakan mulai bulan februari – desember 2010.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang digunakan dalam Penelitian Percobaan Tanaman

Alat yang digunakan dalam percobaan pertumbuhan tanaman dengan media tanam campuran tanah limbah bekas tambang emas (tailling) dan tanah alfisol, adalah:

1. Polibag dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 8 cm dengan volume tanah sebesar 5kg/bak
2. Ember plastik yang digunakan untuk menyirami tanaman agar tetap pada kondisi lapangan.
3. Alat tulis dan penggaris untuk menghitung jumlah daun dan tinggi tanaman tiap minggu.

3.2.2 Alat yang digunakan dalam Penelitian Laboratorium.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah, timbangan, cawan petri, saringan, autoklaf, beaker glass, pembakar bunsen, stop watch, cutter, mikroskop cahaya, pinset, penggaris, pipet tetes, kaca objek, alat tulis, soil tester, pemanas, pengaduk, label, tabung reaksi, tabung centrifuge, alat sentrifuge, oven, shaker, botol plastik, kaca penutup, gelas ukur dan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

3.2.3 Bahan yang digunakan dalam penelitian percobaan tanaman

Bahan yang digunakan dalam percobaan tanaman dengan tanam campuran lahan tercemar tailling dan tanah alfisol, adalah:

1. Bibit tanaman kirinyu (*Chromolaena odorata*) yang berumur 3



2. Tanah pada lahan pembuangan limbah bekas tambang emas (*tailing*) dari pertambangan rakyat di Desa Sekotong Kec. Sekotong Kab. Lombok Barat
3. Tanah alfisol dari kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya di Desa Jatikerto Kec. Krompengan Kab. Malang

3.2.4 Bahan yang digunakan dalam penelitian di laboratorium

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah inoculum mikoriza, Formalin Asam Asetic (FAA), NH_4OH , H_2O_2 10%, asam laktat, gliserin, air fuchsin, phenol, KOH 10%, HClO_4 1%, bayclean, kertas saring, aluminium foil dan aquades.

3.3 Metode Percobaan

3.3.1 Rancangan Penelitian

Metode Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 6 perlakuan dosis (Tabel 5). Setiap perlakuan dilakukan ulangan sebanyak 3 kali. Denah perlakuan di rumah kaca disajikan pada Lampiran 5. Media tanam telah dicampurkan waktu tanaman disemaikan selama 3 minggu sehingga bisa homogen. Pemberian Mikoriza dilakukan pada saat pembibitan dan penanaman.

Tabel 5. Perlakuan yang diberikan pada saat penelitian

No.	Kode	Perlakuan
1	T0M0	Tailing 0% dan alfisol 100% + inokulasi mikoriza (kontrol)
2	T0M1	Tailing 0% dan alfisol 100% + tanpa inokulasi mikoriza (kontrol)
3	T1M0	Tailing 15% dan alfisol 85% + inokulasi mikoriza
4	T1M1	Tailing 15% dan alfisol 85% + tanpa inokulasi mikoriza
5	T2M0	Tailing 30% dan alfisol 70% + inokulasi mikoriza
6	T2M1	Tailing 30% dan alfisol 70% + tanpa inokulasi mikoriza



3.3.2 Analisis Data

Pengolahan atau analisis data yang diperoleh dilakukan pengujian dengan analisis ragam atau uji F dengan taraf nyata ($p = 0,05$), untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan dilakukan uji Duncan taraf nyata ($p = 0,05$), untuk mengetahui hubungan antara parameter dari perlakuan tersebut dilakukan analisa uji korelasi taraf 5%.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengkombinasikan tanah tercemar limbah tambang emas dengan tanah sehat (alfisol), penelitian dimulai dari persiapan media tanam pembibitan tanaman dan mikoriza, penanaman dan pemeliharaan, selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.

3.4.1 Persiapan Media Tanam

Media yang digunakan merupakan campuran dari tanah limbah tambang emas (*tailing*) dengan tanah alfisol yang kemudian dicampur dengan komposisi yang sudah ditentukan (lihat metode percobaan). Tanah limbah bekas tambang emas (*tailing*) diambil dari lahan pembuangan limbah tambang emas rakyat di Desa Sekotong Kec. Sekotong Kab. Lombok Barat. Sedangkan tanah alfisol diambil di kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya di Desa Jatikerto Kec. Kromengan Kab. Malang.

Pengambilan contoh tanah di lapangan dilakukan dengan metode *Random Sampling* pada lapisan olah tanah (0-20 cm). Semua contoh tanah kemudian di kering udarakan, dicampur rata dan diayak dengan ayakan 2 mm, tanah yang lolos ayakan digunakan sebagai media tanam percobaan dengan komposisi yang sudah ditentukan. Masing-masing pot tanah berisikan 5 kg tanah setara kering udara dan kemudian dikondisikan kapasitas lapangan, sebagian tanah diambil untuk analisa dasar meliputi KTK, pH, KA, C-organik, Tekstur, Identifikasi mikoriza, Unsur makro (N, P, K) dan Basa-basa tersedia (K, Na, Ca, Mg,) serta analisa logam berat Pb pada tailling tambang emas.



3.4.2 Pembibitan

Sebelum ditanam pada medium perlakuan, terlebih dahulu dilakukan pembibitan agar diperoleh hasil yang lebih baik. Pembibitan dilakukan di wadah plastik dengan media tanam berupa kompos agar kebutuhan unsur dapat terpenuhi dengan berat masing-masing wadah setara 3 kg tanah kemudian dicampur dengan mikoriza dalam bentuk tanah yang berisi mikoriza hasil perbanyakan.

Setelah media tanam siap, benih-benih dari masing-masing tanaman yang sudah dipilih ditaburkan kedalam media tersebut, selama 3 minggu sampai tanaman mempunyai kondisi perakaran yang sudah siap untuk mengikat ke dalam media perlakuan serta sudah mampu menyerap unsur.

3.4.3 Penanaman

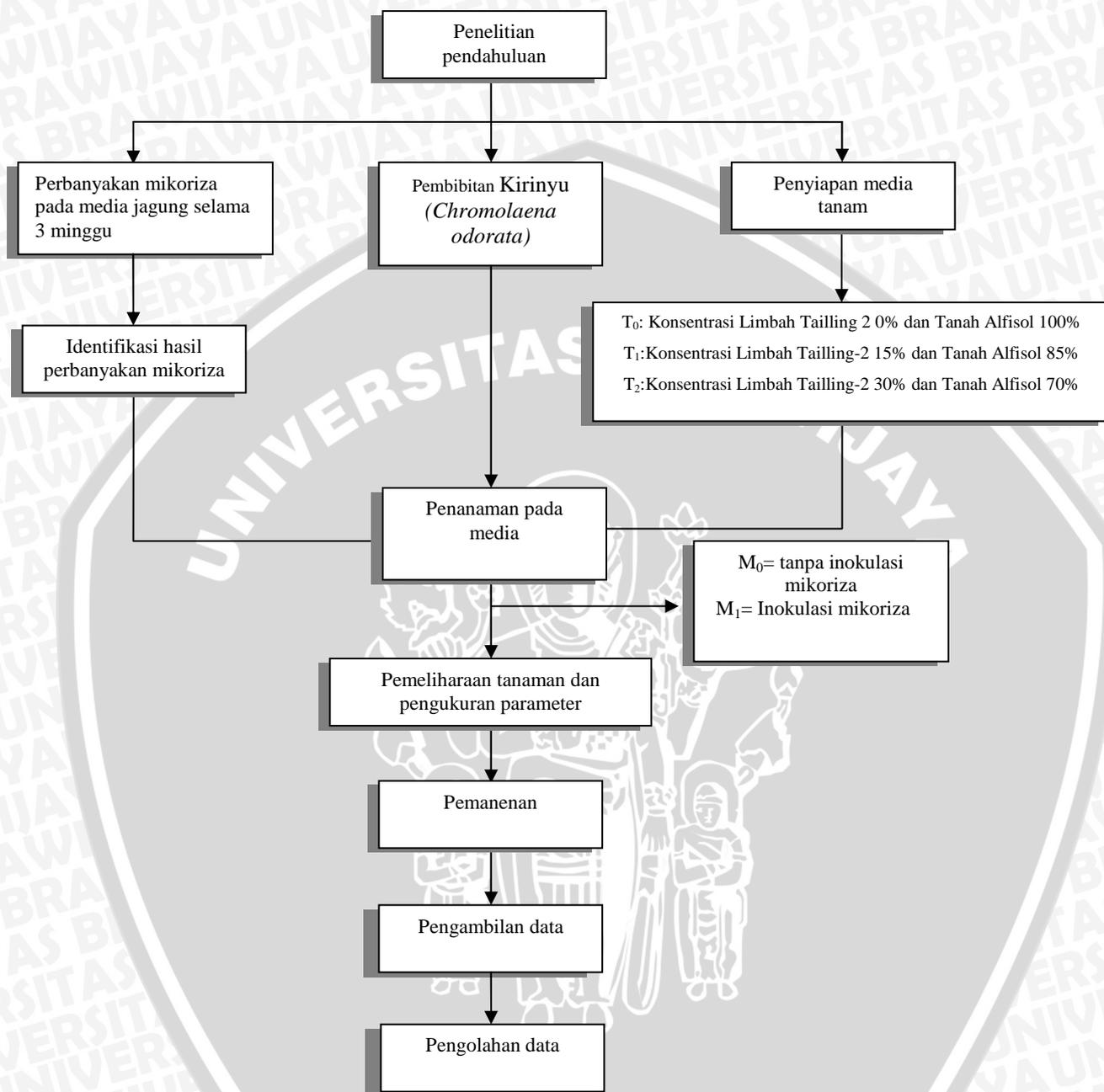
Setelah bibit berusia 3 minggu sejak benih disemaikan, kemudian dipindahkan kedalam pot yang telah diisi oleh medium tanam yang sudah dicampur dengan komposisi yang sudah ditentukan, lubang pada pot diperhatikan untuk aerasi dan drainasenya.

Bibit dipilih yang homogen dan kemudian langsung dipindahkan secara hati-hati kedalam pot bersamaan dengan inokulasi mikoriza. Penanaman bibit pada media tanam perlakuan diusahakan tegak lurus dan satu pot digunakan untuk satu tanaman.

3.4.4 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman, penyiangan gulma, dan pengendalian hama. Penyiraman dilakukan setiap hari, yaitu pada pagi atau sore hari (dijaga agar sesuai kapasitas lapangan) selama 3 bulan. Penyiangan dilakukan dengan mencabut gulma yang mengganggu disekitar tanaman kirinyu.





Gambar 2. Pelaksanaan Penelitian



3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dalam 2 bagian, yaitu:

1. Pengamatan Non Destruktif
 - a. Tinggi tanaman diukur dari leher akar tanaman permukaan media tanam sampai ujung daun tertinggi.
 - b. Jumlah daun ditentukan dengan menghitung seluruh daun yang telah membuka sempurna.
 - c. Panjang dan berat kering akar.
2. Pengamatan Destruktif
 - a. Bobot kering tanaman diperoleh dengan menimbang seluruh bagian tanaman yang telah dioven selama 3 x 24 jam dengan suhu 60 °C.
 - b. Bobot segar panen diperoleh dengan menimbang seluruh bagian tanaman.
 - c. Kadar Pb pada tanaman dengan AAS (Type Perkin elmer 200 dibuat di singapura).
 - d. Persentase koloni mikoriza dengan metode pewarnaan (*trypan blue*) dan jumlah spora mikoriza dengan metode pengakan basah (*wet sieving*).

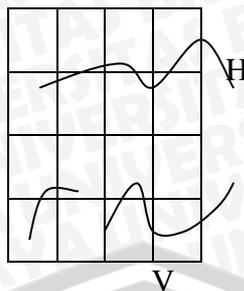
3.5.1 Tinggi Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dengan menggunakan penggaris (cm) dari bagian pangkal batang tanaman yang tumbuh dipermukaan tanah sampai titik tertinggi batang dan diukur setiap seminggu sekali selama 3 bulan penanaman (Sitompul dan Guritno, 1995)

3.5.2 Total Panjang Akar

Akar yang didapatkan kemudian di cuci, dari hasil pencucian tersebut kemudian di sebarakan diatas kertas strimin dengan luasan kotak tertentu. Lrv ditetapkan dengan metode intersepsi garis dengan metode tennant. Dalam hal ini digunakan luasan tiap kotak strimin adalah 1 cm² (Gambar 3).





Gambar 3. Cara menghitung Lrv dengan metode Tennant (1975) dalam Hairiah dkk, (2000)

Dari jumlah perpotongan akar pada sumbu vertikal dan horizontal ini kemudian dimasukkan kedalam rumus :

$$Lrv = \frac{\mu (H + V)D}{4 \text{ Vol. tanah}}$$

Keterangan : $\mu = 3,14$

Lrv = Total Panjang Akar (cm cm^{-3})

H = Jumlah perpotongan akar dengan garis horisontal

V = Jumlah perpotongan akar dengan garis vertikal

D = Ukuran Gafik yang dipakai (cm)

3.5.3 Bobot Kering Akar

Pengukuran bobot kering akar dilakukan pada saat panen. Akar dipisahkan dari batang dan daun, kemudian dibungkus dengan aluminium foil. Setelah itu akar dikeringkan pada suhu $75-105^{\circ}\text{C}$ selama 2 hari. Bobot kering diperoleh dengan menimbang akar yang telah dikeringkan sampai diperoleh berat yang konstan (Sitompul dan Guritno, 1995)

3.5.4 Jumlah Daun

Perhitungan jumlah daun dilakukan setiap seminggu sekali selama 3 bulan penanaman. Daun yang dihitung adalah daun yang menunjukkan warna hijau agak tua, karena diduga sudah aktif melakukan fotosintesis yang mendukung pertumbuhan tanaman (Sitompul dan Guritno, 1995).



3.5.5 Persentasi koloni dan Jumlah Spora Mikoriza

Penghitungan akar yang terkoloni mikoriza dilakukan dengan pengambilan secara acak potongan-potongan akar yang telah diwarnai sepanjang 1 cm. Potongan-potongan akar tersebut disusun dalam kaca objek. Satu kaca objek untuk 10 potong akar. Dihitung jumlah akar yang terkoloni mikoriza dari 10 potongan akar tersebut dan diulangi hingga 3 kaca objek. Persentase akar yang terkoloni dihitung berdasarkan rumus :

$$\% \text{ koloni} = \frac{\text{jumlah akar yang berkoloni}}{\text{Jumlah akar yang diamati}} \times 100\%$$

Penggolongan tingkat koloni akar adalah berdasarkan klasifikasi yang dibuat oleh The Institute of Mycorrhizal Research and Development, USDA dalam Setiadi (2001), yaitu :

- Kelas 1, bila koloninya 0 – 5% (sangat rendah, +).
- Kelas 2, bila koloninya 6 – 26% (rendah, ++).
- Kelas 3, bila koloninya 27 – 50% (sedang, +++).
- Kelas 4, bila koloninya 51 – 75% (tinggi, ++++).
- Kelas 5, bila koloninya 76 – 100% (sangat tinggi, +++++).

Perhitungan jumlah spora dilakukan pada media tanam yang dipakai, media tanaman yang dipakai setelah pemanenan diidentifikasi jumlah spora mikoriza per 50 g dengan metode *wet sieving*, hasil perhitungan kemudian dikorelasikan dengan banyaknya spora yang diinokulasi untuk mengetahui perkembangan dari spora mikoriza.

3.5.6 Kandungan Logam Berat (Tajuk dan Akar)

Pengamatan kandungan logam berat dilakukan pada tajuk dan akar tanaman guna mengetahui perbandingan dari masing-masing serta mengetahui jenis fitoremediasi yang terjadi pada tanaman.

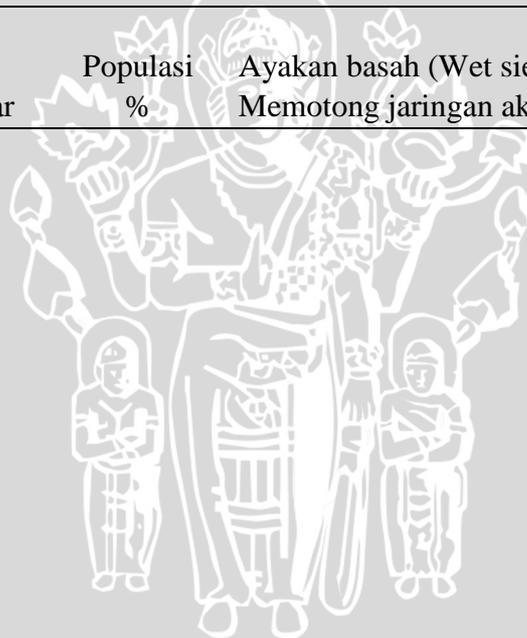
Kemudian masing-masing dari bagian yang diamati diambil 2 gram sampel untuk didestruksi kemudian dilarutkan dalam 10 ml HNO₃ dan HCL O₄ di dalam gelas kimia dan dipanaskan sampai tersisa volume 2 ml kemudian dipanaskan lagi dengan dicampur dengan aquades secara bertahap sampai cairan berubah menjadi jernih (putih bersih). Cairan yang sudah jernih kemudian dicampur dengan aquades untuk kemudian diuji dengan spektrofotometer hasil pengujian diambil



lalu diukur kandungan logam beratnya (Pb) menggunakan atomic absorption spectrophotometry (AAS), selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Variabel pengamatan dan metode analisis yang digunakan dalam penelitian

Variabel	Satuan	Metode Analisis
Tanah		
Tekstur tanah	%	Pipet Method
pH tanah		Elektroda glass
Kandungan C-organik	%	Walkey and Black
Kandungan Pb media tanam	mg kg ⁻¹	AAS, dengan pereaksi HNO ₃
KTK tanah	cmol kg ⁻¹	Ekstraksi NH ₄ OAc pH 7
Tanaman		
Biomassa tanaman	mg	Gravimetri
kandungan Pb tanaman	mg kg ⁻¹	AAS, dengan pereaksi HNO ₃
Total panjang akar	cm. cm ⁻³	Metode tennant
Mikoriza		
Jumlah spora mikoriza	Populasi	Ayakan basah (Wet sieving)
Koloni mikoriza di akar	%	Memotong jaringan akar (Gid-intersect)



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Perlakuan Tailing dan Mikoriza Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kirinyu

Data hasil analisis varian (Lampiran 1) menunjukkan bahwa parameter perlakuan berbeda nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, total panjang akar, bobot kering tanaman, bobot kering akar, persentase koloni mikoriza dan serapan tanaman, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah spora mikoriza. Untuk melihat pengaruh pada parameter yang berbeda nyata dilakukan uji duncan taraf 5% yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi data parameter penelitian tanaman kirinyu (*Chromolaena Odorata*) berumur 3 bulan setelah tanam.

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai Tanaman ⁻¹)	Bobot kering tanaman (g)	Total panjang akar (cm cm ⁻³)	Bobot Kering Akar (g)	Persentase koloni mikoriza (%)
T0M0	112.00b	73.33c	20.94b	0.27a	2.43bc	77.77c
T0M1	93.66ab	58.00bc	20.00b	0.37a	2.96c	51.11c
T1M0	111.66b	65.66c	17.79b	0.68b	2.75c	76.66b
T1M1	121.00b	60.33bc	17.63b	0.27a	2.06bc	31.11a
T2M0	58.00a	44.33ab	7.15a	0.16a	1.06ab	63.33bc
T2M1	79.33ab	34.66a	8.93a	0.22a	0.59a	30.89a

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji Duncan taraf 5%. T0 : kombinasi tailing 0% (tailing 0 kg/5 kg) dan alfisol 100%; T1 : kombinasi tailing 15 % (0.75 g/5kg) dan alfisol 85% ; T2 : kombinasi tailing 30 % (1,5 kg/5kg) dan alfisol 70%; M0 (inokulasi mikoriza) ; M1 (tanpa inokulasi mikoriza)

Pada parameter tinggi tanaman (Tabel 7), perlakuan T2M0 (58.00 cm) sudah menghambat tinggi tanaman kirinyu sedangkan parameter yang lain tidak berbeda nyata menurut uji duncan, masing-masing T0M0 (112.00 cm), T0M1 (93.66 cm), T1M0 (111. 66 cm), T1M1 (121.00 cm), T2M1 (79.33 cm). Sedangkan Jumlah daun paling banyak pada perlakuan T0M0 (73.33 helai) dan paling sedikit pada perlakuan T2M1 (34.66 helai). Hal ini menunjukkan bahwa



jumlah daun tanaman. Perlakuan inokulasi mikoriza pada parameter jumlah daun dan tinggi tanaman menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dari pada tanpa inokulasi mikoriza, hal ini ditunjukkan pada parameter tinggi tanaman pada perlakuan TOM0 dan parameter jumlah daun pada perlakuan TOM0, T1M0 dan T2M0. Adanya logam berat menurut Connell and Miller (1995), dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium, dan besi yang ada di dalam jaringan akar, yang akibatnya akan memperlambat pertumbuhan akar dan perkembangan jaringan meristem. Defisiensi fosfor juga dapat menghambat proses respirasi dan fotosintesis pada tanaman. Hal ini menurut Sarwono (1995), akan mengurangi pembentukan klorofil daun sehingga menyebabkan pembentukan luas daun terhambat. Pernyataan ini didukung oleh Sitompul dan Guritno (1995), yang menyatakan bahwa kemampuan tanaman untuk melakukan fotosintesis ditentukan oleh luas daun. Menurut Suryatmana dkk (2003), mikoriza mampu beradaptasi pada tanah yang mengandung logam yang tinggi. Demikian pula menurut Subiksa (2002), yang menyatakan bahwa kemasaman tanah dan kandungan aluminium yang tinggi bukan merupakan faktor pembatas bagi cendawan mikoriza, tetapi merupakan masalah bagi pertumbuhan tanaman.

Bobot kering tanaman paling rendah pada perlakuan T2M1 yaitu: 8.93 g dan paling tinggi TOM0 (20.94 g) (Tabel 7). Bobot kering akar paling tinggi terdapat pada perlakuan TOM1 (2.96 g) dan terus menurun seiring meningkatnya konsentrasi Pb. Nilai terendah terdapat pada perlakuan T2M1 (0.59 g). Pada parameter Total panjang akar menunjukkan bahwa nilai panjang akar tertinggi terdapat pada perlakuan T1M0 (0.68 cm cm^{-3}) dan paling rendah pada perlakuan T2M0 (0.16 cm cm^{-3}). Pada ketiga parameter pengamatan akar menunjukkan bahwa pada perlakuan kombinasi media tailing 30% (T2) secara nyata menghambat pertumbuhan tanaman dengan masing-masing nilai terendah terdapat pada perlakuan T2M1 pada parameter bobot kering tanaman dan bobot kering akar serta T2M0 pada total panjang akar. Uji duncan menunjukkan hal yang sama dan perlakuan mikoriza menunjukkan hasil yang lebih baik. Fitter and Hay (1991), menyatakan bahwa logam berat dapat mengganggu proses metabolisme pada tanaman, sehingga mengganggu pembentukan sel-sel tanaman dan jaringan meristem pada akar. Menurunnya pertumbuhan jaringan pada akar



dapat mengakibatkan penurunan pertumbuhan bagian atas tanaman pada akhirnya akan menurunkan bobot kering tanaman. Logam berat yang terserap, menurut Connel and Miller (1995), dapat menyebabkan toksik pada tumbuhan. Kandungan logam berat yang berlebih dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, penurunan produktivitas tanaman, serta dapat menyebabkan kematian. Selain itu, Kandungan Pb dan Cd yang berlebih menurunkan aktivitas katalase dan meningkatkan aktifitas peroksida. Hal ini sesuai dengan pernyataan Malla (2010) bahwa terhambatnya pertumbuhan tanaman juga diduga karena tanaman mengalami defisiensi unsur P akibat cekaman logam berat, dikarenakan unsur P merupakan unsur yang dapat merangsang pertumbuhan akar yang selanjutnya berpengaruh pada pertumbuhan bagian atas tanaman (generatif). Sehingga pada beberapa perlakuan dengan inokulasi mikoriza menunjukkan hasil yang lebih baik mengingat mikoriza mampu membantu tanaman meningkatkan unsur P dengan asosiasi tanaman dengan mikoriza.

Persentase koloni mikoriza menunjukkan bahwa pada perlakuan TOMO (77.77%) menunjukkan nilai paling tinggi dan perlakuan T2M1 (30.89%) memiliki nilai yang paling rendah (Tabel 7), persentase koloni menurun seiring meningkatnya konsentrasi tailing. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza berhasil memberi pengaruh yang lebih baik kepada tanaman dengan skema simbiosis mutualisme antara mikoriza dan tanaman melalui perakaran tanaman kirinyu. Menurut Hidayat (1995), Mikoriza Arbuskular (MA) mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman karena dapat meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. MA yang mengkoloni sistem perakaran tanaman inang akan memproduksi jalinan hifa secara intensif, sehingga tanaman bermikoriza akan mampu meningkatkan kapasitasnya dalam menyerap air dan unsur hara. Ukuran hifa yang halus akan memungkinkan hifa bisa menyusup ke pori-pori tanah yang paling kecil (mikro), sehingga hifa bisa menyerap air pada kondisi kadar air yang sangat rendah (Kilham dalam Subiksa, 2002). Dengan adanya peran mikoriza dalam membantu penyerapan air dan unsur hara, maka sel tumbuhan akan cepat tumbuh dan berkembang, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman.



Perlakuan inokulasi mikoriza tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan kandungan timbal dalam media tanam, namun memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap pertumbuhan tanaman, hal ini dapat dilihat pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering tanaman, bobot kering akar total panjang akar, persentasi koloni mikoriza dan jumlah spora mikoriza. Pada perlakuan tailing 30% (T2) pertumbuhan tanaman telah terhambat (Tabel 7), uji duncan menunjukkan hal yang sama dimana pada perlakuan T2 parameter menunjukkan berbeda nyata.

4.2 Serapan Pb Tanaman dan Penurunan Kandungan Pb pada Media Tanam

Dalam penelitian ini ditemukan hasil yang bervariasi pada serapan Pb tanaman, penyerapan tertinggi terdapat pada perlakuan tailing T1M1 dengan nilai sebesar 4.96 (mg tanaman⁻¹), sedangkan serapan Pb terendah pada perlakuan T2M0 sebesar 1.71 (mg tanaman⁻¹), data selengkapnya dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel.8 Nilai Pengamatan Pb pada tanaman Kirinyu dan media tanam

Perlakuan	Serapan Pb tanaman (mg tanaman ⁻¹)	Kandungan Pb media tanam (mg 5 kg ⁻¹ media)	Sisa kandungan Pb dalam media (mg 5kg ⁻¹ media)	Persentasi kemampuan serapan Pb tanaman (%)
	(a)	(b)	(c)	(d)
T0M0	4.59a	102.85	98.26	4.46
T0M1	4.70a	102.85	98.15	4.57
T1M0	4.48a	163.10	158.62	2.75
T1M1	4.96a	163.10	158.14	3.04
T2M0	1.71b	205.42	203.71	0.83
T2M1	2.05b	205.42	203.38	1.00

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji Duncan taraf 5%. T0 : kombinasi tailing 0% (tailing 0 kg/5 kg) dan alfisol 100%; T1 : kombinasi tailing 15 % (0.75 g/5kg) dan alfisol 85% ; T2 : kombinasi tailing 30 % (1,5 kg/5kg) dan alfisol 70%; M0 (inokulasi mikoriza) ; M1 (tanpa inokulasi mikoriza). (c) = (b) – (a) ; (d) = (a)/(b) x 100%



Nilai serapan Pb pada tanaman berhubungan lurus terhadap kandungan sisa Pb dalam media tanam, dimana besarnya kandungan Pb yang tersedia didalam media sesuai dengan perlakuan banyaknya persentase tailing yang diberikan. Nilai serapan Pb tertinggi pada perlakuan T1M1 ($4.96 \text{ mg tanaman}^{-1}$), dan terendah T2M0 ($1.71 \text{ mg tanaman}^{-1}$). Logam berat yang terkandung dalam tanaman semakin meningkat sejalan dengan penambahan konsentrasi. Namun, serapan per tanaman semakin menurun sejalan dengan penambahan konsentrasi, serapan Pb tanaman menunjukkan banyaknya unsur Pb per satuan berat kering tanaman.

Mekanisme biologis dari hiperakumulasi unsur logam pada dasarnya meliputi proses-proses: (i) interaksi rizosferik, yaitu proses interaksi akar tanaman dengan media tumbuh (tanah dan air). Dalam hal ini tumbuhan hiperakumulator memiliki kemampuan untuk melarutkan unsur logam pada rizosfer dan menyerap logam bahkan dari fraksi tanah yang tidak bergerak sekali sehingga menjadikan penyerapan logam oleh tumbuhan hiperakumulator melebihi tumbuhan normal (McGath dkk.1997); (ii) proses penyerapan logam oleh akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih cepat dibandingkan tumbuhan normal, terbukti dengan adanya konsentrasi logam yang tinggi pada akar (Lasat dkk. 1996). Akar tumbuhan hiperakumulator memiliki daya selektifitas yang tinggi terhadap unsur logam tertentu (Gabbrielli dkk. 1991); (iii) sistem translokasi unsur dari akar ke tajuk pada tumbuhan hiperakumulator lebih efisien dibandingkan tanaman normal. Hal ini dibuktikan oleh rasio konsentrasi logam tajuk/akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih dari satu (Gabbrielli dkk. 1991). Setiap tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda bertahan pada berbagai macam tanah terkontaminasi dan menyerap logam (Maiti dkk., 2004).

Adapun mekanisme keracunan logam menurut Heryando (1994), terbagi ke dalam 3 kategori, yaitu :

1. Memblokir atau menghalangi kerja gugus fungsi biomolekul yang essential untuk proses-proses biologi, seperti protein dan enzim.
2. Menggantikan ion-ion logam essential yang terdapat dalam molekul terkait



3. Mengadakan modifikasi atau perubahan bentuk dari gugus-gugus aktif yang dimiliki oleh biomolekul.

Ditunjang oleh pernyataan Fitter and Hay (1991), yang menyatakan bahwa ion-ion logam seperti Cu, Pb dan Ni dapat mengganggu kerja enzim, sehingga mengganggu proses metabolisme pada tanaman, dan berpengaruh terhadap pembentukan sel-sel dan jaringan tanaman, khususnya pada jaringan meristem. Akibat adanya gangguan kerja pada jaringan meristem, maka akan menghambat pembentukan dan perpanjangan organ tanaman, khususnya batang.

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam-logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Chaney, 1995).

Tanaman kirinyu telah mampu menurunkan kandungan Pb didalam media tanam. Tanaman kirinyu mampu menyerap Pb dalam media tanam antara 1,71 mg sampai 4,96 mg, dan persentase kemampuan serapan Pb terhadap total kandungan Pb dalam media tanam antara 0,83% sampai 4,57%.

4.2. Hubungan antar Parameter Pengamatan

Serapan Pb tanaman berkorelasi negatif terhadap tinggi tanaman ($r = 0.724^{**}$) (Gambar. 4), jumlah daun ($r = 0.785^{**}$) (Gambar. 5), bobot kering tanaman ($r = 0.934^{**}$) (Gambar. 6) dan bobot kering akar ($r = 0.783^{**}$) (Gambar. 7). Hubungan korelasi ini berarti semakin besar serapan Pb oleh tanaman maka pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering tanaman dan bobot kering akar akan semakin tidak baik (Tabel 9). Serapan Pb menunjukkan banyaknya unsur Pb per mg satuan berat kering tanaman. Masukan Pb kedalam tanah juga berasal dari polusi kendaraan bermotor, asap pembakaran, sisa cat, dan tempat-tempat pembakaran sampah (EPA, 2001).



Persentase koloni mikoriza dan jumlah spora mikoriza menunjukkan nilai korelasi yang tidak signifikan pada level 5% terhadap parameter lain (Tabel 9). Total panjang akar berkorelasi negatif terhadap bobot kering akar ($r = 0.604^{**}$) (Gambar. 8). Hal ini berarti semakin tinggi bobot kering akar maka semakin tinggi total panjang akar.

Bobot kering akar berkorelasi negatif terhadap tinggi tanaman ($r = 0.596^{**}$) (Gambar. 9) dan jumlah daun ($r = 0.726^{**}$) (Gambar. 10) serta berkorelasi positif bobot kering tanaman ($r = 0.873^{**}$) (Gambar. 11). Hal ini menunjukkan bahwa tinggi tanaman dan jumlah daun tidak memberikan pengaruh lebih baik terhadap peningkatan bobot kering akar, namun peningkatan bobot kering tanaman akan disertai dengan peningkatan bobot kering akar. Bobot kering tanaman berkorelasi positif terhadap tinggi tanaman ($r = 0.728^{**}$) (Gambar 12.) dan berkorelasi negatif terhadap jumlah daun ($r = 0.840^{**}$) (Gambar. 13) sedangkan jumlah daun berkorelasi positif terhadap tinggi tanaman ($r = 0.648^{**}$) (Gambar. 14). Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya tinggi tanaman akan meningkatkan bobot kering tanaman, namun peningkatan jumlah daun tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap peningkatan bobot kering tanaman, serta peningkatan jumlah daun akan disertai dengan peningkatan tinggi tanaman. antara masing-masing perlakuan memiliki hubungan positif yang berarti peningkatan salah satu parameter akan meningkatkan parameter yang lain. Dengan meningkatnya bobot basah akar dan bobot kering akar akan meningkatkan tinggi, tanaman jumlah daun, jumlah cabang, bobot basah dan panjang akar. begitu pula dengan meningkatnya tinggi tanaman akan meningkatkan jumlah daun dan jumlah cabang yang dihasilkan (Nurjana, 1998).

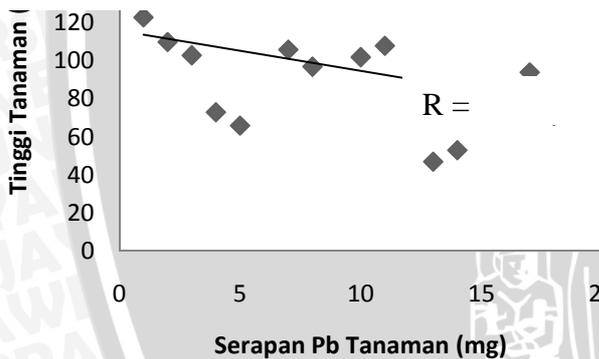


Tabel 9. Korelasi Antar Parameter Pengamatan

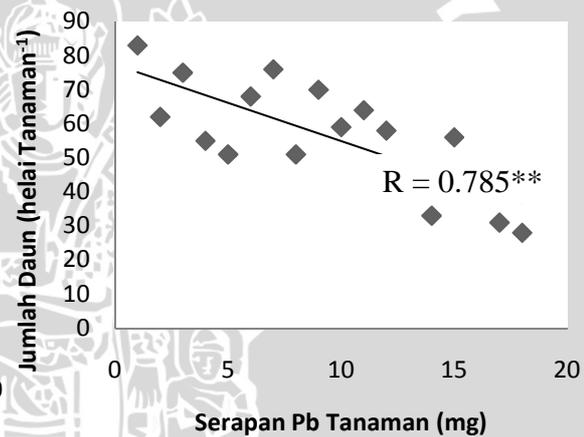
	Tinggi tanaman	jumlah daun	bobot kering tanaman	bobot kering akar	total panjang akar (lrv)	persentase koloni mikoriza	jumlah spora mikoriza	serapan Pb
Tinggi tanaman	1							
Jumlah daun	0.648**	1						
Bobot kering tanaman	0.728**	0.840**	1					
bobot kering akar	0.596**	0.726**	0.873**	1				
total panjang akar	0.227	0.360	0.458	0.604**	1			
persentase koloni mikoriza	0.042	0.450	0.228	0.206	0.298	1		
jumlah spora mikoriza	0.360	0.013	0.054	-0.014	0.097	0.342	1	
serapan Pb tanaman	0.724**	0.785**	0.934**	0.783**	0.460	0.083	0.129	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level

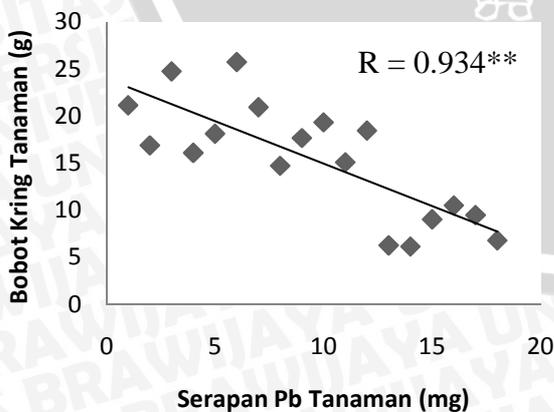
* . Correlation is significant at the 0.05 level



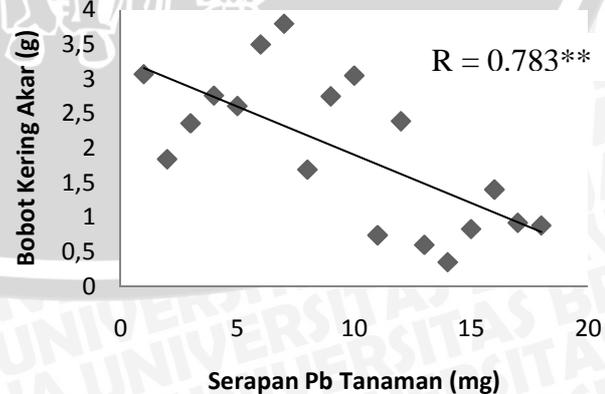
Gambar 4. Hubungan Serapan Pb Tanaman dengan Tinggi Tanaman



Gambar 5. Hubungan Serapan Pb Tanaman dengan Jumlah Daun

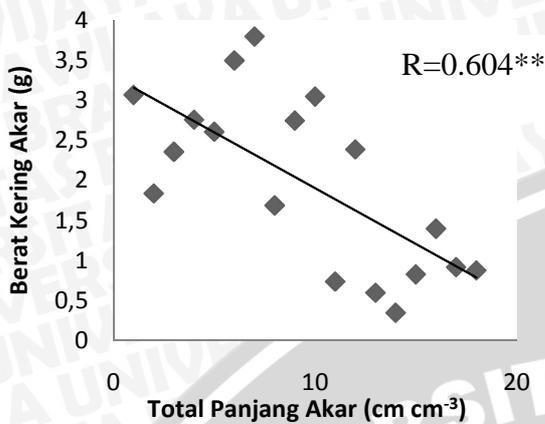


Gambar 6. Hubungan Serapan Pb Tanaman dengan Bobot Kering Tanaman

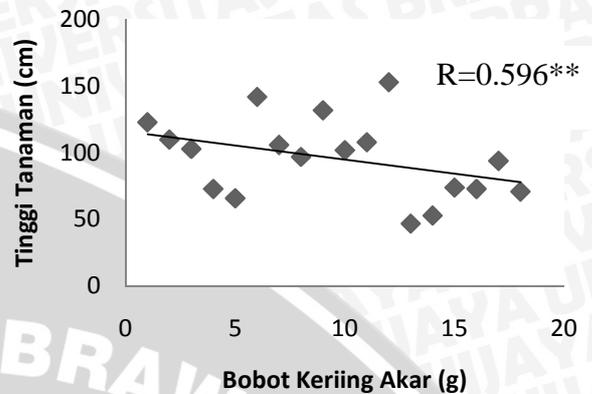


Gambar 7. Hubungan Serapan Pb Tanaman dengan Bobot Kering Akar

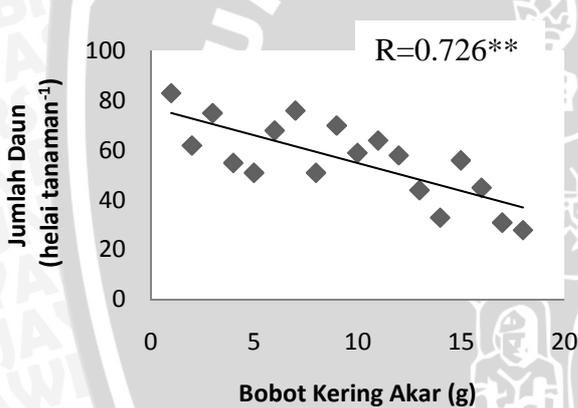




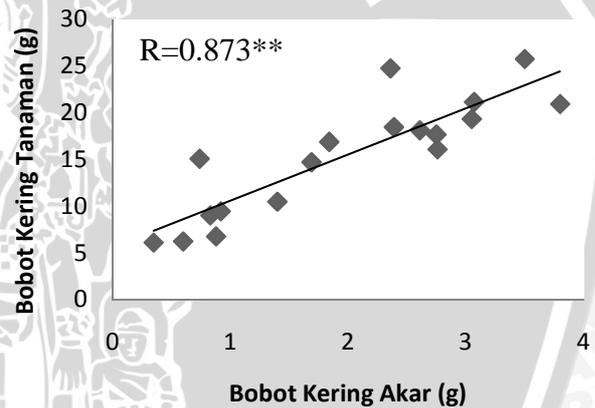
Gambar 8. Hubungan Total Panjang Akar dengan Bobot Kering Akar



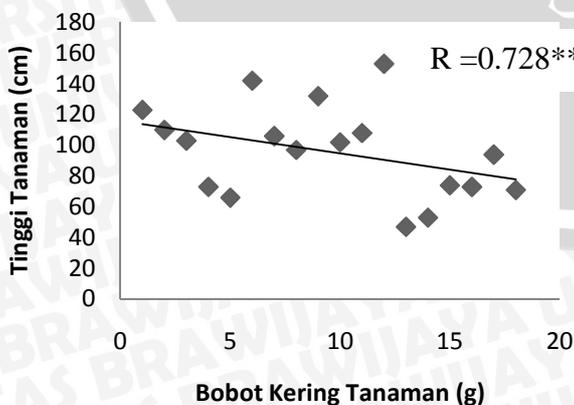
Gambar 9. Hubungan Bobot Kering Akar dengan Tinggi Tanaman



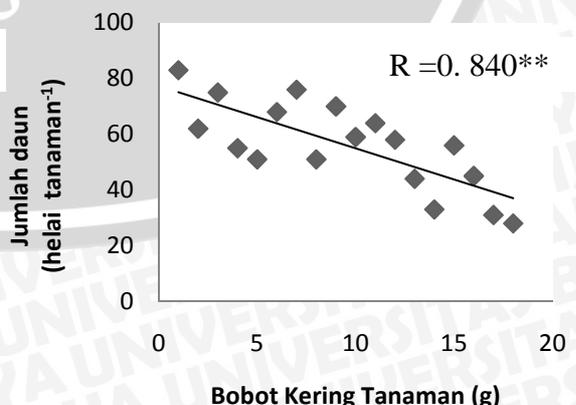
Gambar 10. Hubungan Bobot Kering Akar dengan Jumlah Daun



Gambar 11. Hubungan Bobot Kering Akar dengan Bobot Kering Tanaman

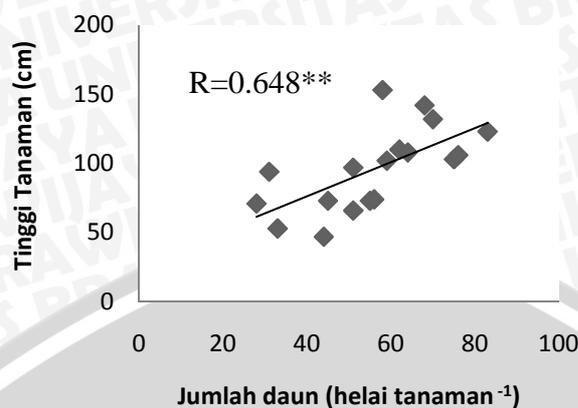


Gambar 12. Hubungan Antara Bobot Kering



Gambar 13. Hubungan Antara Bobot Kering





Gambar 14. Hubungan Antara Jumlah daun dan Tinggi Tanaman

4.3. Pembahasan Umum

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Perlakuan konsentrasi tailing 30% (T2), secara nyata menghambat pertumbuhan tinggi tanaman, luas daun, berat kering akar, total panjang akar dan berat kering tanaman. Namun tidak menghambat perkembangan mikoriza seperti yang ditunjukkan pada jumlah spora mikoriza dan persentase koloni mikoriza (Tabel 7). Berdasarkan hasil analisa pada tanaman menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi tailing 0% (T0) kemampuan serapan per tanamannya lebih baik dibandingkan dengan tanaman lain pada perlakuan lain. Logam berat yang terkandung dalam tanaman semakin meningkat sejalan dengan penambahan konsentrasi. Namun, serapan per tanaman semakin menurun sejalan dengan penambahan konsentrasi, serapan Pb tanaman menunjukkan banyaknya unsur Pb per satuan berat kering tanaman.

Menurut Prayitno dan Priyanto (2002) Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Menurut Gani dan Endriani (1996), perkembangan akar tanaman kurang baik pada tanah-tanah masam. Ditunjang oleh Fitter and Hay (1991), bahwa Ion aluminium dapat mengikat fosfor pada permukaan akar dan mengurangi respirasi akar, pembelahan sel, dan pengambilan serta pemanfaatan



Ca, Mg, P, K dan H₂O. Akibat kekurangan unsur fosfor tersebut, menurut Rao (1994), akan menyebabkan perakaran tanaman menjadi sangat kurang dan tidak berkembang.

Data hasil analisis tanah menunjukkan bahwa tanah alfisol dan limbah tailing yang dikombinasikan pada media tanam mengandung unsur hara P dan N yang rendah. Kedua jenis tanah yang dipakai memiliki kandungan N = <0,20% dan kandungan P = <25 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan unsur hara tersebut rendah (Pusat Penelitian Tanah dan Agoklimat, Bogor). Keadaan ini menurut Setiawati dkk (2003), sangat menguntungkan bagi mikoriza, karena peran mikoriza dalam mengeksplorasi fosfor dalam tanah melalui hifa eksternalnya lebih berpengaruh aktif pada kandungan fosfor tanah yang rendah. Demikian pula pernyataan Fitter and Hay (1991), yang mengatakan bahwa pada tanah yang defisiensi unsur hara fosfor, tanaman bermikoriza biasanya tumbuh baik dibandingkan dengan tanaman tanpa inokulasi mikoriza. Tetapi akan terjadi sebaliknya pada tanah yang disuplai fosfat dengan baik, yaitu tanaman bisa memperlihatkan tingkat koloni yang rendah.

Tanaman kirinyu bermikoriza dapat membantu tanaman dalam penyerapan kandungan Pb, penyerapan tertinggi pada aplikasi perlakuan mikoriza terjadi pada perlakuan TOM0 (4 59 mg tanaman⁻¹) (Tabel 8). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman kirinyu yang diinokulasi mikoriza berpengaruh aktif dalam menyerap logam berat. Galli dalam Khan dkk (2000), menyatakan bahwa mikoriza memegang peranan penting dalam melindungi akar tanaman dari unsur toksik, diantaranya yaitu logam berat. Menurut Subiksa (2002), mekanisme perlindungan terhadap logam berat dan unsur toksik oleh mikoriza dapat melalui pengaruh filtrasi, menonaktifkan secara kimiawi, atau akumulasi unsur tersebut dalam hifa cendawan. Tanaman yang diinokulasi mikoriza memiliki kemampuan menekan serapan Pb. Hal ini menurut Suryatmana dkk (2003), terjadi karena mikoriza diketahui dapat mengikat logam tersebut pada gugus karboksil dan senyawa pektak (hemiselulosa) pada matriks antar permukaan kontak mikoriza dan tanaman inang, pada selubung polisakarida dan dinding sel hifa.



Selain itu, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa MA dapat meningkatkan serapan logam, seperti Zn dan Cu dari tanah yang terkontaminasi. Mekanisme perlindungan mikoriza terhadap logam berat Cu dan Zn juga telah dilaporkan oleh Schuepp dkk, dalam Lasat (2002), yang menyatakan bahwa Mikoriza dapat mengikat ion-ion logam Zn dan Cu dalam dinding sel hifanya dan dapat melindungi tanaman dari ion-ion logam tersebut. Zn disimpan dalam crystalloid di dalam miselium jamur dan pada sel-sel korteks akar tanaman bermikoriza. Khan dkk (2000), dalam penelitiannya menunjukkan bukti bahwa tanaman yang diinokulasi mikoriza *Glomus mossae* dan *Glomus macrocarpum* memiliki kandungan Pb dan Zn lebih rendah dibandingkan dengan tanaman kontrol. Hal ini sesuai dengan penelitian Lasat (2002), bahwa pada pengamatan rumah kaca, akumulasi Zn pada akar tanaman yang diinokulasi mikoriza lebih rendah dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi.

Selain fosfor menurut Dwidjoseputro (1994), mikoriza dapat meningkatkan penyerapan beberapa unsur hara seperti N, K, Mg, Fe, Mn, Cu, dan Zn, yang merupakan bahan-bahan yang berperan dalam pembentukan klorofil. Dengan adanya klorofil maka akan meningkatkan proses fotosintesis yang akan berpengaruh baik terhadap jumlah daun dan luas daun.

Pengangkutan hasil fotosintesis ke akar menentukan kemampuan akar untuk menyerap dan memperoleh hara (Fitter and Hay, 1991). Menurut Donelly and Fletcher (1994), sel akar yang terkoloni mikoriza ukurannya akan semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena hifa ekstraseluler memperluas permukaan penyerapan unsur hara. Suplai unsur hara yang lebih akan meningkatkan aktivitas protoplasma sel sehingga menunjang pertumbuhan sel. Dengan adanya pertumbuhan sel dan jaringan yang baik pada akar, maka akan meningkatkan biomassa akar tanaman tanaman sengon. Sehingga akan meningkatkan panjang akar dan berat kering akar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Dwidjoseputro (1994), yang menyatakan bahwa pertumbuhan organ-organ tanaman seperti akar, batang, dan daun akan menentukan bobot kering tanaman.

Tanaman yang diinokulasi mikoriza akan mempunyai persentase akar lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi mikoriza.



Persentase koloni mikoriza yang tinggi biasanya berkorelasi dengan kemampuan dari cendawan dalam menyerap unsur hara di dalam tanah terutama fosfor. Hasil analisa tanah menunjukkan bahwa medium perlakuan pada semua konsentrasi mengandung unsur hara fosfor yang rendah. Keadaan ini mendukung mikoriza untuk lebih pengaruhtif dalam mengeksplorasi fosfor dalam tanah melalui hifa eksternalnya. (Setiawati dkk, 2003). Hal ini sesuai dengan pernyataan Hamzah dkk (1999) bahwa apabila persentase koloni akar tanaman yang diinokulasi mikoriza lebih tinggi daripada yang tidak diinokulasi, maka ini merupakan indikasi keberhasilan inokulasi.

Tanaman yang tidak diinokulasi mikoriza juga mampu menyerap Pb, serapan pada perlakuan tanpa inokulasi mikoriza terjadi pada TIM1 sebesar $4.96 \text{ mg tanaman}^{-1}$ (Tabel 8). Hal ini menurut Salt dalam Khan dkk (2000), disebabkan karena tumbuhan dapat mengeluarkan enzim dan eksudat yang dapat mendegradasi kontaminan organik dalam tanah. Selain itu, secara fisik tanaman dapat memindahkan polutan dengan mengabsorpsi atau memindahkan polutan ke dalam jaringan, kemudian akan mentransformasikan atau memineralsiasi polutan tersebut (Bollag dalam Khan dkk 2000). Hal ini didukung oleh Prayitno dan Priyanto (2002), yang menyatakan bahwa penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan terjadi melalui tiga proses, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu.

Supardi (1983) menjelaskan bahwa timbal tidak akan larut ke dalam tanah jika tanah tidak terlalu masam. Pengapuran tanah mengurangi ketersediaan timbal dan penyerapan oleh tanaman. Ditambahkan oleh Megel dan Kirby (1978) dalam Lepp (1981) bahwa pengapuran tanah akan mengurangi ketersediaan timbal pada tanah. Timbal akan diendapkan sebagai hidroksida, fosfa dan karbonat. Ion-ion Ca^{2+} bersaing dengan timbal untuk menempati tapak-tapak petukaran pada akar dan permukaan tanah. Luas permukaan spesifik partikel tanah ditentukan oleh ukuran partikelnya, semakin kecil ukuran partikel tanah maka semakin besar luas permukaan spesifik, dan luas permukaan spesifik yang besar menyebabkan KTK suatu tanah besar pula, sehingga kemampuan mengadsorpsi kation-kation tanah



besar. Mineral liat adalah bagian terhalus partikel tanah yang berukuran kurang dari 2 μm .

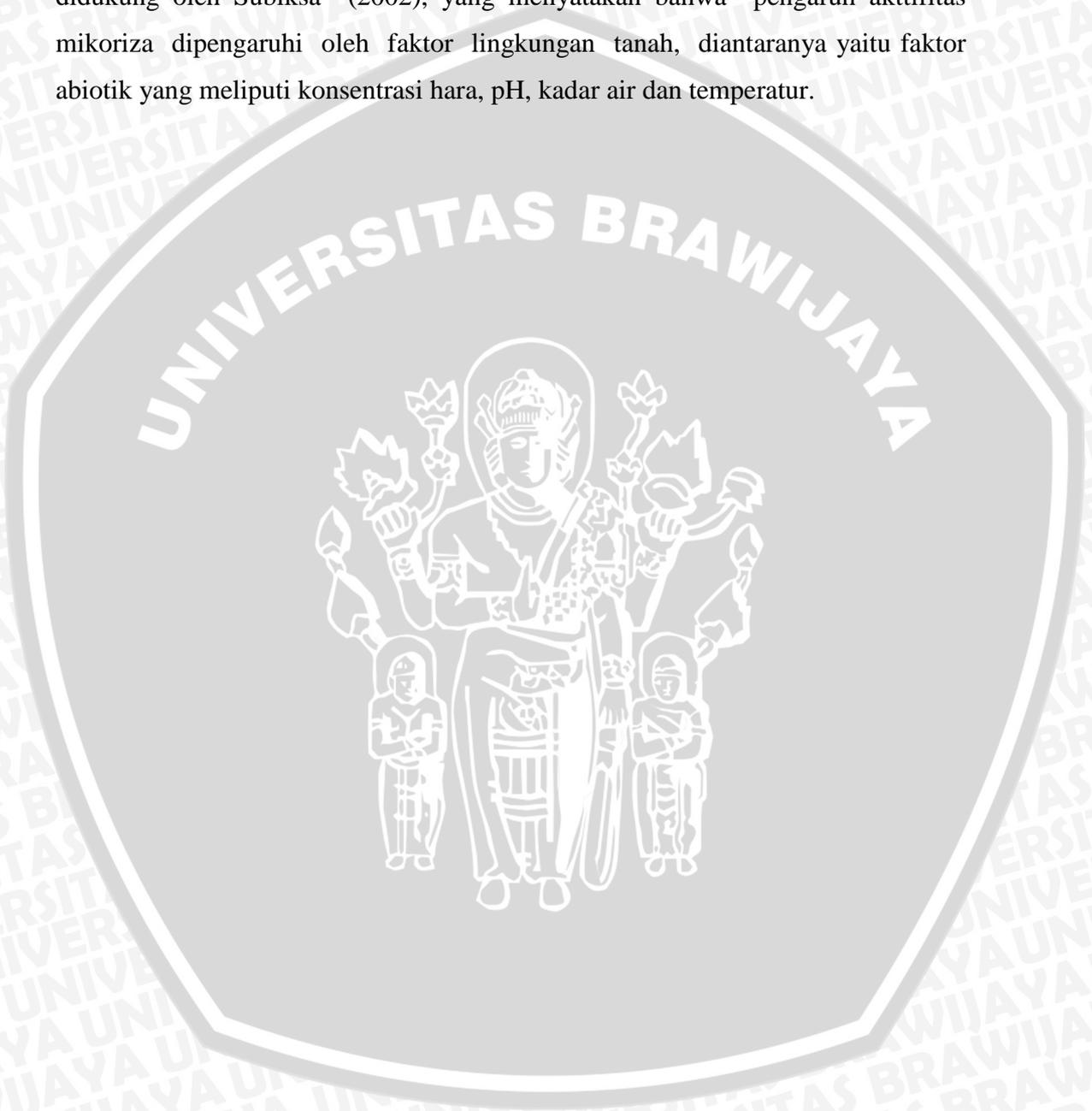
Jerapan dan pertukaran kation memegang peranan praktis yang sangat penting dalam penyerapan hara oleh tanaman, kesuburan tanah, retensi hara, dan pemupukan. Kation yang terjerap umumnya tersedia bagi tanaman melalui pertukaran dengan ion H^+ yang dihasilkan oleh respirasi akar tanaman. Hara yang ditambahkan kedalam tanah dalam bentuk pupuk akan ditahan oleh permukaan koloid dan untuk sementara waktu terhindar dari pencucian. Kation-kation yang dapat mencemari air tanah dapat tersaring oleh kegiatan jerapan koloid tanah. Oleh karena itu, kompleks jerapan dianggap sebagai gudang kation dan memberikan kapasitas penyangga kation dalam tanah. (Tan 1991).

Logam berat dalam tanah pada prinsipnya berada dalam bentuk bebas (mobil) maupun tidak bebas (immobil). Dalam keadaan bebas, logam berat dapat bersifat racun dan terserap oleh tanaman. Sedangkan dalam bentuk tidak bebas dapat berikatan dengan hara, bahan organik, ataupun anorganik lainnya. Dengan kondisi tersebut, logam berat selain akan mempengaruhi ketersediaan hara tanaman juga dapat mengkontaminasi hasil tanaman. Jika logam berat memasuki lingkungan tanah, maka akan terjadi keseimbangan dalam tanah, kemudian akan terserap oleh tanaman melalui akar, dan selanjutnya akan terdistribusi ke bagian tanaman lainnya.

Penyerapan unsur-unsur mikro oleh tanaman bermikoriza bergantung kepada beberapa faktor, yaitu kondisi fisik-kimia tanah, tingkat kesuburan tanah, pH, jenis tanaman, serta konsentrasi unsur-unsur mikro di dalam tanah (Khan dkk, 2000). Cendawan mikoriza membutuhkan kondisi lingkungan yang sesuai. Keberhasilan inokulasi mikoriza tidak hanya berdasarkan kecocokan dengan tanaman inang, namun juga harus sesuai dengan kondisi tanah atau medium tanam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada konsentrasi limbah 25%, kandungan Zn setelah 3 bulan penanaman lebih besar dibandingkan dengan sebelum penanaman. Hal ini disebabkan karena kandungan logam berat pada perlakuan tersebut sangat tinggi, sehingga tanaman sengon dan mikoriza tidak pengaruhi dalam menyerap Zn. Menurut Lu (1994), menyatakan bahwa toksisitas logam berat dalam tanah tergantung pada



jenis logam, ketersediaannya, serta besarnya keragaman antara satu tanah dengan yang lainnya Hal ini sesuai dengan pernyataan Vidal dalam Muin (2002), bahwa jika logam yang terdapat dalam tanah pada tingkat yang tinggi, maka bisa terjadi penurunan serapan oleh mikoriza. Pernyataan ini juga didukung oleh Subiksa (2002), yang menyatakan bahwa pengaruh aktifitas mikoriza dipengaruhi oleh faktor lingkungan tanah, diantaranya yaitu faktor abiotik yang meliputi konsentrasi hara, pH, kadar air dan temperatur.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

1. Tanaman kirinyu yang diinokulasi mikoriza tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan kandungan timbal (Pb). Perlakuan T0M0 (4.59 mg), T1M0 (4.48 mg) dan T2M0 (1.71 mg) yang terdapat inokulasi mikoriza memiliki nilai serapan yang lebih rendah daripada tanpa inokulasi mikoriza T0M1 (4.48 mg), T1M1(4.96 mg) dan T2M0 (2.05 mg).
2. Perlakuan inokulasi mikoriza menunjukkan hasil pertumbuhan yang lebih tinggi dari pada tanpa inokulasi, hal ini dapat dilihat pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering tanaman, bobot kering akar total panjang akar, persentasi koloni mikoriza dan jumlah spora mikoriza.
3. Hasil Pengamatan Menunjukkan bahwa tanaman kirinyu mampu bertahan hidup pada media tanam tertinggi yaitu 205.42 mg 5kg⁻¹ . Nilai serapan tertinggi pada perlakuan T1M1 (4.96 mg) yang mampu mengurangi Pb didalam tanah sebesar 3, 04 % dari kandungan Pb total di dalam media tanam. Persentasi kemampuan serapan tanaman tertinggi pada perlakuan T0M1 sebesar 4.57% dari media tanam.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai asosiasi antara tanaman kirinyu dengan mikoriza secara berkesinambungan dan dalam jangka waktu yang lama.
2. Perlu dilakukan penelitian dan identifikasi lebih jelas mengenai kandungan unsur toksik yang diserap dan terakumulasi didalam jaringan tanaman kirinyu dan hifa mikoriza dalam fitoremediasi.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh pemberian tailing terhadap pertumbuhan tanaman lainnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Adholeya. and Gaur, Atimanav. 2004. Prospect of Arbuscular Mycorrhizal fungi in Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils. Centre for Mycorrhizal Research, The Energy and Resources Institute, Darbari Seth Block, Habitat Place, Lodhi road, New Delhi 110 003, India.
- Antam. 2002. Sekilas Informasi Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor. Bogor: PT. Aneka Tambang Tbk.
- Connell, D.W and Miller G.J. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. Universitas Indonesia Press: Jakarta.
- Chaney R.L . 1995. Potential use of metal hyperaccumulators. Mining Environ Manag 3:9-11.
- Danny, Z.H. 2006. Tinjauan terhadap *tailing* mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam. Jurnal Geologi Indonesia. Vol. 1 No. 1 : 31-36.
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. UI-Press: Jakarta
- Donnelly, P.K. and Fletcher, J.S. 1994. Potential Use of Mycorrhizal Fungi as Bioremediation Agents. American Chemical Society. USA. 94-97.
- Dwidjoseputro, D. 1994. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- EPA. 2001. A citizen's Guide to Phytoremediation. Dalam <http://www.cluin.org/download/citizens/citphyto.pdf>.
- Firdaus, L.N. 2003. Teknologi Fitoremediasi Lingkungan. Dalam http://www.terranet.or.id/goto_berita.php?id=14350
- Fitter, A.H and Hay, R.K.M. 1991. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Terjemahan oleh Sri Andani dan E.D. Purbayanti. Universitas Gadjah Mada Press: Yogyakarta.
- Frazar, Chriss. 2000. The Bioremediation and Phytoremediation of Pesticidecontaminated Sites. National Network of Environmental Studies (NNEMS) Fellow.
- Gabrielli R, Mattioni, C. and Vergnano, O. 1991. Accumulation mechanisms and heavy metal tolerance of a nickel hyperaccumulator. J Plant:Nutr 14:1067-1080



- Gadd, G.M. 1990. Metal Tolerance, In Microbiology of Extreme Environments. Open University Press. Milton Keynes.
- Gaige, M. and Ahmed, S. 1988. Handbook of Plant With Pest Control Properties. John Willey and Sons:Singapore.
- Gani, Zul Fahri dan Endriani. 1996. Pengaruh inokulasi MVA dan pupuk P terhadap ketersediaan dan serapan P serta hasil tanaman kedelai (*Glycine max (L) Merr*). Buletin Agronomi. Universitas Jambi:Jambi.
- Hairiah, K., Widiyanto., Utami, S.R., Suprayogo, D., Sitompul, S.M., Lusiana, B., Mulia, R., Van Noordwijk, M., dan Cadish, G. 2000. Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi; Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara. SMT Gafika Desa Putra. Jakarta. 187 hal
- Hamzah, Amir; Santosa E., Prihatini T., dan Komariah. 1999. Peranan MVA dalam meningkatkan serapan hara P dan produksi jagung pada ultisol Lampung. Dalam Prodising Seminar Nasional Sumber Daya Alam. Cisarua-Bogor. Buku III Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departement Petanian.
- Harijoko. 2006. Booklet Teknik Produksi Bibit Mikoriza. Balai Pembenihan Tanaman Hutan Jawa and Madura.
- Heryando, Palar. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Penerbit PT Rieneka Cipta:Jakarta.
- Hidayat, Estiti. 1995. Anatomi Tumbuhan Berbiji. Penerbit ITB:Bandung.
- Iskandar, Dudi. 2001. Pupuk Hayati Mikoriza Untuk Petumbuhan dan Adaptasi Tanaman di Lahan Marginal. Dalam www.iptek.net.id
- Islami, T. dan Utomo, W.H. 1995. Hubungan Tanah, Air dan Tanaman..IKIP Semarang Press:Semarang
- Khan, A.G, Kuek, C., Chaundry, T.M., Khoo, C.S., and Hayes, W.J. 2000. Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated land Remediation. Faculty of Infomatics, Science and Technology, university of Western Sydney, Macarthur, camPbelltown NSW 2560. Australia.
- Kurnia, U., Kurniawansyah, A.M., Sukristiyonubowo, dan Subowo. 1999. Pengaruh Logam Berat Pb dalam Tanah terhadap Kandungan Pb, Pertumbuhan dan hasil tanam Caisem (*Brassica rapa*). Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Tanah, Iklim dan Pupuk. Puslittanak, Bogor.



Lasat M.M, Baker A.J.M, and Kochian L.V. 1996. Physiological characterization of root Zn^{2+} absorption and translocation to shoot in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species of *Thlaspi*. *Plant Physiol* 112:1715-1722.

Lasat, Mitch M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. Dalam www.epa.gov/ord/htm/lasatarticle.pdf.

Lepp, N.W. 1981. Plants, Effect of heavy metals on; Plants, Effect of trace elements on; Heavy metals; Trace elements; Environmental aspects. Applied Science Publishers (London and Englewood, N.J.)

Lu, C. Frank. 1994. Toksikologi Dasar : Asas, Organ, Sasaran dan Penilaian Resiko, Edisi Kedua. Universitas Indonesia Press:Jakarta.

Maiti, R. K. and Jourge, L. 2004. Plant Based Bioremediation and Mechanisms of Heavy Metal Tolerance of Plants. P. 1-12. Proc. Indian natn Sci Acad.1. Biology. Faculty. Univ. of. De Neuvo Leon. Mexico

Malla, Nitha.2011. Pengaruh Pemberian Limbah Biogas Dan Pupuk Kandang Terhadap Ketersediaan Dan Serapan N, P Serta Pertumbuhan Tanaman Jagung. Program Studi Tanah Fakultas Pertanian Brawijaya. Malang.

Muin, Abdurrani. 2002. Penggunaan Mikoriza Untuk Menunjang Pembangunan Hutan Pada Lahan Kritis Atau Marginal. Dalam <http://www.hayatiiPb.com/users/rudyct/PPs702/ABDURRANI.htm>.

McGath S.P., Shen Z.G., and Zhao F.J. 1997. Heavy metal uptake and chemical changes in rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* gow in contaminated soils. *Plant Soil* 188:153-159.

Notohadiprawiro, T. 2006. Logam berat dalam Pertanian. UGM Pres:Yogyakarta

Nurjana, Yayan. R.1998. Pengaruh Media Tanam dan Bahan Stek Terhadap Pertumbuhan Stek Nilam (*Progestemon cablin* Bensch). Insitut pertanian Bogor. Bogor

Palar, H. 1994, Pencernaan dan Toksikologi Logam Berat, PT Rineka Cipta : Jakarta.

Priyanto, B. dan Prayitno, J. 2002. Fitoremediasi sebagai sebuah teknologi pemulihan pencemaran, khususnya logam berat. Dalam [Http://tfl.bppt.tripod.com/sublab/lflora.htm](http://tfl.bppt.tripod.com/sublab/lflora.htm)

Pujiyanto. 2001. Pemanfaatan Jasad Mikro Jamur Mikoriza dan Bakteri Dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan di Indonesia, Tinjauan dari Perspektif Falsafah Sains. Dalam



- Rao, N.S. 1994. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan. Diterjemahkan oleh H.Soesilo. Universitas Indonesia Press :299-310. Jakarta
- Rossiana, N. dan Titin, S. 2003. Fitoremediasi Lumpur Minyak Bumi Dengan Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) Bermikoriza Skala Rumah Kaca. Dalam Seminar dan Pameran Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan. Bandung
- Sarief, Saefudin. 1993. Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian. Penerbit Pustaka Buana:Bandung
- Sarwono, Hardjowigeno. 1995. Ilmu Tanah. Penerbit Akademia Pressindo:Jakarta
- Schnoor, Jerald. 1997. Phytoremediation. Ground Water Remediation Technologies Analysis Center.
- Setiadi, Yadi. 2001. Peranan mikoriza arbuskula dalam rehabilitasi lahan kritis di Indonesia. Dalam Seminar Penggunaan Cendawan Mikoriza dalam Sistem Pertanian Organik dan Rehabilitasi Lahan Kritis. Bandung.
- Setiadi, Y., Mansur, I., Budi, S.W. dan Ahmad. 1992. Petunjuk Laboratorium Mikrobiologi Tanah Hutan. Bogor : Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Bioteknologi IPB.
- Setiawati, M.R., Nurbaity A., Fitriatin, B.N., Sumarni, Y. 2003. Peranan cendawan mikoriza dalam meningkatkan efisiensi pupuk P dan kualitas bibit kentang pada andisols asal Garut. Dalam Seminar Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan. Bandung.
- Siringoringo, H.H., Siregar, C.A., Heryanto, Kusmara, N.M., Rusmana, A., Jejen, dan Fauzi. 2001. Inventarisasi Lahan Kritis di KW Eksploitasi PT.Aneka Tambang Tbk Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor. [Laporan Kegiatan Kerjasama]. Bogor: PT Aneka Tambang Tbk Unit Bisnis Pertambangan Emas dengan Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Balai Taman Nasional Gunung Halimun, PT Perhutani KPH Bogor dan Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Bogor.
- Sitompul, S.M dan Guritno B., 1995. Analisis Pertumbuhan Tanaman. Universitas Gadjah Mada Press:Yogyakarta.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Fisik Tanah. Depaetemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Insitut Pertanian Bogor: Bogor



Subiksa, I.G.M. 2002. Pemanfaatan Mikoriza Untuk Penanggulangan Lahan Kritis. Dalam http://rudyc.t.tripod.com/sem2_012/igm_subiksa.htm.

Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme : Suatu Kajian Kepustakaan. Dalam Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia abad 21.

Subowo, Mulyadi, Widodo, S. dan Nugaha, Asep. 1999. Status dan Penyebaran Pb, Cd, dan Pestisida pada Lahan Sawah Intensifikasi di Pinggir Jalan Raya. Prosiding. Bidang Kimia dan Bioteknologi Tanah, Puslittanak, Bogor.

Sarwono, Hardjowigeno. 1995. Ilmu Tanah. Penerbit Akademia Pressindo. Jakarta

Suryatmana, P., Setiawati, M.R. dan Primahesa, R. 2003. Peranan mikoriza mikofer dan bahan organik kascing dalam translokasi Pb, serapan fosfor dan hasil tanaman cabai (*Capsicum anuum*) pada tanah tercemar logam berat. Dalam Seminar Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan. Bandung.

Tan, K.H. 1991. Dasar-dasar Kimia Tanah. Gajah Mada University:Yogyakarta

Truu, J. Talpsep, E., Vedler, E., Heinaru, E and Heinaru, A. 2003. Enhanced Biodegradation of Oil Shale Chemical Industry Solid Wastes by Phytoremediation and Bioaugmentation. Estonia Academy Publisher.

Wilson, E.O. 1988. Biodiversity. National Academy of Sciences/Smithsonian Institution.

Zynda, Todd. 2001. Phytoremediation. Michigan State University The Technical Assistance for Brownfield Communities (TAB) Program.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Tinggi Tanaman.

SK	db	JK	KT	Fhit	F tabel	
					5%	1%
Ulangan	2	2468,111	1234,056	2,933 tn	4,103	7,559
Perlakuan	5	8560,944	1712,189	4,069 *	3,326	5,636
Galat	10	4207,889	420,789			
Total	27	15236,944				

Lampiran 2. Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Jumlah Daun.

SK	db	JK	KT	Fhit	F tabel	
					5%	1%
Ulangan	2	495,444	247,722	3,654 tn	4,103	7,559
Perlakuan	5	3023,611	604,722	8,921 **	3,326	5,636
Galat	10	677,889	67,789			
Total	27	4196,944				

Lampiran 3. Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Berat Kering Tanaman.

SK	db	JK	KT	Fhit	F tabel	
					5%	1%
Ulangan	2	41,183	20,592	2,463 tn	4,103	7,559
Perlakuan	5	517,034	103,407	12,370 **	3,326	5,636
Galat	10	83,596	8,360			
Total	27	641,814				

Lampiran 4. Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Total Panjang Akar.

SK	db	JK	KT	Fhit	F tabel	
					5%	1%
Ulangan	2	2,281	1,140	1,274 tn	4,103	7,559
Perlakuan	5	37,622	7,524	8,408 **	3,326	5,636
Galat	10	8,949	0,895			
Total	27	48,851				



Lampiran 5. Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Berat Kering Akar.

SK	db	JK	KT	Fhit	F tabel	
					5%	1%
Ulangan	2	3,740	1,870	6,638 *	4,103	7,559
Perlakuan	5	13,504	2,701	9,588 **	3,326	5,636
Galat	10	2,817	0,282			
Total	27	20,061				

Lampiran 6. Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Persentasi Koloni Mikoriza.

SK	db	JK	KT	Fhit	F tabel	
					5%	1%
Ulangan	2	118,533	59,266	0,652 tn	4,103	7,559
Perlakuan	5	6674,072	1334,814	14,693 **	3,326	5,636
Galat	10	908,464	90,846			
Total	27	7701,069				

Lampiran 7. Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Jumlah Spora Mikoriza.

SK	db	JK	KT	Fhit	F tabel	
					5%	1%
Ulangan	2	265219,111	132609,556	2,479 tn	4,103	7,559
Perlakuan	5	187224,278	37444,856	0,700 tn	3,326	5,636
Galat	10	534862,889	53486,289			
Total	27	987306,278				

Lampiran 8. Analisis Varian Pengaruh Konsentrasi Tailing Dan Inokulasi Mikoriza Terhadap Serapan Pb Tanaman Kirinyu.

SK	db	JK	KT	Fhit	F tabel	
					5%	1%
Ulangan	2	2,032	1,016	0,921 tn	4,103	7,559
Perlakuan	5	31,992	6,398	5,803 **	3,326	5,636
Galat	10	11,026	1,103			
Total	27	45,051				



Lampiran 9. Analisis Tanah Awal

ANALISIS DASAR TANAH

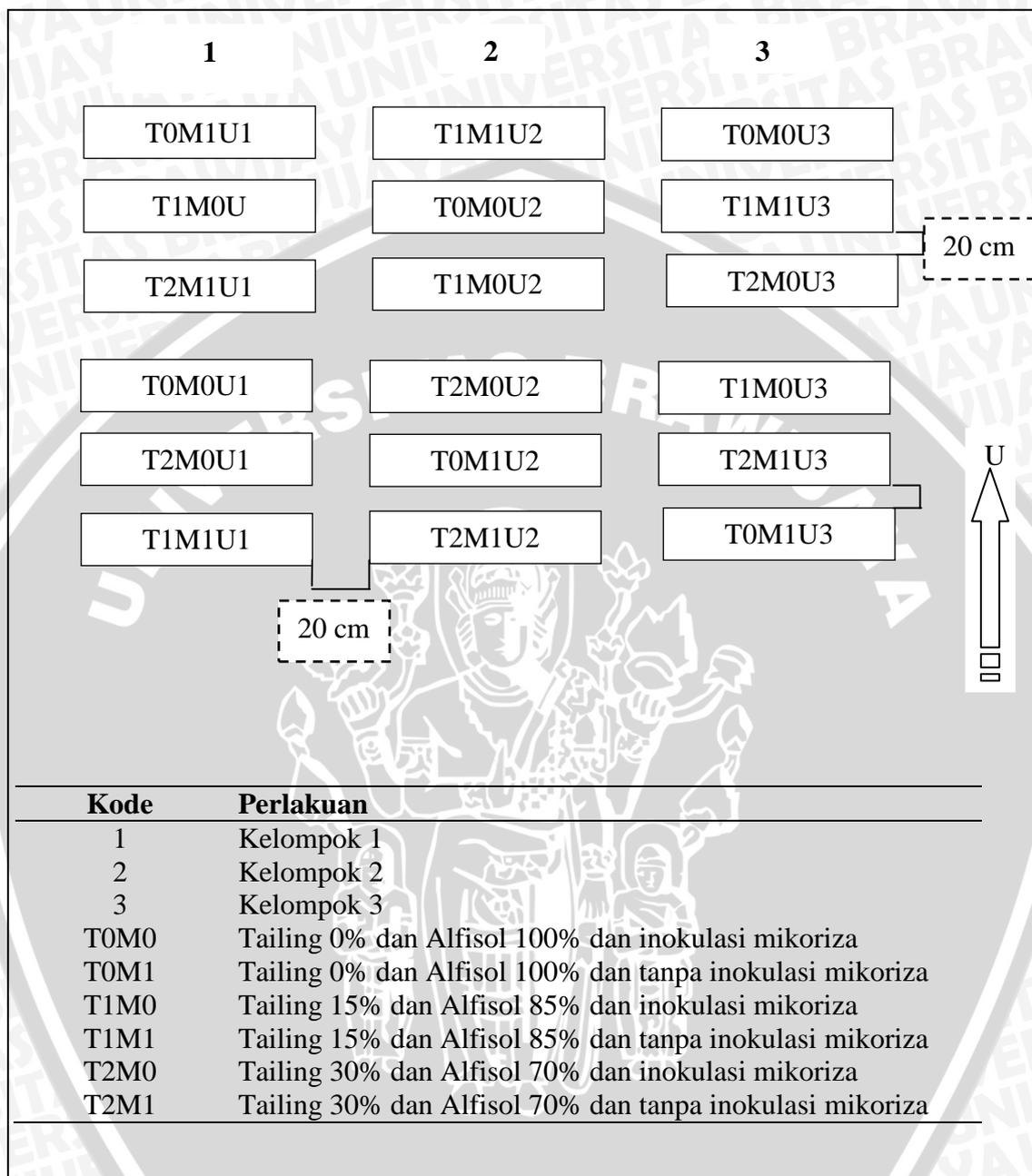
No	Macam analisis dasar	Analisis dasar	Kategori
1	N Total (%)	0.09	sangat rendah
2	P Tersedia (ppm)	11.5	rendah
3	C-organik (%)	0.65	sangat rendah
4	BO(%)	1.12	tinggi
5	C/N ratio	8	rendah
6	K-dd (me/100gr)	0.85	tinggi
7	Na-dd (me/100gr)	0.29	rendah
8	Ca (me/100gr)	6.06	sedang
9	Mg (me/100gr)	1.01	rendah
10	KTK (me/100gr)	22.32	sedang
11	pH H ₂ O 1:1	6.4	sedang

ANALISIS DASAR TAILLING

No	Macam analisis dasar	Analisis dasar	Kategori
1	N Total (%)	0.13	sangat rendah
2	P Tersedia (ppm)	5.70	rendah
3	C-organik (%)	0.41	sangat rendah
4	C/N ratio	12	rendah
5	K-dd (me/100gr)	0.11	rendah
6	Na-dd (me/100gr)	4.3	sedang
7	Ca (me/100gr)	4.3	sedang
8	Mg (me/100gr)	0.42	sedang
9	KTK (me/100gr)	13	rendah
10	pH H ₂ O 1:1	9.5	Sangat tinggi

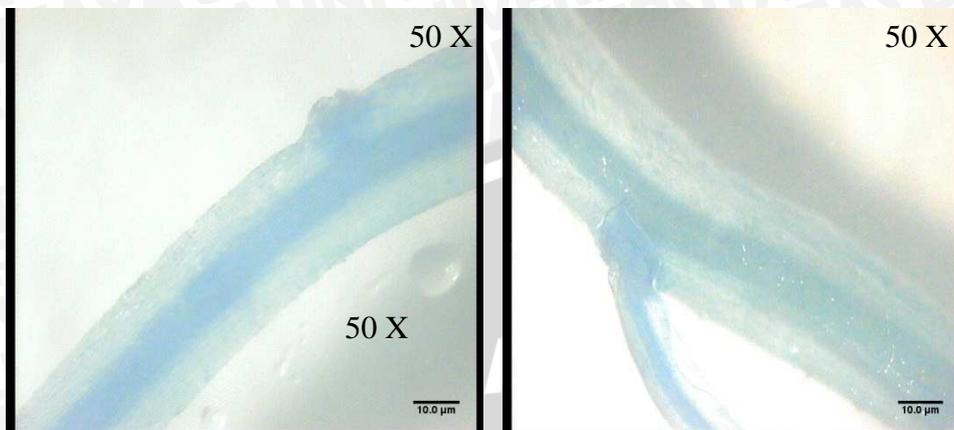


Lampiran 10. Denah Percobaan

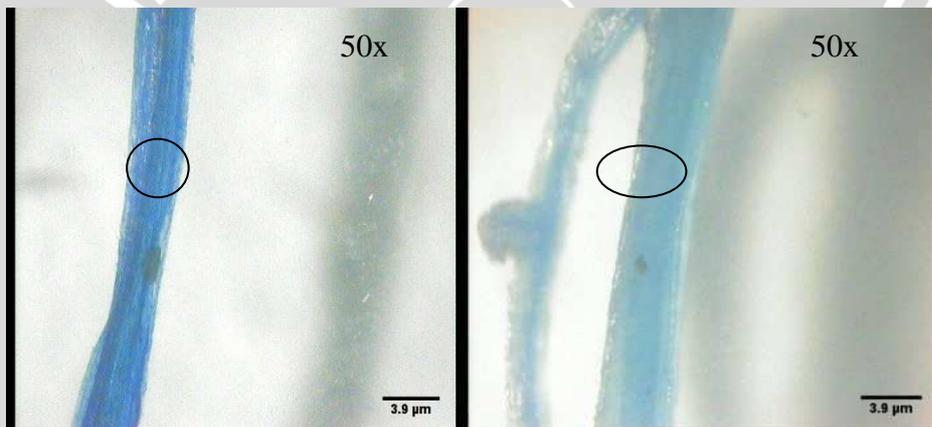


Lampiran 11. Gambar Pengamatan Infeksi Akar

a. Akar tanaman Akar Wangi tanpa perlakuan inokulasi



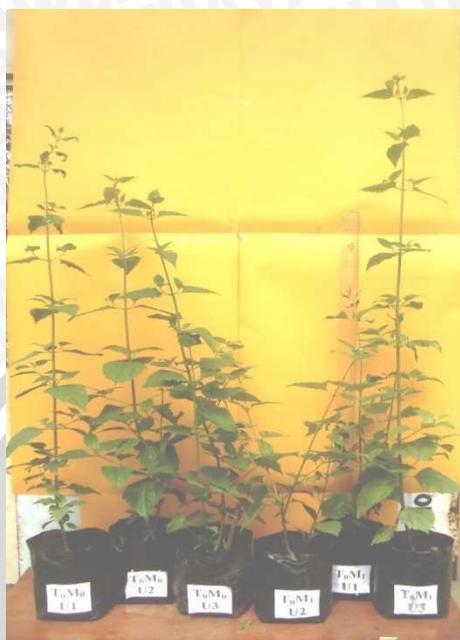
b. Akar tanaman Akar Wangi dengan inokulasi mikoriza



PDF-File
PDF Creator

This PDF-file is Created by trial version of PDF-File PDF Creator.
Please use purchased version to remove this message.

Lampiran 12. Pertumbuhan Tanaman Kirinyuh Berumur 3 Bulan setelah tanam



a



b



c



PDF-File
PDF Creator

This PDF-file is Created by trial version of PDF-File PDF Creator.
Please use purchased version to remove this message.

Gambar 4. **a.** Perlakuan T0 tanpa inokulasi dan perlakuan T0 dengan inokulasi, **b.** Perlakuan T1 tanpa inokulasi dan perlakuan T1 dengan inokulasi, dan **c.** Perlakuan T2 tanpa inokulasi dan perlakuan T2 dengan inokulasi



PDF-File
PDF Creator

This PDF-file is Created by trial version of PDF-File PDF Creator.
Please use purchased version to remove this message.