

**PENGARUH MIKORIZA VESIKULAR-ARBUSKULAR (MVA)
PADA JARAK PAGAR DAN TEMBAKAU TERHADAP
INTENSITAS SERANGAN PENYAKIT AKAR GADA
Plasmodiophora brassicae Woronin PADA TANAMAN
KAILAN (*Brassica oleraceae* variety Acephala) DI LAHAN
TERCEMAR TIMBAL (Pb)**

Oleh :

MUHAMAD SAIFUDIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2016**

**PENGARUH MIKORIZA VESIKULAR-ARBUSKULAR (MVA)
PADA JARAK PAGAR DAN TEMBAKAU TERHADAP
INTENSITAS SERANGAN PENYAKIT AKAR GADA
Plasmodiophora brassicae Woronin PADA TANAMAN
KAILAN (*Brassica oleraceae* variety Acephala) DI LAHAN
TERCEMAR TIMBAL (Pb)**

OLEH :

MUHAMAD SAIFUDIN

115040201111341

**MINAT HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh

Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS PERTANIAN

JURUSAN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN

MALANG

2016

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Februari 2016

Muhamad Saifudin
NIM. 11504020111341



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : Pengaruh Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA) pada Jarak Pagar dan Tembakau Terhadap Intensitas Serangan Penyakit Akar Gada *Plasmodiophora brassicae* Woronin pada Tanaman Kailan (*Brassica oleraceae* variety Acephala) di Lahan Tercemar Timbal (Pb)

Nama : Muhamad Saifudin

NIM : 115040201111341

Program Studi : Agroekoteknologi

Minat : Mikologi

Menyetujui :
Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

(Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP.)
NIP. 197711302005011002

(Antok Wahyu Sektiono, SP., MP.)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Hama dan Penyakit
Tumbuhan

Dr. Ir. Ludji Pantja Astuti, MS
NIP. 19551018 198601 2 001

Tanggal Persetujuan :



LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

(Dr. Ir. Aminudin Afandi, MS.)
NIP. 19580208 198212 1 001

Penguji II

(Antok Wahyu Sektiono, SP., MP.)

Penguji III

(Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP.)
NIP. 19480109 197603 1 001

Penguji IV

(Lugman Qurata Aini, SP., M.Si., Ph.D.)
NIP. 19770810 2000212 1 003

Tanggal Lulus :

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Skripsi ini kupersembahkan untuk:

Ibunda Riwayati yang telah melahirkan dan menyayangiku dengan kelembutannya..

Bapak Jumadi yang telah mendidikku dengan ketegasannya..

Adikku Dewi Ainul Sholikhah..

Semoga Allah SWT menghendaki keluarga dan anak keturunan kami menjadi keluarga yang selalu berpegang teguh pada Al-Qur'an dan Sunnah.

Amin...

RINGKASAN

Muhamad Saifudin. 115040201111341. Pengaruh Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA) pada Jarak Pagar dan Tembakau Terhadap Intensitas Serangan Penyakit Akar Gada *Plasmodiophora brassicae* Woronin pada Tanaman Kailan (*Brassica oleraceae* variety *Acephala*) di Lahan Tercemar Timbal (Pb). Dibawah bimbingan Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP. dan Antok Wahyu Sektiono, SP., MP.

Plasmodiophora brassicae Wor. adalah organisme pengganggu pada tanaman keluarga Brassicaceae. Salah satu tanaman yang sering terserang patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. adalah Kailan. Di Indonesia patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman kubis-kubisan mencapai 50% hingga 100%. Selain patogen, pencemaran lahan karena limbah industri mengakibatkan penurunan hasil dan penimbunan logam berat pada tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian berbagai dosis mikoriza pada tanaman untuk menekan penyakit akar gada pada tanaman kailan di lahan tercemar logam Timbal (Pb).

Penelitian ini dilaksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Ngijo dan Laboratorium Mikologi Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, pada bulan Maret sampai September 2015. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan 4 ulangan. Parameter pengamatan meliputi jumlah spora dalam tanah dan akar, tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah, serapan logam dalam tanaman, dan sisa logam dalam tanah. Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan uji F pada taraf kepercayaan 5% dan kemudian dilanjutkan dengan menggunakan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa mikoriza yang diberikan pada tanaman kailan dengan dosis 120 gr efektif menekan penyakit akar gada jika dibandingkan dengan perlakuan tanpa aplikasi mikoriza. Serapan logam berat timbal pada tanaman yang dibantu oleh mikoriza berpengaruh pada tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat basah. Semakin tinggi dosis mikoriza yang diberikan pada tanaman berbanding lurus dengan penyerapan logam berat timbal sehingga menghambat pertumbuhan tanaman seperti tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat basah. Pemberian mikoriza dengan dosis 200 g dapat meningkatkan serapan logam berat timbal (Pb) pada tanaman kailan, jarak pagar, dan tembakau.

SUMMARY

Muhamad Saifudin. 115040201111341. The Affect of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal on Jatropha and Tobacco Toward Attack Intensity of Cudgel Roots Disease *Plasmodiophora brassicae* Woronin on Kailan Plant (*Brassica oleraceae* variety Acephala) in Lead Tainted Land (Pb). Under guidance of dr. Anton Muhibuddin, SP., MP. and Antok Wahyu Sektiono, SP., MP.

Plasmodiophora brassicae Woronin is pests in family plant of *Brassicaceae*. One of the plants which often attacked by pathogenic *Plasmodiophora brassicae* Wor. is Kailan. In Indonesia pathogenic *Plasmodiophora brassicae* Wor. can cause damage in *Brassicaceae* plants family reached 50% to 100%. Besides pathogenic, land pollution because the industry waste cause the decreasing of results and stockpiling heavy metal in plants. This research aims to know the affect of the giving of various doses of mycorrhizal in plants to reduce the disease of cudgel roots in kailan plants in the lead (Pb) tainted land.

This research was conducted in Ngijo gardens experiment of Faculty of Agriculture and laboratory of mycology of pests and diseases of plants majors of Faculty of Agriculture, Brawijaya University, Malang, in the month of March until September 2015. This research using complete random design (RAL) with 6 treatments and 4 deuteronomies. Observation Parameter covering the amount of spores in the soil and roots, tall of plant, number of leaves, wet weight, absorption of metals in plants, and the rest of metal in the soil. Data of observation result analyzed using F test at the level of trust is 5 and then continued with using Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Based on the results of the research concluded that mycorrhiza given to the Kailan plants with a dose of 120 gr effectively suppress root diseases mace when compared to treatment without the application of mycorrhiza. Uptake of heavy metals of lead in plants helped by mycorrhizal affect on plant height, number of leaf, and the wet weight. The higher dose of mycorrhizal given on the plants is directly proportional to the absorption of heavy metals of lead, thus inhibiting the growth of plants such as plant height, number of leaf, and the wet weight. The giving of mycorrhiza with a dose of 200 g may increase the uptake of heavy metals of lead (Pb) on Kailan, Jatropha, and Tobacco.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kepada Dzat Yang Maha Esa, Allah SWT yang telah memberikan kemampuan kepada saya untuk menyelesaikan proposal penelitian yang berjudul “Pengaruh Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA) pada Jarak Pagar dan Tembakau Terhadap Intensitas Serangan Penyakit Akar Gada *Plasmodiophora brassicae* Woronin pada Tanaman Kailan (*Brassica oleraceae* variety Acephala) di Lahan Tercemar Timbal (Pb)”.

Pada kesempatan kali ini, penyusun menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam melancarkan proses penyusunan proposal penelitian ini dengan berbagai masukan, kritikan, dan dukungannya yaitu diantaranya:

1. Dr. Ir. Anton Muhibuddin, MS selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, kesabaran, dan perhatian dalam memberika bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan proposal penelitian ini.
2. Antok Wahyu Sektiono, SP., MP selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan kesabaran dan pengarahan dalam penusunan proposal penelitian ini.
3. Dr. Ir. Ludji Pantja Astuti, MS selaku Ketua jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
4. Kepada Ibu, Bapak, Adik dan keluarga besar atas kasih sayang, do'a dan dukungan yang selalu diberikan.
5. Ustadz Alfin, Ustadz Bagus, Pak Danis, Mas Ali Mashudi, Mas Atho', Mas Yusron, Mas Syaifullah, Mas Sutrisno, Pak Jalal, Mas Izzur, Mbk Tanti, Anam, Mas Samiun, Mas Fattah, Mas Surya, Ahmad K, Joko, Joni, Putra, Nanang, Kartika, Edi, Iqbal, Abid, Ustadz dan Ustadzah Pondok Tahfidz Griya Tilawah, Warga Bougenville Bawah dan Anak-anak TPQ Al-Ikhlash, FORSIKA FPUB atas bantuan, dukungan, dan kebersamaannya selama ini.

Malang, Februari 2016

Penyusun

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Nganjuk pada tanggal 07 Maret 1993 sebagai putra pertama dari Bapak Jumadi dan Ibu Riwayati. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Musir Kidul, Rejoso pada tahun 1999 sampai tahun 2005, kemudian penulis melanjutkan ke SMPN 1 Rejoso pada tahun 2005 dan selesai pada tahun 2008. Pada tahun 2008 sampai tahun 2011 penulis melanjutkan ke SMKN 1 Gondang Jurusan Otomotif. Pada tahun 2011 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata 1 Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur, melalui jalur undangan.

Selama menjadi mahasiswa penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kampus antara lain asisten praktikum, kepanitiaan, organisasi, kegiatan sosial, dan beberapa pelatihan soft skill. Kegiatan asisten praktikum yang pernah diikuti adalah asisten praktikum Teknologi Produksi Pupuk dan Hama Penyakit Penting Tanaman pada tahun 2013. Kepanitiaan yang pernah diikuti antara lain Sie Perlengkapan Inagurasi 2011 dan Paska RANTAI 2011, Sie Pendamping Ospek POSTER FP UB 2013, dan beberapa kepanitiaan lain. Organisasi yang pernah diikuti antara lain Anggota KAMMI Brawijaya, Anggota Pers Mahasiswa CANOPY FP UB 2013-2014, Ketua Departemen Finansial Da'wah FORSIKA FP UB 2013, Sekertaris Umum FORSIKA FP UB 2014, Anggota Himpunan Mahasiswa Perlindungan Tanaman HIMAPTA FP UB 2014.

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
HALAMAN PERUNTUKAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR	ix
RIWAYAT HIDUP	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Hipotesis	5
1.5 Manfaat	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penyakit akar gada <i>Plasmodiophora brassicae</i> Wor. Pada tanaman Kailan ...	6
2.2 Pencemaran logam berat Timbal (Pb).....	9
2.3 Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA)	12
2.4 Jarak Pagar dan Tembakau Sebagai Tanaman Hiperakumulator.....	15
2.4.1 Jarak pagar	16
2.4.2 Tembakau.....	19
III. METODOLOGI.....	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Bahan dan Alat.....	21
3.3 Metode Penelitian	21
3.4 Persiapan Penelitian	22
3.4.1 Penyediaan Inokulum dan Benih Tanaman	22
3.5 Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.5.1 Pencemaran tanah dengan logam timbal (Pb).....	23
3.5.2 Inokulasi mikoriza pada tanaman	24
3.5.3 Pemeliharaan.....	25
3.5.4 Pengamatan.....	26

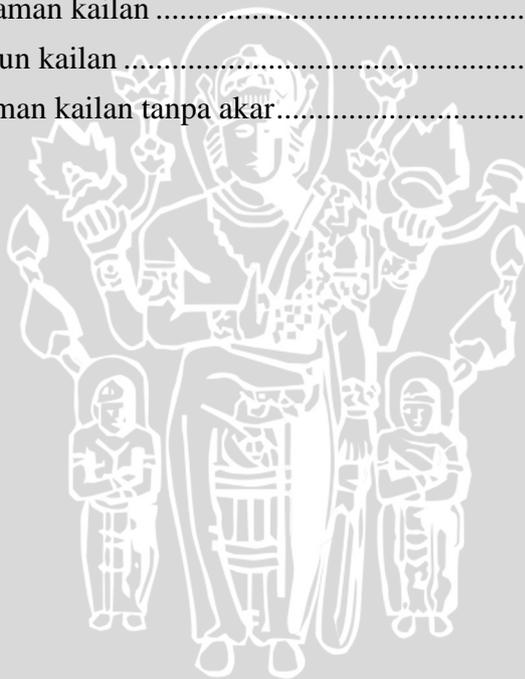


3.5.5 Analisa logam berat timbal (Pb) dalam tanah.....	26
3.5.6 Perhitungan jumlah infeksi patogen	27
3.5.7 Perhitungan jumlah spora mikoriza	27
3.6 Analisis Data	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 <i>Plasmodiophora brassicae</i> Penyebab Penyakit Akar Gada.....	29
4.2 Hasil Pengamatan Intensitas Penyakit, Infeksi Mikoriza, Pertumbuhan Vegetatif, Kandungan Logam Timbal (Pb) dalam Tanaman dan Tanah	31
4.2.1 Penyakit akar gada pada tanaman kailan	31
4.2.2 Pengamatan infeksi mikoriza pada jaringan akar tanaman kailan, jarak pagar dan tembakau	34
4.2.3 Kandungan logam berat timbal (Pb) pada kailan, jarak pagar, dan tembakau	36
4.2.4 Penurunan Kandungan Timbal (Pb) dalam Tanah.....	41
4.2.5 Pertumbuhan vegetatif meliputi tinggi, jumlah daun, dan berat basah...	43
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	54



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	United State Environmental Protection Agency (USEPA) tingkat kontaminasi maksimum untuk logam berat konsentrasi di udara, tanah, dan air (Duruibe dkk, 2007)	12
2.	Perlakuan penelitian.....	21
3.	Intensitas Serangan Akar Gada (%).....	31
4.	Pengamatan infeksi mikoriza pada jaringan akar	35
5.	Akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun kailan	37
6.	Akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun jarak pagar	38
7.	Akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun tembakau.....	39
8.	Kandungan logam Timbal (Pb) sebelum dan setelah diserap.....	41
9.	Rerata tinggi tanaman kailan	43
10.	Rerata jumlah daun kailan	45
11.	Berat basah tanaman kailan tanpa akar.....	46



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Siklus penyakit akar gada yang disebabkan oleh <i>Plasmodiophora brassicae</i> (Agrios, 2005).....	7
2.	Ringkasan diagram dari urutan kejadian selama penetrasi host oleh <i>Plasmodiophora brassicae</i> . (A) Kista vakuola belum membesar, (B) Kista vakuola membesar dan adhesorium kecil muncul, (C) stilet tusukan dinding sel inang, (D) Penetrasi telah terjadi dan protoplasma host tersimpan dalam papilla di tempat penetrasi (Aist dan Williams, 1971 dalam Vendelbo, 2015).....	7
3.	Gejala penyakit akar gada pada tanaman kailan.....	9
4.	Pencemaran limbah industry di lahan pertanian (Pamungkas, 2015).....	10
5.	Kolonisasi jamur endomikoriza dalam akar (Habte, 2000).....	13
6.	(a) Spora tunggal mikoriza, (b) Spora mikoriza pada akar (Walker, 2010)	14
7.	Tanaman jarak pagar (Effendi, 2015).....	18
8.	Tanaman Tembakau (Yuswiyanto, 2014).....	20
9.	Inokulasi mikoriza pada tanaman	24
10.	Posisi penanaman tanaman dalam penelitian	25
11.	(a) Spora <i>Plasmodiophora brassicae</i> Wor., (b) Gejala akar gada pada akar kailan.....	29
12.	Gejala layu akibat serangan patogen <i>Plasmodiophora brassicae</i> Wor. pada tanaman kailan	30
13.	Gejala layu pada tanaman kailan (a), Gejala bengkak pada akar tanaman kailan (b).....	32
14.	Grafik Intensitas Serangan Akar Gada (%)	32
15.	(a) Spora tunggal mikoriza hasil penyaringan, (b) spora pada jaringan akar tanaman kailan, (c) spora pada jaringan akar tanaman jarak pagar, dan (d) spora pada jaringan akar tanaman tembakau	36
16.	Grafik akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun kailan	37
17.	Grafik akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun jarak pagar	38
18.	Grafik akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun tembakau	39
19.	Gejala keracunan Timbal (Pb) pada tanaman jarak pagar	40
20.	Grafik rerata tinggi tanaman kailan	43
21.	Pengamatan tinggi tanaman	44
22.	Grafik rerata jumlah daun kailan	45

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Rerata jumlah spora mikoriza per 10 gr tanah.....	55
2.	Infeksi mikoriza pada akar kailan, tembakau, dan jarak pagar.....	55
3.	Analisa intensitas serangan akar gada	55
4.	Analisa berat basah tanaman kailan.....	55
5.	Analisa tinggi tanaman pada 7 hst.	55
6.	Analisa tinggi tanaman pada 14 hst.	55
7.	Analisa tinggi tanaman pada 21 hst.	55
8.	Analisa tinggi tanaman pada 28 hst.	56
9.	Analisa tinggi tanaman pada 35 hst.	56
10.	Analisa jumlah daun pada 7 hst.	56
11.	Analisa jumlah daun pada 14 hst.	56
12.	Analisa jumlah daun pada 21 hst.	56
13.	Analisa jumlah daun pada 28 hst.	56
14.	Analisa jumlah daun pada 35 hst.	56
1.	Persiapan media tanam	57
2.	Sterilisasi media tanam.....	57
3.	Penutupan media tanam setelah disterilisasi dengan formalin 5% selama 7 hari	58
4.	Penghawaran tanah	58
5.	Memasukan tanah pada trash bag.....	59
6.	Pencemaran tanah dengan logam Timbal (Pb).....	59
7.	Pembibitan tanaman jarak pagar dan tembakau	60
8.	Pembibitan tanaman kailan.....	60
9.	Penanaman tanaman dan inokulasi patogen	61
10.	Akar gada yang dihaluskan dalam blender sebagai inokulum.....	61
11.	Memisahkan spora dengan kotoran dengan sentrifuge.....	62
12.	Spora patogen <i>Plasmodiophora brassicae</i> Wor.....	62
13.	Inokulasi patogen <i>Plasmodiophora brassicae</i> Wor.....	63
14.	Pengamatan tinggi tanaman dan jumlah daun	63

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang mempunyai potensi tambang tinggi. Selain itu, Indonesia merupakan Negara yang subur dimana hampir segala jenis tanaman dapat tumbuh. Negara yang mempunyai jumlah penduduk sekitar 237.641.326 juta jiwa (BPS, 2010) ini, sebagian besar penduduknya bekerja dalam bidang pertanian. Berbagai macam tanaman pangan, perkebunan, herbal, hortikultura yang dibudidayakan di Indonesia mempunyai hasil yang sangat baik. Kubis-kubisan merupakan salah satu tanaman yang termasuk dalam komoditas hortikultura. Di Indonesia tanaman kubis-kubisan banyak dibudidayakan di daerah dingin seperti di daerah pegunungan. Salah satu tanaman yang banyak ditanam petani di daerah dataran tinggi adalah tanaman kailan (*Brassica oleraceae* Var. *Acephala*). Permintaan kailan di pasaran cenderung meningkat seiring dengan berkembangnya jumlah hotel dan restoran bertaraf internasional yang banyak menyajikan masakan Cina, Jepang, Korea yang banyak menggunakan bahan baku kailan (Wijaya, 2009).

Besarnya permintaan pasar terhadap tanaman keluarga kubis-kubisan tidak diimbangi dengan hasil yang diperoleh di lahan. Budidaya tanaman kailan masih terkendala penyakit akar gada (*clubroot*). Selain itu, penanaman tanaman kailan terkendala pencemaran logam berat yang ada di dalam lahan pertanian sehingga berpengaruh pada pertumbuhan tanaman dan kesehatan manusia. Penyakit akar gada yang disebabkan oleh patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. banyak menyerang tanaman famili kubis-kubisan (*Brassicaceae*). Patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. ini membentuk galls pada akar, merusak serapan hara, dan menyebabkan tanaman menjadi layu atau mati. Gejala infeksi yang tampak di atas permukaan tanah adalah daun-daun tanaman layu jika hari panas dan kering, kemudian pulih kembali pada malam hari, serta kelihatan normal dan segar pada pagi hari. Perkembangan penyakit yang secara terus-menerus dapat mengakibatkan tanaman mati. Selain itu, gejala khas dari penyakit akar gada yaitu terjadinya pembengkakan akar. Bentuk dan letaknya bergantung pada spesies inang dan tingkat infeksi (Cicu, 2006).

Tanaman yang terinfeksi Patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. akan kehilangan hasil lebih dari 50% pada tanaman. *Plasmodiophora brassicae* Wor. dapat bertahan dalam tanah atau spora istirahat selama kurang lebih 15 tahun. Spora *P. brassicae* berdinding tebal dan akan berkecambah ketika terdapat tanaman inang dan gulma yang masih masuk keluarga (Brassicaceae) (Burnett dkk., 2013). Di Indonesia penyakit ini dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman kubis-kubisan hingga mencapai 100 % (Asniah dkk, 2013). Selain karena patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor., produksi dan kesehatan tanaman juga terkendala pencemaran logam berat Timbal (Pb) di lahan pertanian. Pencemaran lahan yang terjadi biasanya masuk melalui penyemprotan bahan agrokimia (pupuk dan pestisida), asap kendaraan bermotor, bahan bakar minyak, pupuk anorganik, buangan limbah rumah tangga, limbah pertambangan, dan limbah industri yang tidak diatasi secara baik (Nopriani, 2011).

Pada lahan tambang aktif, pasir sisa tambang (*tailing*) dan bekas tambang sering dihadapkan pada masalah kerusakan ekosistem, baik secara fisik, kimiawi, maupun biologi. Secara *fisik*, seringkali ditemukan struktur tanah yang berpasir, dengan permukaan tanah mempunyai suhu yang tinggi. Secara *kimiawi*, ditemukan beberapa unsur logam berat yang berlebihan dan pH tanah yang terlampaui rendah atau tinggi, unsur hara lain yang dibutuhkan kurang tersedia untuk pertumbuhan tanaman. Secara *biologi*, kondisi fisik tanah kurang memenuhi syarat untuk pertumbuhan dan perkembangan bagi kehidupan keragaman mikrobial tanah. Oleh karena itu, lahan seperti ini tergolong tidak subur (Herman 2006 dalam Suharno dan Sancayaningsih, 2013).

Pada sektor industri, tidak adanya instalasi pengolahan air limbah sebelum dibuang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan terutama sungai dan lahan pertanian. Pencemaran didalam tanah tidak bisa segera terlihat, dan untuk beberapa unsur kimia, terutama logam berat tidak membahayakan tanah, dan tidak menyebabkan gangguan fisiologis pada tanaman. Namun, pencemaran tersebut dapat berdampak lebih jauh, yaitu masuknya unsur-unsur logam berat atau pencemar lain ke dalam tanah. Selanjutnya secara alami, unsur-unsur tersebut akan terserap dan masuk ke dalam jaringan tanaman bersama-sama dengan unsur hara dan air yang dibutuhkan tanaman untuk fotosintesis, sehingga produk

pertanian yang dihasilkan dan dikonsumsi manusia dapat menimbulkan gangguan kesehatan (Kurnia dkk, 2004). Sebagai contoh yaitu pencemaran lahan pertanian seluas 1.250 ha oleh limbah cair tekstil yang mengandung unsur-unsur logam berat di Kecamatan Rancaekek Kabupaten Bandung. Kandungan limbah cair tekstil diantaranya adalah Pb, Na, Hg, Cd, Cr, Cu, dan Co, serta unsur-unsur kimia lain, sehingga menyebabkan pertanaman padi mengalami kerusakan dan gagal panen khususnya pada musim kemarau (Sutono dan Kurnia, 2000).

Berbagai bahan pencemar tanah seperti logam berat (*heavy metal*) yang menjadi masalah di lahan pertanian dalam jumlah kecil dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan, namun dalam konsentrasi tinggi akan menghambat pertumbuhan. Gejala keracunan Pb pada tanaman tampak pada daun muda yang mengalami klorosis diantara urat daun, sehingga daun berwarna hijau pucat. Kandungan Pb pada media dengan konsentrasi 45 ppm dan 85 ppm dapat menyebabkan tanaman kedelai pada umur 17 hari mengalami keracunan dan penurunan berat kering akar dan konsentrasi klorofil daun secara nyata (Arisoesilaningsih, 1986). Menurut Nopriani (2011), Perlakuan penyemprotan logam timbal dengan konsentrasi rendah, mengakibatkan tanaman tampak agak mengkerut. Pada penyemprotan dengan konsentrasi yang lebih tinggi, 3 hari setelah penyemprotan tampak pada permukaan daun bercak-bercak putih, semakin meningkat konsentrasi larutan, gejala kerusakan juga akan meningkat.

Infeksi yang disebabkan karena patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. dan pencemaran logam berat timbal yang berasal dari limbah industri mengakibatkan tanaman rentan dan tidak dapat digunakan sebagai bahan pangan. Hal ini dikarenakan selain produksi menurun akibat serangan patogen, logam berat yang terakumulasi dalam bagian tanaman mengakibatkan keracunan pada manusia. Kegiatan pengendalian penyakit secara terpadu untuk menekan penyakit dan meningkatkan produksi tanaman kailan perlu dilakukan, diantaranya adalah memanfaatkan mikroorganisme. Suharno dan Sanchayaningih (2013) mengemukakan bahwa potensi mikoriza sebagai agen untuk meningkatkan fitoremediasi pada lahan tercemar dinilai sangat penting. Mekanisme penyerapan logam berat oleh mikoriza dilakukan bersamaan dengan tanaman yang dapat mengakumulasi logam berat dalam jumlah banyak.

Tanaman yang dapat menyerap dan mengakumulasi logam berat kedalam bagian tubuh tanaman dalam jumlah banyak biasanya disebut dengan tanaman hiperakumulator. Hampir semua tanaman mempunyai kemampuan untuk menyerap logam berat, namun setiap tanaman mempunyai tingkat penyerapan yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran atau mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya sehingga bersifat hiperakumulator diantaranya adalah tanaman jarak pagar dan tembakau. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Chaney dkk, 1995 dalam Hidayati, 2005).

Dalam rangka untuk mengatasi serangan akar gada dan untuk mengetahui pengaruh logam timbal pada tanaman kailan, perlu dilakukan tindakan lebih lanjut. Dengan demikian, adanya penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui apakah penanaman tanaman kailan yang diinokulasi mikoriza pada lahan tercemar masih dapat dikonsumsi atau tidak. Selain itu, menggunakan tanaman yang mampu menyerap logam Timbal (Pb) merupakan salah satu cara untuk membantu mengurangi kandungan logam Timbal (Pb) dalam tanah. Metode ini dikenal dengan nama fitoremediasi yaitu pemulihan lingkungan yang terkontaminasi menggunakan tanaman (Bayu, 2010). Berdasarkan uraian di atas perlu dilakukan kajian terhadap pengaruh mikoriza vesikular-arbuskular pada tanaman jarak pagar dan tembakau terhadap intensitas serangan penyakit akar gada *Plasmodiophora brassicae* Wor. pada tanaman kailan (*Brassica oleraceae* var. acephala) di lahan tercemar Timbal (Pb).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini mempunyai rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pemberian berbagai macam dosis mikoriza vesikular-arbuskular (MVA) terhadap intensitas penyakit akar gada (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) pada tanaman kailan (*Brassica oleraceae* Var. Acephala)?

2. Bagaimana pengaruh pemberian berbagai macam dosis mikoriza vesikular-arbuskular (MVA) pada tanaman jarak pagar, tembakau, dan kailan (*Brassica oleraceae* Var. Acephala) di lahan tercemar timbal (Pb)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini mempunyai tujuan, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh pemberian berbagai macam dosis mikoriza vesikular-arbuskular (MVA) terhadap intensitas penyakit akar gada (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) pada tanaman kailan (*Brassica oleraceae* Var. Acephala)?
2. Mengetahui pengaruh pemberian berbagai macam dosis mikoriza vesikular-arbuskular (MVA) pada tanaman jarak pagar, tembakau, dan kailan (*Brassica oleraceae* Var. Acephala) di lahan tercemar timbal (Pb)?

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan berdasarkan tujuan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pemberian mikoriza vesikular-arbuskular (MVA) dengan dosis tertinggi dapat menekan penyakit akar gada (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) pada tanaman kailan (*Brassica oleraceae* Var. Acephala).
2. Pemberian mikoriza vesikular-arbuskular (MVA) dengan dosis tertinggi pada tanaman jarak pagar, tembakau, dan kailan (*Brassica oleraceae* Var. Acephala) dapat meningkatkan penyerapan logam berat timbal (Pb) di lahan tercemar.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai dosis mikoriza vesikular-arbuskular (MVA) yang tepat untuk tanaman kailan (*Brassica oleraceae* Var. Acephala), jarak pagar, dan tembakau dalam mengatasi penyakit akar gada *Plasmodiophora brassicae* di lahan tercemar timbal (Pb).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyakit akar gada *Plasmodiophora brassicae* Wor. Pada tanaman Kailan

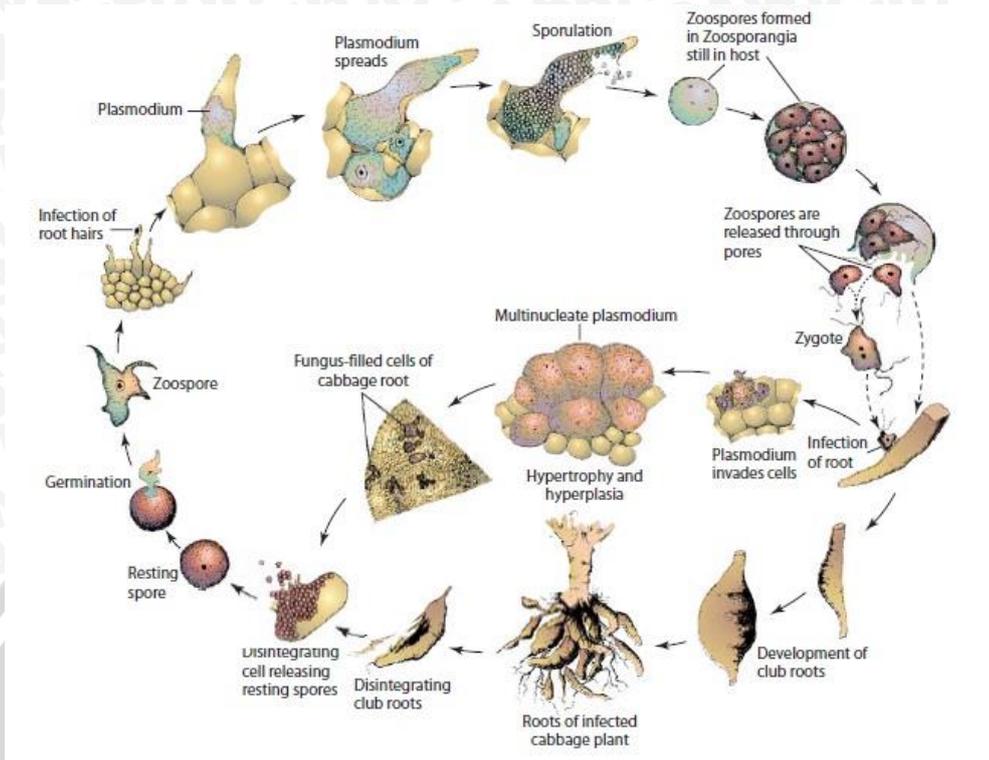
Biologi penyebab penyakit akar gada yang disebabkan oleh patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Protozoa
Filum	: Plasmodiophoromycota
Ordo	: Plasmodiophorales
Genus	: Plasmodiophora
Species	: <i>Plasmodiophora brassicae</i> Wor.

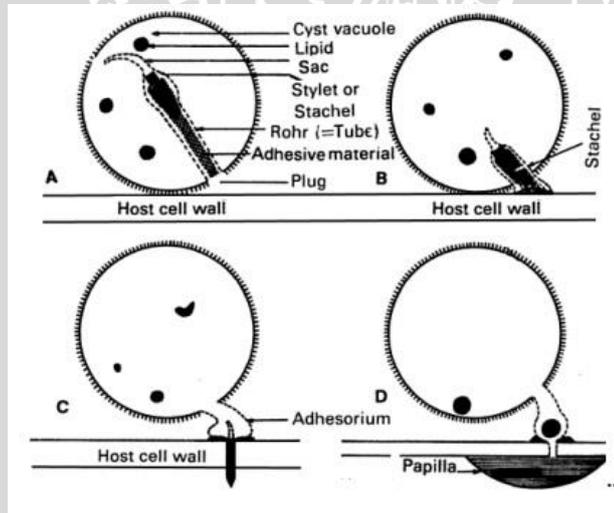
(Agrios, 2005)

Menurut Djatnika (1993) dalam Sastrosiswojo dkk, (2005), penyakit ini disebabkan oleh patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. yang termasuk kelas jamur lendir. Patogen membentuk spora tahan yang berbentuk bulat, hialin, dan garis tengahnya dapat mencapai 4 μm . Spora tahan ini dapat berkecambah dalam medium yang sesuai, membengkak sampai mencapai ukuran beberapa kali dari ukuran semula, dan biasanya menjadi satu spora kembara (zoospora). Spora kembara ini telanjang (tidak berdinding sel), merupakan protoplas berinti satu, biasanya sangat aktif dan bergerak seperti amuba. Spora kembara mempunyai dua bulu cambuk (flagellum), yang satu panjang dan satunya lagi pendek.

Zoospora tunggal yang dihasilkan dari spora istirahat dapat menembus rambut akar dan berkembang menjadi sebuah plasmodium. Setelah beberapa hari, plasmodium yang membelah menjadi banyak nukleus dan masing-masing berkembang menjadi sebuah zoosporangium mengandung 4-8 zoospora sekunder. Kemudian zoospora masuk melalui pori-pori dalam dinding sel inang. Beberapa zoospore berpasangan untuk menghasilkan zigot, sehingga dapat menyebabkan infeksi dan menghasilkan plasmodium baru. Infeksi plasmodium dilakukan dari titik-titik utama dan menyebar ke sel-sel kortikal dan kambium dengan penetrasi langsung. Setelah mencapai kambium, plasmodium menyebar menuju korteks dan menuju xylem (Agrios, 2005).



Gambar 1. Siklus penyakit akar gada yang disebabkan oleh *Plasmodiophora brassicae* (Agrios, 2005).



Gambar 2. Ringkasan diagram dari urutan kejadian selama penetrasi host oleh *Plasmodiophora brassicae*. (A) Kista vakuola belum membesar, (B) Kista vakuola membesar dan adhesorium kecil muncul, (C) stilet tusukan dinding sel inang, (D) Penetrasi telah terjadi dan protoplasma host tersimpan dalam papilla di tempat penetrasi (Aist dan Williams, 1971 dalam Vendelbo, 2015).

Tingkat produksi tanaman kubis-kubisan biasanya dipengaruhi oleh serangan patogen *Plasmodiophora brassicae* yang menyebabkan bengkak pada akar. Di Indonesia penyakit ini dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman

kubis-kubisan hingga mencapai 100 % (Asniah dkk, 2013). Selain itu menurut Towaki (2014) penyakit akar gada di desa Rurukan dan Kumelembuay mempunyai intensitas serangan yang berbeda tergantung tempat yaitu pada taraf 52,17 % di desa Rurukan, 46,40 % di desa Kumelembuay. Pembengkakan pada jaringan akar dapat mengganggu fungsi akar seperti translokasi zat hara dan air dari dalam tanah ke daun. Keadaan ini mengakibatkan tanaman layu, kerdil, kering dan akhirnya mati (Cicu, 2006). Jika tanah sudah terinfestasi oleh *P. brassicae* maka patogen tersebut akan selalu menjadi faktor pembatas dalam budi daya tanaman famili *Brassicaceae* karena patogen ini mempunyai daya tahan yang tinggi terhadap perubahan lingkungan dalam tanah.

Burnett dkk (2013) menatakan bahwa spora *Plasmodiophora brassicae* dapat bertahan dalam tanah atau spora istirahat selama kurang lebih 15 tahun pada lingkungan yang tidak mendukung perkembangannya. Spora *Plasmodiophora brassicae* berdinding tebal dan akan berkecambah ketika terdapat tanaman inang dan gulma yang masih masuk keluarga (*Brassicaceae*). Kondisi basah akan mengaktifkan spora dan membantu spora berenang untuk menginfeksi akar. *Plasmodiophora brassicae* dapat disebarkan oleh: pergerakan air di dalam tanah, tersebarnya melalui tanah yang terbawa oleh mesin-mesin pertanian. Selain itu, patogen *Plasmodiophora brassicae* juga dapat menyebar melalui pupuk kandang hasil olahan kotoran ternak yang diberi pakan sayuran yang terinfeksi. Hal ini dikarenakan spora patogen tidak rusak ketika berada di dalam pencernaan ternak, sehingga pupuk yang dibuat dari bahan dasar kotoran ternak yang terkontaminasi patogen *Plasmodiophora brassicae* dapat memperluas kontaminasi ke tempat lain (Directorate Plant Production. 2012).

Gejala infeksi yang tampak di atas permukaan tanah adalah daun-daun tanaman layu jika hari panas dan kering, kemudian pulih kembali pada malam hari, serta kelihatan normal dan segar pada pagi hari. Perkembangan penyakit yang secara terus-menerus dapat mengakibatkan tanaman mati (Cicu 2006). Akar-akar yang terinfeksi patogen penyebab penyakit ini akan membesar melebihi ukuran batang tanaman kailan sendiri. Pembengkakan akar merupakan tanda khas dari infeksi yang parah, dimana ini merupakan perkembangan dari *P. brassicae* dalam menginfeksi akar. Selain itu, perkembangan yang berada di jaringan

pembuluh tanaman akan menyerap nutrisi dan mengganggu struktur translokasi ke daun (Agrios, 2005).



Gambar 3. Gejala penyakit akar gada pada tanaman kailan

2.2 Pencemaran logam berat Timbal (Pb)

Timbal atau yang kita kenal sehari-hari dengan timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dikenal dengan kata plumbum dan logam ini disimpulkan dengan Pb. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV–A pada tabel Periodik unsur kimia. Mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat (BA) 207,2 adalah suatu logam berat berwarna kelabu kebiruan dan lunak dengan titik leleh 327°C dan titik didih 1.620°C . Pada suhu $550-600^{\circ}\text{C}$ (Ardyanto. 2005). Sumber pencemaran timbal dapat berasal dari tanah, udara, air, hasil pertanian, makanan, dan minuman kaleng, limbah tukang emas, industri rumah, baterai, dan percetakan. Makanan dan minuman yang bersifat asam seperti air tomat, air buah apel, dan asinan dapat melarutkan timbal pada mangkuk atau panci yang dilapisi dengan timbal. Logam Pb lebih tersebar luas dibanding kebanyakan logam toksik lainnya dan secara alamiah terdapat pada batu-batuan serta lapisan kerak bumi. Pada area pertambangan, biasanya logam ini berbentuk sulfida logam (PbS) yang sering disebut *galena* (Agustina, 2010).

Penggunaan Pb di industri dan penambangan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya penambangan, peleburan, pembersih, dan berbagai industri. Beberapa industri menggunakan Pb sebagai industri, seperti PbO, Pb₃O₄. Pada industri baterai, Pb₃O₄ pada industri cat, PbO pada industri karet Pb sulfat pada

industri cat, Pb arsenat pada insektisida dan Pb naftenat sebagai pengering pada industri kain katun, cat, tinta, cat rambut, insektisida, amuni si dan kosmetik (Ardyanto. 2005). Pencemaran timbal (Pb) dari pembakaran kendaraan bermotor dan industri ke lahan-lahan pertanian berdampak buruk pada hasil produksi. Logam berat yang mencemari lahan pertanian dapat terserap tanaman dan terakumulasi pada hampir seluruh bagian tanaman. Hal ini seperti yang dikatakan oleh Irsyad dkk. (2014) dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan logam berat yang terdistribusi ke daun tanaman bayam duri baik pengaruh waktu remediasi maupun konsentrasi memberikan nilai lebih besar dari 10 mg/Kg. Selain itu lokasi akumulasi logam berat pada tanaman juga terdistribusi hampir di seluruh bagian tanaman, yaitu akar, daun, dan bunga.

Beberapa jenis tanaman tingkat tinggi memang ada yang mempunyai kemampuan untuk mengakumulasi logam berat dalam kisaran yang tinggi sehingga disebut sebagai tanaman yang toleran terhadap logam berat. Namun, bagi tanaman yang tidak mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat dalam jumlah besar, dapat terjadi perubahan metabolisme tanaman yang pada akhirnya menyebabkan penurunan hasil pertanian. Timbal (Pb) merupakan salah satu sumber utama pencemaran lingkungan. Hasil penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa akibat dari fitotoksik logam Timbal (Pb) menyebabkan beberapa proses yang merugikan bagi tanaman dalam sistem biologinya. Salah satunya yaitu bertambahnya stres oksidatif dalam pertumbuhan bagian tanaman. Hal ini dikarenakan akibat peningkatan produksi oksigen reaktif spesies (ROS) yang mengakibatkan ketidak seimbangan metabolisme tanaman. Selain itu, Pb juga mengakibatkan terhambatnya proses metabolisme seperti asimilasi nitrogen, fotosintesis, respirasi, serapan air, dan transkripsi (Pinho and Ladeiro. 2012).



Gambar 4. Pencemaran limbah industry di lahan pertanian (Pamungkas, 2015)

Pencemaran lingkungan dan lahan pertanian oleh logam berat mengakibatkan pertumbuhan tanaman menjadi tidak normal dan apabila dikonsumsi manusia akan berdampak pada kesehatan. Logam berat yang terakumulasi dalam tanaman dapat mengakibatkan gangguan pada tanaman. Gangguan dapat terjadi pada jaringan epidermis, sponsa dan palisade. Kerusakan tersebut dapat ditandai dengan nekrosis dan klorosis pada tanaman. Hal ini dikarenakan penyerapan logam berat oleh akar tumbuhan dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air dilakukan seperti penyerapan unsur hara yang ikut masuk bersama aliran air. Logam Pb yang masuk dalam sel dan berikatan dengan enzim sebagai katalisator, sehingga reaksi kimia di sel tanaman akan terganggu (Haryati dkk 2012).

Logam timbal (Pb) bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Logam ini dapat masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan, makanan, dan minuman. Di dalam tubuh, timbal terikat pada gugus (-SH) pada molekul protein dan hal ini dapat menghambat aktivitas kerja sistem enzim. Timbal tidak dibutuhkan tubuh manusia, sehingga jika termakan pasti sebagian akan dikeluarkan dan sisanya akan terakumulasi dalam tubuh. Pada tingkat tinggi, Timbal (Pb) dapat menyerang otak dan sistem saraf pusat sehingga menyebabkan koma, kejang, dan bahkan kematian. Anak-anak yang bertahan hidup dari keracunan timbal dalam jumlah tinggi biasanya mengalami keterbelakangan mental dan gangguan perilaku. Pada tingkat paparan yang rendah gejala kurang terlihat secara jelas. Timbal (pb) yang sebelumnya dianggap aman, sekarang dikenal sebagai penyebab hilangnya kesadaran, memperpendek ingatan, hipertensi, penurunan fungsi ginjal, hilangnya imunitas, dan keracunan pada organ reproduksi. Sebagian besar efek pada manusia terjadi secara permanen dan tidak dapat diobati dengan pengobatan modern (WHO, 2010). Berikut merupakan tabel tingkat kontaminasi maksimum logam berat pada udara, tanah, dan air:

Tabel 1. United State Environmental Protection Agency (USEPA) tingkat kontaminasi maksimum untuk logam berat konsentrasi di udara, tanah, dan air (Duruibe dkk, 2007)

Heavy metal	Max conc. in air (mg/m ³)	Max. conc. in sludge (soil) (mg/ Kg or ppm)	Max. conc. in drinking water (mg/l)	Max conc. in H ₂ O supporting aquatic life (mg/l or ppm)
Cd	0.1-0.2	85	0.005	0.008 ⁶
Pb	--	420	0.01 ⁷ (0.0)	0.0058 ⁶
Zn ²	1, 5*	7500	5.00	0.0766 ⁶
Hg	--	<1	0.002	0.05
Ca	5	Tolerable	50	Tolerable >50
Ag	0.01	--	0.0	0.1
As	--	--	0.01	--

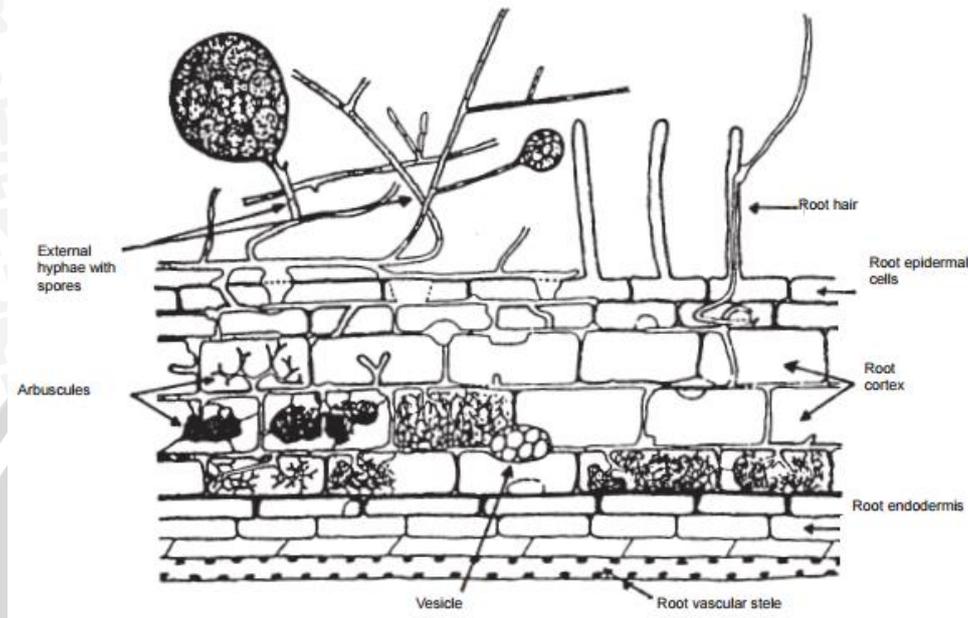
(Value in bracket is the desirable limit; ⁷ WHO ; ¹adapted from U.S. – OSHA; ² EPA, July 1992; ⁶USEPA, 1987; Georgia Code, 1993; Florida Code, 1993; Washington Code, 1992; Texas Code, 1991; North Carolina, 1991; *1 for chloride fume, 5 for oxide fume; -- no guideline available).

2.3 Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA)

Istilah "mikoriza" diciptakan oleh A. B. Frank, seorang ilmuwan di Jerman, lebih dari 100 tahun lalu. Secara harfiah berarti jamur akar, dan menggambarkan asosiasi mutualistik yang ada antara sekelompok jamur tanah dan tanaman yang lebih tinggi. Asosiasi ini didasarkan pada komponen tanaman menyediakan karbohidrat dan senyawa organik yang penting untuk jamur. Sebagai imbalannya, komponen jamur, yang berkolonisasi baik akar dan tanah yang berdekatan, membantu tanaman mengambil nutrisi oleh memperluas jangkauan sistem akarnya (Habte, 2000).

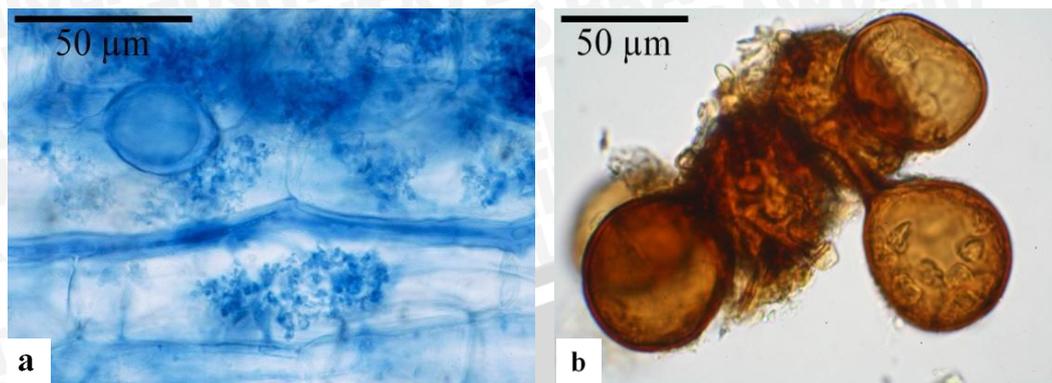
Dari sekian banyak jenis asosiasi mikoriza, terdapat dua jenis asosiasi yang penting yaitu: asosiasi ektomikoriza, dan asosiasi endomikoiza dari jenis vesikular arbuskular. Dalam asosiasi ektomikoriza, jamur menyerang wilayah kortikal dari akar inang tanpa penetrasi kedalam sel kortikal. Ciri utama dari jenis mikoriza ini adalah (1) pembentukan dalam akar dari jaringan hifa dikenal sebagai jarring-jaring di sekitar korteks dan (2) lapisan tebal hifa menyelimuti permukaan akar yang dikenal sebagai selubung atau mantel. Infeksi tanaman inang oleh jamur ektomikoriza sering menyebabkan perubahan akar sehingga yang terlihat mata telanjang. Jenis asosiasi yang kedua yaitu asosiasi endomikoriza dari jenis Vesikular Arbuskular, dimana jamur menembus sel korteks dan berkumpul membentuk hifa halus yang dikenal sebagai arbuscules di dalam korteks. Setelah itu terjadi pembentukan vesikel di dalam membran yang tertutup kemudian menjadi berbagai bentuk, dalam atau di luar sel korteks. Arbusculer merupakan suatu tempat pertukaran nutrisi antara tanaman inang dan jamur. Vesikel umumnya berfungsi sebagai struktur penyimpanan, dan ketika matang dapat

berfungsi sebagai struktur reproduksi. Kedua jamur mikoriza yang mempunyai asosiasi berbeda ini dapat memperpanjang hifa dari akar ke dalam tanah untuk mencari nutrisi dan ditranslokasikan ke tanaman (Harley dan Smith 1983 dalam Habte, 2000).



Gambar 5. Kolonisasi jamur endomikoriza dalam akar (Habte, 2000)

Menurut Delvian, (2006) dari hasil penelitian yang dilakukan pada daerah hutan pantai Cagar Alam Leuweung Sancang diperoleh sekitar 95% tanaman yang diobservasi membentuk simbiosis dengan jamur mikoriza arbuskula dan sisanya 5% tidak ditemukan adanya kolonisasi pada akarnya. Peranan penting mikoriza ini dikarenakan jaringan hifa eksternal dari mikoriza yang bersimbiosis dengan tanaman budidaya dan dapat memperluas bidang serapan air dan hara. Serapan air yang lebih besar oleh tanaman bermikoriza, juga membawa unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran masa seperti N, K dan S sehingga serapan unsur tersebut juga makin meningkat. Disamping serapan hara melalui aliran masa, serapan P yang tinggi juga disebabkan karena hifa jamur juga mengeluarkan enzim fosfatase yang mampu melepaskan P dari ikatan-ikatan spesifik, sehingga tersedia bagi tanaman (Dewi, 2007).



Gambar 6. (a) Spora tunggal mikoriza, (b) Spora mikoriza pada akar (Walker, 2010)

Secara tidak langsung, jamur mikoriza juga berperan dalam perbaikan struktur tanah, meningkatkan kelarutan hara dan proses pelapukan bahan induk. Selain itu, jamur mikoriza melalui jaringan hifa eksternal dapat memperbaiki dan memantapkan struktur tanah. Sekresi senyawa-senyawa polisakarida, asam organik dan lendir oleh jaringan hifa eksternal yang mampu mengikat butir-butir primer menjadi agregat mikro. "Organic binding agent" ini sangat penting artinya dalam stabilisasi agregat mikro. Kemudian agregat mikro melalui proses "mechanical binding action" oleh hifa eksternal akan membentuk agregat makro yang mantap. Pertumbuhan tanaman juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan mikoriza melalui perlindungan tanaman dari patogen akar dan unsur toksik. Berikut merupakan mekanisme perlindungan mikoriza pada tanaman inang (Dewi, 2007):

1. Adanya selaput hifa (mantel) dapat berfungsi sebagai barier masuknya patogen.
2. Mikoriza menggunakan hampir semua kelebihan karbohidrat dan eksudat lainnya, sehingga tercipta lingkungan yang tidak cocok untuk patogen.
3. Jamur mikoriza dapat mengeluarkan antibiotik yang dapat mematikan patogen.
4. Akar tanaman yang sudah diinfeksi jamur mikoriza, tidak dapat diinfeksi oleh jamur patogen yang menunjukkan adanya kompetisi.

Teknologi pemanfaatan mikoriza vesikular-arbuskula (MVA) telah lama diusahakan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, khususnya pada lahan-lahan tergolong marginal salah satunya adalah lahan yang tercemar logam berat.

Proses fitostabilisasi dan mikorizostabilisasi (stabilisasi oleh mikoriza) mampu menurunkan tingkat mobilitas, bioavailabilitas dan/atau toksisitas bahan pencemar pada rizosfer tumbuhan. Menurut Suharno dan Sancayaningsih (2013) fungi mampu memperbaiki struktur tanah dengan mengeluarkan glikoprotein yang disebut glomalin. Glomalin mampu meningkatkan pembentukan agregat tanah dan pori tanah yang lebih baik sehingga dapat dimanfaatkan oleh hifa untuk berkembang. Pada pori-pori tanah berukuran kecil (0,1 mm) ditemukan glomalin yang lebih besar dibanding dengan pori-pori tanah yang berukuran lebih besar. Kemungkinan keberadaannya berhubungan dengan kontak fungi secara tidak langsung dengan tanah. Glomalin dapat menambat logam berat seperti Cu, Cd, Pb dan Mn pada tanah tercemar.

Pembentukan simbiosis mikoriza juga mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap fitotoksistas logam berat melalui biosorpsi. Penyerapan logam seperti cadmium (Cd), titanium (Ti) dan barium (Ba) dengan polifosfat pada struktur fungi mungkin penting dalam meminimalkan transfer ke tanaman inang. Penyerapan logam berat oleh fungi merupakan mekanisme pasif dari immobilisasi ion pada permukaan sel mikrobia termasuk proses seperti adsorpsi, pertukaran ion, kompleksasi, pengendapan, dan kristalisasi (Leyval and Joner (2001) dalam Suharno dan Sancayaningsih, 2013). Selain itu, penyerapan Pb diketahui berkorelasi dengan meningkatnya jumlah vesikel MVA pada jenis tanaman yang terkolonisasi mikoriza. Mirip pada tanaman dan vakuola fungi, vesikel mungkin terlibat dalam menyimpan/ mengisolasi senyawa-senyawa toksik. Pengikatan logam berat pada kitin di dinding sel fungi, juga akan menurunkan konsentrasi logam berat di sekitar miselium fungi dalam tanah (Suharno dan Sancayaningsih, 2013).

2.4 Jarak Pagar dan Tembakau Sebagai Tanaman Hiperakumulator

Tanaman merupakan indikator kualitas lingkungan yang baik dan dapat merespon secara langsung kualitas udara, tanah dan kualitas air. Karena tanaman secara alami dapat menarik polutan dari lingkungan sekitarnya ke dalam bagian tubuh tanaman. Logam berat yang tidak diperlukan dapat mengakibatkan toksistas dan perubahan warna daun. Selain itu, logam berat juga dapat menghambat perkecambahan benih dan pertumbuhan tanaman atau bahkan

kematian tanaman. Hal ini dikarenakan pencemaran lingkungan yang berlebihan dapat menghalangi penyerapan unsur-unsur yang dibutuhkan tanaman untuk melakukan proses metabolisme seperti asimilasi nitrogen, fotosintesis, respirasi, serapan air, dan transkripsi (Pinho and Ladeiro. 2012).

Tanaman hiperakumulator merupakan tanaman yang dapat menyerap dan mengakumulasi logam berat ke dalam bagian tubuh tanaman dalam jumlah banyak. Hampir semua tanaman mempunyai kemampuan untuk menyerap logam berat, namun setiap tanaman mempunyai tingkat penyerapan 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 berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Chaney dkk, 1995 dalam Hidayati, 2005).

2.4.1 Jarak pagar

Jarak pagar merupakan jenis tanaman yang tahan terhadap kekeringan sehingga tahan hidup di daerah dengan curah hujan rendah. Klasifikasi jarak pagar sebagai berikut (Susilowati, 2014):

Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Euphorbiales
Family	: Euphorbiaceae
Genus	: <i>Jatropha</i>
Spesies	: <i>Jatropha Curcas</i> L.

Tanaman jarak pagar berupa perdu dengan tinggi 1 – 7 m, bercabang tidak teratur. Batangnya berkayu, silindris, dan bila terluka mengeluarkan getah. Bagian-bagian jarak pagar (Hambali dkk, 2007) antara lain :

a. Daun

Daun tanaman jarak pagar adalah daun tunggal berlekuk dan bersudut 3 atau 5. Daun tersebar di sepanjang batang. Permukaan atas dan bawah daun berwarna hijau dengan bagian bawah lebih pucat dibanding permukaan atas. Daunnya lebar dan berbentuk jantung atau bulat telur melebar dengan panjang 5-15 cm. Helai daunnya bertoreh, berlekuk, dan ujungnya meruncing. Tulang daun menjari dengan jumlah 5-7 tulang daun utama. Panjang tangkai daun antara 4-15 cm.

b. Bunga

Bunga tanaman jarak pagar adalah bunga majemuk berbentuk malai, berwarna kuning kehijauan, berkelamin tunggal, dan berumah satu. Bunga betina 4-5 kali lebih banyak dari bunga jantan. Bunga jantan maupun bunga betina tersusun dalam rangkaian berbentuk cawan yang tumbuh di ujung batang atau ketiak daun. Bunganya mempunyai 5 kelopak berbentuk bulat telur dengan panjang kurang lebih 4 mm. Benang sari mengumpul pada pangkal dan berwarna kuning. Bunganya mempunyai 5 mahkota berwarna keunguan. Setiap tandan terdapat lebih dari 15 bunga. Jarak termasuk tanaman monoecious dan bunganya uniseksual. Kadangkala muncul bunga hermaphrodit yang berbentuk cawan berwarna hijau kekuningan.

c. Buah

Buah tanaman jarak pagar berupa buah kotak berbentuk bulat telur dengan diameter 2-4 cm. Panjang buah 2 cm dengan ketebalan sekitar 1 cm. Buah berwarna hijau ketika muda serta abu-abu kecoklatan atau kehitaman ketika masak. Buah jarak terbagi menjadi 3 ruang, masing – masing ruang berisi 1 biji sehingga dalam setiap buah terdapat 3 biji. Biji berbentuk bulat lonjong dan berwarna coklat kehitaman. Biji inilah yang banyak mengandung minyak dengan rendemen sekitar 30-50 % dan mengandung toksin sehingga tidak dapat dimakan.

Jarak pagar merupakan tanaman yang satu keluarga dengan karet dan ubi kayu yaitu famili Euphorbiceae. Tanaman ini merupakan tanaman berkayu dengan tinggi 1-7 meter, dengan percabangan yang tidak teratur. Pemanfaatan tanaman jarak pagar yang biasanya digunakan untuk menghasilkan sumber energy bahan baku minyak nabati, yaitu biodiesel. Selain itu, jarak pagar juga dapat dimanfaatkan untuk fitoremediasi tanah yang tercemar Pb. Mangkoedihardjo, dkk (2008) mengatakan bahwa dalam dua minggu tanaman jarak pagar mampu menjalankan proses fitoremediasi tanah tercemar timbal sampai tingkat konsentrasi Pb 50 mg/Kg tanpa memberikan efek signifikan terhadap penurunan berat kering tanaman.

Penelitian mengenai fitoremediasi logam berat Pb juga banyak dilakukan dengan berbagai tanaman. Surahmaida (2011) telah mengkaji pengaruh logam berat Pb, Cd dan kombinasinya terhadap tinggi tanaman, luas daun, pH tanah dan CO₂. Selain itu juga untuk mengetahui kemampuan jarak pagar dalam mengakumulasi Pb dan Cd. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pb, Cd dan kombinasinya berpengaruh terhadap tinggi tanaman, luas daun, pH tanah, dan CO₂. Nilai persentase reduksi tanah tercemar logam berat Pb dan Cd oleh jarak pagar, yaitu 84-98% untuk Pb; 76-91% untuk Cd; dan 75-92% Pb : 74-92% Cd. Jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn.) mempunyai kemampuan dalam mengakumulasi Pb dan Cd dengan nilai persentase akumulasi logam berat Pb dan Cd oleh jarak pagar adalah 1-45% untuk Pb; 46-125% untuk Cd; dan 0,49- 39% Pb; 16-236% Cd.



Gambar 7. Tanaman jarak pagar (Effendi, 2015)

2.4.2 Tembakau

Tembakau merupakan tanaman perkebunan yang dunnya dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan rokok. Komoditi ini dapat menciptakan lapangan kerja dan usaha serta menjadi sumber penghasilan bagi masyarakat maupun Pemerintah. Areal tembakau di Jawa Timur rata-rata setiap tahunnya mencapai 130.824 hektar dengan produksi sebesar 114.816 Ton meliputi berbagai jenis tembakau. Berikut merupakan klasifikasi dan morfologi tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) (Purdyaningsih, 2013):

Kingdom	: Plantae (Tumbuhan)
Subkingdom	: Tracheobionta (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: Spermatophyta (Menghasilkan biji)
Divisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida (berkeping dua/dikotil)
Sub Kelas	: Asteridae Ordo : Solanales
Famili	: Solanaceae (suku terung – terungan)
Genus	: <i>Nicotiana</i>
Spesies	: <i>Nicotiana tabacum</i> L.

Selain digunakan sebagai bahan dasar pembuatan rokok, tanaman tembakau yang merupakan famili *Solanaceae* juga dapat digunakan untuk fitoremediasi tanah yang tercemar logam berat. Tanaman tembakau merupakan tanaman berbatang tunggal dengan tinggi antara 1,5-3 m, berakar tunggang dengan panjang 50-70 cm dan terdapat akar serabut. Daun berbentuk bulat dan cenderung memanjang dengan lebar dapat mencapai 35 cm dan panjang 50 cm. Tanaman tembakau mempunyai bunga berwarna putih ungu. Tanaman tembakau termasuk tanaman yang mampu menyerap beberapa logam berat dalam jumlah yang tidak terlalu tinggi. Hasil penelitian dari tahun 1396 penelitian bioteknologi tanaman dalam periode 1980-1990, 123 di antaranya menggunakan tembakau sebagai model penelitian (Ganapathi et al. 2004 dalam Rosidah, 2014). Data ini menunjukkan bahwa tembakau sangat berpotensi digunakan sebagai tanaman sampel transformasi genetik dengan tujuan menciptakan tanaman toleran cekaman logam. Menurut Rosidah, (2014) berdasarkan analisis kuantitatif, tembakau mampu mentoleransi cekaman

logam Pb pada konsentrasi ≤ 5 mg/kg. Sedangkan berdasarkan analisis kualitatif tembakau mampu mentoleransi cekaman pada konsentrasi logam Pb pada konsentrasi ≤ 20 mg/kg.



Gambar 8. Tanaman Tembakau (Yuswiyanto, 2014)



III. METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di *Green House* Fakultas Pertanian dan Laboratorium Mikologi Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, serta Laboratorium Kimia Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian akan dilaksanakan pada bulan Maret sampai September 2015.

3.2 Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cawan petri, *trashbag*, timbangan, *hand sprayer*, *trash bag*, gelas ukur, labu ukur, pipet tetes, pengaduk, timbangan analitik, ayakan, kertas saring, corong gelas, labu kjeldhal, tabung reaksi, gelas beker, kaca preparat, plastik, cawan petri, mikroskop binokuler, botol leher angsa, haemasitometer, *tray*, sentrifuse, kamera, sarung tangan lateks, saringan 75 μ dan 54 μ .

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah spora mikoriza, asam nitrat 2 M, KOH 10%, HCl 2%, aquades, formalin 5%, plastic wrap, logam berat timbal Pb(NO₃)₂, HNO₃ 1 M, *Lactofenol Trypan Blue*, inokulum *Plasmodiophora brassicae* Wor., tanah, kompos, benih kailan, benih tembakau, dan benih jarak pagar.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan pengulangan sebanyak 4 kali. Setiap *trashbag* berisi 6 tanaman yang terdiri dari 2 tanaman kailan, 2 tanaman jarak pagar, dan 2 tanaman tembakau.

Tabel 2. Perlakuan penelitian

Perlakuan	Mikoriza (gram)	Timbal 100 (mg/kg)	<i>Plasmodiophora brassicae</i> Wor.	Jarak Pagar dan Tembakau
P1	0	V	V	V
P2	40	V	V	V
P3	80	V	V	V
P4	120	V	V	V
P5	160	V	V	V
P6	200	V	V	V

3.4 Persiapan Penelitian

3.4.1 Penyediaan Inokulum dan Benih Tanaman

a. Persiapan Media Tanam

Media semai yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran antara tanah dengan pupuk kompos steril. Sterilisasi tanah dan kompos dilakukan secara terpisah sebelum dilakukan pencampuran. Pencampuran tanah dengan pupuk kompos dilakukan dengan perbandingan 2:1. Media tanah yang digunakan adalah tanah pertanian yang berasal dari daerah Karang plos, Malang dengan jenis tanah Inseptisol. Sterilisasi dilakukan dengan menggunakan 25 ml formalin 5% yang disemprotkan merata pada setiap 1 kg tanah. Kemudian ditutup rapat dalam plastik selama 7 hari dan dikering anginkan.

b. Persiapan inokulum *Plasmiodiophora brassicae* Wor

Inokulum *P. brassicae* diperoleh dengan mengumpulkan akar segar kailan atau tanaman jenis Brassicaceae yang bergejala dari daerah pertanian Brassicaceae. Akar-akar tersebut terlebih dahulu di cuci pada air mengalir untuk menghilangkan sisa-sisa tanah sampai bersih, selanjutnya akar dihancurkan dengan cara diblender kemudian disaring menggunakan kain saring. Hasil saringan selanjutnya disentrifugasi dengan alat sentrifuse (International Clinical Centrifuge CL 2628 M-1, Fisher Scientific Co.) pada kecepatan 2000 rpm (700 g) selama 5 menit. Supernatan hasil sentrifus diambil dan pelet dibuang, kemudian kepadatan spora rehatnya dihitung dengan haemasitometer. Suspensi spora *P. brassicae* tersebut kemudian diinokulasikan dengan kepadatan 10^6 spora/ml/g berat kering tanah ke dalam media tanam bersamaan dengan penanaman tanaman hasil penyemaian.

c. Penyiapan tanaman jarak pagar

Biji tanaman jarak pagar langsung di semai pada media yang telah disiapkan. Persemaian dibuat dari campuran tanah dan kompos dengan perbandingan 2:1. Untuk menjaga kelembaban media semai, perlu dilakukan penutupan dengan sungkup plastik. Setelah 2 minggu, bibit dapat dipindahkan ke media yang diberi perlakuan.

d. **Penyiapan tanaman tembakau**

Biji tembakau di rendam dengan air selama 48 jam sebelum disemai. Setelah dilakukan perendaman, tembakau di sebar pada persemaian yang telah disiapkan. Persemaian dibuat dari campuran tanah dan kompos dengan perbandingan 2:1. Tempat persemaian diberi atap agar kelembaban terjaga dan tidak terkena sinar matahari secara langsung. penyiraman dilakukan secara rutin agar terhindar dari kekeringan. Setelah bibit berumur 2 minggu, atap naungan mulai dibuka sedikit demi sedikit agar bibit mulai beradaptasi dengan lingkungannya. Sebelum penanaman, sebelumnya atap dibuka selama 5 hari. Penanaman bibit pada media tanam biasanya ketika tanaman berumur 35-45 hari setelah persemaian. Pencabutan dilakukan dengan cara membasahi tanah dan dilakukan pada pagi hari atau sore hari. Namun untuk penanaman dilakukan ketika sore hari.

e. **Penyiapan tanaman kailan**

Biji kailan langsung di tanam pada persemaian yang telah disiapkan. Persemaian dibuat dari campuran tanah dan kompos dengan perbandingan 2;1. Setelah media dicampur merata, biji diletakan pada media semai, kemudian ditutup dengan media semai. Selanjutnya untuk menghindari paparan sinar matahari langsung dan untuk menjaga kelembapan dilakukan penutupan dengan plastik. Bibit tanaman kailan yang telah berumur 3 minggu setelah semai dapat ditanam pada tanah yang telah dicemari dengan timbal (Pb) di *trashbag*.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

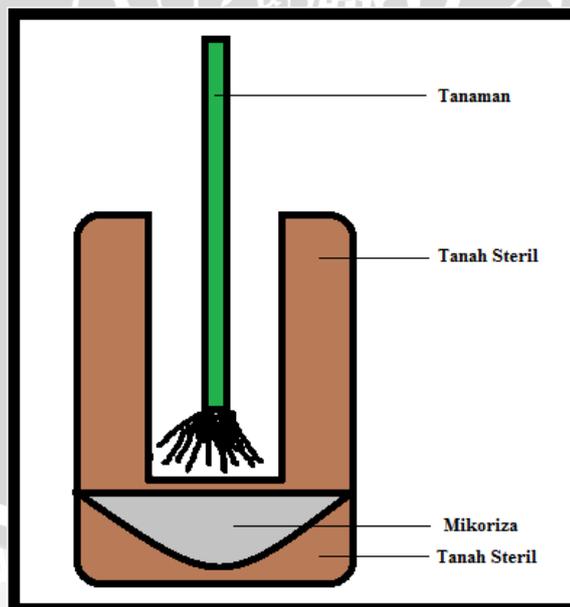
3.5.1 **Pencemaran tanah dengan logam timbal (Pb)**

Tanah yang telah steril kemudian dicemari dengan logam berat timbal (Pb). Pencemaran logam Timbal (Pb) menggunakan dosis sebesar 100 ppm (mg/kg). Cara pembuatan larutan induk Pb 1000 ppm yaitu menimbang 1,5985 gram $Pb(NO_3)_2$ kemudian diencerkan dengan HNO_3 1 M dalam labu ukur 1 L hingga tanda batas. Dan untuk pembuatan larutan standar baku Pb 100 ppm yaitu dengan mencampur 10 mL larutan induk Pb 1000 ppm ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan dengan HNO_3 1 M hingga tanda batas. Pencemaran Pb dilakukan dengan mencampur 100 ppm (mg/kg) dengan

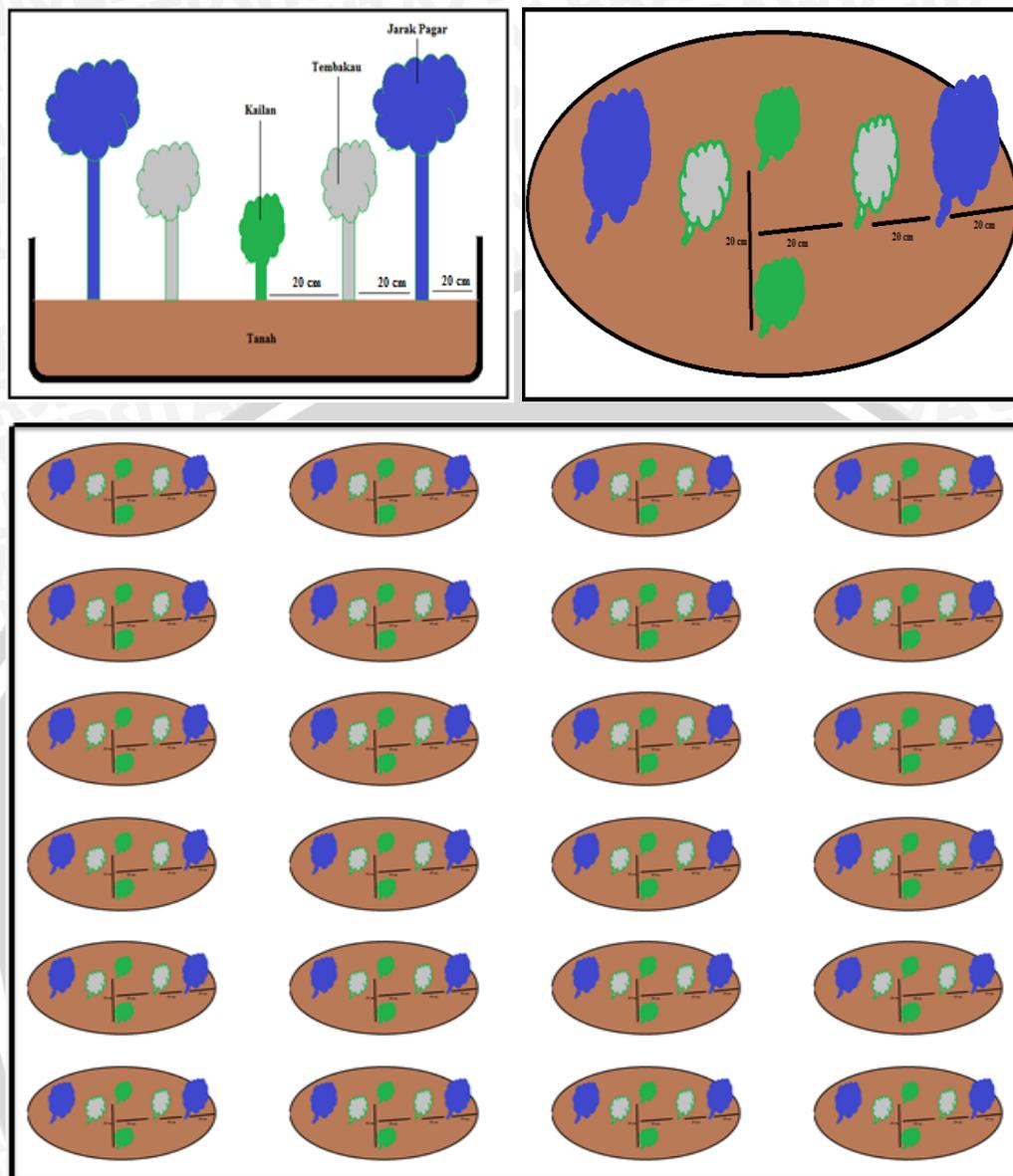
1 kg tanah kering angin. Tanah yang dicampur logam berat diaduk merata dan diamkan hingga 24 jam agar limbah meresap dengan tanah.

3.5.2 Inokulasi mikoriza pada tanaman

Penelitian ini bertujuan untuk menguji dosis mikoriza yang paling tinggi daya serap terhadap logam berat dan daya hambatnya terhadap penyakit akar gada. Inokulasi mikoriza dilakukan bersamaan dengan penanaman ketiga jenis tanaman pada media yang telah dicemari. Inokulasi mikoriza dilakukan dengan menggunakan sistem lapisan. Pada media dibuat lubang tanam dengan kedalaman 10 cm dan diameter 5 cm. Mikoriza diinokulasikan dengan metode lapisan. Tanah steril dimasukkan ke dalam lubang, selanjutnya diikuti dengan mikoriza dan tanaman. Konsentrasi inokulum mikoriza yang diberikan pada tanaman sesuai dengan perlakuan. Ketiga tanaman kemudian ditanam dalam 1 media tanam dalam *trashbag* dengan lubang tanam masing-masing dan sejajar dalam satu garis. Penanaman tanaman hiperakumulator pertama dan tanaman hiperakumulator kedua berselang 2 minggu. Kemudian 2 minggu setelah tanaman hiperakumulator kedua ditanam, selanjutnya ditanam tanaman kailan. Pengamatan dimulai ketika penanaman tanaman kailan hingga panen.



Gambar 9. Inokulasi mikoriza pada tanaman



Gambar 10. Posisi penanaman tanaman dalam penelitian

3.5.3 Pemeliharaan

Perawatan dan pemeliharaan tanaman dilakukan di green house meliputi:

- a. Pengairan, pemberian air dilakukan sesuai kebutuhan tanaman dengan menggunakan *sprayer* dan gembor.
- b. Pengendalian tumbuhan liar, hama, dan penyakit di dalam green house. Pengendalian gulma dan OPT dilakukan secara mekanik dengan cara penyiangan manual (dicabut), membunuh hama dengan menggunakan tangan.

3.5.4 Pengamatan

a. Pertumbuhan tanaman kailan

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.

2. Jumlah daun

Jumlah daun dihitung setiap seminggu sekali berdasarkan jumlah daun yang dihasilkan sejak dari awal muncul daun hingga akhir panen. Pengamatan dilakukan setiap satu minggu.

3. Bobot basah tanaman tanpa akar (g)

Bobot basah tanaman tanpa akar diamati pada saat panen dengan cara menimbang bagian tanaman yang ada diatas permukaan tanah. Penimbangan dapat digunakan sebagai berat hasil produksi tanaman kailan.

3.5.5 Analisa logam berat timbal (Pb) dalam tanah

Analisa logam berat tanah dilakukan di Laboratorium Kimia 1 minggu setelah pindah tanam dan pada akhir penelitian sebagai data jumlah serapan. Pengamatan dilakukan dengan mengambil masing-masing sampel tanah dalam *trashbag* lalu di analisis di Laboratorium kimia Universitas Muhamadiyah Malang. Langkah awal yang dilakuka yaitu timbang 10 g contoh tanah halus <2 mm. Tambah 20 ml larutan pengekstrak DTPA (dietilene triamine penta acetic acid), dikocok dengan mesin kocok selama 2 jam. Suspensi disaring atau disentrifusi untuk mendapatkan ekstrak yang jernih. Ukur masing-masing unsur dengan alat AAS (Spektrofotometer Serapan Atom). Potensi tanaman sebagai remediator dilakukan dengan menghitung akumulasi dalam akar, batang, dan daun dengan menggunakan ICP (Inductively Couple Plasma) serta menghitung kandungan logam berat Pb dalam tanah, baik tanah sebelum perlakuan. Rumus perhitungan untuk mengetahui efisiensi akumulasi logam berat timbal dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

Efisiensi Akumulasi Pb =

$$\frac{\text{Berat total logam dalam tanaman (akar + batang + daun)}}{\text{Logam dalam tanah}} \times 100\%$$

3.5.6 Perhitungan jumlah infeksi patogen

Penyakit yang diamati setelah dipanen dengan cara mencatat tanaman yang menunjukkan gejala pembengkakan pada setiap satuan percobaan. Perhitungan penyakit dihitung dengan menggunakan metode scoring (BPTPB, 2012):

$$I = \frac{\sum(n_i \times v_i)}{Z \times N} \times 100\%$$

Keterangan:

- I : Intensitas Serangan
 ni : Jumlah sampel kategori kerusakan
 vi : Skor pada sampel
 N : Jumlah total sampel
 Z : Skor tertinggi dari kategori serangan

Patokan yang digunakan dalam penentuan kerusakan akibat infeksi *Plasmodiophora brassicae* Worr. Menurut (BPTPB, 2012) adalah:

- 0 : Tidak ada serangan
 1 : Apabila ada 1/4 bagian akar yang terserang
 3 : Apabila ada 1/3 bagian akar yang terserang
 5 : Apabila ada 1/2 bagian akar yang terserang
 7 : Apabila ada 3/4 bagian akar yang terserang
 9 : Apabila ada > 3/4 bagian akar yang terserang

3.5.7 Perhitungan jumlah spora mikoriza

Pengamatan dilakukan di Laboratorium Mikologi setelah tanaman kailan berumur 35 hari dilakukan pengamatan infeksi mikoriza dengan membuat preparat akar semi permanen. Akar tanaman dibersihkan dan di potong sepanjang 1 cm menggunakan scalpel. Kemudian akar dicuci dengan air dan dimasukkan ke dalam tabung film lalu ditambahkan KOH 10%

kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 95°C selama 60 menit. Setelah itu KOH dibuang dan ditambahkan H₂O₂ yang selanjutnya dibuang dan dibilas dengan air. Kemudian diberi HCl 5% selama 5 menit. Setelah itu HCl dibuang dan ditambahkan *lactophenol tryphan blue* (LTB) dan dipanaskan dalam oven 85°C selama 30 menit. Setelah pemanasan tersebut, LTB dibuang dan akar dibilas dengan air. Kemudian ditambah lactogliserol hanya dibilas. Untuk menghitung persentase infeksi mikoriza dilakukan dengan rumus:

$$\% \text{ Infeksi} = \frac{\sum \text{akar yang terinfeksi}}{\sum \text{seluruh akar}} \times 100\%$$

3.6 Analisis Data

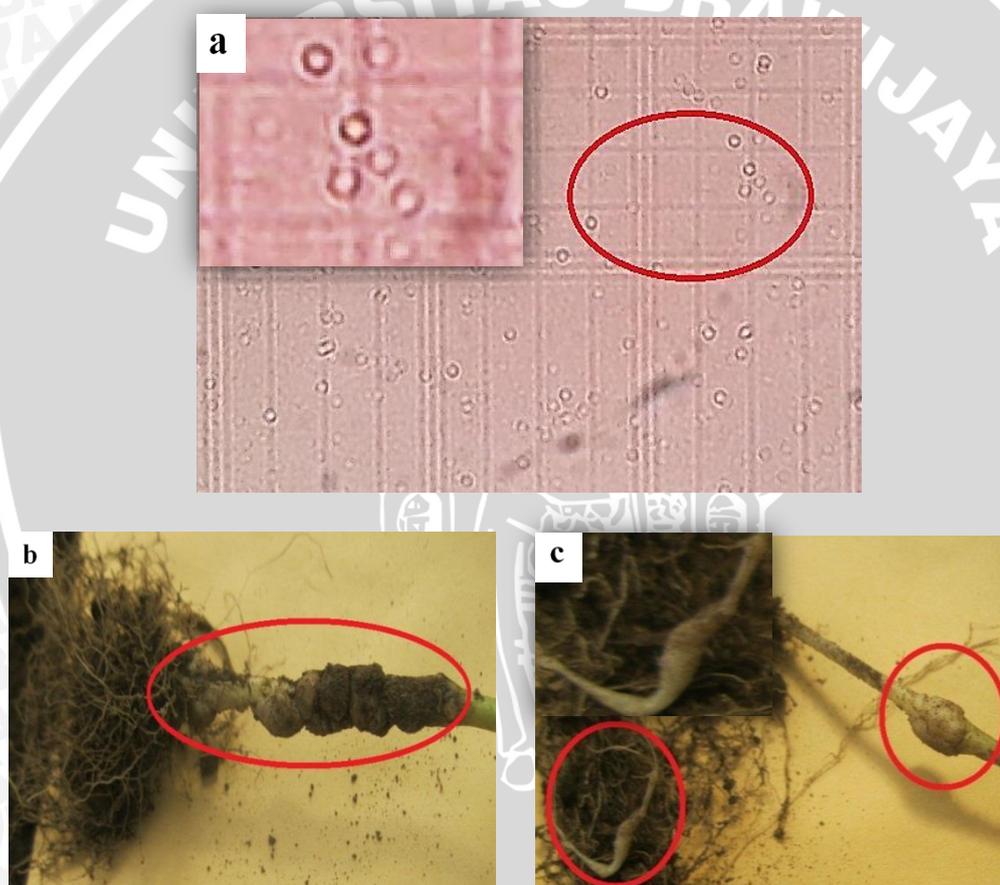
Pengujian pengaruh perlakuan dilakukan dengan menggunakan uji F (analisis ragam) dengan taraf 5%. Apabila terjadi pengaruh yang nyata diantara perlakuan akan dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT).



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Plasmodiophora brassicae* Penyebab Penyakit Akar Gada

Penyakit akar gada pada tanaman kailan merupakan penyebab menurunnya produksi tanaman family brassica. Penyakit ini merupakan penyakit tular tanah yang disebabkan oleh *Plasmodiophora brassicae* Wor.. Pengamatan spora dilakukan dengan cara dihaluskan dengan blender kemudian disaring menggunakan kain saring. Supernatan hasil sentrifus diambil dan pelet dibuang, kemudian kepadatan spora rehatnya dihitung dengan haemasitometer.

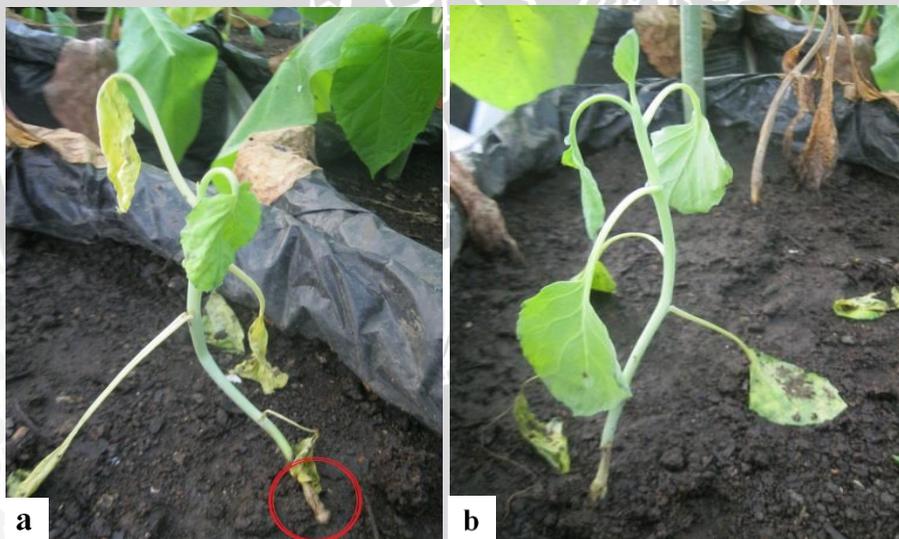


Gambar 11. (a) Spora *Plasmodiophora brassicae* Wor., (b) Gejala akar gada pada akar kailan

Penyakit akar gada ini disebabkan oleh patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. yang termasuk kelas jamur lendir. Dari hasil pengamatan yang dilakukan (gambar 11(a)), spora patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. mempunyai bentuk bulat dan tidak berwarna (hialin). Menurut (Djatnika, 1993 dalam Sastrosiswojo dkk, 2005) patogen membentuk spora tahan yang

berbentuk bulat, hialin, dan garis tengahnya dapat mencapai 4 μm . Spora kembara mempunyai dua bulu cambuk (flagellum), yang satu panjang dan satunya lagi pendek.

Sedangkan (gambar 11 (b & c)) merupakan gejala akar gada pada bagian akar kailan yang diakibatkan oleh *Plasmodiophora brassicae* Wor. setelah pemanenan. Gejala yang tampak ketika tanaman dicabut yaitu pembengkakan pada akar primer maupun akar sekunder dengan bentuk yang memanjang. Dari pengamatan dapat dilihat pada bagian batang yang berbatasan dengan akar terjadi pembengkakan. Pembengkakan yang terjadi mengakibatkan tanaman tidak dapat tumbuh dengan optimal. Selain itu, tanaman kailan cenderung layu pada waktu siang hari saja. Menurut Cicu (2006) pembengkakan pada jaringan akar dapat mengganggu fungsi akar seperti translokasi zat hara dan air dari dalam tanah ke daun. Gejala infeksi yang tampak di atas permukaan tanah adalah daun-daun tanaman layu jika hari panas dan kering, kemudian pulih kembali pada malam hari, serta kelihatan normal dan segar pada pagi hari.



Gambar 12 . Gejala layu akibat serangan patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. pada tanaman kailan

Perbedaan antar gejala yang diakibatkan karena patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. dengan puru akar akibat nematoda yaitu terjadi pembesaran dan pembelahan sel yang berlebihan pada perisikel, serta perubahan bentuk jaringan pengangkut. Nematoda yang menyerang tanaman infeksi berat mengakibatkan sistem perakarannya mengalami pengurangan

jumlah akar sehingga penerapan unsur hara terhambat (Hikmia, 2012). Bentuk puru akibat infeksi nematode puru akar berbeda-beda tergantung dari spesies nematoda, misalnya *M. hapla* menyebabkan timbulnya puru seperti manik-manik dan cenderung lebih kecil dibandingkan dengan puru yang diakibatkan oleh spesies nematode puru akar lain, yang cenderung lebih besar dan menyatu (Roberts & Mullens 2002 dalam Hikmia, 2012). Puru bergabung dan berjajar di sepanjang perakaran. Akar yang terinfeksi biasanya pendek dan mempunyai sedikit akar lateral dan akar rambut (hairy root) (Agrios, 2005).

4.2 Hasil Pengamatan Intensitas Penyakit, Infeksi Mikoriza, Pertumbuhan Vegetatif, Kandungan Logam Timbal (Pb) dalam Tanaman dan Tanah

4.2.1 Penyakit akar gada pada tanaman kailan

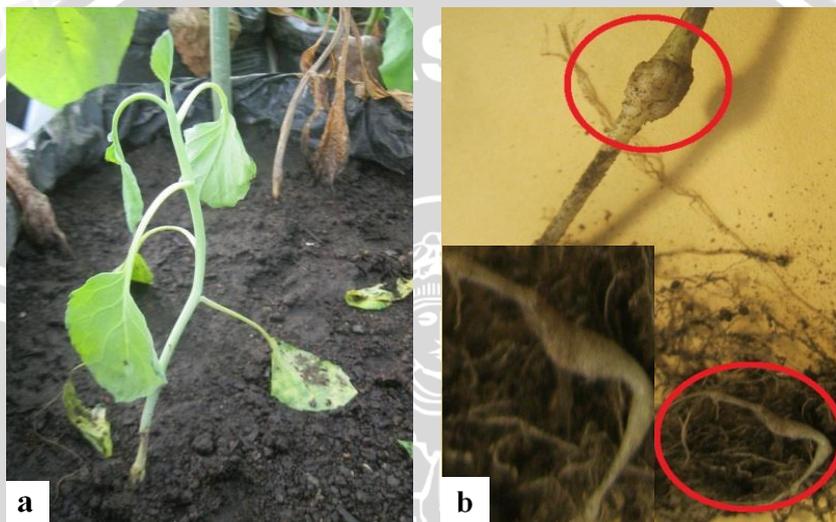
Akar gada merupakan penyakit yang mengakibatkan bagian akar tanaman membengkak. Dimana pada bagian yang membengkak tersebut terdapat spora *Plasmodiophora brassicae* Wor. Bagian akar yang membengkak inilah yang menjadi parameter pengamatan untuk mengetahui intensitas serangan akar gada pada tanaman kailan. Pengamatan dilakukan setelah dipanen dengan cara mencatat akar tanaman yang menunjukkan gejala pembengkakan pada setiap satuan percobaan. Perhitungan penyakit dihitung dengan menggunakan metode scoring yaitu perbandingan jumlah tanaman yang sakit atau jumlah bagian tanaman sakit yang mempunyai nilai skor tertentu dengan jumlah tanaman seluruhnya dan nilai skor tertinggi dari serangan penyakit (BPTPB, 2012).

Tabel 3. Intensitas Serangan Akar Gada (%)

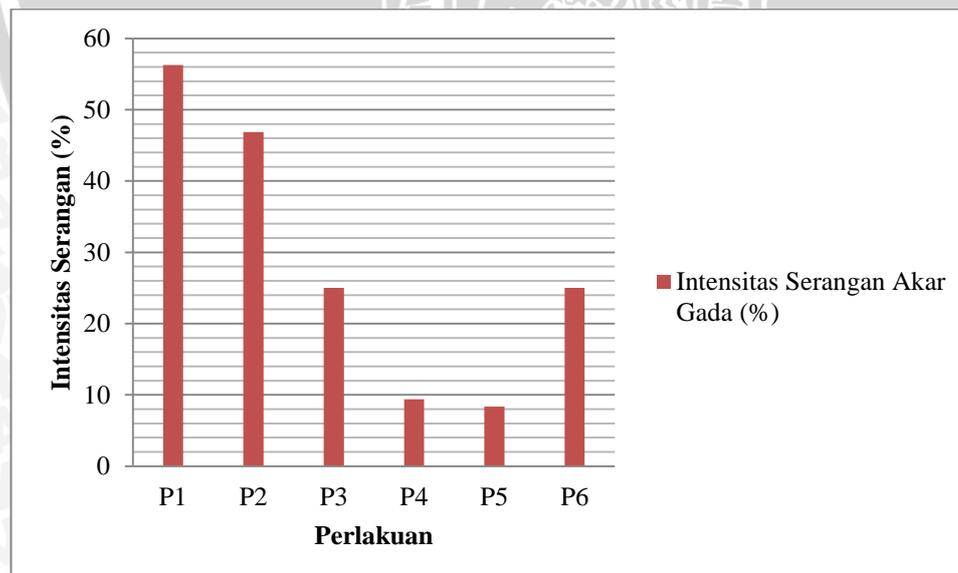
Perlakuan	Intensitas Serangan Akar Gada (%)	
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	56,25	b
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	46,875	b
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	25	ab
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	9,375	a
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	8,333	a
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	25	ab

Keterangan : TH : Tanaman Hiperakumulator (Jarak Pagar dan Tembakau), Pb : Timbal (100 mg/Kg). Angka-angka yang di dampingi oleh huruf yang sama pada baris atau kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan dengan taraf 5%.

Berdasarkan pengamatan intensitas serangan akar gada pada tanaman kailan, perbedaan pemberian dosis mikoriza memberikan pengaruh yang berbeda nyata antara perlakuan (pertama dan kedua) dan (perlakuan keempat dan kelima). Namun tidak memberikan pengaruh yang berbeda dengan perlakuan ketiga dan keenam. Pemberian mikoriza pada perlakuan keempat dan kelima dapat memberikan penekanan paling tinggi pada penyakit akar gada yang disebabkan oleh patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. jika dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya.



Gambar 13. Gejala layu pada tanaman kailan (a), Gejala bengkak pada akar tanaman kailan (b)



Gambar 14. Grafik Intensitas Serangan Akar Gada (%)

Berdasarkan data yang diperoleh dari rerata intensitas serangan akar gada menunjukkan bahwa aplikasi mikoriza pada perlakuan keempat dan kelima memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap perlakuan pertama dan kedua. Aplikasi mikoriza pada perlakuan keempat dan kelima mampu mengatasi intensitas serangan akar gada yang disebabkan oleh patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor. Namun dari kedua perlakuan tersebut yang memberikan penekanan yang paling baik adalah perlakuan keempat. Hal ini dikarenakan perlakuan keempat mempunyai dosis mikoriza yang rendah dibandingkan dengan perlakuan kelima dengan penekanan terhadap intensitas serangan akar gada yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kelima.

Jamur mikoriza merupakan struktur sistem perakaran yang mempunyai sistem simbiosis mutualis antara jamur dengan perakaran tumbuhan yang saling memberikan keuntungan. Dengan adanya simbiosis mutualisme ini menjadikan mikoriza dapat membantu tanaman dalam menyerap hara sehingga lebih toleran terhadap tekanan lingkungan seperti kekeringan, suhu yang ekstrem dan kemasaman tanah (Fitriatin, 2011). Selain itu, mikoriza juga mampu meningkatkan daya tahan tanaman terhadap serangan patogen tular tanah, di antaranya *Plasmodiophora brassicae* penyebab penyakit akar gada pada caisin (Hajoningtjas dan Budi, 2005 dalam Hajoeningtjas, 2009).

Ketahanan tanaman bermikoriza terhadap serangan patogen disebabkan karena perubahan morfologi dengan terbentuknya penebalan dinding sel oleh proses lignifikasi dan produksi polisakarida. Sistem vaskular yang lebih kuat meningkatkan aliran nutrisi mengakibatkan kekuatan yang lebih pada tanaman bermikoriza dan mengurangi masuknya patogen. Nematoda yang ada pada tanah juga mempunyai bentuk lebih kecil dan sulit berkembang. Semakin tinggi status P pada tanaman akan meningkatkan kandungan fosfolipid yang akhirnya juga mengurangi eksudat-eksudat akar (Suhardi, 1990 dalam Kumalawati, 2006). Menurut Linderman (1996) mekanisme VA Mikoriza mengurangi penyakit akar adalah melalui : (a) Peningkatan penyerapan hara, (b) Persaingan fotosintat dan wilayah infeksi tanaman inang, (c) perubahan morfologi pada akar dan di dalam jaringan

akar, (d) perubahan senyawa kimia penting dalam jaringan tanaman, (e) penurunan tekanan (stress) abiotik, dan (f) perubahan mikroba dalam mycorrhizosphere.

4.2.2 Pengamatan infeksi mikoriza pada jaringan akar tanaman kailan, jarak pagar dan tembakau

Spora mikoriza yang terdapat di dalam tanah dan pada bagian akar menjadi salah satu parameter pengamatan yang penting untuk diamati. Hal ini dapat dijadikan dasar bahwa mikoriza yang diinokulasikan ke dalam tanah dapat hidup berasosiasi dengan akar atau tidak untuk membantu penyerapan logam timbal dan pengendalian penyakit akar gada. Pengamatan spora dilakukan dengan metode penyaringan bertingkat. Hasil pengamatan spora mikoriza dalam tanah dan pada bagian akar dilakukan diakhir pengamatan. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan menunjukkan bahwa terdapat spora mikoriza di dalam tanah dan pada bagian akar tanaman yang diinokulasi mikoriza. Adanya mikoriza pada tanah dan bagian akar tanaman menunjukkan bahwa spora mikoriza yang diaplikasikan dapat berasosiasi dengan tanaman kailan, jarak pagar, dan tembakau. Selain itu, ini juga membuktikan bahwa mikoriza dapat berasosiasi dengan banyak tanaman.

Menurut Delvian, (2006) dari hasil penelitian yang dilakukan pada daerah hutan pantai Cagar Alam Leuweung Sancang diperoleh sekitar 95% tanaman yang diobservasi membentuk simbiosis dengan jamur mikoriza arbuskula dan sisannya 5% tidak ditemukan adanya kolonisasi pada akarnya. Peranan penting mikoriza ini dikarenakan jaringan hifa eksternal dari mikoriza yang bersimbiosis dengan tanaman budidaya dan dapat memperluas bidang serapan air dan hara. Serapan air yang lebih besar oleh tanaman bermikoriza, juga membawa unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran masa seperti N, K dan S sehingga serapan unsur tersebut juga makin meningkat. Disamping serapan hara melalui aliran masa, serapan P yang tinggi juga disebabkan karena hifa jamur juga mengeluarkan enzim phosphatase yang mampu melepaskan P dari ikatan-ikatan spesifik, sehingga tersedia bagi tanaman (Dewi, 2007).

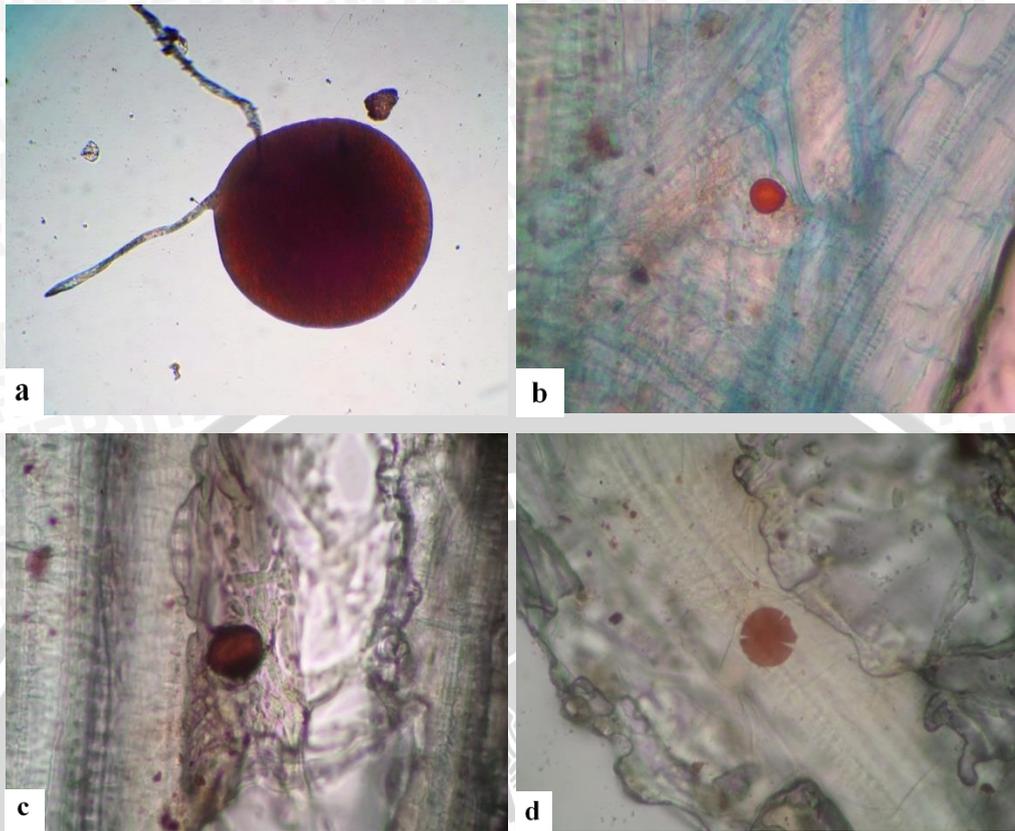
Tabel 4. Pengamatan infeksi mikoriza pada jaringan akar

Akar Tanaman	Terinfeksi	Tidak terinfeksi
Kailan	V	-
Jarak Pagar	V	-
Tembakau	V	-

Keterangan : V : Terinfeksi, - : Tidak terinfeksi

Lingkungan yang mempengaruhi perkembangan mikoriza di dalam tanah menurut Sastrahidayat (2011) yaitu: pH, suhu, kandungan Fe dan Al bebas dan populasi mikroorganisme tanah. Glomus berkembang dengan baik pada pH 5,5 sampai 6,5 dan Acaulospora pada pH 5,0. Pada pH 4,5 hanya hifa yang halus saja yang dapat menginfeksi jaringan akar tanaman inang. Kandungan air tanah yang sedikit lebih memacu pembentukan spora mikoriza daripada yang berlebihan dan tanah yang mempunyai sistem aerasi yang baik lebih memacu spora mikoriza dari pada tanah yang beraerasi jelek. Menurut Delvian (2003) terdapat kecenderungan peningkatan jumlah spora dengan berkurangnya jumlah curah hujan, fluktuasi kelembapan tanah juga dapat mempengaruhi pembentukan spora atau sporulasi. Hal ini dikarenakan tanah yang terlalu banyak air menyebabkan tanah kekurangan oksigen sehingga menyebabkan ruang bagi pertumbuhan spora semakin berkurang (Hermawan, 2015).

Selain pengaruh lingkungan, infeksi mikoriza yang ada di tanah dan akar dipengaruhi adanya perbedaan eksudat yang dikeluarkan oleh masing-masing tanaman inang. Dimana eksudat akar merupakan bahan yang dikeluarkan dari aktivitas sel akar hidup seperti gula, asam amino, asam organik, asam lemak dan sterol, faktor tumbuh, nukleotida, flavonon, enzim, dan *miscellaneous*. Menurut Niswati (2008) jumlah dan tipe perakaran mempengaruhi jumlah dan kualitas eksudat akar. Tanaman monokotil lebih banyak mengeluarkan eksudat dibandingkan dengan tanaman dikotil seperti tanaman jagung. Disamping itu, peningkatan infeksi mikoriza pada akar tanaman juga sangat erat kaitannya dengan proses fotosintesis yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi karbohidrat dan ketersediaan eksudat akar yang dapat dimanfaatkan oleh mikoriza (Karimuna dan Halim, 2011).



Gambar 15. (a) Spora tunggal mikoriza hasil penyaringan, (b) spora pada jaringan akar tanaman kailan, (c) spora pada jaringan akar tanaman jarak pagar, dan (d) spora pada jaringan akar tanaman tembakau

4.2.3 Kandungan logam berat timbal (Pb) pada kailan, jarak pagar, dan tembakau

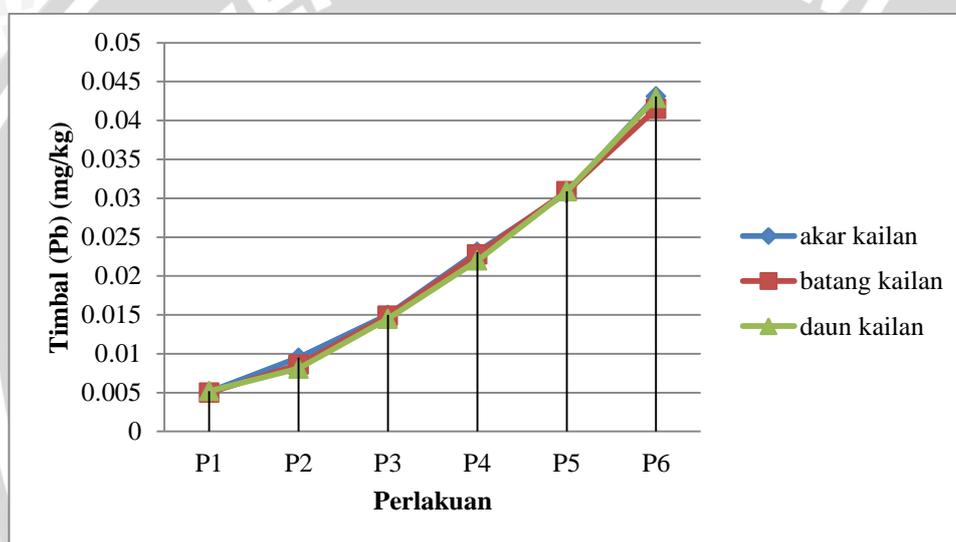
a. Kandungan logam pada kailan

Akumulasi logam berat Pb yang terserap pada bagian tanaman juga menjadi parameter pengamatan yang sangat penting untuk diamati. Hal ini dapat menjadi dasar bahwa dengan adanya aplikasi berbagai dosis mikoriza dapat meningkatkan penyerapan logam timbal yang ada di dalam tanah atau tidak. Analisis logam berat yang terakumulasi pada bagian tanaman dilakukan di Laboratorium kimia setelah pemanenan tanaman.

Tabel 5. Akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun kailan

Perlakuan	Akumulasi logam Timbal (Pb) (mg/kg)			Efektifitas Penyerapan Pb (%)
	akar kailan ($x \pm SE$)	batang kailan ($x \pm SE$)	daun kailan ($x \pm SE$)	
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	0,0051±0,0004	0,0050±0,00035	0,0052±0,0003	0,114869
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	0,0095±0,00015	0,0086±0,00045	0,0081±0,00015	0,19781
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	0,0150±0,0005	0,0149±0,0005	0,0145±0,0003	0,339022
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	0,0231±0,0006	0,0228±0,0006	0,0220±0,0002	0,524223
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	0,0307±0,0007	0,0309±0,00045	0,0309±0,0004	0,72407
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	0,0431±0,0005	0,0415±0,00055	0,0429±0,0004	1,015047

Keterangan : TH : Tanaman Hiperakumulator (Jarak Pagar dan Tembakau), Pb : Timbal (100 mg/Kg).



Gambar 16. Grafik akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun kailan

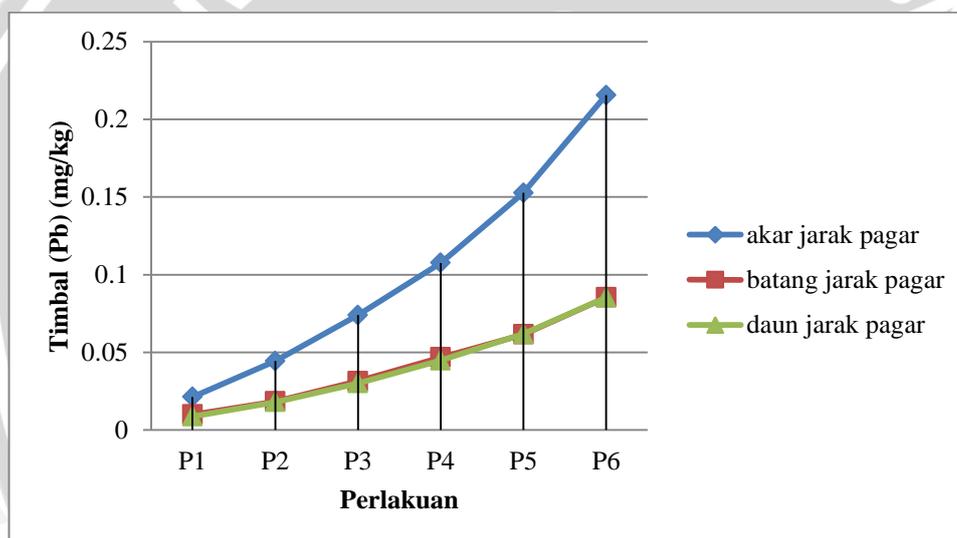
Pada hasil pengamatan yang dilakukan, akumulasi logam timbal (Pb) yang ada dalam bagian tanaman semakin meningkat seiring dengan meningkatnya dosis mikoriza yang diberikan pada tanaman kailan. Hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi dosis mikoriza yang diberikan dapat meningkatkan serapan tanaman terhadap logam berat. Selain itu, pada tabel diatas dapat menunjukan tingkat akumulasi logam pada bagian akar, batang, dan daun yang tidak menunjukan perbedaan nilai serapan yang mencolok. Dengan demikian dapat diketahui bahwa serapan logam timbal pada tanaman kailan merata pada seluruh bagian tanaman.

b. Kandungan logam pada jarak pagar

Tabel 6. Akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun jarak pagar

Perlakuan	Akumulasi logam Timbal (Pb) (mg/kg)			Efektifitas Penyerapan Pb (%)
	akar jarak pagar (x±SE)	batang jarak pagar (x±SE)	daun jarak pagar (x±SE)	
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	0,0213±0,0002	0,0100±0,0002	0,0087±0,00005	0,300312
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	0,0444±0,0003	0,0184±0,0002	0,0200±0,00015	0,610042
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	0,074±0,0005	0,0314±0,0003	0,0301±0,00035	1,034628
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	0,10755±0,00075	0,0467±0,00045	0,0448±0,0004	1,536769
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	0,15265±0,00035	0,0615±0,0003	0,0618±0,00005	2,160078
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	0,21555±0,00215	0,0854±0,0004	0,0853±0,0003	3,074994

Keterangan : TH : Tanaman Hiperakumulator (Jarak Pagar dan Tembakau), Pb : Timbal (100 mg/Kg).



Gambar 17. Grafik akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun jarak pagar

Akumulasi logam berat yang terdapat pada bagian tanaman semakin meningkat dengan meningkatnya dosis mikoriza yang diberikan pada tanaman jarak pagar. Hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi dosis mikoriza yang diberikan dapat meningkatkan serapan tanaman terhadap logam berat. Pada tabel diatas dapat dilihat bahwasanya tingkat akumulasi logam pada bagian batang dan daun tanaman jarak pagar tidak menunjukan perbedaan nilai serapan yang mencolok. Namun tingkat serapan logam timbal pada bagian akar menunjukan akumulasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan akumulasi pada

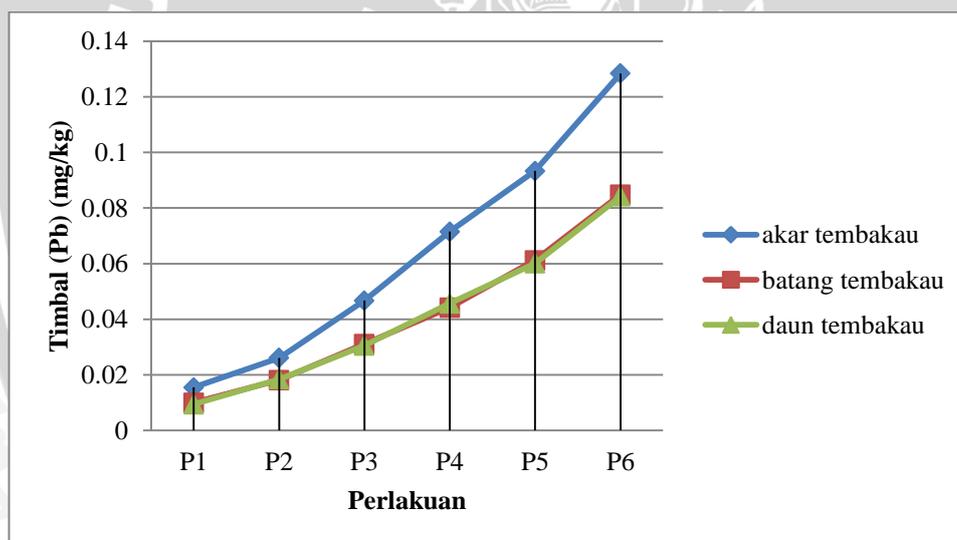
batang dan daun. Dimana pada bagian akar tanaman jarak pagar dapat menyerap logam berat dua kali lebih banyak dari pada bagian batang dan akar.

c. Kandungan logam pada tembakau

Tabel 7. Akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun tembakau

Perlakuan	Akumulasi logam Timbal (Pb) (mg/kg)			Efektifitas Penyerapan Pb (%)
	akar tembakau (x±SE)	batang tembakau (x±SE)	daun tembakau (x±SE)	
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	0,0155±0,00025	0,0100±0,00005	0,0094±0,00015	0,262022
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	0,0261±0,00055	0,0181±0,0002	0,0184±0,00025	0,472631
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	0,0467±0,00055	0,0311±0,00025	0,0305±0,00035	0,826938
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	0,0715±0,00075	0,0442±0,0002	0,0457±0,00015	1,246091
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	0,0933±0,00045	0,0612±0,0003	0,0601±0,0005	1,679843
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	0,1284±0,0007	0,0848±0,00015	0,0842±0,00065	2,367646

Keterangan : TH : Tanaman Hiperakumulator (Jarak Pagar dan Tembakau), Pb : Timbal (100 mg/Kg).



Gambar 18. Grafik akumulasi logam berat pada akar, batang, dan daun tembakau

Hasil pengamatan menunjukkan tingkat akumulasi logam berat yang terdapat pada bagian tanaman semakin meningkat dengan meningkatnya dosis mikoriza yang diberikan pada tanaman tembakau. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis mikoriza yang diberikan dapat mempengaruhi peningkatan serapan tanaman tembakau terhadap logam berat. Pada tabel hasil analisis diatas dapat dilihat bahwa tingkat akumulasi logam pada bagian batang dan daun tanaman tembakau tidak menunjukan perbedaan nilai serapan

yang besar. Namun tingkat serapan logam pada bagian akar tanaman tembakau menunjukkan nilai yang berbeda. Dimana pada bagian akar tanaman tembakau dapat menyerap logam berat lebih banyak dari pada bagian batang dan akar.



Gambar 19. Gejala keracunan Timbal (Pb) pada tanaman jarak pagar

Berdasarkan pengamatan serapan logam berat pada tanaman kailan, jarak pagar, dan tembakau, akumulasi logam berat yang tertinggi terdapat pada bagian akar. Sedangkan akumulasi logam berat pada bagian batang dan daun dari ketiga tanaman tersebut tidak jauh berbeda. Namun dari ketiga tanaman tersebut serapan logam berat yang paling tinggi pada tanaman jarak pagar. Menurut Mangkoedihardjo (2008) Jarak Pagar merupakan tanaman tahunan yang mampu menjalankan proses fitoremediasi tanah tercemar timbal sampai tingkatan konsentrasi Pb 50 mg/Kg dalam waktu 2 minggu tanpa memberi efek signifikan terhadap penurunan berat kering tanaman. Namun tanaman jarak pagar mengalami kerusakan struktural: nekrosis, klorosis, serta pengguguran (mati), dan kerusakan fungsional dimana tanaman tidak mampu menjalankan fungsi pertumbuhannya pada konsentrasi 90 mg/kg.

Pada analisis yang dilakukan pada tanaman tembakau mempunyai hasil penyerapan logam berat yang lebih rendah dibandingkan dengan tanaman jarak pagar. Menurut Rosidah dkk (2014) terdapat perbedaan tingkat kerusakan anatomi akar, akumulasi logam, dan warna daun pada setiap konsentrasi logam. Berdasarkan analisis kuantitatif, tembakau mampu mentoleransi cekaman logam berat timbal pada konsentrasi 20 mg/kg. Sedangkan hasil

analisis logam berat yang dilakukan pada tanaman kailan memperoleh hasil penyerapan logam berat paling rendah. Namun menurut (Priandoko dkk, 2013) tanaman famili brassica dapat digunakan sebagai tanaman bioremediasi pada lingkungan yang sudah tercemar. Hal ini dikarenakan serapan logam berat Pb pada sawi hijau yang diambil dari Pasar Kreneng sebesar 69,58 mg/kg. Sedangkan hasil rata-rata kandungan Pb pada sawi hijau yang diambil dari Pasar Badung sebesar 73,91 mg/kg. Perbedaan hasil serapan logam berat ini diduga karena setiap spesies tanaman famili Brassica mempunyai karakteristik yang berbeda-beda.

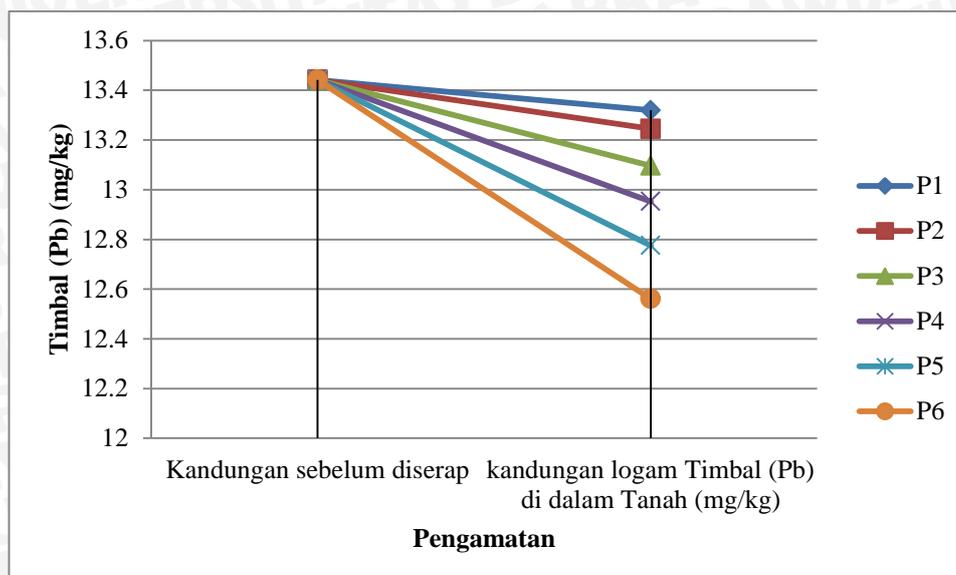
4.2.4 Penurunan Kandungan Timbal (Pb) dalam Tanah

Penurunan kandungan Pb dalam tanah diamati untuk mengetahui efektifitas mikoriza yang telah diaplikasikan dalam meningkatkan serapan logam timbal. Selain itu, dengan adanya data hasil analisis logam pada tanah dapat digunakan untuk mengetahui dosis mikoriza yang terbaik dalam meningkatkan serapan pada tanaman.

Tabel 8. Kandungan logam Timbal (Pb) sebelum dan setelah diserap

Perlakuan	Kandungan sebelum diserap	kandungan logam Timbal (Pb) di dalam Tanah (mg/kg) ($\bar{x} \pm SE$)
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	13,442	13,3195 \pm 0,0275
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	13,442	13,245 \pm 0,038
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	13,442	13,0965 \pm 0,0115
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	13,442	12,9525 \pm 0,0275
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	13,442	12,775 \pm 0,005
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	13,442	12,561 \pm 0,037

Keterangan : TH : Tanaman Hiperakumulator (Jarak Pagar dan Tembakau), Pb : Timbal (100 mg/Kg).



Gambar 20. Grafik kandungan logam Timbal (Pb) sebelum dan setelah diserap

Kandungan logam Pb dalam tanah yang diukur di awal menunjukkan pencemaran timbal sebanyak 13,442 mg/kg dan di akhir pengamatan memberikan informasi mengenai logam Pb yang belum terserap oleh tanaman. Dari data pengamatan yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis mikoriza yang diaplikasikan pada tanaman semakin meningkatkan daya serap tanaman. Hal ini diduga penyerapan logam timbal pada tanaman dibantu oleh mikoriza. Kandungan logam berat yang dilakukan sebelum dan sesudah pengamatan diperoleh nilai yang masih dibawah ambang batas kandungan logam timbal di dalam tanah. Menurut Duruibe dkk (2007) batas maksimal kandungan logam timbal di dalam tanah yaitu 420 mg/kg. Sedangkan menurut (Kabata-Pendias dan Mukherjee 2007 dalam Mulyadi, 2013) ambang batas logam Pb dalam tanah sebesar 20 mg/kg. Pengurangan kandungan logam berat yang ada di dalam tanah menggunakan tanaman kailan, jarak pagar, dan tembakau dengan penambahan dosis mikoriza 200 g selama 63 hari dapat mengurangi kandungan logam berat yang ada di dalam tanah sebesar 0,881 mg/kg. Dengan demikian untuk menghabiskan kandungan logam timbal yang ada di dalam tanah membutuhkan penambahan dosis mikoriza 200 g selama 976,5 hari atau 2,67 tahun.

4.2.5 Pertumbuhan vegetatif meliputi tinggi, jumlah daun, dan berat basah

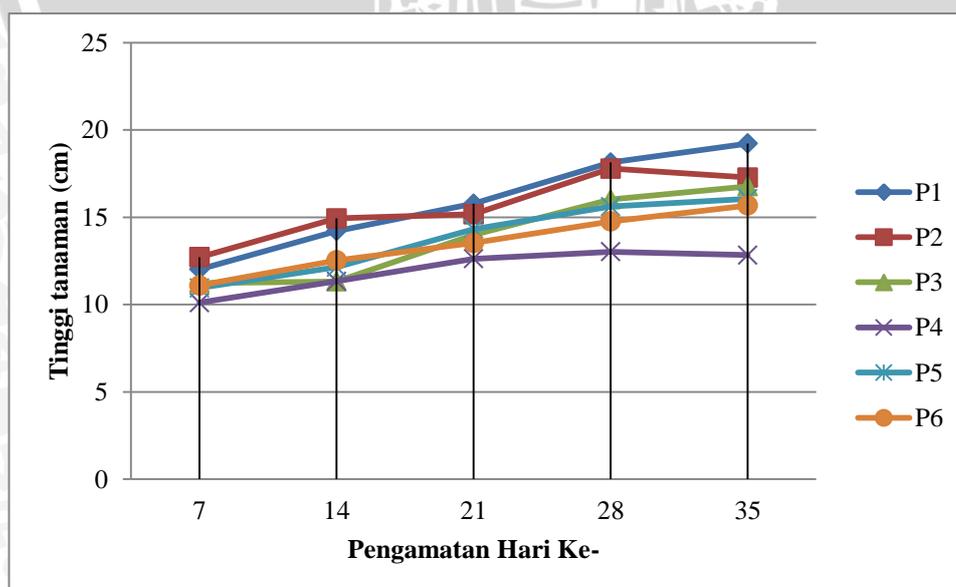
a. Tinggi tanaman

Pertumbuhan vegetatif tanaman kailan diamati untuk mengetahui pengaruh mikoriza dalam penyerapan logam berat timbal dan intensitas serangan akar gada. Adapun parameter pertumbuhan tanaman yang diamati antara lain tinggi, jumlah daun, dan berat basah tanaman tanpa akar. Berikut data pertumbuhan tanaman yang dapat dilihat pada tabel.

Tabel 9. Rerata tinggi tanaman kailan

Perlakuan	Pengamatan Hari Ke-							
	7	14	21	28	35			
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	12,025	14,2125	15,775	c	18,1375	c	19,225	b
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	12,7125	14,9375	15,175	bc	17,7875	bc	17,275	ab
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	11,2375	11,325	13,9875	abc	16,025	abc	16,775	ab
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	10,1125	11,3375	12,625	a	13,025	a	14,1625	a
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	10,95	12,1375	14,325	abc	15,6125	abc	16,0625	ab
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	11,1	12,5375	13,525	ab	14,7625	ab	15,675	ab

Keterangan : TH : Tanaman Hiperakumulator (Jarak Pagar dan Tembakau), Pb : Timbal (100 mg/Kg). Angka-angka yang di dampingi oleh huruf yang sama pada baris atau kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan dengan taraf 5%.



Gambar 21. Grafik rerata tinggi tanaman kailan

Tinggi tanaman kailan yang diukur sebanyak 5 kali dalam interval 7 hari sekali menghasilkan data yang variatif. Berdasarkan data yang diperoleh, Aplikasi mikoriza dengan berbagai dosis pada pengamatan ketiga, keempat, dan kelima memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Dari pengamatan yang dilakukan pada minggu ketiga, keempat, dan kelima, perlakuan keempat mempunyai pengaruh tinggi tanaman yang berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan pertama. Namun tidak berpengaruh nyata pada perlakuan yang lainnya. Sedangkan pada pengamatan pertama dan kedua, pemberian dosis mikoriza tidak terdapat pengaruh yang berbeda nyata terhadap tinggi tanaman. Hal ini diduga karena asosiasi akar tanaman dengan mikoriza belum optimal karena masih diawal pengamatan. Menurut Prasasti dkk (2013) menyebutkan bahwa perlakuan dosis mikoriza memberikan pengaruh terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun sehat tanaman kacang tanah pada minggu ke-4 setelah tanam.

Nilai rata-rata tertinggi pada parameter tinggi tanaman dengan perlakuan berbagai macam dosis mikoriza, diperoleh pada perlakuan pertama. Sedangkan nilai rata-rata terendah pada parameter tinggi tanaman diperoleh pada perlakuan keempat. Lebih rendahnya perlakuan keempat dibandingkan dengan perlakuan pertama, diduga karena pengaruh penyerapan logam timbal pada bagian tanaman yang dibantu oleh mikoriza. Dengan semakin meningkatnya pemberian dosis mikoriza, dapat meningkatkan serapan logam berat pada tanaman sehingga berpengaruh terhadap metabolisme tanaman seperti tinggi tanaman, jumlah daun dan berat basah tanaman.



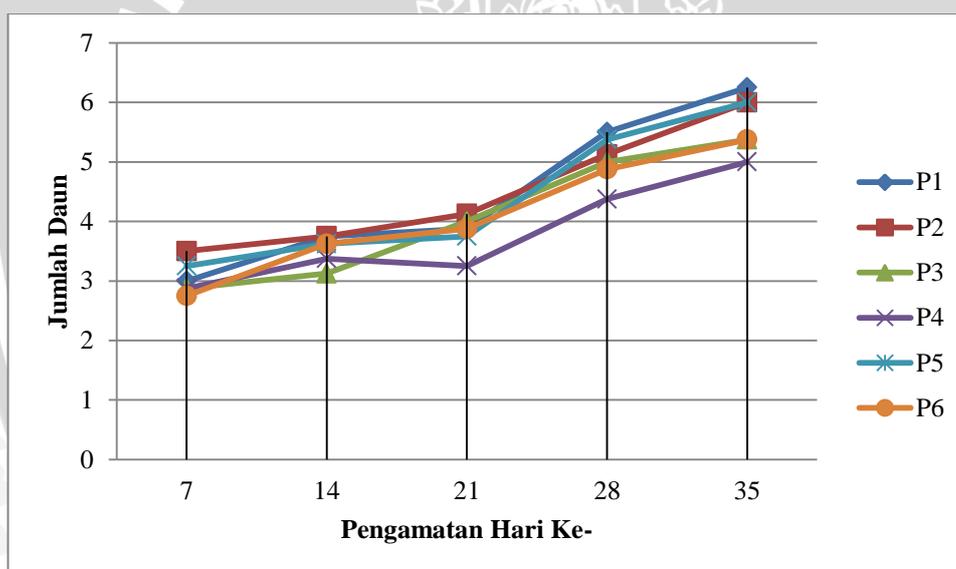
Gambar 22. Pengamatan tinggi tanaman

b. Jumlah daun

Tabel 10. Rerata jumlah daun kailan

Perlakuan	Pengamatan hari ke-				
	7	14	21	28	35
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	3	3,75	3,875	5,5	6,25
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	3,5	3,75	4,125	5,125	6
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	2,875	3,125	4	5	5,375
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	2,875	3,375	3,25	4,375	5
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	3,25	3,625	3,75	5,375	6
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	2,75	3,625	3,875	4,875	5,375

Keterangan : TH : Tanaman Hiperakumulator (Jarak Pagar dan Tembakau), Pb : Timbal (100 mg/Kg). Angka-angka yang di dampingi oleh huruf yang sama pada baris atau kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan dengan taraf 5%.



Gambar 23. Grafik rerata jumlah daun kailan

Berdasarkan data pengamatan pada parameter jumlah daun yang dilakukan selama 35 hari, perlakuan berbagai macam dosis mikoriza pada tanaman kailan tidak memberikan pengaruh perbedaan nyata. Hal ini diduga karena pengaruh logam timbal yang terserap dalam bagian tanaman sehingga berpengaruh pada metabolisme tanaman seperti jumlah daun.

c. Berat basah tanaman tanpa akar

Tabel 11. Berat basah tanaman kailan tanpa akar

Perlakuan	Berat basah tanaman kailan tanpa akar	
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	5,425	b
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	3,6875	ab
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	3,3875	a
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	2,4875	a
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	3,6	ab
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	2,7625	a

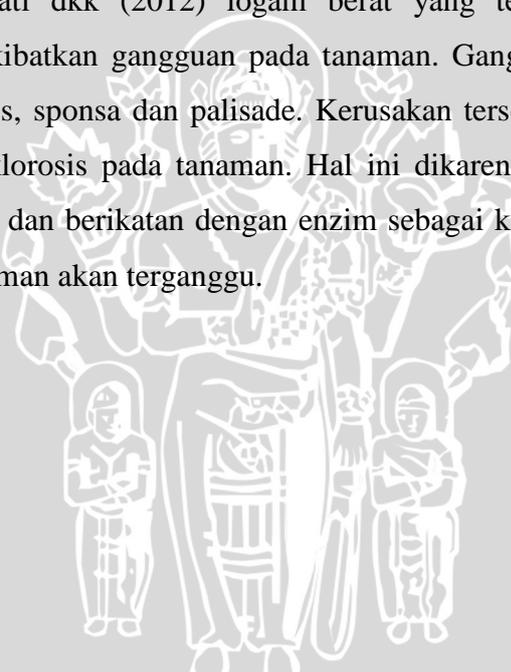
Keterangan : TH : Tanaman Hiperakumulator (Jarak Pagar dan Tembakau), Pb : Timbal (100 mg/Kg). Angka-angka yang di dampingi oleh huruf yang sama pada baris atau kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan dengan taraf 5%.

Pengamatan berat basah akar yang dilakukan pada saat pemanenan memberikan hasil yang berbeda nyata antara perlakuan tanpa mikoriza dengan perlakuan ketiga, keempat, dan keenam. Namun perlakuan tanpa mikoriza tidak memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap perlakuan kedua dan kelima. Pada parameter berat basah tanaman ini, diduga juga dipengaruhi oleh serapan logam timbal pada bagian tanaman. Hal ini dikarenakan serapan logam timbal yang tinggi dapat menurunkan pertumbuhan tanaman sehingga berat basah tanaman menurun.

Pertumbuhan tanaman yang diamati dalam penelitian ini meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat basah tanaman tanpa akar. Penelitian dengan perlakuan dosis mikoriza pada tanaman kailan diharapkan mampu memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Pada hasil analisis pertumbuhan menyatakan bahwa terdapat perbedaan nyata pada pertumbuhan tanaman namun tidak terjadi pada semua pengamatan. Seperti pengamatan tinggi tanaman, aplikasi dosis mikoriza pada perlakuan keempat memberikan pengaruh berbeda nyata dengan perlakuan pertama pada pengamatan ketiga, keempat, dan kelima. Namun tidak memberikan pengaruh berbeda nyata pada perlakuan lainnya. Dari hasil pengamatan tinggi tanaman, perlakuan yang paling tinggi berada pada perlakuan pertama yaitu perlakuan tanpa mikoriza. Pada pengamatan jumlah daun memberikan hasil yang tidak berbeda nyata pada semua pengamatan. Sedangkan dari hasil pengamatan berat basah tanaman tanpa akar yang diamati setelah panen diperoleh hasil yang berbeda nyata antara perlakuan tanpa mikoriza dengan

perlakuan ketiga, keempat, dan keenam. Namun rata-rata tertinggi pada pengamatan jumlah daun dan berat basah tanaman tanpa akar sama dengan perlakuan tinggi tanaman yaitu pada perlakuan pertama (tanpa mikoriza).

Hasil pengamatan ini menunjukkan bahwa perlakuan tanpa dosis mikoriza pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun dan berat basah tanaman memberikan nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada perlakuan lainnya. Hal ini diduga dengan semakin tinggi dosis mikoriza yang diberikan dapat meningkatkan akumulasi logam pada bagian tanaman sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Sedangkan dengan semakin rendah akumulasi logam berat pada tanaman, proses metabolisme tanaman tetap berjalan dengan baik dan menghasilkan tinggi tanaman dan jumlah daun mempunyai nilai rerata semakin tinggi. Menurut Haryati dkk (2012) logam berat yang terakumulasi dalam tanaman dapat mengakibatkan gangguan pada tanaman. Gangguan dapat terjadi pada jaringan epidermis, sponsa dan palisade. Kerusakan tersebut dapat ditandai dengan nekrosis dan klorosis pada tanaman. Hal ini dikarenakan logam timbal dapat masuk dalam sel dan berikatan dengan enzim sebagai katalisator, sehingga reaksi kimia di sel tanaman akan terganggu.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) yang diberikan pada tanaman kailan dengan dosis 120 g efektif menekan penyakit akar gada jika dibandingkan dengan dosis 0-200 g.
2. Mikoriza meningkatkan serapan logam timbal jika dibandingkan kontrol. Banyaknya logam timbal yang diserap mengikuti peningkatan dosis Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA) yang diberikan.

5.2 Saran

Dilahan tercemar timbal pengendalian penyakit dapat menggunakan Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA) dengan dosis 120 g.



DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G.N. 2005. Plant pathology. Department of Plant Pathology University of Florida.
- Agustina, T. 2010. Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Ardyanto, D. 2005. Deteksi Pencemaran Timah Hitam (Pb) Dalam Darah Masyarakat Yang Terpajan Timbal (Plumbum). Universitas Airlangga. Surabaya.
- Ariesoesilaningsih, E. 1986. Pengaruh Timbal Dan Kadmium Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai *Glycine max* (L.) Merr.). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Asniah, Widodo, dan S. Wiyono, 2013. Potensi Cendawan Asal Tanah Perakaran Bambu Sebagai Endofit Dan Agen Biokontrol Penyakit Akar Gada Pada Tanaman Brokoli. Departemen Proteksi Tanaman. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Bengkulu (BPTPB), 2012. Petunjuk Teknis : Pengkajian Teknologi Pembungan Dan Pembuahan Jeruk Gerga Di Lebong Di Provinsi Bengkulu. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Bengkulu. Bengkulu.
- Bayu, I.M., R. Dwina., dan I.T. Poppy, 2010. Akumulasi Logam Kobalt Dari Tanah Andosol Menggunakan Tanaman Sawi India (*Brassica Juncea*). Institute Teknologi Bandung. Bandung.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Sensus Penduduk 1971. 1980. 1990. 2000 dan Survei Penduduk Antar Sensus (SUPAS) 1995. Diakses pada tanggal 05 Mei 2015.
- Burnett, F., P. Gladders., J.A. Smith. & C. Theobald. 2013. Management of clubroot (*Plasmiodiophora brassicae*) in winter oilseed rape. Agriculture and Horticulture Development Board. UK: HGCA.
- Cicu. 2006. Penyakit Akar Gada (*Plasmiodiophora brassicae* Wor.) Pada Kubis-Kubisan dan Upaya Pengendaliannya. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Selatan. Makassar.
- Directorate Plant Production. 2012. Cauliflower (*Brassica oleraceae* var. Botrytis). Republic of South Africa: Department of Agriculture, Forestry, and Fisheries.
- Delvian. 2006. Status dan Kelimpahan cendaa mikoriza arbuskula di hutan pantai berdasarkan gradien salinitas. Universitas Sumatra Utara. Medan.

- Dewi, I.R. 2007. Peran. Prospek. dan Kendala dalam Pemanfaatan Endomikoriza. Fakultas Pertanian. Universitas Padjadjaran. Jatinangor.
- Duruibe, J.O., M.O.C. Ogweugbu. and J.N. Egwurugwu. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. International Journal of Physical Sciences. Nigeria.
- Fitriatin, N.B. 2011. Prospek pemanfaatan mikroba potensial dalam rehabilitasi lahan kritis di Indonesia. Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Habte, M. 2000. Mycorrhizal Fungi and Plant Nutrition. University of Hawaii at Manoa. Hawaii.
- Hajoeningtjas, O. D. 2009. Ketergantungan Tanaman Terhadap Mikoriza Sebagai Kajian Potensi Pupuk Hayati Mikoriza Pada Budidaya Tanaman Berkelanjutan. Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Purwokerto.
- Hambali, E. A. dan Dadang. 2007. jarak pagar tanaman penghasil biodisel. SBRC.LPPM-IPB, Bogor.
- Haryati, M., T. Purnomo, dan S. Kuntjoro. 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.)Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda. Lateral Bio Vol. 1 No. 3.
- Hermawan, H.A., R.S. Muin, dan Wulandari. 2015. Kelimpahan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) pada Tegakan Ekaliptus (*Eucalyptus pellita*) Berdasarkan Tingkat Kedalaman Di Lahan Gambut. Jurnal Hutan Lestari. Pontianak.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Bogor.
- Hikmia, Z. 2012. Identifikasi Spesies *Meloidogyne* spp. Penebab Umbi Bercabang Pada Tanaman Wortel (*Daucus carota* L.) di Jawa Timur. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Irsyad, M., R. Sikanna, dan Musafira. 2014. Translokasi Merkuri (Hg) Pada Daun Tanaman Bayam Duri (*Amaranthus spinosus* L) Dari Tanah Tercemar. Universitas Tadulako. Palu.
- Karimuna, L. dan Halim. 2011. Respon Tanaman Jagung Terhadap Aplikasi Bioteknologi Mikoriza Indigen Gulma dan Pupuk Bokashi Vegetasi Sekunder pada Tanah Levelling Off. Universitas Haluoleo. Kendari.

- Kumalawati, Z. 2006. Dampak Penggunaan Mikoriza (*Glomus fasciculatus*), *Gliocladium* sp. dan *Pseudomonas fluorescens* Terhadap Pertumbuhan Bibit Vanili (*Vanilla planifolia* Andrews) dan Intensitas Serangan Penyakit Busuk Batang (*Fusarium oxysporum* f.sp *vanillae*). Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Kurnia, U.H., R. Suganda, Saraswati, dan Nurjaya. 2004. *Teknologi Pengendalian Pencemaran Lahan Sawah*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan. Bogor.
- Linderman, R.G., 1996. Role of VAM Fungi in Biocontrol. Mycorrhizae and Plant Health, Symposium Series (Edited by F.L. Pflieger and R.G. Linderman). The American Phytopathological Society, APS Press, St. Paul, Minnesota.
- Mangkoedihardjo, S., Surahmida, C. Margareth, Y. Ludang. 2008. Sistem Loop Pemulihan Tanah Tercemar Timbal Menggunakan Proses Bioaugmentasi Kompos dan Fitoremediasi Tanaman Jarak Pagar. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Mulyadi, 2013. Logam Berat Pb Pada Tanah Sawah dan Gabah di SUB-DAS Juwana Jawa Tengah. (*Agrologia*) Jurnal Ilmu Budidaya Tanaman. Pati.
- Niswati, A.S., M.A.S. Yusnaini, Arif. 2008. Populasi Mikroba Pelarut Fosfat dan P tersedia pada Rizosfir beberapa Umur dan Jarak dari Pusat Perakaran Jagung (*Zea mays* L.). Universitas Lampung. Lampung.
- Nopriani, L.S. 2011. Teknik Uji Cepat untuk Identifikasi Pencemaran Logam Berat Tanah di Lahan Apel Batu. Program Doktor Pengelolaan Sumber Daya Alam & Lingkungan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Pamungkas, J. 2015. Gagal Panen Akibat Limbah Tekstil. <http://photo.sindonews.com/view/15513/gagal-panen-akibat-limbah-tekstil>. Diakses pada tanggal 20 Desember 2015.
- Prasasti, O.H., K.I. Purwani, dan S. Nurhatika. 2013. Uji Hayati Mikoriza *Glomus fasciculatum* Terhadap Patogen *Sclerotium rolfsii* pada Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L. var. Domba). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya.
- Prayudyaningsih, R. 2012. Mikoriza dalam pengelolaan hama penyakit terpadu di persemaian. Balai Penelitian Kehutanan Makassar. Makasar.
- Pinho, S. and B. Ladeiro. 2012. Phytotoxicity by Lead as Heavy Metal Focus on Oxidative Stress. Hindawi Publishing Corporation Journal of Botany. Portugal.

Priandoko, D.A., N.M.D. Parwanayoni, dan I.K. Sundra. 2013, Kandungan Logam Berat (Pb dan Cd) Pada Sawi Hijau (*Brassica rapa* l. Subsp. *Perviridis* Bailey) Dan Wortel (*Daucus Carrota* L. Var. *Sativa Hoffm*) Yang Beredar Di Pasar Kota Denpasar. Universitas Udayana. Denpasar.

Puspitasari, D., K.I. Purwani, dan A. Muhibuddin. 2012. Eksplorasi Vesicular Arbuscular Mycorrhiza Indigenous pada Lahan Jagung di Desa Torjun. Sampang Madura. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Purdyaningsih, E. 2013. Mengenal Varietas Unggul tembakau di Jawa Timur Sebagai Upaya Meningkatkan Mutu Benih. Balai Besar Perbenihan Dan Proteksi Tanaman Perkebunan. Surabaya.

Rosidah, S., Y.U. Anggraito, dan K.K. Pukan. 2014. Uji Toleransi Tanaman Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) Terhadap Cekaman Kadmium (Cd). Timbal (Pb). Tembaga (Cu) pada Kultur Cair. Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Sastrahidayat, I.R. 2011. Ilmu Jamur (Mikologi). Universitas Brawijaya Press. Malang.

Sastrosiswojo, S., T.S. Uhan, dan R. Sutarya. 2005. Penerapan Teknologi PHT pada Tanaman Kubis. Balai Penelitian Tanaman Sayuran. Bandung.

Suharno. dan R.P. Sancayaningsih. 2013. Fungi Mikoriza Arbuskula: Potensi teknologi mikorizoremediasi logam berat dalam rehabilitasi lahan tambang. Universitas Cenderawasih. Jayapura.

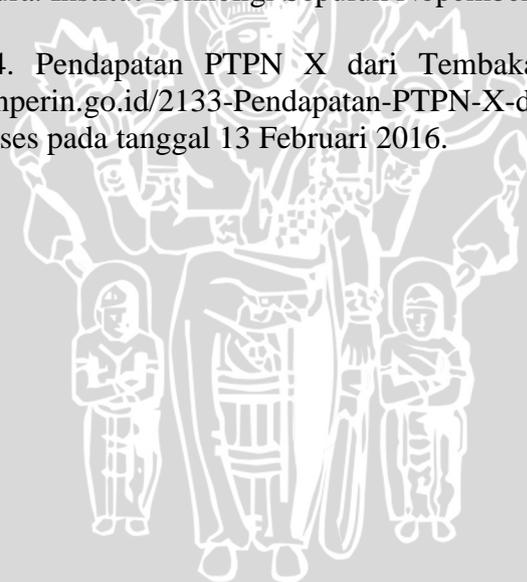
Surahmaida. 2011. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Pb Dan Cd Dengan Menggunakan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* Linn.). Master Theses of Environmental Engineering. Intitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Susilowati, A.B. 2014. Pengaruh Getah Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* L) Terhadap Daya Hambat Bakteri *Staphylococcus Aureus* Secara In Vitro. Universitas Hasanuddin. Makasar.

Sutono, S. dan U. Kurnia. 2000. Identifikasi Kerusakan Lahan Sawah Di Rancaekek Kabupaten Bandung. Jawa Barat. Badan Litbang Pertanian Pada Balai Penelitian Tanah. Bogor.

Towaki, F. 2014. Insidensi Penyakit Akar Gada (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) Pada Tanaman Kubis Di Desa Rurukan Dan Kumelembuay Kecamatan Tomohon Timur Kota Tomohon. Universitas Sam Ratulangi. Manado.

- Vendelbo, N.M. 2015. Clubroot in Danish winter rapeseed. caused by *Plasmodiophora brassicae*. Agrobiology Faculty of Science and Technology Aarhus University. Denmark.
- Walker, C. 2010. Interesting fungi at Ben Lawers – *Acaulospora brasiliensis*, *Acaulospora alpina* and *Glomus ambisporum*. Ben Lawers NNR Newsletter. Scotland.
- World Health Organization. 2010. Childhood lead poisoning. World Health Organization Press. Switzerland.
- Wijaya, K.A. 2009. Aplikasi Pupuk Lewat Daun pada Tanaman Kailan (*Brassica oleracea*). Universitas Negeri Jember. Jember.
- Wulandari, G., Suirmen, Z.A. Noli. 2014. Kompatibilitas Spora *Glomus* Hasil Isolasi dari Rizosfer *Macaranga triloba* dengan Tiga Jenis Tanaman Inang. Universitas Andalas. Padang.
- Yulianitha, A., T. Nurhidayati, I. Trisnawati. 2011. Komposisi Jenis Mikoriza dari Perakaran Tembakau (*Nicotiana tabaccum*) di Desa Bajur dan Orai Pamekasan Madura. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Yuswiyanto, A. 2014. Pendapatan PTPN X dari Tembakau Rp300 Miliar. <http://agro.kemenperin.go.id/2133-Pendapatan-PTPN-X-dari-Tembakau-Rp-300-Miliar>. Diakses pada tanggal 13 Februari 2016.





LAMPIRAN



Tabel lampiran 1. Rerata jumlah spora mikoriza per 10 gr tanah

Perlakuan	Jumlah Spora pada tanah per 10 g
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	0
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	34,5
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	14
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	4,5
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	1,5
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	3,5

Tabel lampiran 2. Infeksi mikoriza pada akar kailan, tembakau, dan jarak pagar

Perlakuan	Infeksi mikoriza pada akar (%)		
	kailan	tembakau	jarak pagar
Jarak Pagar + Tembakau + 0 gr Mikoriza (P1)	36	24	4
Jarak Pagar + Tembakau + 40 gr Mikoriza (P2)	48	32	20
Jarak Pagar + Tembakau + 80 gr Mikoriza (P3)	28	40	16
Jarak Pagar + Tembakau + 120 gr Mikoriza (P4)	36	20	20
Jarak Pagar + Tembakau + 160 gr Mikoriza (P5)	36	16	32
Jarak Pagar + Tembakau + 200 gr Mikoriza (P6)	32	36	24

Tabel lampiran 3. Analisa intensitas serangan akar gada

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%
Perlakuan	5	8255,208	1651,042	2,948837	2,772853	4,247882
Galat	18	10078,13	559,8958			*
Total	23	18333,33				

Tabel lampiran 4. Analisa berat basah tanaman kailan

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%
Perlakuan	5	21,24833	4,249667	2,938686	2,772853	4,247882
Galat	18	26,03	1,446111			*
Total	23	47,27833				

Tabel lampiran 5. Analisa tinggi tanaman pada 7 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%
Perlakuan	5	16,31344	3,262688	1,763185	2,772853	4,247882
Galat	18	33,30812	1,850451			tn
Total	23	49,62156				

Tabel lampiran 6. Analisa tinggi tanaman pada 14 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%
Perlakuan	5	45,48052	9,096104	2,400665	2,772853	4,247882
Galat	18	68,20187	3,788993			tn
Total	23	113,6824				

Tabel lampiran 7. Analisa tinggi tanaman pada 21 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%
Perlakuan	5	25,68302	5,136604	2,82711	2,772853	4,247882
Galat	18	32,70437	1,81691			*
Total	23	58,3874				

Tabel lampiran 8. Analisa tinggi tanaman pada 28 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%	
Perlakuan		5	72,90583	14,58117	3,25019	2,772853	4,247882
Galat		18	80,7525	4,48625			*
Total		23	153,6583				

Tabel lampiran 9. Analisa tinggi tanaman pada 35 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%	
Perlakuan		5	212,2705	42,4541	3,361971	2,772853	4,247882
Galat		18	227,2994	12,62774			*
Total		23	439,5699				

Tabel lampiran 10. Analisa jumlah daun pada 7 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%	
Perlakuan		5	1,583333	0,316667	1,982609	2,772853	4,247882
Galat		18	2,875	0,159722			tn
Total		23	4,458333				

Tabel lampiran 11. Analisa jumlah daun pada 14 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%	
Perlakuan		5	1,208333	0,241667	1,933333	2,772853	4,247882
Galat		18	2,25	0,125			tn
Total		23	3,458333				

Tabel lampiran 12. Analisa jumlah daun pada 21 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%	
Perlakuan		5	1,84375	0,36875	1,863158	2,772853	4,247882
Galat		18	3,5625	0,197917			tn
Total		23	5,40625				

Tabel lampiran 13. Analisa jumlah daun pada 28 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%	
Perlakuan		5	3,208333	0,641667	1,32	2,772853	4,247882
Galat		18	8,75	0,486111			tn
Total		23	11,95833				

Tabel lampiran 14. Analisa jumlah daun pada 35 hst.

SK	Db	JK	KT	F hit	F Tab 5%	F Tab 1%	
Perlakuan		5	4,708333	0,941667	1,674074	2,772853	4,247882
Galat		18	10,125	0,5625			tn
Total		23	14,83333				



Gambar Lampiran 1. Persiapan media tanam



Gambar Lampiran 2. Sterilisasi media tanam



Gambar Lampiran 3. Penutupan media tanam setelah disterilisasi dengan formalin 5% selama 7 hari



Gambar Lampiran 4. Penghawaran tanah



Gambar Lampiran 5. Memasukkan tanah pada trash bag



Gambar Lampiran 6. Pencemaran tanah dengan logam Timbal (Pb)



Gambar lampiran 7. Pembibitan tanaman jarak pagar dan tembakau



Gambar lampiran 8. Pembibitan tanaman kailan



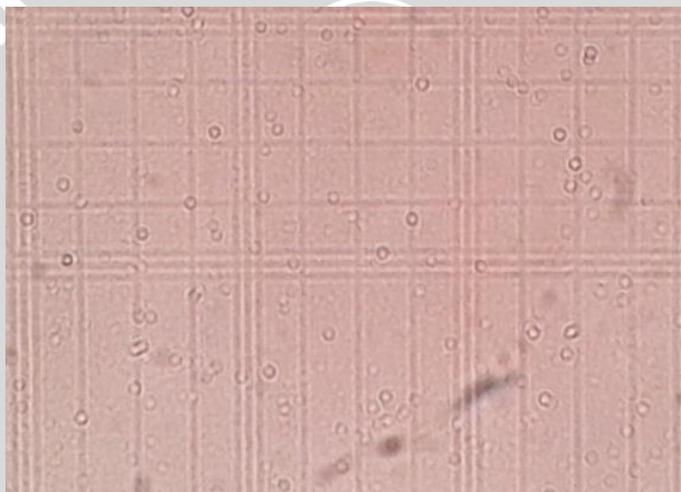
Gambar Lampiran 9. Penanaman tanaman dan inokulasi patogen



Gambar lampiran 10. Akar gada yang dihaluskan dalam blender sebagai inokulum



Gambar lampiran 11. Memisahkan spora dengan kotoran dengan sentrifuge



Gambar Lampiran 12. Spora patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor.



Gambar lampiran 13. Inokulasi patogen *Plasmodiophora brassicae* Wor.



Gambar lampiran 14. Pengamatan tinggi tanaman dan jumlah daun