

RINGKASAN

Gita Isma Pratiwi. 0910480075. Fitoremediasi Lahan tercemar Kadmium dengan Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Mikoriza *Glomus sp.*
Dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Syekhfani dan Dr. Ir. Yulia Nuraini.

Perkembangan industri di Indonesia dapat meningkatkan ekonomi masyarakat, namun limbah yang dihasilkan dari sisa proses produksi dapat mencemari lingkungan. Lahan di daerah Sepanjang, Sidoarjo, Jawa Timur tercemar limbah industri dan terkontaminasi logam berat Kadmium (Cd). Kadmium yang terdapat pada tanah dapat menurunkan produktifitas tanaman karena Kadmium tidak dibutuhkan dalam metabolisme tanaman. Pada tubuh manusia, Kadmium yang terakumulasi dalam jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal, dan gangguan pada tulang (itai-itai). Oleh karena itu, rehabilitasi lahan diperlukan untuk mengurangi tingkat kontaminasi Kadmium agar dapat ditanami tanaman pangan. Salah satu metode rehabilitasi lahan yang dapat digunakan ialah fitoremediasi. Fitoremediasi ialah suatu metode untuk memindahkan logam dalam tanah yang terkontaminasi dengan menggunakan tumbuhan. Oleh karena itu, diperlukan tanaman yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasi logam di dalam biomasnya dengan kadar yang tinggi. Tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*) sangat toleran dan dapat tumbuh dengan baik pada berbagai jenis tanah. Tanaman ini memiliki pertumbuhan yang cepat sehingga dapat membantu mengurangi konsentrasi Kadmium dalam tanah. Koro benguk sebagai tanaman hiperakumulator lebih efektif apabila bersimbiosis dengan mikoriza *Glomus sp.* Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan koro benguk (*Mucuna pruriens*) dan mikoriza *Glomus sp* dalam menyerap Kadmium.

Penelitian dilakukan di rumah plastik. Tanaman koro benguk ditanam pada polibag dengan 5kg tanah. Tanaman koro benguk ditanam selama 7 minggu selama masa vegetatif. Penelitian ini disusun dengan rancangan acak kelompok faktorial dua faktor dengan diulang 3 kali. Faktor pertama adalah jumlah tanaman koro benguk dan faktor kedua mikoriza. Perlakuan yang diuji yaitu T1M0 (1 tanaman koro benguk), T1M1 (1 tanaman koro benguk dengan 15 spora mikoriza), T1M2 (1 tanaman koro benguk dengan 30 spora mikoriza), T2M0 (2 tanaman koro benguk), T2M1 (2 tanaman koro benguk dengan 15 spora mikoriza), T2M2 (2 tanaman koro benguk dengan 30 spora mikoriza). Jika terdapat pengaruh, uji T 5% dilakukan untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi tanaman koro benguk dapat menurunkan konsentrasi Kadmium dalam tanah sebesar 14,88%. Penambahan mikoriza dapat meningkatkan akar terinfeksi mikoriza sebesar 77,8 %. Aplikasi kombinasi 1 koro benguk dengan 15 mikoriza dapat menurunkan konsentrasi Kadmium 55%

SUMMARY

Gita Isma Pratiwi. 0910480075. Phytoremediation Land Polluted Kadmium with Plant Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Micorrhizal *Glomus sp.*
Supervised Prof. Dr. Ir. Syekhfani dan Dr. Ir. Yulia Nuraini.

Industry development in Indonesia can improve economy, but the resulting waste production process can pollute the environment. Land in Sepanjang, Sidoarjo, East Java contaminated industrial waste and Kadmium (Cd) contaminated. Kadmium in plants may reduce the productivity of plants because Kadmium is not required plant metabolism. In humans, Kadmium can damage the liver, kidneys, dan disorders of the bones (itai – itai). Land rehabilitation be required to decrease Kadmium contamination. Phytoremediation can be used to immobilize metals in soil by using plants. Therefore, soil need plants that have the ability to metal concentration in the biomass with high levels. Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) is very tolerant dan can grow well in different types of soil. This plant has a rapid growth so well used as a plant hiperakumulator. Koro Benguk more effectively absorb Kadmium when symbiosis with mycorrhizal *Glomus sp.* Therefore, this study aims to test the effect of Koro Benguk dan mycorrhizal to absorb Kadmium.

The research was conducted at greenhouse. Koro benguk be planted in polybag with 5 kg of soil. The observation was conducted 7 weeks (vegetative period). The research were arranged in a randomized complete block design with 3 replications. The first factor is Koro benguk dan the second factor is mikoriza. There are six treatment to tested, i. T1M0 (1 koro benguk), T1M1 (1 koro benguk with 15 mycorrhizal spores), T1M2 (1 koro benguk with 30 mycorrhizal spores), T2M0 (2 koro benguk), T2M1 (2 koro benguk with 15 mycorrhizal spores), T2M2 (2 tanaman koro benguk with 30 mycorrhizal spores). Then in the further test using T 5% to see effect of the treatment.

The result showed that application of Koro benguk (*Mucuna pruriens*) can decrease 14,88% Kadmium contamination. The application of Mikoriza *Glomus sp.* increase infected root mikoriza 77,8%. The application 1 koro benguk with 15 mikoriza can decrease 55% Kadmium contamination.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT , penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul:

Fitoremediasi Lahan Tercemar Kadmium dengan Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Mikoriza *Glomus* sp.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Syekhfani, MS selaku dosen pembimbing pertama atas pengarahan, saran dan bimbingannya.
2. Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS selaku dosen pembimbing kedua atas pengarahan, saran dan bimbingannya.
3. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU selaku ketua Jurusan Tanah.
4. Bapak Iswadi, Mama Maria Patrisia, Adik Alfian Ismadianto, Dita Asmara Putri, dan Erico Isma Dirgantara, serta keluarga besar tercinta atas semua doa, dukungan, dan semangatnya.
5. Bapak Andriman Karim dan Ibu Himastuti Nataliani serta keluarga atas doa dan dukungannya.
6. Rini Putri Handayani, Bagus Rama Primadian, Rendi Septyanto, Hanum Rizky Hapsari, Fatimah Hidayati, Reza Firmansyah Wijaya, Yopin Parlin Hutahuruk, Sidiq Dwi Narno, Firdan Renita Sadiq, dan Kuswadi yang selalu memberikan dukungan.
7. Teman-teman MSDL 2009 atas kerja sama, bantuan dan dukungannya.
8. Teman-teman Agroekoteknologi 2009 terutama kelas B dan semua teman-teman yang telah membantu dalam menyelesaikan semua tahap skripsi ini.

Penulis menyadari dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

Malang,

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Klaten, 20 Mei 1991 dan putri dari seorang ayah bernama Iswadi dan ibu bernama Maria Patrisia. Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Baru 02 Pagi Jakarta (1997-2003), kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 102 Jakarta (2003-2006), dan pendidikan Menengah Atas di SMAN 39 Jakarta. Pada tahun 2009 penulis melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi Negeri di Universitas Brawijaya Fakultas Pertanian Program Studi Agrokoteknologi melalui Penerimaan Mahasiswa Baru (PSB) jalur prestasi akademik. Dan pada tahun 2012 penulis menjadi mahasiswa Jurusan Tanah Minat Manajemen Sumberdaya Lahan. Penulis melakukan kegiatan magang kerja di PT Mekar Unggul Sari, Bogor.



DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Hipotesis	3
1.4. Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Logam Berat Kadmium (Kadmium)	4
2.2. Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>)	8
2.3. Mikoriza	11
2.4. Fitoremediasi	17
III. METODE PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu	21
3.2. Alat dan Bahan	21
3.3. Metode Penelitian	21
3.4. Metode Pelaksanaan	22
3.5. Analisis Statistik	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Mikoriza <i>Glomus sp.</i> terhadap Berat Kering Tanaman	26
4.2. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Mikoriza <i>Glomus sp.</i> terhadap pH Tanah	27
4.3. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Mikoriza <i>Glomus sp.</i> terhadap Akar Terinfeksi Mikoriza	28
4.4. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Mikoriza <i>Glomus sp.</i> terhadap Serapan Logam Berat Kadmium	29
4.5. Hubungan antar Parameter yang Diamati	33
4.6. Pembahasan Umum	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1. Kesimpulan	39
5.2. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

No.	Teks	Halaman
1.	Logam-logam Berat dan Ligan Organik yang Diperlukan untuk Membentuk Kompleks dalam Jaringan Tanaman.....	19
2.	Parameter Pengamatan	24
3.	Pengaruh Jumlah Tanaman dan Spora <i>Glomus sp.</i> terhadap Berat Kering Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>).....	26
4.	Pengaruh Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Spora <i>Glomus sp.</i> terhadap pH Tanah	27
5.	Pengaruh Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Spora <i>Glomus sp.</i> terhadap Akar Terinfeksi Mikoriza.....	28
6.	Pengaruh Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Spora <i>Glomus sp.</i> terhadap Serapan Kadmium pada Tajuk Tanaman Koro Benguk	30
7.	Pengaruh Interaksi Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Spora <i>Glomus sp.</i> terhadap Serapan Kadmium pada Akar Tanaman Koro Benguk	31
8.	Pengaruh Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Spora <i>Glomus sp.</i> terhadap Residu Kadmium pada Tanah	32
9.	Pengaruh Interaksi Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens</i>) dan Spora <i>Glomus sp.</i> terhadap Konsentrasi Kadmium pada Tanah	33

DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Halaman
1.	Hubungan antara Berat Kering Tanaman dengan Serapan Kadmium pada Tajuk Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna Pruriens</i>)	34
2.	Hubungan antara Serapan Kadmium pada Akar dengan Serapan Kadmium pada Biomas Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna Pruriens</i>).....	35
3.	Hubungan antara Ph Tanah terhadap Akar Terinfeksi Mikoriza <i>Glomus Sp</i>	35
4.	Hubungan antara Serapan Kadmium pada Akar dengan Serapan Kadmium pada Biomas Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna Pruriens</i>).....	36
5.	Hubungan antara Serapan Kadmium pada Biomas Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna Pruriens</i>) dengan Residu Kadmium pada Tanah.....	37
6.	Serapan Kadmium pada Biomas Tanaman Koro Benguk (<i>Mucuna Pruriens</i>) dan Residu Kadmium pada Tanah.....	37



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Teks	Halaman
1.	Gambar Denah Percobaan.....	44
2.	Analisis Varian Pengaruh Perlakuan terhadap Parameter.....	45
3.	Analisis dasar media tanam.....	47
4.	Korelasi Antar Parameter	48
5.	Tabel Kriteria Korelasi dan Regresi.....	50
6.	Gambar Lahan tercemar Kadmium.....	51
7.	Dokumentasi Koro Benguk pada 0 Minggu setelah Perlakuan.....	52
8.	Dokumentasi Koro Benguk pada 7 Minggu setelah Perlakuan.....	53
9.	Dokumentasi Akar Terinfeksi Mikoriza	54



I. PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Liberalisasi ekonomi global mendorong pentingnya daya saing nasional. Daya saing nasional dapat diwujudkan dengan adanya peningkatan sektor industri sebagai sektor produksi dalam negeri. Pembangunan industri di Indonesia dapat menguntungkan secara ekonomi, namun limbah yang dihasilkan dari sisa proses produksi dapat mencemari lingkungan. Menurut Naryaningsih (2005), industri pelapisan logam, pembuatan berbagai peralatan, komponen elektronik, pabrik bahan kimia, automotif, pesawat udara, dan industri transportasi berperan besar terhadap peningkatan pencemaran logam berat. Logam berat yang dihasilkan dari limbah industri antara lain Kadmium, As, Cr, Ni, Cu, Hg, dan Pb.

Logam berat yang terakumulasi pada suatu lahan akan menurunkan produktifitas tanaman. Hal tersebut terjadi karena logam berat tidak dibutuhkan dalam proses metabolisme tanaman, sehingga keberadaannya dapat mengganggu pertumbuhan tanaman (Hindersah *et al.*, 2004). Apabila tanaman yang dengan logam berat dikonsumsi oleh masyarakat, maka akan mengancam kesehatan. Salah satu logam berat yang menimbulkan efek negatif ialah Kadmium (Kadmium). Logam Kadmium merupakan logam berat yang berbahaya karena sifatnya yang mobil dalam tanah dan berpotensi menurunkan produktifitas tanah. Logam Kadmium yang terakumulasi dalam jangka panjang di dalam tubuh dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal, dan gangguan pada tulang yang disebut dengan “itai-itai” (Anynomous, 2004).

Mengurangi efek negatif logam Kadmium pada tanah-tanah disekitar industri dapat dilakukan dengan rehabilitasi lahan. Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan untuk merehabilitasi lahan adalah fitoremediasi. Fitoremediasi ialah suatu metode untuk memindahkan atau mengimobilisasi logam dalam tanah yang terkontaminasi dengan menggunakan tumbuhan/tanaman (Liong, 2012). Tanaman yang digunakan pada fitoremediasi merupakan tanaman yang dapat menyerap logam Kadmium pada konsentrasi yang lebih tinggi (hiperakumulator) serta tidak mengalami keracunan. Tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans*) juga dapat menyerap logam Kadmium hingga 1340 ppm

(Liong, 2012). Menurut Pence (2000), Widyati (2011), dan Liong (2012), fitoremediasi yang telah dilakukan menggunakan tanaman yang dikonsumsi oleh manusia ataupun hewan ternak. Hal tersebut akan mengurangi tingkat konsentrasi logam Kadmium pada suatu lahan, namun dapat membahayakan kesehatan manusia ataupun hewan ternak yang mengonsumsi tanaman tersebut. Oleh karena itu, diperlukan tanaman hiperakumulator yang tidak dikonsumsi manusia ataupun hewan ternak untuk memutuskan rantai Kadmium di dalam rantai makanan.

Salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai alat fitoremediasi ialah tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*). Tanaman ini merupakan tanaman merambat yang sangat cepat pertumbuhannya dan memiliki perakaran yang dalam serta daun yang lebar. Koro benguk dikenal sangat toleran dan dapat tumbuh dengan baik pada berbagai jenis tanah (Nasution, 1984). Tanaman ini memiliki sifat beracun sehingga jarang dimanfaatkan sebagai pangan bagi manusia dan hewan (Robertson *et al.*, 2004). Selain itu, penggunaan tanaman koro benguk sebagai tanaman hiperakumulator logam Kadmium dapat dibantu dengan adanya simbiosis dengan mikoriza. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa mikoriza menghasilkan protein metalotionin yang dapat mengikat Kadmium sehingga tanaman yang berasosiasi dengannya tidak akan teracuni oleh logam tersebut. *Glomus sp.* merupakan jenis mikoriza yang dapat menyerap Kadmium (Widyati, 2011).

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui tingkat konsentrasi logam Kadmium pada tanah yang tercemar limbah industri.
2. Mengetahui kemampuan tanaman koro benguk dalam memfitoremediasi lahan tercemar logam berat Kadmium.
3. Mengetahui kemampuan mikoriza dalam membantu proses fitoremediasi lahan tercemar logam berat Kadmium.

4. Mengetahui kemampuan tanaman koro benguk yang bersimbiosis dengan mikoriza dalam membantu proses fitoremediasi lahan tercemar logam berat Kadmium.

1.3.Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah :

1. Tanah tercemar limbah industri memiliki konsentrasi Kadmium tinggi.
2. Tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*) dapat memfitoremediasi logam berat Kadmium pada tanah.
3. Mikoriza *Glomus sp.* dapat membantu penyerapan Kadmium pada tanaman koro benguk pada tanah.
4. Tanaman koro benguk yang bersimbiosis dengan mikoriza *Glomus sp.* lebih efektif dalam menyerap Kadmium pada tanah.

1.4.Manfaat

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Diketahui konsentrasi logam berat Kadmium pada lahan yang tercemar limbah industri.
2. Diketahui pengaruh tanaman koro benguk yang bersimbiosis dengan mikoriza *Glomus sp.* dalam memfitoremediasi lahan tercemar Kadmium.
3. Konsentrasi logam berat Kadmium berkurang sehingga produktifitas tanaman dan kesehatan masyarakat dapat terjaga.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Logam Berat Kadmium (Cd)

2.1.1. Karakteristik Kadmium

Logam Kadmium ditemukan pada tahun 1817 oleh seorang berkebangsaan Jerman yang bernama Friedrich Stromeyer. Logam ini mempunyai massa atom relatif 112,41 g/mol, berat jenis 8,64 g/cm³, titik leleh 321°C, titik didih 767°C. Logam Kadmium mudah terbakar membentuk Kadmium oksida (Moore, 1990). Kadmium umumnya ditemukan dalam kondisi stabil pada valensi II, seperti misalnya CdS. Logam ini mampu membentuk ion dalam senyawa kompleks atau hidroksidanya, misalnya dengan ammonia (Cd(NH₃)₆), dan sianida (Cd(CN)₄). Kadmium juga mampu membentuk senyawa khelat. Ion Kadmium tidak larut bila terhidrasi oleh karbonat, arsenate atau posfat. Di alam Kadmium jarang sekali ditemukan dalam bentuk bebas, biasanya berada dalam bentuk Kadmium oksida, Kadmium klorida dan Kadmium sulfat. Mineral Kadmium dalam tanah antara lain CdO, CdCO₃, Cd(PO₄)₂, dan CdCl₂. Senyawa senyawa tersebut terikat pada senyawa organik atau oksida, namun yang dominan adalah KadmiumS.

Berdasarkan pada sifat fisiknya, Kadmium merupakan logam lunak, berwarna putih perak. Logam ini akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang lembab atau basah serta akan cepat mengalami kerusakan bila terkena uap amonia (NH₃) dan sulfur hidroksida (SO₂). Sifat kimia dari logam Kadmium antara lain di dalam persenyawaan yang dibentuk pada umumnya mempunyai bilangan valensi 2+, sangat sedikit bervalensi 1+. Bila dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion OH⁻, ion Cd⁺² akan mengalami proses pengendapan dan endapannya berwarna putih (Palar,1994).

Produksi Kadmium di seluruh dunia berkisar 6000 metrik ton pertahun pada tahun 1950 sampai 15.000 metrik ton pertahun pada tahun 1980. Produksi Kadmium sekarang kurang lebih 19.000 metrik ton pertahun. Logam Kadmium utamanya digunakan pada pelapisan logam atau campuran untuk pencegahan korosi pada pabrik baterai, keramik, kaca, pupuk P, pupuk kandang kambing dan beberapa biosida. Kadmium juga seringkali digunakan dalam jumlah besar sebagai pewarna dalam cat dan juga pada pabrik plastik (Moore, 1990).

2.1.2. Reaksi kimia Kadmium

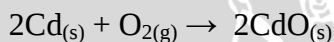
Menurut Montazeri *et al.* (2010), Kadmium dalam tanah ditemukan dalam bentuk dan spesies, yaitu :

1. Spesies yang dapat dipertukarkan, seperti bila terabsorpsi karena gaya elektrostatis pada permukaan lempung atau partikel organik.
2. Fase yang dapat tereduksi, misalnya bila terabsorpsi oksida, hidroksida dari Fe dan Mn atau Al yang melapisi mineral lempung.
3. Spesies karbonat, bila mengalami presipitasi bersama karbonat atau bikarbonat dalam kondisi pH tinggi.
4. Spesies organik, bila terabsorpsi zat organik.
5. *Lattice fase*, bila terfiksasi dalam struktur kristal mineral.

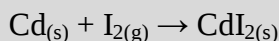
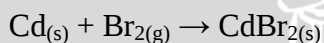
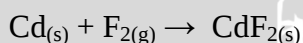
Kadmium memiliki sifat yang serupa dengan zink, kecuali cenderung membentuk kompleks. Kadmium sangat beracun, meskipun dalam konsentrasi rendah. Reaksi kimia Kadmium menurut Ernawati (2014) ialah :

1. Reaksi dengan udara

Kadmium dibakar untuk menghasilkan Kadmium (II) oksida.

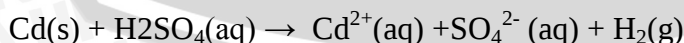


Reaksi dengan halogen Kadmium bereaksi dengan fluorin, bromine dan iodine untuk membentuk Kadmium (II) dihalida.



2. Reaksi dengan asam

Kadmium larut perlahan dalam asam sulfat encer untuk membentuk campuran yang mengandung ion Kadmium (II) dan gas hidrogen.



3. Reaksi dengan basa

Kadmium tidak akan larut dalam larutan alkali.

4. Persenyawaan

Kadmium sulfida (CdS) merupakan senyawa yang tidak larut dalam air dan dijumpai sebagai mineral grinolit. Kadmium oksida (CdO)

memiliki beberapa warna dari kuning kehijauan sampai coklat yang mendekati hitam tergantung dengan kondisi suhu pemanasan. Warna tersebut merupakan akibat dari beberapa jenis terputusnya kisi kristal. Kadmium seng telurida (CdZnTe) sangat beracun untuk manusia, tidak boleh tertelan, terhirup dan tidak boleh dipegang tanpa sarung tangan yang tepat. Kadmium hidroksida ($\text{Cd}(\text{OH})_2$) tidak larut dalam basa. Kadmium hidroksi dapat membentuk kompleks amina bila direaksikan dengan amonia kuat berlebih. $\text{Cd}(\text{OH})_2$ lebih bersifat asam daripada $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang bersifat amfoter.

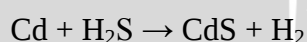
Oksida Kadmium (CdO) dibentuk dengan pembakaran logamnya di udara atau dengan pirolisis karbonat atau nitratnya. Asam oksida dapat diperoleh dengan pembakaran alkil, asap Kadmium oksida luar biasa beracun. Oksida menyublim pada suhu yang sangat tinggi (Ernawati, 2014). Jika larutan garam Kadmium di tambah NaOH terbentuk hidroksida dengan rumus kimia di bawah ini :



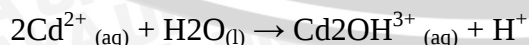
Hidroksida Kadmium mudah larut dalam amonia kuat berlebih membentuk kompleks samin, dengan rumus kimia di bawah ini :



Senyawa sulfida diperoleh dari interaksi langsung/pengendapan oleh H_2S dari larutan aqua, larutan asam untuk CdS , dengan rumus kimia di bawah ini (Ernawati, 2014) :



Larutan Kadmium halida mengandung semua spesies Cd^{2+} , CdX^{2+} , CdX^{2+} , dan CdX^{3-} dalam kesetimbangan. Garam dari okso seperti nitrat, sulfat, sulfit, perklorat, dan asetat larut dalam air. Ion aquo bersifat asam dan larutan garamnya terhidrolisis pada larutan Kadmium yang lebih pekat, spesies yang utama adalah $\text{Cd}_2\text{OH}^{3+}$, dengan rumus kimia di bawah ini (Ernawati, 2014) :



Anion pengompleks, misalnya halida, membentuk $\text{Cd}(\text{OH})\text{Cl}$ atau CdNO^{3+} . Garam iodida Kadmium dapat larut dalam KI. Jika larutan KI pekat ditambahkan pada larutan garam amoniakal terbentuk $\text{Cd}(\text{NH}_3)_4\text{I}_4$ yang berbentuk endapan putih. CdI_2 larut dalam alkohol dan digunakan dalam fotografi (Ernawati, 2014).

Secara alami tanah Kadmium dengan konsentrasi 0,24 ppm tergantung dari batuan induk, cara terbentuknya tanah, dan translokasi logam berat di tanah (Alloway, 1995). Penyerapan Kadmium oleh tanaman pangan perlu mendapatkan perhatian karena logam tersebut berpotensi untuk meracuni jika dikonsumsi. Faktor yang mengendalikan Kadmium di tanaman adalah konsentrasi dan jenis logam di larutan tanah, pergerakan logam dari tanah ke permukaan akar, transport logam dari permukaan akar ke dalam akar, dan translokasinya dari akar ke tajuk tanaman. Kadmium bersifat lebih mobil di dalam tanah dan karena itu lebih mudah diserap tanaman dibandingkan dengan Pb (Alloway, 1995).

2.1.2. Dampak pencemaran Kadmium

Kadmium tidak mempunyai peranan biologis dalam makhluk hidup. Kadmium adalah logam toksik yang dapat terakumulasi cukup besar pada organisme hidup karena mudah diabsorpsi dan mengganggu sistem pernapasan serta pencernaan. Jika terabsorpsi ke dalam sistem pencernaan dan sistem pernapasan, Kadmium akan membentuk senyawa kompleks dengan protein sehingga mudah diangkut dan menyebar ke hati serta ginjal bahkan sejumlah kecil Kadmium dapat sampai ke pankreas, usus, dan tulang. Selain itu, Kadmium juga akan mengganggu aktivitas enzim dan sel. Hal ini akan menimbulkan tetragenik, mutagenik, dan karsinogenik (Szymczyk dan Zalewski, 2003).

Kadmium dapat menyebabkan mual dan muntah-muntah. Penyakit kronik yang dapat ditimbulkan oleh Kadmium adalah kerontokan rambut, anemia, migran, osteoporosis, penyakit lambung dan akhirnya dapat menyebabkan kardiovaskuler (Campbell, 2007). Pengaruh Kadmium (Kadmium) pada konsentrasi tertentu terhadap tanaman juga telah diamati oleh beberapa peneliti. Menurut Lamersdortf *et al.* (1991) dan Misra *et al.* (1994), Kadmium memberikan efek negatif berturut-turut terhadap pertumbuhan akar pohon cemara dan tanaman *Vicia faba*. Pertumbuhan biji dan daun *Betula pendula* juga dipengaruhi oleh Kadmium (Gussarsson, 1994). Ouzounidou *et al.* (1997) dan Garate *et al.* (1993) mengamati adanya pengaruh negatif terhadap pertumbuhan akar dan daun gandum (*Triticum aestivum*) dan pertumbuhan akar tomat serta salada (*Lactuca seriola* L.).

Pada umumnya Kadmium menunjukkan pengaruh terhadap pengambilan, pengangkutan, dan penggunaan beberapa unsur seperti Ca, Mg, P, K dan juga air pada tumbuh-tumbuhan. Kadmium juga mengurangi penyerapan nitrat dan pengangkutannya dari akar ke pucuk, juga menghambat aktivitas enzim nitrat reduktase di dalam pucuk-pucuk tanaman (Adi, 2003). Kadmium menurunkan aktivitas ATP-ase pada bagian membran plasma dari tanaman gandum dan bunga matahari. Rascio *et al.* (1993) menemukan pengurangan panjang akar dan pucuk sekitar 45 % dan 35 % pada tanaman jagung setelah 18 hari ditumbuhkan dalam nutrien yang mengandung ion Cd(II) 28,1 ppm, sedangkan ion Cd(II) 11,2 ppm tidak mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan akar.

Pada tanah Typic Dystrudepts dan Typic Hapluderts pencemaran Kadmium dapat menurunkan bobot jerami dan hasil beras. Batas kritis atau konsentrasi maksimum Kadmium yang diperkenankan dalam beras untuk dikonsumsi adalah 0,2 mg kg⁻¹ (Harada, 2003 dalam Suganda *et al.*, 2006). Batas kritis konsentrasi Kadmium dalam larutan tanah Typic Dystrudepts dan Typic Hapluderts adalah masing-masing 6,9 dan 3,9 mg kg⁻¹ (Suganda *et al.*, 2006). Industri juga meningkatkan konsentrasi Kadmium pada sawah seluas 106 ha di Karawang dan Bekasi dengan pencemaran Kadmium sekitar 4% tercemar dan 17% agak tercemar. Konsentrasi Kadmium pada tanaman jagung yang ditanam pada lahan dekat industri sebesar 28,1 ppm, sedangkan pada bawang merah sebesar 0,135 - 0,285 ppm (Adi, 2003).

2.2. Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*)

2.2.1. Morfologi Koro Benguk (*Mucuna pruriens*)

Batang koro benguk menjalar atau merambat dengan panjang 3 hingga 18 m. Daun terdiri dari 3 helaian besar, oval dan lebih pendek dibanding tangkai. Bunga tumbuh dalam 2 atau 3 rantai tandan, warna bervariasi dari putih hingga ungu gelap dengan panjang bunga 2,5 hingga 3,2 cm. Polong berambut, memiliki panjang dapat lebih dari 15 cm dan memiliki 3 hingga 6 biji per polong. Biji sering belang-belang, kadang berwarna homogen putih, coklat atau hitam. Panjang akar 7 hingga 10 m dengan bintil berlebih didekat permukaan tanah.

Biji koro benguk mempunyai kulit biji yang keras dan strukturnya terdiri dari lapisan sel-sel serupa palisade ber dinding tebal terutama di permukaan paling luar, dan bagian dalamnya mempunyai lapisan lilin dan bahan kutikula. Biji legum memiliki kulit biji yang berubah menjadi *impermeable* karena sel-sel mengerut selama pengeringan sehingga pergerakan air terbatas yang mengakibatkan pengerasan. Biji legume mempunyai struktur hilum yang memudahkan air meninggalkan benih namun tidak dapat masuk kembali.

Tanaman koro benguk merupakan tanaman leguminosa. Tanaman leguminosa mempunyai 2 periode tumbuh yaitu periode vegetatif dan periode reproduktif (generatif) (Staff, 2002). Periode vegetatif ialah periode tumbuh mulai munculnya tanaman di permukaan tanah hingga terbentuknya bunga pertama (McWilliams *et al.*, 1999). Periode generatif dicirikan dengan mulai keluarnya bunga pertama hingga polong masak (Adisarwanto dan Riwanodja, 1998). Menurut Hidayat (1992), periode vegetatif dihitung sejak tanaman muncul dari dalam tanah. Setelah fase kotiledon, maka pendanaan fase vegetatif berdasarkan jumlah buku (Staff, 2002).

2.2.2. Budidaya Koro Benguk (*Mucuna pruriens*)

Teknologi budidaya koro benguk lebih sederhana daripada budidaya kacang-kacangan (Leguminosa) lainnya. Tanaman Koro Benguk mampu tumbuh baik dilahan kurang subur bahkan pada lahan yang sangat kritis. Oleh karena itu budidaya Koro Benguk potensial untuk digunakan sebagai tanaman revegetasi lahan bekas tambang (Pandiangan, 2008).

Budidaya tanaman koro benguk menurut Pandiangan (2008) adalah sebagai berikut :

1. Pengolahan Tanah

Pengolahan tanah bertujuan untuk menggemburkan tanah, memudahkan dalam penanaman serta meningkatkan kesuburan tanah. Pengolahan tanah dilakukan dengan membuang sisa-sisa tanaman maupun rumput liar yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, membuat bedengan, dan mencangkul tanah. Dengan pengolahan tanah maka akar tanaman akan lebih leluasa menembus pori-pori tanah sehingga dapat

mencari unsur hara yang diperlukan. Sedangkan pada lahan miring sebaiknya tidak diolah dengan intensif karena jika hujan akan mempercepat erosi.

2. Benih dan Perkecambahan

Biji atau buah polong koro benguk yang digunakan sebagai benih berasal dari biji yang sudah tua (masak dipohon) dengan tanda-tanda yaitu biji yang sudah tua kulitnya licin dan agak mengkilap serta tidak keriput dan bentuknya normal, utuh jangan terlalu kecil dan jangan terlalu besar. Untuk mempercepat perkecambahan biji, sebelum ditanam sebaiknya biji koro benguk direndam terlebih dulu dalam air selama 24 jam kemudian ditiriskan.

3. Penanaman

Koro benguk dapat ditanam secara monokultur maupun tumpang sari baik di lahan pekarangan maupun lahan tegalan. Agar pertumbuhan tanaman optimal maka pemilihan varietas koro benguk perlu diperhatikan. Sebagai contoh bila akan ditanam secara tumpang sari maka varietas putih lebih cocok karena merupakan tanaman perdu, tumbuh tegak dan tidak menjalar sehingga tidak mengganggu tanaman pokoknya. Sebaliknya varietas blirik, putih, kusam dan hitam mempunyai sifat menjalar dan sangat cocok sebagai tanaman konservasi karena cepat menutup tanah dengan sempurna.

4. Waktu Tanam

Waktu tanam sebaiknya dilakukan pada awal musim penghujan sehingga pada saat curah hujan tinggi daunnya sudah menutup tanah dan perakarannya sudah kuat. Cara tanam dengan ditugal, kemudian diisi benih 2-3 biji/lubang. Dibuatkan ajir atau lanjaran dengan ketinggian 1.5 meter. Jarak tanam koro benguk tergantung dari pola tanamnya serta kondisi lahan, biasanya 20cm x 30cm.

5. Pemupukan

Tanaman koro benguk sebenarnya tidak membutuhkan pupuk, karena dapat tumbuh sangat baik pada lahan yang kurang subur serta responibilitasnya terhadap pupuk juga rendah. Hanya bila ditanam pada

tanah yang sangat kritis, maka diperlukan pemupukan dengan pupuk SP36 sebanyak 32 kg ha⁻¹ dilakukan pada saat tanaman masih muda (kurang lebih umur 1 bulan).

6. Pemeliharaan

Penyulaman dilakukan secepatnya apabila pada awal tanam terlihat biji yang tidak tumbuh. Penyiangian dilakukan pada saat tanaman berumur (1-1.5 bulan). Penyiraman dilakukan setiap hari apabila dibudidayakan pada lahan kering.

2.3. Mikoriza

Mikoriza berasal dari kata miko/*mykes* yang berarti jamur, sedangkan riza yang berarti akar tanaman. Struktur yang terbentuk dari asosiasi ini tersusun secara beraturan dan memperlihatkan spektrum yang sangat luas baik dalam hal tanaman inang, jenis jamur maupun penyebarannya. Prinsip kerja dari mikoriza adalah menginfeksi sistem perakaran tanaman inang, memproduksi jalinan hifa secara intensif sehingga tanaman yang terinfeksi mikoriza tersebut akan mampu meningkatkan kapasitas dalam penyerapan unsur hara. Pada saat mikoriza mengangkut air dan unsur hara mineral dari tanah ke tanaman, mikoriza mengambil keuntungan dari senyawa karbon yang disediakan tumbuhan inang. Oleh karena itu mikoriza dan tanaman inang membentuk suatu hubungan yang saling menguntungkan. Secara umum mikoriza di daerah tropis tergolong dalam 2 tipe, yaitu:

1. Ektomikoriza

Ektomikoriza ditandai oleh satu sarung pelindung eksternal dari sel-sel fungal yang melingkupi akar, seringkali menembus antara sel-sel epidermis dan sel-sel awal korteks dan hifa menginfeksi akar (Turk, 2006). Ektomikoriza lebih umum ditemukan di pohon-pohon hutan seperti cemara dan eucalyptus. Ektomikoriza sebagian besar termasuk kelas Basidiomycetes (Sieverding, 1991).

2. Endomikoriza

Endomikoriza ditandai oleh pertumbuhan jamur antar dan intrasel di dalam korteks akar membentuk struktur jamur yang spesifik, dikenal

sebagai vesikular dan arbuskular. Struktur ini memberi endomikoriza nama lain, yaitu vesikular arbuskular mikoriza (VAM). VAM merupakan mikoriza yang paling banyak terdapat pada perakaran tumbuhan. Kira-kira 80% dari semua spesies tumbuhan darat membentuk simbiosis tipe ini (Smith dan Read, 1997).

Efisiensi penyerapan hara meningkat pada akar yang terinfeksi mikoriza daripada akar tanpa mikoriza disebabkan oleh pengambilan dan pengangkutan aktif hara oleh mikoriza (Quilambo, 2003). Perolehan hara yang efektif oleh VAM secara umum melekat pada pertumbuhan hifa yang luas diluar zona penipisan hara yang melingkupi akar. Turk (2006) menjelaskan bahwa pengaruh VAM dalam meningkatkan pengambilan nitrogen dan hara mikro bisa dihubungkan dengan dua situasi. Pertama, hifa mikoriza bertindak sebagai perluasan akar tanaman, peningkatan luas permukaan akar dan menjelajah volume tanah lebih besar, yang akan meningkatkan kesempatan dalam pengambilan hara mikro. Kedua, asosiasi mikoriza dengan akar tanaman juga meningkatkan translokasi antara akar dan tunas pada tanaman yang terinfeksi, karena itu pertumbuhan tanaman meningkat. Pada akar bermikoriza kerusakan jaringan korteks tidak akan bersifat permanen. Akar bermikoriza akan cepat pulih, karena hifanya masih mampu menyerap air pada pori tanah, dan penyebaran hifa yang luas akan dapat menyerap air lebih banyak (Querejeta *et al.* 2003). VAM dapat meningkatkan penyerapan beberapa hara, seperti : Fosfor, Nitrogen, Kalsium, Magnesium, Zinc, Tembaga, Kalium, Besi, Kadmium, Nikel, dan Uranium (Quilambo, 2003).

Mikoriza juga dapat berfungsi sebagai pelindung biologi bagi terjadinya infeksi 8 patogen akar, perlindungan ini terjadi karena adanya lapisan hifa sebagai pelindung fisik dan antibiotika yang dikeluarkan oleh mikoriza dan menghasilkan beberapa zat pengatur tumbuh. Fungi mikoriza dapat menghasilkan hormon auksin, sitokinin, gibberelin, dan vitamin yang bermanfaat untuk inangnya (Allen *et al.*, 2003; Dell, 2002). Auksin dapat berfungsi untuk mencegah atau menghambat proses penuaan akar sehingga umur dan fungsi akar dapat diperpanjang. Manfaat lainnya ialah beberapa fungi ektomikoriza menghasilkan tubuh buah yang dapat dimakan/dikonsumsi oleh manusia, sehingga memberikan

hasil hutan non kayu yang bernilai ekonomi dan gizi tinggi (Hall *et al.*, 2003; Yamada *et al.*, 2001).

Menurut Atmaja (2001) dalam Sari (2012) mengatakan bahwa pertumbuhan mikoriza sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti :

1. Suhu

Suhu yang relatif tinggi akan meningkatkan aktivitas cendawan. Untuk daerah tropika basah, hal ini menguntungkan. Proses perkecambahan pembentukan MVA melalui tiga tahap yaitu perkecambahan spora di tanah, penetrasi hifa ke dalam sel akar, dan perkembangan hifa di dalam konteks akar. Suhu optimum untuk perkecambahan spora sangat beragam tergantung jenisnya. Beberapa *Gigaspora* yang diisolasi dari tanah Florida, di wilayah subtropika mengalami perkecambahan paling baik pada suhu 34°C, sedangkan untuk spesies *Glomus* yang berasal dari wilayah beriklim dingin, suhu optimal untuk perkecambahan adalah 20°C. Penetrasi dan perkecambahan hifa di akar peka pula terhadap suhu tanah. Pada umumnya infeksi oleh cendawan MVA meningkat dengan naiknya suhu. Schreder (1974) dalam Sari (2012) menemukan bahwa infeksi maksimum oleh spesies *Gigaspora* yang diisolasi dari tanah Florida terjadi pada suhu 30-33°C. Suhu yang tinggi pada siang hari (35°C) tidak menghambat perkembangan dan aktivitas fisiologis MVA. Peran mikoriza hanya menurun pada suhu diatas 40°C. Suhu bukan merupakan faktor pembatas utama dari aktifitas MVA. Suhu yang sangat tinggi berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman inang. MVA mungkin lebih mampu bertahan terhadap suhu tinggi pada tanah bertekstur berat dari pada di tanah berpasir.

2. Kadar air tanah

Untuk tanaman yang tumbuh di daerah kering, adanya MVA menguntungkan karena dapat meningkatkan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan bertahan pada kondisi yang kurang air (Vesser *et al.*, 1984 dalam Sari, 2012). Adanya MVA dapat memperbaiki dan meningkatkan kapasitas serapan air tanaman inang. Ada beberapa dugaan mengapa tanaman bermikoriza lebih tahan terhadap kekeringan diantaranya adalah:

(1) adanya mikoriza resitensi akar terhadap gerakan air menurun sehingga transfer air ke akar meningkat; (2) tanaman kekurangan P lebih peka terhadap kekeringan, adanya MVA menyebabkan konsentrasi unsur P tanaman meningkat sehingga menyebabkan daya tahan terhadap kekeringan meningkat pula; (3) adanya hifa yang berada di luar akar menyebabkan tanaman ber-MVA lebih mampu mendapatkan air daripada yang tidak ber-MVA tetapi jika mekanisme ini yang terjadi berarti konsentrasi logam-logam lebih cepat menurun. Penemuan akhir-akhir ini yang menarik adanya hubungan antara potensial air tanah dan aktifitas mikoriza. Pada tanaman bermikoriza jumlah air yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 gram bobot kering tanaman lebih sedikit daripada tanaman yang tidak bermikoriza; (4) tanaman mikoriza lebih tahan terhadap kekeringan karena pemakaian air yang lebih ekonomis; (5) pengaruh tidak langsung karena adanya miselin eksternal menyebabkan MVA efektif didalam mengagregasi butir-butir tanah sehingga kemampuan tanah menyimpan air meningkat.

3. pH tanah

Cendawan pada umumnya lebih tahan terhadap perubahan pH tanah. Meskipun demikian daya adaptasi masing-masing spesies cendawan MVA terhadap pH tanah berbeda-beda, karena pH tanah mempengaruhi perkecambahan, perkembangan dan peran mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman. *Glomus fasciculatus* berkembang biak pada pH masam. Pengapuran menyebabkan perkembangan *G. fasciculatus* menurun (Mosse, 1981 dalam Atmaja, 2001). Demikian pula peran *G. fasciculatus* dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman pada tanah masam menurun akibat pengapuran (Santoso, 1985 dalam Sari, 2012). Pada pH 5,1 dan 5,9 *G. fasciculatus* menampilkan pertumbuhan yang terbesar, *G. fasciculatus* memperlihatkan pengaruh yang lebih besar terhadap pertumbuhan tanaman jika pH 5,1. *G. Mosseae* memberikan pengaruh terbesar pada pH netral sampai alkalis (pH 6,0-8,1). Perubahan pH tanah melalui pengapuran biasanya berdampak merugikan bagi perkembangan MVA asli yang hidup pada tanah tersebut sehingga pembentukan mikoriza menurun

(Santosa, 1989 *dalam* Sari, 2012). Untuk itu kegiatan pengapuran bersamaan dengan tindakan inokulasi dengan cendawan MVA yang cocok agar pembentukan mikoriza terjamin.

4. Bahan organik tanah

Bahan organik merupakan salah satu komponen penyusun tanah yang penting disamping air dan udara. Jumlah spora MVA tampaknya berhubungan erat dengan konsentrasi bahan organik didalam tanah. Jumlah maksimum spora ditemukan pada tanah-tanah dengan bahan organik 1-2 % sedangkan pada tanah-tanah berbahan organik kurang dari 0,5 % konsentrasi spora sangat rendah (Pujianto, 2001 *dalam* Sari, 2012). Residu akar mempengaruhi ekologi cendawan MVA, karena serasah akar yang terinfeksi mikoriza merupakan sarana penting untuk mempertahankan generasi MVA dari satu tanaman ke tanaman berikutnya. Perasah akar tersebut terdapat hifa, vesikel, dan spora yang dapat menginfeksi MVA. Disamping itu juga berfungsi sebagai inokulasi untuk tanaman berikutnya.

5. Cahaya dan ketersediaan hara

Gardemann (1983) *dalam* Sari (2012) menyatakan bahwa dalam intensitas cahaya yang tinggi konsentrasi nitrogen atau fosfor rendah akan meningkatkan jumlah karbohidrat di dalam akar sehingga membuat tanaman lebih peka terhadap infeksi cendawan MVA. Derajat infeksi terbesar terjadi pada tanah-tanah yang mempunyai kesuburan yang rendah. Pertumbuhan perakaran yang sangat aktif jarang terinfeksi oleh MVA. Jika pertumbuhan dan perkembangan akar menurun infeksi MVA meningkat. Peran mikoriza erat dengan ketersediaan Pospor (P) bagi tanaman. Hal tersebut menunjukkan hubungan antara mikoriza dan status P tanah. Pada wilayah beriklim sedang konsentrasi P tanah yang tinggi menyebabkan menurunnya infeksi MVA yang disebabkan konsentrasi P internal yang tinggi dalam jaringan inang (Santosa, 1989). Hayman (1975) *dalam* Sari (2012) melaksanakan penelitian pemupukan N dan P terhadap MVA pada tanah di wilayah beriklim sedang. Pemupukkan N (188 kg N/ha) berpengaruh buruk terhadap populasi MVA. Petak yang tidak dipupuk

dengan jumlah spora 2 hingga 4 kali lebih banyak dan infeksi mikoriza 2 hingga 4 kali lebih tinggi dibandingkan petak yang menerima pemupukkan. Hayman (1975) dalam Sari (2012) mengamati bahwa pemupukkan N lebih berpengaruh daripada pemupukkan P, tetapi peneliti lain mendapatkan keduanya memiliki pengaruh yang sama.

6. Logam berat dan unsur lain

Pada percobaan dengan menggunakan tiga jenis tanah dari wilayah iklim sedang didapatkan bahwa pengaruh menguntungkan karena adanya MVA menurun dengan naiknya konsentrasi Aluminium dalam tanah. Aluminium diketahui menghambat muncul jika ke dalam larutan tanah ditambahkan kalsium (Ca). Jumlah Ca didalam larutan tanah rupa-rupanya mempengaruhi perkembangan MVA. Tanaman yang ditumbuhkan pada tanah yang memiliki derajat infeksi MVA yang rendah. Hal ini mungkin karena peran Ca^{2+} dalam memelihara integritas membran sel. Beberapa spesies MVA diketahui mampu beradaptasi dengan tanah yang tercemar Zink (Zn), tetapi sebagian besar spesies MVA peka terhadap konsentrasi Zn yang tinggi. Pada beberapa penelitian lain diketahui bahwa cendawan MVA tertentu toleran terhadap konsentrasi Mn, Al dan Na yang tinggi.

7. Fungisida

Fungisida merupakan racun kimia yang diracik untuk membunuh cendawan penyebab penyakit pada tanaman, akan tetapi selain membunuh cendawan penyebab penyakit fungisida juga dapat membunuh mikoriza, dimana pemakaian fungisida ini menurunkan pertumbuhan dan kolonisasi serta kemampuan mikoriza dalam menyerap P.

Salah satu jenis mikoriza yang dapat membantu proses fitoremediasi ialah mikoriza dengan genus *Glomus*. *Glomus mosseae* toleran terhadap Kadmium, bertanggungjawab untuk pengambilan, pengangkutan dan imobilisasi Kadmium. Menurut Liao (2003), *Glomus caledonicum* memberi harapan jamur mikoriza untuk bioremediasi logam berat pada tanah yang terkontaminasi.

2.4. Fitoremediasi

Salah satu teknik dalam memperbaiki kualitas lingkungan yang tercemar adalah dengan teknik fitoremediasi. Menurut Priyanto dan Prayitno (2006), fitoremediasi berasal dari kata *phyto* (asal kata Yunani *phyton*) yang berarti tumbuhan/tanaman (*plant*) dan kata *remediation* (asal kata Latin *remediare* = *to remedy*) yaitu memperbaiki/menyembuhkan atau membersihkan sesuatu. Dengan demikian fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik.

Menurut Mangkoedihardjo (2005), ITRC (2001) bahwa proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan. Secara umum membuat klasifikasi proses sebagai berikut:

1. Fitostabilisasi (*phytostabilization*)

Akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengabsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zona akar. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik dengan minyak yaitu sulfur, nitrogen, dan beberapa logam berat (sekitar 2-50% konsentrasi minyak).

2. Fitoekstraksi/fitoakumulasi (*phytoextraction/phytoaccumulation*)

Akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan. Proses ini cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik seperti pada proses fitostabilisasi.

3. Rizofiltrasi (*rhizofiltration*)

Akar tumbuhan mengabsorpsi atau presipitasi pada zona akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Proses ini digunakan untuk bahan larutan yang dengan bahan organik maupun anorganik.

4. Fitodegradasi/fitotransformasi (*phytodegradation*)

Organ tumbuhan menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatik.

5. Rizodegradasi (*rhizodegradation/ phytostimulation*)

Polutan yang diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, dan asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini tepat untuk dekontaminasi zat organik.

6. Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*)

Penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Proses ini tepat digunakan untuk kontaminan zat-zat organik.

Salah satu mekanisme tanaman dalam proses fitoremediasi adalah dengan menyerap logam dan mengakumulasikannya ke dalam biomas tanaman. Proses fitoremediasi dengan menyerap polutan disebut fitoekstraksi. Tanaman yang mempunyai mekanisme fitoekstraksi disebut sebagai akumulator. Untuk tanaman yang mempunyai kemampuan mengakumulasi lebih dari 1.000 mg/kg biomas (Ni, Cu, Co, Cr atau Pb) atau lebih dari 10.000 mg/kg biomas untuk logam Zn atau Mn disebut sebagai hiperakumulator (Baket *et al.*, 1988).

Tumbuhan yang hidup pada lahan dengan akumulasi logam tinggi memiliki protein pengikat logam atau peptida yang diberi nama fitokelatin (PCs) yang mirip dengan metalothionin pada mamalia (Chaney *et al. dalam* Widyati, 2011). Penelitian akumulasi nikel pada *Thlaspi goesingense* dan *T. Arvense* menunjukkan bahwa kemampuan kedua tanaman tersebut dalam mengakumulasi Ni menjadi kompleks Ni-asam organik dibantu oleh senyawa sitrat yang terdapat dalam dinding sel, vakuola dan sitoplasma sel (Rathinasabapathi *et al.*, 2006). Sedangkan kemampuan akumulasi logam pada tumbuhan *Brassica juncea* ditentukan oleh ATP surfurilase. Tumbuhan ini mampu mengakumulasi As(III), As(V), Cd, Cu, Hg, dan Zn dalam biomasnya (Gratao *et al.*, 2005).

Mekanisme lain dikembangkan oleh tumbuhan *Astragalus bisulcatus* untuk mengakumulasi selenium (Se) tanpa meracuni dirinya sendiri adalah dengan menghasilkan protein *selenocysteine methyltransferase* (SMT) terutama *methylates selenocysteine* (SeCys) (Gratao *et al.*, 2005). Telah disebutkan di atas bahwa salah satu syarat yang harus dimiliki oleh hiperakumulator adalah toleran

pada konsentrasi logam berat yang tinggi. Namun demikian, ternyata antara toleran dan akumulasi merupakan sifat yang saling independen (Peer *et al.*, 2008). Sifat toleran ditentukan oleh konsentrasi glutathione (GSH), sistein (Cys), O-acetyl-L-serine (OAS) sedangkan kemampuan mengakumulasi logam berat pada jaringan dipengaruhi oleh konsentrasi *serine acetyltransferase* (SAT) dan aktivitas glutathione reduktase (Peer *et al.*, 2008).

Untuk dapat masuk ke dalam jaringan tanpa meracuni tanaman, logam berat harus diubah menjadi bentuk yang kurang toksik melalui reaksi kimiawi atau pembentukan kompleks dengan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tanaman (Peer *et al.*, 2008). Tanaman umumnya mengeluarkan kelompok thiol sebagai pengkelat (*ligand*), tetapi banyak juga metabolit yang dikeluarkan sebagai *ligand* tergantung jenis logam yang akan dikelat (Tabel 1). Untuk dapat menyerap logam berat tumbuhan hiperakumulator membuat analog seolah-olah mereka menyerap unsur-unsur hara yang diperlukan dalam metabolismenya (Peer *et al.*, 2008). Sehingga mereka membuat jalur seperti ketika mereka menyerap unsur hara tersebut. Untuk membuat analog tersebut mereka memerlukan ligan-ligan organik. Tumbuhan hiperakumulator menganalogkan logam berat dan ligan yang diperlukan disajikan pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Logam-logam Berat dan Ligan Organik yang Diperlukan untuk Membentuk Kompleks dalam Jaringan Tanaman (Peer *et al.*, 2008).

Logam	Analog dengan	Ligan Organik
Arsen (As)	P	Phytochelatin, thiols, glutathione, asam askorbat
Kadmium (Cd)	Zn, Fe	Phytochelatin, thiols, glutathione, γ -glutamylcysteine
Krom (Cr)	Mn	Thiols
Tembaga (Cu)	Cu	Sitrat, metalotionin, phytochelatin 2, phytochelatin 3
Merkuri (Hg)	Difusi positif	Thiols
Nikel (Ni)	Fe	Nicotianamine, histidin, thiols, sitrat
Timbal (Pb)	Zn	Fe Glutathione
Selenium (Se)	S	Sistein
Seng (Zn)	Zn	Phytochelatin, thiols, glutathione, γ -glutamylcysteine, sitrat, malat

Suatu jenis tumbuhan dikategorikan sebagai spesies hiperakumulator ketika mereka memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Toleran terhadap konsentrasi logam yang tinggi sehingga pertumbuhan akar dan pucuk tidak mengalami hambatan. Tanaman yang toleran tidak akan terganggu pertumbuhannya meskipun mereka tumbuh pada tanah dengan toksisitas yang tinggi. Toleransi ini diduga berasal dari kemampuan untuk menyimpan logam dalam vakuola sel atau mampu mengkelat logam-logam (Chaney *et al.*, 1997).
2. Mampu menyerap logam yang terdapat dalam larutan tanah dengan cepat. Kecepatan penyerapan logam ditentukan oleh jenis tumbuhan dan macam logam yang diserap. *Thlaspi caerulescens* mampu mengakumulasi Zn 10,000 mg kg⁻¹ biomas (Chaney *et al.*, 1997).
3. Mampu mentranslokasikan suatu unsur logam dari akar ke bagian pucuk tanaman dengan kecepatan tinggi. Beberapa tumbuhan hiperakumulator ditemukan mampu mentransfer Zn, Kadmium atau Ni 10 kali lebih cepat daripada non hiperakumulator, sehingga konsentrasi logam pada jaringan pucuk jauh lebih besar daripada yang terdapat pada jaringan akarnya (Chaney *et al.*, 1997).
4. Harus mampu menghasilkan biomas yang tinggi dalam waktu yang cepat (cepat tumbuh), mudah dibudidayakan dan mudah dipanen, lebih baik yang dapat dipanen berkali-kali dalam setahun (Peer *et al.*, 2008).

Contoh dari tanaman yang dapat menyerap Kadmium antara lain *Thlaspi caerulescens* kelompok famili Brassicaceae yang mampu mengakumulasi Kadmium sebesar 1.000 ppm tanpa menunjukkan gejala keracunan, *Bassica juncea*, *Thlaspi caerulescens*, *Pistia stratiotes*, sawi hijau (*Brassica juncea*), jukut pait (*Axonopus compressus*), kacang hijau (*Vigna radiata*) (Pence, 2000; Widyati, 2011). Tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans*) juga dapat menyerap logam Kadmium hingga 1340 ppm (Liong, 2012).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian dan penanaman koro benguk dilaksanakan di rumah kaca. Analisis tanah dan tanaman dilaksanakan di laboratorium kimia, fisika dan biologi Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya dan laboratorium kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini dilaksanakan selama bulan dimulai pada bulan September 2013 sampai dengan Juli 2014.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : Cangkul, gembor, polibag 20 x 30 cm, ajir, kertas label, rumah kaca, alat tulis, meteran, kamera, serta alat-alat yang digunakan pada analisis laboratorium berupa pH (Gelas Elektroda), C-Organik (metode *Walkley and Black*), KTK (Ekstraksi NH_4OAc pH 7), P tersedia (*Olsen*), pengamatan koloni mikoriza (*Grid Intersect*), dan kadar Kadmium dengan menggunakan AAS.

3.2.2. Bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain : tanah yang diambil dari tanah sawah di daerah Sepanjang, Sidoarjo, Jawa Timur. Benih tanaman koro benguk, mikoriza *Glomus sp.*, air dan kompos dari UPT kompos Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

3.3. Metode Penelitian

Perlakuan tersebut disusun dalam Rancangan Acak Kelompok Faktorial dua faktor dengan diulang tiga kali, tiap ulangan terdiri dari enam kombinasi perlakuan. Faktor pertama adalah jumlah tanaman koro benguk (T) dengan dua taraf yaitu :

T1 = 1 tanaman / polibag

T2 = 2 tanaman / polibag

Faktor kedua adalah jumlah spora mikoriza *Glomus sp.* (M) dengan tiga taraf yaitu :

M0 = tanpa mikoriza

M1 = 15 spora mikoriza

M2 = 30 spora mikoriza.

3.4. Metode Pelaksanaan

3.4.1. Persiapan media tanam

Persiapan media tanam terdiri atas tiga bahan yang digunakan, yaitu :

1. Tanah

Sampel tanah sawah tercemar yang digunakan berasal dari tanah sawah tercemar limbah di Dusun Simowau, Kelurahan Sepanjang, Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm. Kadar Kadmium yang terdapat dalam sampel tanah adalah 0,997 ppm. Menurut Soepardi (1983), kisaran kadar logam berat sebagai pencemar dalam tanah untuk logam Kadmium adalah 0.1-7 ppm. Media tanam yang digunakan adalah tanah (lolos ayakan 2 mm) sebanyak 5 kg yang diletakkan dalam polibag berukuran 20 x 30 cm.

2. Tanaman koro benguk

Benih tanaman koro benguk varietas putih diperoleh dari Desa Sawangan, Kecamatan Pituruh, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. Jumlah benih tiap polibag sesuai dengan perlakuan yang telah ditetapkan.

3. Mikoriza

Mikoriza yang digunakan adalah endomikoriza jenis *Glomus sp.* (dalam bentuk tercampur tanah dengan kerapatan 15 spora/gram tanah) yang diperoleh dari CV Bio Apply, Malang, Jawa Timur. Endomikoriza *Glomus sp.* didapat dengan menggunakan metode *sieving dan decanting*. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil sampel tanah dari daerah perakaran tanaman putri malu. Tanah tersebut dimasukkan ke dalam saringan empat tingkat dengan ukuran 160 μm , 135 μm , 55 μm dan 35 μm yang kemudian dialiri air. Tanah yang tertinggal pada saringan ketiga dan keempat ialah tanah yang dengan spora mikoriza, tanah tersebut dijadikan suspensi dan dimasukkan ke dalam tabung yang telah

ditambahkan larutan gula 60%. Penambahan ini bertujuan untuk mengikat tanah, sehingga tanah akan mengendap dan spora mikoriza akan naik ke atas. Tabung yang berisi suspensi selanjutnya dimasukkan ke dalam sentrifuse dan diputar dengan kecepatan 2000 rpm selama 3 menit. Dari hasil sentrifugasi, supernatan dimasukkan ke dalam saringan keempat dengan ukuran 35 μm dan dibilas dengan menggunakan air untuk menghilangkan larutan gula. Selanjutnya, hasil saringan ini dimasukkan ke dalam cawan petri dan dilakukan pengamatan serta identifikasi jamur di bawah mikroskop.

Setelah mendapat isolat, mikoriza diperbanyak dengan menggunakan inang tanaman jagung. Langkah pertama yang dilakukan dalam proses pembiakan mikoriza adalah menyiapkan tanah steril di dalam pot plastik, kemudian memasukkan benih jagung dan mikoriza di dalamnya. Spora jamur mikoriza akan berkecambah dan mengeluarkan hifa yang akan bersentuhan dengan akar sehingga terjadi simbiosis mutualisme. Mikoriza berkembang seiring pertumbuhan perakaran tanaman jagung. Mikoriza diaplikasikan dengan cara dicampur dengan tanah.

3.4.2. Metode penanaman

Metode penanaman yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Pembenihan dan penanaman

Untuk mempercepat perkecambahan biji, sebelum ditanam biji koro benguk direndam terlebih dulu dalam air selama 24 jam kemudian ditiriskan. Pembenihan dilakukan selama 1 minggu, untuk mendapatkan benih yang seragam. Setelah umur 1 minggu, benih dipindah ke dalam polibag dengan diisi benih 1 atau 2 biji / polibag.

2. Pemeliharaan

Penyulaman dilakukan secepatnya apabila pada awal tanam terlihat biji yang tidak tumbuh. Penyiangkan dilakukan pada saat tanaman berumur (30-42 hari) (Pandiangan, 2008). Sedangkan penyiraman dilakukan setiap hari. Ajir setinggi 1,5 meter dipasang sebagai media untuk merambat. Jarak antar polibag 30cm x 30cm. Tidak dilakukan pemupukan karena hasil dari

analisis dasar tanah, konsentrasi tanah telah dapat memenuhi kebutuhan tanaman koro benguk.

3.4.3. Parameter Pengamatan

Pengamatan dilakukan sebelum tanam, pengamatan tiap minggu hingga minggu ketujuh dan setelah tanam. Metode pengamatan dan waktu dilaksanakannya terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Pengamatan

ASPEK	PARAMETER	METODE	WAKTU (mst)
Tanah	pH	Gelas Elektroda 1:1	0 dan 7
	KTK	NH ₄ OAc pH 7	0
	P tersedia	Olsen	0
	N total	Kjeldahl	0
	C-organik	Walkey dan Black	0
	Tekstur	Pipet	0
	Kadmium	AAS	0 dan 7
Tanaman	Bobot kering tanaman	Ditimbang	7
	Kadmium	AAS	7
	Akar terinfeksi mikoriza	Pewarnaan <i>Trypan</i>	7
	<i>Glomus sp.</i>	<i>Blue</i>	

Keterangan : mst = minggu setelah tanam

Parameter pengamatan yang dilakukan yaitu :

1. Bobot kering tanaman

Bobot kering tanaman dilakukan pada saat setelah panen, setelah itu tanaman dikeringkan pada suhu 70 °C selama dua hari. Bobot kering diperoleh dengan menimbang tanaman yang telah dikeringkan sampai diperoleh berat yang konstan.

2. Analisis Kadmium

Analisis Kadmium pada tanaman dilakukan pada 7 mst. Analisis dilakukan pada akar, tajuk tanaman koro benguk, dan residu pada tanah.

3. Akar terinfeksi mikoriza

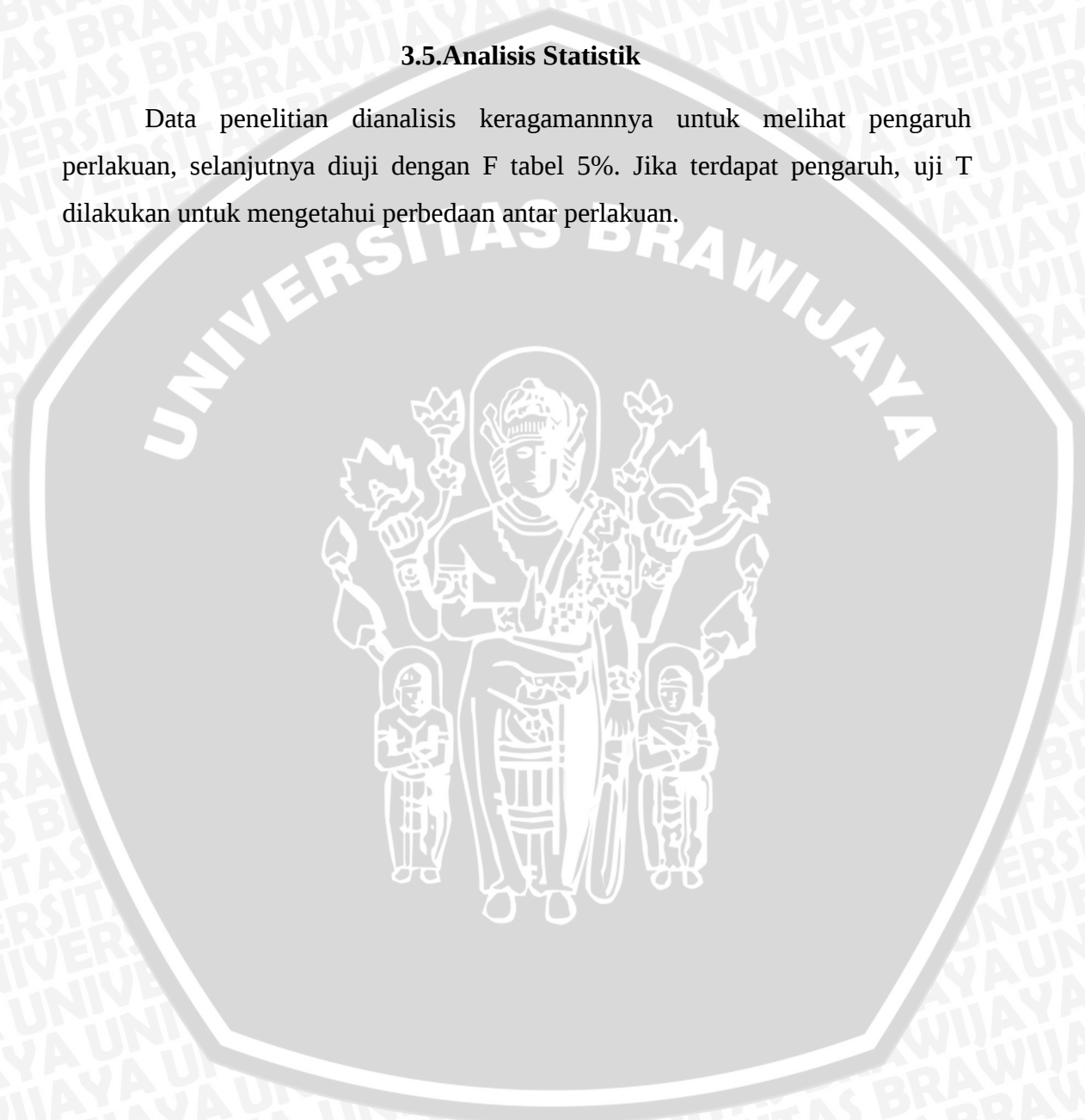
Perhitungan persen koloni mikoriza dilakukan dengan pengambilan secara acak potongan-potongan akar yang telah diwarnai sepanjang 1 cm. Potongan akar tersebut disusun dalam kaca objek. Satu kaca objek untuk 10 potong akar, Dihitung jumlah akar yang terinfeksi mikoriza dari 10 potong akar tersebut

dan diulangi hingga tiga kaca objek. Presentase akar yang terinfeksi dihitung berdasarkan rumus :

$$\text{Infeksi mikoriza} = \frac{\text{jumlah akar terinfeksi}}{\text{jumlah akar yang diamati}} \times 100\%$$

3.5. Analisis Statistik

Data penelitian dianalisis keragamannya untuk melihat pengaruh perlakuan, selanjutnya diuji dengan F tabel 5%. Jika terdapat pengaruh, uji T dilakukan untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Mikoriza *Glomus sp.* terhadap Berat Kering Tanaman

Berat kering tanaman merupakan salah satu parameter pertumbuhan tanaman. Akumulasi berat kering mencerminkan kemampuan tanaman dalam mengikat energi dari cahaya matahari melalui proses fotosintesis, serta interaksinya dengan faktor-faktor lingkungan lainnya. Distribusi akumulasi bahan kering pada bagian-bagian tanaman seperti akar, batang, daun dan bagian generatif, dapat mencerminkan produktivitas tanaman (Luqman, 2012).

Dari hasil sidik ragam, perlakuan penambahan jumlah tanaman koro benguk dan pemberian spora mikoriza *Glomus sp.* tidak memberikan pengaruh nyata (Lampiran 2). Berat kering tanaman koro benguk pada tiap perlakuan memiliki nilai yang hampir sama seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh Tanaman Koro Benguk dan Spora *Glomus sp.* terhadap Berat Kering Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*)

Perlakuan	Berat kering tanaman
Jumlah Tanaman	
1 Tanaman	78,34
2 Tanaman	91,23
Spora Mikoriza	
tanpa mikoriza	86,62
15 spora mikoriza	87,20
30 spora mikoriza	80,55

Berdasarkan tabel tersebut didapatkan bahwa berat kering tanaman koro benguk paling besar yaitu pada perlakuan 2 tanaman koro benguk + 15 spora *Glomus sp.* sebesar 105 g, kedua perlakuan 2 tanaman koro benguk + tanpa *Glomus sp.* 101,33 g, 1 tanaman koro benguk + 30 spora *Glomus sp.* 93,73 g, 1 tanaman koro benguk + tanpa *Glomus sp.* 71,9 g, 1 tanaman koro benguk + 15 spora *Glomus sp.* 69,4 g, dan yang terkecil 2 tanaman koro benguk + 30 spora *Glomus sp.* 67,37 g. Pemberian mikoriza masih kurang efektif dalam penelitian ini. Hal tersebut dikarenakan mikoriza berkerja kurang efektif dalam media tanam dengan konsentrasi nitrogen dan fosfor sedang (Lampiran 3). Pernyataan tersebut sesuai dengan Islami dan Utomo (1995) yang menyatakan bahwa ketersediaan hara

terutama nitrogen dan fosfor yang rendah akan mendorong pertumbuhan mikoriza, sebaliknya konsentrasi hara yang terlalu rendah atau terlalu tinggi menghambat pertumbuhan mikoriza. Tanaman yang mengalami kekurangan fosfor, permeabilitas membran sel akar akan meningkat sehingga banyak mengeluarkan eksudat akar. Keadaan ini mendukung terjadinya infeksi mikoriza. Sebaliknya apabila kebutuhan fosfor telah terpenuhi, permeabilitas membran sel akan menurun, hal ini mengurangi keluarnya eksudat akar sehingga dapat mengurangi terjadinya infeksi mikoriza dengan demikian laju penyerapan fosfor menjadi akan terhambat.

4.2. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Mikoriza *Glomus sp.* terhadap pH Tanah

Berdasarkan hasil sidik ragam, perlakuan mikoriza *Glomus sp.* Memberikan hasil yang berbeda nyata pada pH di minggu ke-7 (Lampiran 2). Pada perlakuan tanpa mikoriza didapatkan pH rata-rata 6,46, pada perlakuan dengan 15 spora mikoriza didapatkan pH rata-rata 6,54, dan pada perlakuan aplikasi mikoriza 30 spora didapatkan pH rata-rata 6,64 (Tabel 4). Perlakuan terbaik didapatkan pada pemberian mikoriza 30 spora. Namun, hasil tersebut hampir sama dengan perlakuan tanpa mikoriza dan dengan mikoriza 15 spora (Tabel 4).

Tabel 4. Pengaruh Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Spora *Glomus sp.* terhadap pH Tanah

Perlakuan	pH
Jumlah Tanaman	
1 Tanaman	6,51
2 Tanaman	6,58
BNT 5%	0,08
Spora Mikoriza	
tanpa mikoriza	6.46 a
15 spora mikoriza	6.54 a
30 spora mikoriza	6.64ab
BNT 5%	0,10

Keterangan : Bilangan yang ditandai huruf yang sama pada tiap kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%

pH tanah ialah salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikoriza. Menurut Atmaja (2001) dalam Sari (2012) *Glomus fasciculatus* berkembangbiak

pada pH masam. Peran *G. fasciculatus* didalam meningkatkan pertumbuhan pada tanah masam menurun akibat pengapuran. Pada pH 5,1 dan 5,9 *G. fasciculatus* menampakkan pertumbuhan yang terbesar, *G. fasciculatus* memperlihatkan pengaruh yang lebih besar terhadap pertumbuhan tanaman justru kalau pH 5,1.

4.3. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Mikoriza *Glomus sp.* terhadap Akar Terinfeksi Mikoriza

Berdasarkan hasil sidik ragam didapatkan bahwa penambahan jumlah tanaman koro benguk dan interaksi antara penambahan jumlah tanaman koro benguk dan akar terinfeksi mikoriza tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah akar terinfeksi mikoriza. Sedangkan penambahan spora *Glomus sp.* memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah akar terinfeksi mikoriza (Lampiran 2). Pada perlakuan tanpa mikoriza didapatkan 10 % akar terinfeksi mikoriza, perlakuan 15 spora mikoriza sebanyak 17,78 %, dan perlakuan yang paling baik yaitu 30 spora mikoriza sebanyak 19,44% (Tabel 5).

Tabel 5. Pengaruh Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Spora *Glomus sp.* terhadap Akar Terinfeksi Mikoriza

Perlakuan	Akar Terinfeksi Mikoriza (%)
Jumlah Tanaman	
1 Tanaman	15,19
2 Tanaman	16,30
BNT 5%	4,14
Spora Mikoriza	
tanpa mikoriza	10,00 a
15 spora mikoriza	17,78 b
30 spora mikoriza	19,44 b
BNT 5%	5,07

Keterangan : Bilangan yang ditandai huruf yang sama pada tiap kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%

Berdasarkan data tersebut dapat diperoleh bahwa penambahan 15 spora *Glomus sp.* menaikkan akar terinfeksi mikoriza 77,8% dibandingkan tanpa mikoriza. Prinsip kerja dari mikoriza adalah menginfeksi sistem perakaran tanaman inang, memproduksi jalinan hifa secara intensif sehingga tanaman yang terinfeksi mikoriza tersebut akan mampu meningkatkan kapasitas dalam penyerapan unsur hara (Smith dan Read, 1997). Banyak faktor biotik dan abiotik yang menentukan perkembangan mikoriza. Faktor-faktor tersebut antar lain suhu,

tanah, kadar air tanah, pH, bahan organik tanah, intensitas cahaya dan ketersediaan hara, logam berat dan fungisida (Atmaja, 2001 dalam Sari, 2012). Pada penelitian ini, tingkat infeksi mikoriza masih dalam kategori rendah (6% - 25%) (Setiadi *et al.*, 1992).

Pada tanah dengan tekstur lempung liat berdebu, memiliki tingkat konsentrasi nitrogen serta fosfor sedang (Lampiran 3), diduga membuat mikoriza sulit meninfeksi akar. Hal tersebut sesuai dengan Gardemann (1983) dalam Sari (2012) bahwa dalam intensitas cahaya yang tinggi, konsentrasi nitrogen atau fosfor rendah akan meningkatkan jumlah karbohidrat di dalam akar sehingga membuat tanaman lebih peka terhadap infeksi mikoriza. Derajat infeksi terbesar terjadi pada tanah-tanah yang mempunyai kesuburan yang rendah. Pertumbuhan perakaran tinggi jarang terinfeksi oleh mikoriza. Jika pertumbuhan dan perkembangan akar menurun infeksi mikoriza meningkat. Peran mikoriza yang erat dengan peyediaan P bagi tanaman menunjukkan keterikatan khusus antara mikoriza dan status P tanah. Pada wilayah beriklim sedang konsentrasi P tanah yang tinggi menyebabkan menurunnya infeksi mikoriza. Ketersediaan forfor dalam tanah akan menyebabkan permeabilitas membran sel akan menurun, yang menyebabkan keluarnya eksudat akar sehingga menurunkan infeksi mikoriza.

4.4. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Mikoriza *Glomus sp.* terhadap Serapan Logam Berat Kadmium

4.4.1. Serapan logam berat Kadmium pada tajuk tanaman koro benguk

Hasil analisis ragam serapan Kadmium pada tajuk tanaman koro benguk menunjukkan bahwa perlakuan pemberian mikoriza tidak memberikan pengaruh nyata terhadap serapan Kadmium pada tajuk. Sedangkan perlakuan tanaman koro benguk memberikan pengaruh nyata terhadap serapan logam Kadmium pada tajuk (Lampiran 2). Peningkatan jumlah tanaman meningkatkan serapan Kadmium pada tajuk sebesar 75,86% (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Spora *Glomus sp.* terhadap Serapan Kadmium pada Tajuk Tanaman Koro Benguk

Perlakuan	Serapan Kadmium pada Tajuk (ppm)
Jumlah Tanaman	
1 Tanaman	0,68 a
2 Tanaman	1,19 b
BNT 5%	0,50
Spora Mikoriza	
tanpa mikoriza	1,16
15 spora mikoriza	0,72
30 spora mikoriza	0,92
BNT 5%	0,61

Keterangan : Bilangan yang ditandai huruf yang sama pada tiap kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%

Hal tersebut menunjukkan bahwa pada tanaman koro benguk terjadi proses fitoekstraksi/fitoakumulasi. Akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan (Mangkoedihardjo, 2005). Dengan berat kering yang lebih tinggi pada perlakuan dengan 2 tanaman, menunjukkan proses fotosintesis yang lebih tinggi dibandingkan dengan 1 tanaman. Fotosintesis yang lebih tinggi akan memberikan translokasi Kadmium yang lebih tinggi sehingga serapan Kadmium pada 2 tanaman/polybag tinggi.

4.4.2. Serapan Logam Berat Kadmium pada Akar

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa menambahkan jumlah tanaman koro benguk ataupun penambahan spora *Glomus sp.* memberikan pengaruh yang tidak nyata terhadap serapan logam Kadmium pada akar tanaman koro benguk (Lampiran 2). Sedangkan interaksi antara jumlah tanaman koro benguk dan jumlah spora *Glomus sp.* memberikan pengaruh nyata terhadap serapan Kadmium pada akar tanaman koro benguk (Lampiran 2).

Mineral Kadmium dalam tanah antara lain CdO , CdCO_3 , $\text{Cd}(\text{PO}_4)_2$, dan CdCl_2 . Pada media tanam ini, mineral Cd^{2+} akan berikatan dengan air, membentuk larutan Kadmium yang lebih pekat ($\text{Cd}_2\text{OH}^{3+}$) dan H^+ . Larutan Kadmium tersebut dapat dipertukarkan, bila Kadmium terabsorpsi permukaan lempung (Montazeri *et al.*, 2010). Senyawa tersebut yang kemudian dapat berikatan dengan ion negatif

yang berada pada akar tanaman. Serapan Kadmium pada akar tiap perlakuan memiliki nilai seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengaruh Interaksi Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Spora *Glomus sp.* terhadap Serapan Kadmium pada Akar Tanaman Koro Benguk

Jumlah Tanaman	Spora Mikoriza		
	tanpa spora (ppm)	15 spora (ppm)	30 spora (ppm)
1 tanaman	1,90 b	0,65 a	0,96 a
2 tanaman	1,14 a	1,32 a	1,62 a
BNT 5%		0,80	

Keterangan : Bilangan yang ditandai huruf yang sama pada tiap kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%

Penambahan spora mikoriza memberikan pengaruh terhadap perlakuan dengan jumlah tanaman koro benguk 1, sedangkan perlakuan jumlah tanaman koro benguk tidak memberikan pengaruh terhadap jumlah spora mikoriza. Pengaruh tersebut hanya terlihat pada perlakuan dengan 1 tanaman koro benguk. Serapan Kadmium paling rendah pada perlakuan 1 tanaman koro benguk + 15 spora *Glomus sp* yaitu sebesar 0,65 ppm, kemudian 1 tanaman koro benguk + 30 spora *Glomus sp* sebesar 0,96 ppm, dan 1 tanaman koro benguk + tanpa *Glomus sp* sebesar 1,90 ppm. Perlakuan yang paling baik didapatkan pada 1 tanaman koro benguk + tanpa *Glomus sp*. Jumlah tersebut lebih rendah dibandingkan dengan serapan logam berat pada perlakuan dengan 2 tanaman koro benguk.

4.4.3. Residu Logam Berat Kadmium pada Tanah

Pada perlakuan jumlah tanaman koro benguk, penambahan jumlah tanaman koro benguk menaikkan jumlah Kadmium dalam tanah sebesar 14,88%, yaitu dari 0,52 ppm pada 1 tanaman koro benguk dan 0,59 ppm pada 2 tanaman koro benguk (Tabel 8).

Tabel 8. Pengaruh Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Spora *Glomus sp.* terhadap Residu Kadmium pada Tanah

Perlakuan	Konsentrasi Kadmium pada Tanah (ppm)
Jumlah Tanaman	
1 Tanaman	0,52 a
2 Tanaman	0,59 b
BNT 5%	0,05
Spora Mikoriza	
tanpa mikoriza	0,56 ab
15 spora mikoriza	0,52 a
30 spora mikoriza	0,59 b
BNT 5%	0,06

Keterangan : Bilangan yang ditandai huruf yang sama pada tiap kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%

Pada penelitian ini, tingkat infeksi mikoriza masih dalam kategori rendah (6-25%). Pemberian spora mikoriza yang kurang efektif pada tanah dengan kadungan nitrogen dan fosfor sedang. Tingkat infeksi mikoriza yang rendah menyebabkan hasil residu Kadmium yang tidak jauh berbeda. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 8, yaitu pada perlakuan 30 spora mikoriza memiliki konsentrasi Kadmium yang hampir sama dengan perlakuan tanpa mikoriza. Namun, pemberian 15 spora mikoriza memberikan hasil yang lebih baik dalam menurunkan residu Kadmium dalam tanah yaitu sebesar 0,52 ppm (55,87 %).

Hasil yang didapat dari interaksi antara jumlah tanaman koro benguk dan pemberian spora mikoriza memberikan pengaruh nyata terhadap residu Kadmium dalam tanah. Perlakuan jumlah tanaman koro benguk mempengaruhi perlakuan jumlah spora. Begitu pula sebaliknya, perlakuan penambahan spora mikoriza mempengaruhi perlakuan jumlah tanaman koro benguk. Pada perlakuan dengan jumlah tanaman 1, pemberian 15 spora *Glomus sp.* (0,44 ppm) memberikan hasil terbaik dalam mengurangi residu Kadmium dalam tanah. Namun hasil tersebut hampir sama dengan perlakuan 30 spora (0,48 ppm). Perlakuan tanpa mikoriza menghasilkan residu Kadmium yang lebih tinggi dan berbeda dengan kedua perlakuan lainnya. Pada perlakuan dengan 2 tanaman koro benguk, hasil terbaik didapatkan pada pemberian tanpa *Glomus sp.* (0,63 ppm) yang berbeda nyata dengan kedua perlakuan lainnya.

Pada perlakuan 15 spora dan 30 spora, pemberian 1 tanaman koro benguk memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan 2 tanaman koro benguk. Namun pada perlakuan tanpa hasil yang lebih baik ditunjukkan pada perlakuan dengan 2 tanaman koro benguk (Tabel 9). Konsentrasi Kadmium dalam tanah, dipengaruhi oleh serapan Kadmium pada akar dan Kadmium yang telah ditranslokasikan pada tajuk tanaman. Hal tersebut dapat dilihat pada perlakuan dengan hasil serapan Kadmium yang tinggi pada akar, akan menunjukkan hasil yang lebih rendah pada residu Kadmium pada tanah.

Tabel 9. Pengaruh Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dan Spora *Glomus sp.* terhadap Residu Kadmium pada Tanah

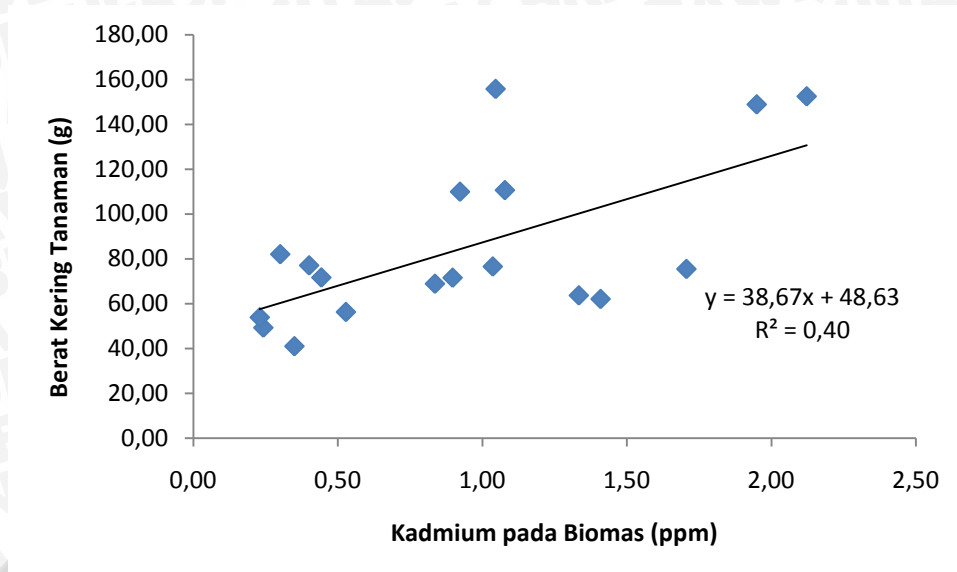
Jumlah Tanaman	Spora Mikoriza		
	tanpa spora (ppm)	15 spora (ppm)	30 spora (ppm)
1 tanaman	0,63 b B	0,44 a A	0,48 a A
2 tanaman	0,49 a A	0,59 b B	0,70 b C
BNT 5%	0,08		

Keterangan : Bilangan yang ditandai huruf besar pada arah horizontal yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%. Huruf kecil pada arah vertikal yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%

4.5. Hubungan antar Parameter yang Diamati

4.5.1. Hubungan antara Berat Kering Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dengan Serapan Kadmium pada Tajuk

Hubungan antara berat kering tanaman dan serapan Kadmium pada tajuk tanaman memiliki hubungan yang erat dengan nilai $r = 0,65$ (Lampiran 4). Kenaikan nilai berat kering tanaman akan diikuti dengan kenaikan nilai serapan Kadmium pada biomas. Kedua parameter tersebut memiliki regresi rendah (Lampiran 4) dengan persamaan $y=0,0104x+0,0495$. Faktor (x) ialah berat kering tanaman, sedangkan (y) ialah serapan Kadmium pada biomas (Gambar 1).

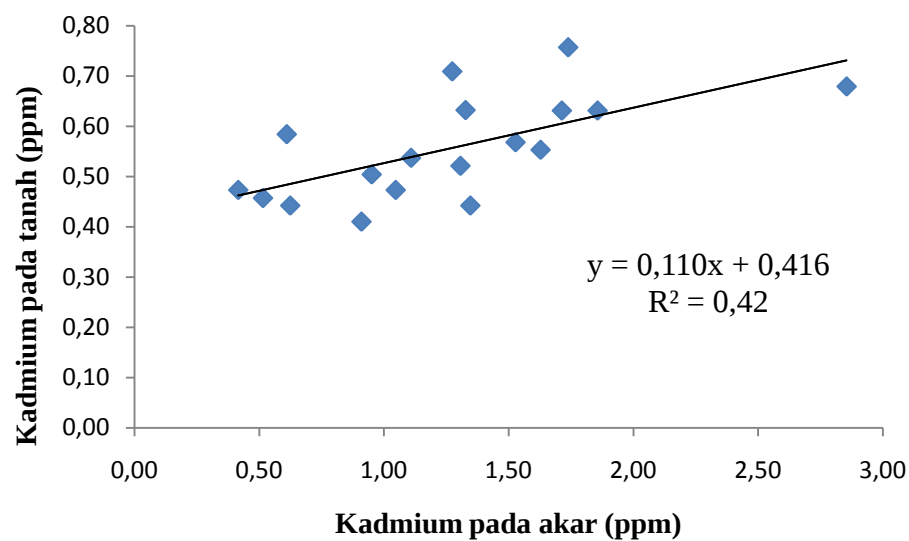


Gambar 1. Hubungan antara berat kering tanaman terhadap serapan Kadmium pada tajuk tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*)

Berat kering tanaman mencerminkan kemampuan tanaman dalam mengikat energi dari cahaya matahari melalui proses fotosintesis (Luqman, 2012). Pada proses fotosintesis, selain unsur hara yang dibutuhkan tanaman, Kadmium yang terdapat pada tanah ikut terangkut. Sehingga semakin tinggi proses fotosintesis yang terjadi, maka akan semakin tinggi juga serapan Kadmium pada biomas.

4.5.2. Hubungan antara Serapan Kadmium pada Akar Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dengan Konsentrasi Kadmium pada Tanah

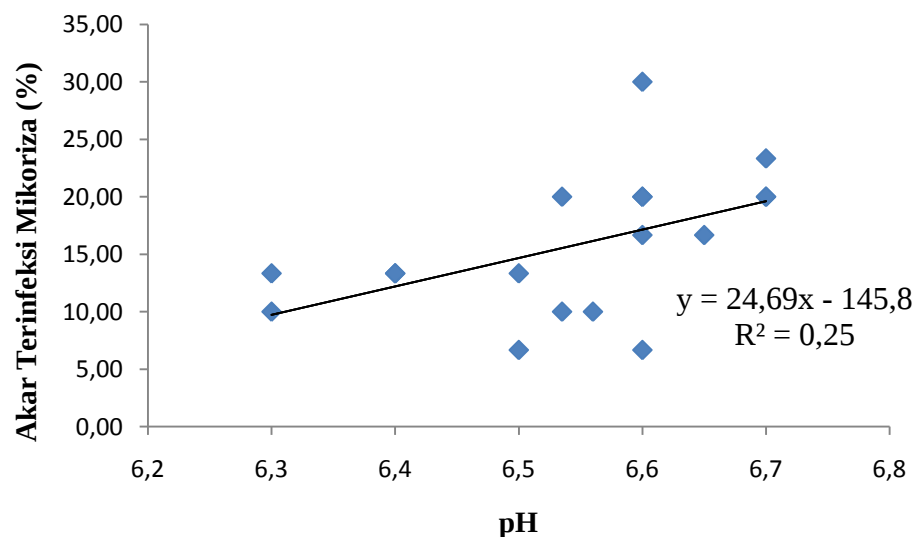
Serapan Kadmium pada akar tanaman koro benguk dan residu Kadmium pada tanah memiliki hubungan erat dengan nilai $r = 0,65$ (Lampiran 4). Kenaikan serapan Kadmium pada akar juga diikuti kenaikan konsentrasi Kadmium pada tanah. Persamaan antara kedua fakyor tersebut yaitu, $y = 0.1103x + 0.4162$, dengan faktor (x) serapan Kadmium pada akar dan (y) residu Kadmium pada tanah (Gambar 2).



Gambar 2. Hubungan antara serapan Kadmium pada akar terhadap serapan Kadmium pada biomas tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*)

4.5.3. Hubungan antara pH Tanah dengan Akar Terinfeksi Mikoriza

pH tanah dan akar terinfeksi mikoriza memiliki hubungan yang sedang dengan nilai $r = 0.51$ (Lampiran 4) serta memiliki rumus $y = 24.698x - 145.87$ (Gambar 3).



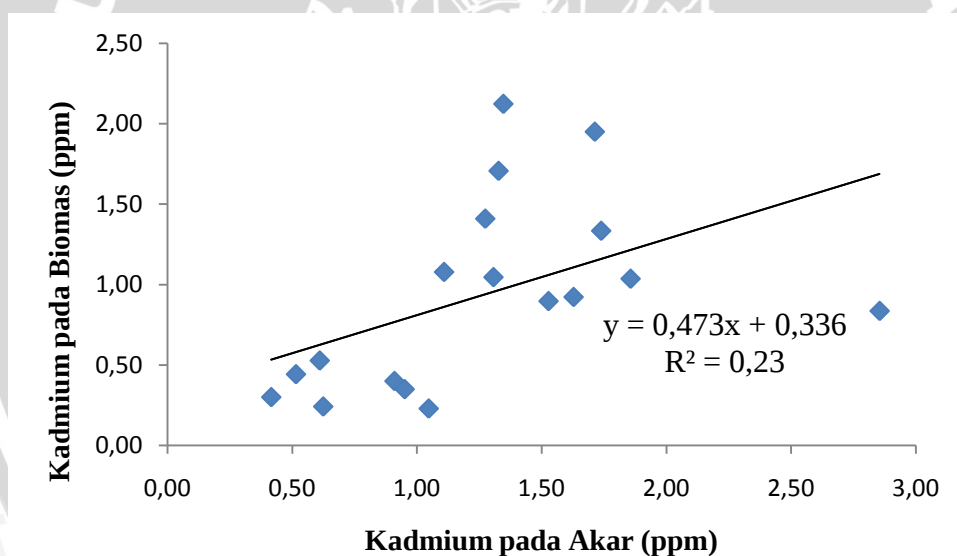
Gambar 3. Hubungan antara pH tanah terhadap akar terinfeksi mikoriza *Glomus sp.*

pH tanah ialah salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikoriza (Atmaja, 2001 dalam Sari, 2012). Berikut merupakan grafik hubungan antara pH tanah dengan akar terinfeksi mikoriza.

4.5.4. Hubungan antara Serapan Kadmium pada Akar dengan Serapan Kadmium pada Biomas Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*)

Serapan Kadmium pada akar dan Korelasi kelima antara serapan Kadmium pada akar dan serapan Kadmium pada biomas memiliki nilai 0,44 (Lampiran 4). Kedua parameter tersebut memiliki regresi tingkat rendah dengan rumus $y=0.4732x+0.3367$ (Lampiran 5).

Hasil tersebut diduga karena terjadi proses fitoekstraksi pada tanaman koro benguk. Kadmium yang diserap oleh akar selanjutnya di translokasikan ke dalam organ tanaman.

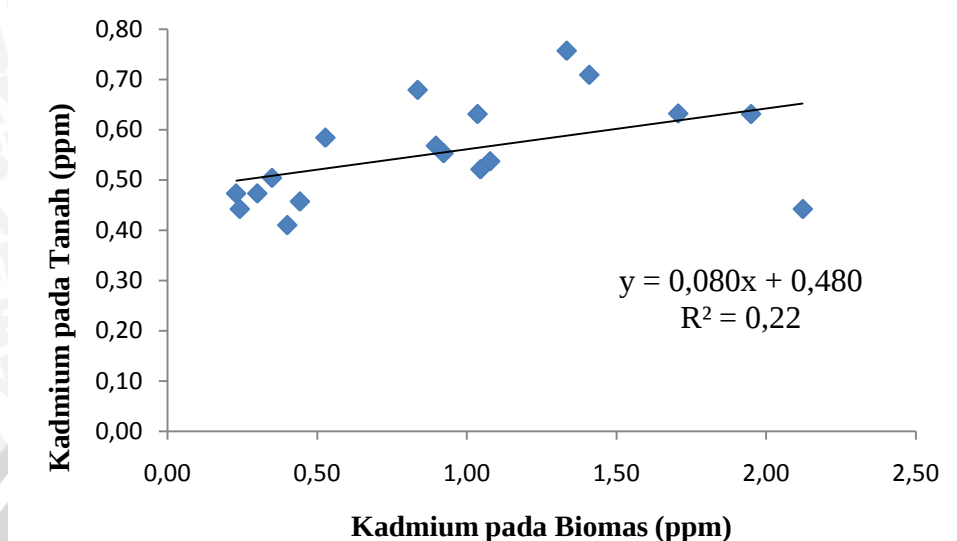


Gambar 4. Hubungan antara serapan Kadmium pada akar terhadap serapan Kadmium pada biomas tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*)

4.5.5. Hubungan antara Serapan Kadmium pada Biomas Tanaman Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) dengan Residu Kadmium pada Tanah

Serapan Kadmium pada akar tanaman koro benguk dan residu Kadmium pada tanah memiliki hubungan erat dengan nilai $r = 0,45$ (Lampiran 4). Kenaikan serapan Kadmium pada akar juga diikuti kenaikan konsentrasi Kadmium pada tanah. Persamaan antara kedua faktor tersebut yaitu, $y=0.0809x+ 0.4801$, dengan

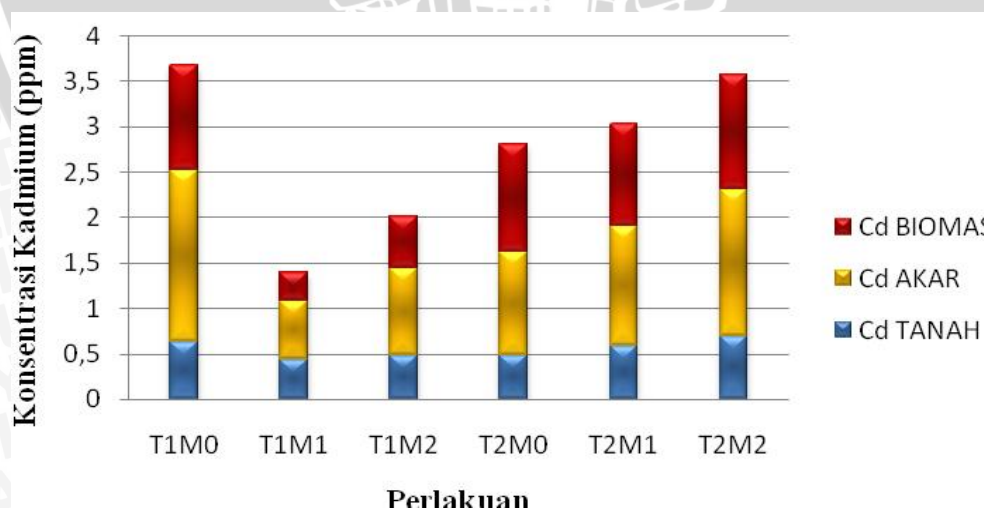
faktor (x) serapan Kadmium pada tajuk dan (y) residu Kadmium pada tanah (Gambar 5).



Gambar 5. Hubungan antara serapan Kadmium pada biomass tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*) terhadap residu Kadmium pada tanah

4.6. Pembahasan Umum

Perlakuan jumlah tanaman koro benguk dan pemberian spora mikoriza dapat membantu mengurangi konsentrasi Kadmium dalam tanah. Hal tersebut dapat dilihat dari berkurangnya konsentrasi residu Kadmium pada tanah. Berikut grafik yang menunjukkan serapan Kadmium dan residu pada tiap perlakuan (Gambar 6) :



Gambar 6. Serapan Kadmium pada biomass tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*) dan residu Kadmium pada tanah

Pelakuan jumlah tanaman koro benguk dan pemberian spora mikoriza secara umum tidak memberikan pengaruh nyata terhadap faktor pertumbuhan tanaman, hal tersebut didasarkan pada parameter serta berat kering tanaman yang memiliki hasil yang tidak berbeda nyata pada tiap perlakuan. Hal tersebut dikarenakan kurang optimalnya mikoriza dalam membantu meningkatkan ketersediaan hara. Pada tanah dengan tekstur lempung liat berdebu, memiliki tingkat konsentrasi nitrogen serta fosfor sedang, membuat mikoriza sulit menginfeksi akar (Islami dan Utomo, 1995). Penambahan jumlah tanaman menurunkan hasil panjang tanaman dan jumlah daun, sedangkan pada berat kering tanaman menunjukkan hasil yang lebih tinggi.

Perlakuan jumlah tanaman memberikan pengaruh nyata terhadap penyerapan logam berat Kadmium. Hal tersebut ditunjukkan dengan jumlah logam Kadmium yang diserap akar, biomas tanaman serta yang tersisa pada tanah. Pada perlakuan dengan jumlah tanaman 2, akar lebih efektif dalam menyerap Kadmium karena proses fotosintesis yang berjalan lebih tinggi pada 2 tanaman. Proses translokasi logam Kadmium lebih efektif pada perlakuan dengan jumlah tanaman 2. Hal tersebut dibuktikan dengan lebih tingginya berat kering tanaman serta serapan Kadmium pada biomas perlakuan tersebut. Namun, residu Kadmium dalam tanah lebih kecil pada perlakuan dengan jumlah tanaman 1 dengan perlakuan terbaik pada 1 tanaman koro benguk dan 0 spora mikoriza. Diduga ada penambahan konsentrasi Kadmium yang berasal dari air yang digunakan selama penyiraman sehingga penurunan residu Kadmium dalam tanah tidak sesuai dengan serapan Kadmium pada tanaman. Hal tersebut dikarenakan air yang digunakan berasal dari air sumur yang berada di sekitar rumah kaca. Sejarah lahan di sekitar rumah kaca, sebelumnya ditanami berbagai macam tumbuhan yang digunakan untuk penelitian dengan penggunaan pupuk kimia secara terus menerus. Penggunaan pupuk fosfor dan pupuk kandang secara terus menerus dapat meningkatkan konsentrasi Kadmium dalam tanah yang selanjutnya dapat mencemari air tanah (Moore, 1990). Dalam penelitian ini, tidak dilakukan analisis Kadmium pada air sumur yang digunakan, sehingga tidak diketahui konsentrasi Kadmium dalam tanah.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pada lahan sawah tercemar limbah pabrik di daerah Sepanjang, Sidoarjo, Jawa Timur didapatkan tingkat kontaminasi logam berat Kadmium sebesar 1 ppm dan tergolong dalam kriteria terkontaminasi sangat parah.
2. Penambahan 2 tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*) menurunkan 66,67% serapan logam Kadmium (Kadmium) pada akar dan meningkatkan 75,86% serapan logam Kadmium (Kadmium) pada tajuk tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*).
3. Penambahan 30 spora mikoriza *Glomus sp.* meningkatkan 77,8% akar terinfeksi mikoriza. Namun, tidak berpengaruh terhadap serapan Kadmium dalam akar dan biomas tanaman koro benguk, maupun konsentrasi Kadmium yang tersisa dalam tanah.
4. Kombinasi penambahan 1 tanaman koro benguk (*Mucuna pruriens*) dan penambahan 15 spora mikoriza *Glomus sp.* efektif meningkatkan serapan Kadmium pada tanaman sehingga menurunkan konsentrasi Kadmium yang tersisa dalam tanah hingga 56% menjadi 0,44 ppm.

5.2. Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut pada penggunaan mikoriza *Glomus sp.* dengan menggunakan berbagai jenis media tanam dan dengan dosis yang lebih beragam.
2. Perlu diadakan analisis bahan tambahan yang digunakan pada saat perawatan tanaman.
3. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengekstraksi Kadmium pada tanaman agar residu tanaman dapat dikembalikan ke alam tanpa menyebabkan pencemaran.

DAFTAR PUSTAKA

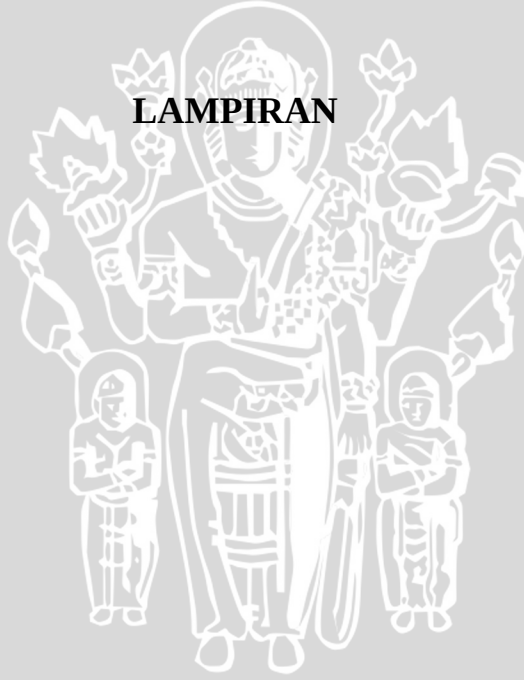
- Adi, Abdurachman. 2003. Degradasi Tanah Pertanian Indonesia Tanggung Jawab Siapa?. Tabloid Sinar Tani. 3: 1-3
- Adisarwanto, T. dan Riwanodja. 1998. Edamame. Balitkabi. Malang.
- Anonymous. 2004. Mengapa Logam Berat Menjadi Ancaman?. Majalah Pusat Teknologi Limbah Cair 10:10-15
- Armiadi. 2009. Penambatan Nitrogen secara Biologis pada Tanaman Leguminosa. Wartazoa. 30:23-30
- Ernawati, Diah. 2014. Kadmium (Kadmium) dan Ununbium (Uub). Available at <http://dyahernawati.wordpress.com/2014/01/08/Kadmium-Kadmium-ununbium-uub/>. Verified 13 Juni 2014
- Hidayat. 1992. Morfologi Tanaman Kedelai. BPPP. Bogor
- Hindersah, Reginawati dkk. 2004. Akumulasi Pb dan Kadmium pada Buah Tomat yang Ditanam di Tanah Mengandung Lumpur Kering dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik. 47-56. *Dalam* Mitra Hutan Tanaman. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bogor
- Islami, T. dan W. H. Utomo, 1995. Hubungan Tanah, Air dan Tanaman. IKIP Semarang Press, Semarang.
- ITRC. 2001. Phytotechnology Technical dan Regulatory Guidance Document. United States Department of Energi, New York
- Junaidi, Wawan. 2004. Faktor yang Mempengaruhi Perkembangan CMA (Mikoriza Arbuskular) (Online). <http://wawan-junaidi.blogspot.com/2010/01/faktor-yang-mempengaruhi-perkembangan.html>. diakses tanggal 13 Juni 2014
- Khatimah, Husnul. 2006. Perubahan Konsentrasi Timbal Dan Cadmium Akibat Perlakuan Pupuk Organik Dalam Sistem Budi Daya Sayuran Organik. Sripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Lacatusu. 2013. Appraising levels of soil contamination and pollution with heavy metals. Research Institute for Soil Science and Agrochemistry, Bd. Marasti 61, RO-71331, Romania
- Liong, Syarifuddin. 2012. Mekanisme Fitoakumulatif Spesies Kadmium(Ii), Cr(Vi) dan Pb(Ii) pada Kangkung Darat (Ipomoea Reptans Poir). Skripsi. Universitas hasanudin, Makassar

- Luqman, 2012. Parameter Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman. Available at <http://luqmanmaniabgt.blogspot.com/2012/07/parameter-pertumbuhan-dan-perkembangan.html>. Verified tanggal 15 Juni 2014
- Mangkoedihardjo, Sarwoko. 2005. Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah. 9: 4-6
- McWilliams, D.A., D.R. Berglund, dan G.J. Endres. 1999. Soybean Growth dan Management Quick Guide. North Dakota University, Dakota. 8:5-6
- Montazeri, Aditya H, Befi Rusmina Dewi, Khairunnisa, M. Sadiqul Iman. 2010. Cemaran Logam Berat Kadmium (Kadmium) dalam Tanah dan Akibatnya bagi Kesehatan Manusia. Skripsi. Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru
- Moore, J.W. 1990. *Inorganic contaminants of Surface water research and monitoring priorities*. Springer Verlag
- Naryaningsih, Agustien. 2005. Keefektifan *Bacillus cereus* (Frankland dan Frankland) ATCC 11778 (Bakteri Gram Positif) dan *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) ATCC 27853 (Bakteri Gram Negatif) sebagai Bioaktifator Cadmium. Tesis. Universitas Diponegoro, Semarang
- Pandiangan, Sakti PC. 2008. Evaluasi Koro Benguk (*Mucuna pruriens*) sebagai Revegetasi Tanaman Pasca Penambangan Batubara Kalimantan Timur. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Pence, Nicole S., Paul B. Larsen, Stephen D. Ebbs, Deborah L.D. Letham, Mitch M. Lasat, David F. Garvin, David Eide dan Leon V. Kochlan, 2000. The Molecular Physiology of Heavy Metal Transport in the Zn dan Kadmium Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Proceedings of the National Academy of Sciences. www.pnas.org. Diakses tanggal 20 Mei 2012
- Priyanto, Budh dan J Prayitno. 2006. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat. Available at <http://lfl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm>. Verified 28 Mei 2012
- Purwantari dan Sutedi. 2005. Respon Inokulasi Strain Mutan *Rhizobia* pada *Callidandra calothyrsus*. Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner 10(3): 182-189.
- Quilambo. 2003. Simbiosis Mikoriza Vesicular Arbuscular. African Journal of Biotechnology Vol. 2 (12), pp 539-546
- Rascio, N., F.D. Vecchia, M.Ferretti, L.Merlo, dan R.Ghisi. 1993. Some of effects of cadmium on maize plants. Arch.environ. Contam. Toxicol. 25 : 244 – 249. Diakses tanggal 28 Mei 2012
- Santoso, Erdy, Maman Turjaman, dan Ragil SB Irianto. 2007. Aplikasi Mikoriza untuk Meningkatkan Kegiatan Rehabilitasi Hutan dan Lahan Terdegradasi. 71-80. Dalam Ekspose Hasil – Hasil Penelitian.

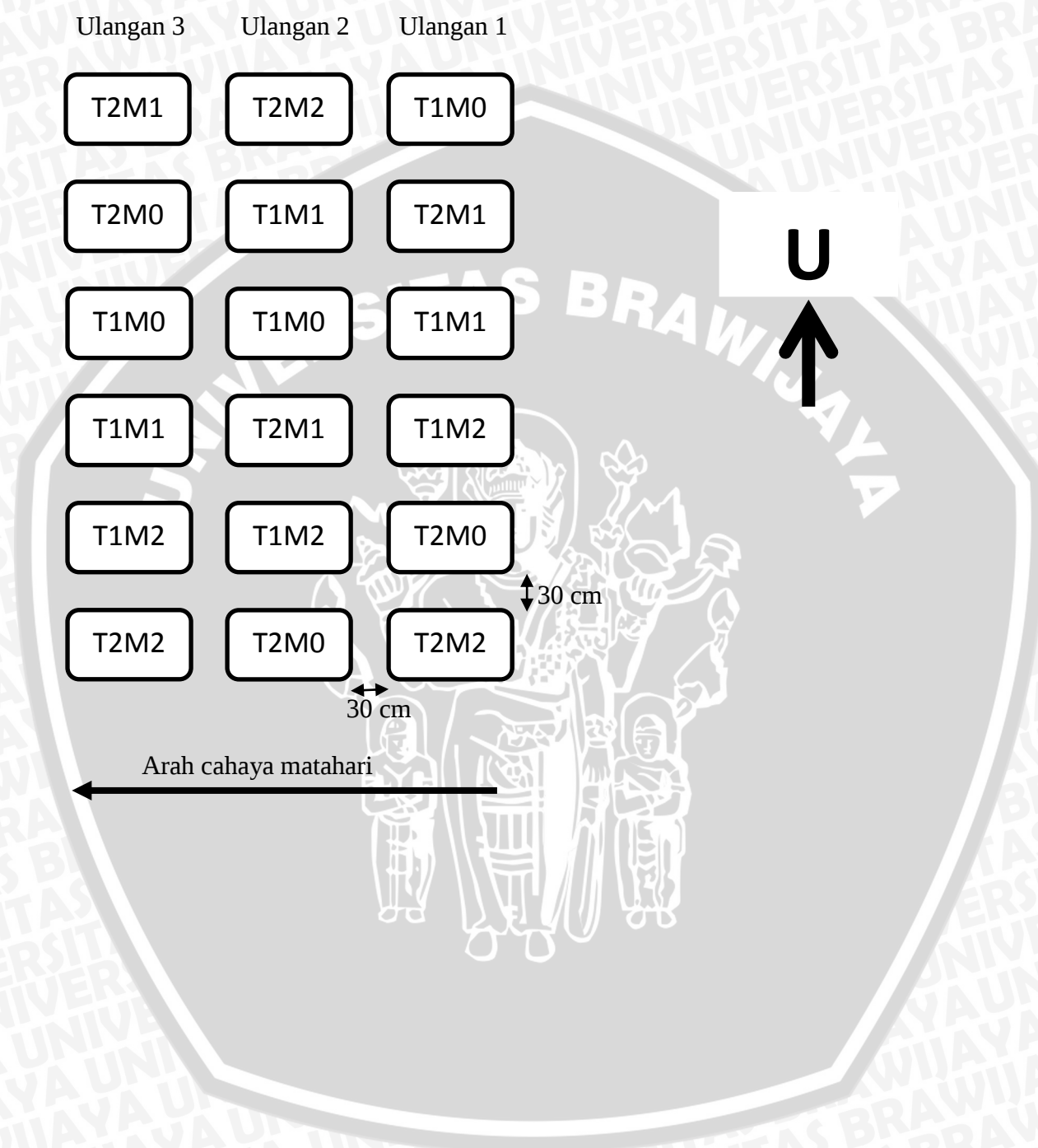
- Santoso, Suci Normaliani. 2013. Penggunaan Tumbuhan sebagai Pereduksi Pencemaran. Skripsi. Institut Teknologi 10 November, Surabaya
- Saputra, Hadi , Rizalinda , dan I. Lovadi. 2015. Jamur Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) pada Perakaran Tanaman Bawang Mekah (*Eleutherine americana* Merr.) Protobiont (2015) Vol. 4 (1) : 143-150
- Sari, Ambar Wulan. 2012. Mikoriza (Interaksi Jamur dengan Akar Tanaman). Available at <http://wulan-berbagi-ilmu.blogspot.com/2012/02/mikoriza.html>. Verified 17 Juli 2014
- Setiadi, Y., I. Masur, S.W. Budi dan Achmad. 1992. Petunjuk Laboratorium Mikrobiologi Tanah Hutan. Pusat Antar Universitas Bioteknologi. Institut Pertanian Bogor.
- Sieverding E. 1991. Vesikular-arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystem. Technical Cooperation. Jerman
- Smith, dan Read. 1997. Micorrhiza Symbiosis. Academic Press. California
- Staff, O. 2002. Soybeans : Growth Stages. <http://www.omafra.gov.on.ca> diakses 18 September 2013
- Staples, GW., dan CR. Elevitch. 2006. Samanea saman (trembesi), ver 2.1. In: C.R. Elevitch (ed). Species Profiles for Pasific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawai. <http://www.traditionaltree.org>
- Sugdana, Husein, Antonius Kasno, dan Bambang Hendro Prasetyo. 2006. Batas Kritis Merkuri dan Cadmium pada Typic Dystrudepts dan Typic Hapluderts untuk Padi Sawah. *Dalam Abstrak Jurnal Tanah dan Iklim*.
- Sugiyono, 2007. Statistika untuk Penelitian. CV. Alfabeta. Bdanung
- Sukma, Nindyar Harumi. 2006. Pengujian Efektivitas Inokulum Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) dengan Media Tanam dan Tanaman Inang Berbeda pada Rumput *Brachiaria Humidicola*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Szymezyk, K. dan Zalewski. 2003. Copper, zinc, dan cadmium content in liver dan muscles of Mallards dan other hunting Fowl species in Warnia dan Mazury in 1999 – 2000. Polish Journal of Environmental Studies. 12 (3) : 382 – 386.
- Widyati, Enny. 2011. Potensi Tumbuhan Bawah sebagai Akumulator Log Berat untuk Membantu Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang. Mitra Hutan Tanaman. 6 (2) : 46-56

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



Lampiran 1. Gambar Denah Percobaan



Lampiran 2. Analisis Varian Pengaruh Perlakuan terhadap Parameter

1. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk dan Mikoriza terhadap Berat Kering Tanaman

SK	db	JK	KT	F HITUNG	F TABEL	
					5%	1%
Ulangan	2	10117,31	5058,65			
Perlakuan	5	4406,06	881,21			
Tanaman	1	747,56	747,56	1,23 ^{tn}	4,75	9,33
Mikoriza	2	162,73	81,37	0,13 ^{tn}	3,88	6,93
T × M	2	3495,77	1747,88	2,88 ^{tn}	3,88	6,93
Galat	12	7281,25	606,77			
Total	17	21804,62				

2. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk dan Mikoriza terhadap pH

SK	Db	JK	KT	F HITUNG	F TABEL	
					5%	1%
Ulangan	2	0,04	0,02			
Perlakuan	5	0,15	0,03			
Tanaman	1	0,02	0,02	3,54 ^{tn}	4,75	9,33
Mikoriza	2	0,10	0,05	8,25*	3,88	6,93
T × M	2	0,07	0,02	3,16 ^{tn}	3,88	6,93
Galat	12	0,07	0,01			
Total	17	0,27				

3. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk dan Mikoriza terhadap Akar Terinfeksi Mikoriza

SK	db	JK	KT	F HITUNG	F TABEL	
					5%	1%
Ulangan	2	34,57	17,28			
Perlakuan	5	410,49	82,10			
Tanaman	1	5,56	5,56	0,34 ^{tn}	4,75	9,33
Mikoriza	2	304,94	152,47	9,38**	3,88	6,93
T × M	2	100,00	50,00	3,08 ^{tn}	3,88	6,93
Galat	12	195,06	16,26			
Total	17	640,12				

Lampiran 2. (lanjutan)

4. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk dan Mikoriza terhadap Serapan Logam Berat Kadmium pada Tajuk

SK	db	JK	KT	F HITUNG	F TABEL	
					5%	1%
Ulangan	2	0,80	0,40			
Perlakuan	5	2,30	0,46			
Tanaman	1	1,20	1,19	5,12*	4,75	9,33
Mikoriza	2	0,59	0,29	1,26 ^{tn}	3,88	6,93
T × M	2	0,53	0,26	1,13 ^{tn}	3,88	6,93
Galat	12	2,79	0,23			
Total	17	5,89				

5. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk dan Mikoriza terhadap Serapan Logam Berat Kadmium pada Akar

SK	db	JK	KT	F HITUNG	F TABEL	
					5%	1%
Ulangan	2	0,42				
Perlakuan	5	3,08				
Tanaman	1	0,16	0,16	0,79 ^{tn}	4,75	9,33
Mikoriza	2	0,87	0,43	2,14 ^{tn}	3,88	6,93
T × M	2	2,06	1,03	5,07*	3,88	6,93
Galat	12	2,43	0,20			
Total	17	5,93				

6. Pengaruh Jumlah Tanaman Koro Benguk dan Mikoriza terhadap Serapan Logam Berat Kadmium pada Tanah

SK	db	JK	KT	F HITUNG	F TABEL	
					5%	1%
Ulangan	2	0,00	0,00			
Perlakuan	5	0,15	0,03			
Tanaman	1	0,03	0,03	12,87**	4,75	9,33
Mikoriza	2	0,02	0,01	4,21 *	3,88	6,93
T × M	2	0,10	0,05	24,52**	3,88	6,93
Galat	12	0,03	0,00			
Total	17	0,17				

Lampiran 3. Analisis Dasar Media Tanam

Variabel	Nilai	Satuan	Kategori
Kadmium	1	ppm	Terkontaminasi sangat parah
pH	6,7		Netral
C - Organik	2,74	%	Tinggi
Bahan Organik	4,63	%	Tinggi
N total	0,40	%	Sedang
P tersedia	12,95	ppm	Sedang
C/N Rasio	8,325		Rendah
KTK	31,87	me/100g	Tinggi
Tekstur			Lempung liat berdebu
Pasir	1,97	%	
Debu	62,01	%	
Liat	36,02	%	

Sumber : Ladon (1984); Lacatusu (2013)

Tingkat Kontaminasi Kadmium pada Tanah

Konsentrasi Cd	Tingkat Kontaminasi
< 0.1 ppm	Sangat ringan
0.10 - 0.25 ppm	Ringan
0.26 - 0.50 ppm	Sedang
0.51 - 0.75 ppm	Parah
0.76 - 1.00 ppm	Sangat parah

Sumber : Lacatusu (2013)

Lampiran 4. Korelasi Antar Parameter

Tabel Korelasi antar Perlakuan

Parameter	Akar terinfeksi	Berat kering Tanaman	Kadmium pada akar	Kadmium pada biomas	Kadmium pada Tanah
Akar terinfeksi	1				
Berat kering Tanaman	0,23	1			
Kadmium pada akar	0,05	0,21	1		
Kadmium pada biomas	-0,01	0,65**	0,44*	1	
Kadmium pada Tanah	0,15	-0,10	0,65**	0,45*	1
pH	0,50*	0,07	-0,12	0,07	0,13

Keterangan : Bilangan yang diikuti dengan (*), memiliki korelasi sedang; bilangan yang diikuti dengan (**), memiliki korelasi kuat; Bilangan dengan tanda negative (-), memiliki korelasi yang berbanding terbalik

Lampiran 5. Tabel Kriteria Korelasi dan Regresi

1. Tabel kriteria korelasi

R	Kelas
0,00 – 0,19	Sangat rendah
0,20 – 0,39	Rendah
0,40 – 0,59	Sedang
0,60 – 0,79	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat kuat

Sumber : Sugiyono, 2007

2. Tabel kriteria regresi

R²	Kelas
<0,10	Buruk
0,11 – 0,3	Rendah
0,31 – 0,5	Cukup
>0,50	Tinggi
1	Sempurna

Sumber : Sugiyono, 2007

Lampiran 6. Gambar Lahan tercemar Kadmium



Limbah Pabrik Mengandung
Kadmium
(Dokumentasi pribadi)



Lahan Sawah Tercemar Kadmium
(Dokumentasi pribadi)



Lampiran 7. Dokumentasi Koro Benguk pada 0 Minggu setelah Perlakuan



T1M0



T1M1



T1M2



T2M0



T2M1



T2M2



Lampiran 8. Dokumentasi Koro Benguk pada 7 Minggu setelah Perlakuan



P1M0

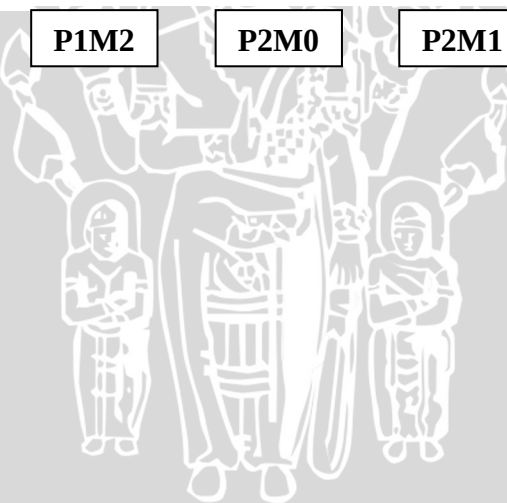
P1M1

P1M2

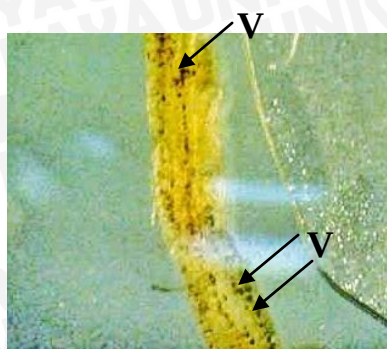
P2M0

P2M1

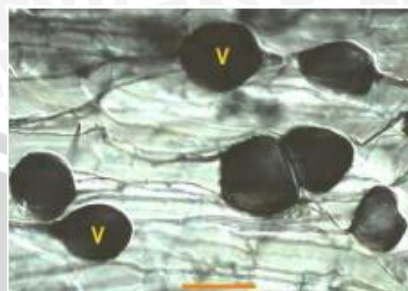
P2M2



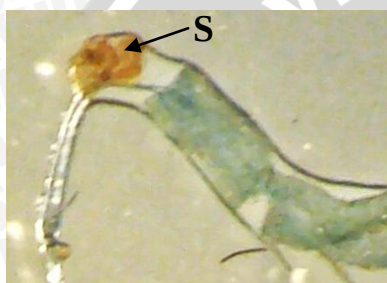
Lampiran 9. Dokumentasi Akar Terinfeksi Mikoriza



V = vesikula; perbesaran 10x10
(Dokumentasi pribadi)



V = vesikula
(Sukma, 2006)



S = spora mikoriza; perbesaran 10x10
(Dokumentasi pribadi)



(Saputra *et al.*, 2015)