

**UPAYA PENGENDALIAN PENYAKIT AKAR GADA  
(*Plasmodiophora brassicae* Wor.) PADA TANAMAN SAWI  
HIJAU MENGGUNAKAN TANAMAN SENGON  
BERMIKORIZA DI LAHAN TERCEMAR LOGAM Pb**

**OLEH**

**EDI KURNIAWAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
MALANG  
2016**

**UPAYA PENGENDALIAN PENYAKIT AKAR GADA  
(*Plasmodiophora brassicae* Wor.) PADA TANAMAN SAWI  
HIJAU MENGGUNAKAN TANAMAN SENGON  
BERMIKORIZA DI LAHAN TERCEMAR LOGAM Pb**

**OLEH**

**EDI KURNIAWAN**

**115040200111171**

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

**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 dosen pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya 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

Edi Kurniawan



**LEMBAR PERSETUJUAN**

**Judul Skripsi** : *Upaya Pengendalian Penyakit Akar Gada (Plasmodiophora brassicae Wor.) pada Tanaman Sawi Hijau menggunakan Tanaman Sengon Bermikoriza di Lahan Tercemar Logam Pb*

**Nama** : Edi Kurniawan

**NIM** : 115040200111171

**Program Studi** : Agroekoteknologi

**Minat** : Hama dan Penyakit Tumbuhan

**Menyetujui** : Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP.  
NIP. 19771130 200501 1 002



Restu Rizkyta Kusuma, SP., M.Sc.  
NIK. 2014098805042001

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



Prof. Ir. Liliek Sulistyowati, Ph.D  
NIP. 19551212 198003 2 003

Penguji II



Restu Rizkyta Kusuma, SP., M.Sc  
NIK. 2014098805042001

Penguji III



Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP.  
NIP. 19771130 200501 1 002

Penguji IV



Dr. Ir. Sri Karindah, MS.  
NIP. 19520517 197903 2 002

**Tanggal Lulus:** 29 FEB 2016

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Skripsi ini saya persembahkan untuk  
Kedua orangtua tercinta Bapak Matnasir dan Ibu Bawoni,  
Kakek dan Nenek,  
Kakakku Rudi Haryanto dan Adikku Susi Susanti,  
serta Dinnar Kusumaningtyas*

## RINGKASAN

**Edi Kurniawan. 115040200111171. Upaya Pengendalian Penyakit Akar Gada (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) pada Tanaman Sawi Hijau menggunakan Tanaman Sengon Bermikoriza di Lahan Tercemar Logam Pb. Dibawah bimbingan Dr. Anton Muhibuddin SP., MP. dan Restu Rizkyta Kusuma SP., MSc.**

---

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar penduduknya bekerja sebagai petani. Salah satu komoditas pertanian yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah sawi hijau. Produksi tanaman sawi hijau dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah serangan penyakit. Penyakit pada tumbuhan dapat disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik yang menyebabkan penyakit pada tanaman sawi hijau adalah patogen *Plasmodiophora brassicae* penyebab akar gada. Sedangkan salah satu faktor abiotik yang menyebabkan penyakit pada tanaman adalah pencemaran logam Pb (timbal). Salah satu pengendalian yang dapat digunakan adalah pemanfaatan tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*) yang diinokulasi dengan mikoriza. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian mikoriza terhadap serangan penyakit akar gada yang disebabkan oleh *P. brassicae* pada tanaman sawi hijau di lahan tercemar logam Pb dan pengaruh mikoriza terhadap serapan logam Pb pada tanaman sengon.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mikologi Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan dan Rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya serta Laboratorium Kimia Universitas Muhammadiyah Malang pada bulan Maret sampai Oktober 2015. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan 4 kali ulangan. Perlakuan yang diujikan adalah P0=0 g mikoriza, P1= 20 g mikoriza, P2= 40 g mikoriza, P3= 60 g mikoriza, P4= 80 g mikoriza, dan P5=100 g mikoriza.

Hasil pengamatan terhadap intensitas penyakit akar gada pada tanaman sawi hijau menunjukkan pemberian mikoriza berpengaruh nyata terhadap penurunan intensitas penyakit. Intensitas penyakit tertinggi pada perlakuan tanpa mikoriza (kontrol) yaitu sebesar 66%, sedangkan perlakuan pemberian 100 g mikoriza memiliki intensitas penyakit terendah yaitu sebesar 25%. Pemberian berbagai dosis mikoriza (0-100 g) tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman sawi hijau. Persentase infeksi mikoriza terendah pada tanaman sengon maupun sawi hijau terjadi pada perlakuan kontrol yaitu 0%. Pada tanaman sengon persentase infeksi tertinggi pada perlakuan pemberian 100 g mikoriza yaitu 60%, sedangkan pada tanaman sawi hijau persentase infeksi tertinggi pada perlakuan pemberian 80 dan 100 g mikoriza yaitu masing-masing 52%. Pemberian mikoriza dapat meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman sengon. Hasil pengamatan serapan logam Pb pada tanaman sengon terendah pada perlakuan kontrol yaitu sebesar 0,1745 mg/kg, sedangkan pada perlakuan pemberian 100 g mikoriza memiliki serapan paling tinggi yaitu sebesar 0,7108 mg/kg.

## SUMMARY

**Edi Kurniawan. 115040200111171. Clubroot Disease Control Efforts (*Plasmiodiophora brassicae* Wor.) on *Brassica juncea* using *Paraserianthes falcataria* with Mycorrhizal Influenced at Pb Contaminated Land. Supervised by Dr. Anton Muhibuddin SP., MP. dan Restu Rizkyta Kusuma, SP., MSc.**

---

Indonesia is an agricultural country with most of the population worked as farmers. One of the agricultural commodities that grown in Indonesia is *Brassica juncea*. Production of *B. juncea* are influenced by many factors such as the attack of disease. Plant diseases can be caused by two factors are biotic and abiotic factors. Biotic factors which cause disease on *B. juncea* is pathogen *Plasmiodiophora brassicae* as clubroot. One of the abiotic factors that cause disease in plants is the contamination Pb (lead). One way of control can be *Paraserianthes falcataria* when inoculated with mycorrhizal. This study aimed to determine the effect of mycorrhizal on clubroot disease attack caused by *P. brassicae* on *B. juncea* in contaminated land of Pb and the effect of mycorrhizal on the absorption Pb on *P. falcataria*.

The research was conducted at the mycology laboratory Department of Plant Protection, greenhouses Faculty of Agriculture, Brawijaya University and Chemical Laboratory of Muhammadiyah University, Malang from March to October 2015. The research used completely randomized design with 6 treatments and 4 replications. The treatments tested were P0= 0 g mycorrhizal, P1= 20 g mycorrhizal, P2= 40 g mycorrhizal, P3= 60 g mycorrhizal, P4= 80 g mycorrhizal and P5= 100 g mycorrhizal.

The observation to the intensity of clubroot on *B. juncea* showed that the treatment of mycorrhizal significantly decreased the disease intensity. The highest disease intensity at without mycorrhizal treatment (control) that was equal to 66%, while giving 100 g mycorrhizal treatment had the lowest disease intensity at 25%. Several doses mycorrhizal (0-100 g) did not significantly affect the vegetative growth of *B. juncea*. The lowest percentage of mycorrhizal infection on *B. juncea* and *P. falcataria* plants occur on treatment control is 0%. In *P. falcataria* the highest percentage of infection mychorrizal in treatment 100 g mycorrhizal is 60%, whereas *B. juncea* the highest percentage of infection mychorrizal in treatment given 80 and 100 g mycorrhizal each 52%. The addition of mycorrhiza can improved the absorption of Pb in *P. falcataria*. The observation of the absorption of Pb in *P. falcataria* was the lowest at treatment control given in the amount of 0.1745 mg/kg, whereas the treatment of 100 g mycorrhizal had the highest uptake in the amount of 0.7108 mg/kg.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “upaya pengendalian penyakit akar gada (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) pada tanaman sawi hijau menggunakan tanaman sengon bermikoriza di lahan tercemar logam Pb” dengan baik.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak, oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP. dan Restu Rizkyta Kusuma, SP., M.Sc. selaku dosen pembimbing, Dr. Ir. Sri Karindah, MS. dan Prof. Ir. Liliek Sulistyowati, Ph.D selaku dosen penguji atas nasihat, arahan, bimbingannya kepada penulis. Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada kedua orangtua tercinta Bapak Matnasir dan Ibu Bawoni atas ketulusan, kasih sayang, perjuangan, dan doa yang selalu mengiringi langkah penulis sehingga dapat menyelesaikan studi sampai jenjang ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya angkatan 2011 serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu atas dukungan, bantuan, dan kebersamaannya selama ini.

Penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak yang memerlukannya dan memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, Februari 2016

Penulis

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jember pada tanggal 26 September 1992. Penulis merupakan putra pertama dari dua bersaudara pasangan Matnasir dan Bawoni. Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Karangpring 02 Jember (1999-2005), kemudian melanjutkan pendidikan di MTs Al-Qodiri 1 Jember (2005-2008), selanjutnya melanjutkan pendidikan di MAN 1 Jember (2008-2011). Pada tahun 2011 penulis diterima sebagai salah satu mahasiswa di Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya, penulis pernah mengikuti beberapa kepanitian diantaranya adalah INAGURASI sebagai Divisi Transkoper (2012), Pengenalan Kehidupan Kampus Mahasiswa Universitas (PKKMU) UB sebagai Divisi Pendamping (2012), POSTER FP UB sebagai Divisi Keamanan (2013), Skill Up sebagai Koordinator Divisi Humas (2013), Klinik Tanaman sebagai Divisi PDD (2014), PROTEKSI (Pendidikan Dasar dan Orientasi Terpadu Keprofesian) sebagai Ketua Pelaksana (2014), PROTEKSI sebagai SC (Steering Commite) pada tahun 2015. Penulis juga memiliki pengalaman organisasi yaitu FORKANO (Forum Komunikasi Mahasiswa Agroekoteknologi) sebagai Koordinator Departemen Humas (2012-2013), BEM FP UB sebagai staf Departemen Infokom (2013-2014, dan HiMAPTA (Himpunan Mahasiswa Perlindungan Tanaman) sebagai staf Infokom (2014-2015). Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Teknologi Produksi Agens Hayati (2014-2015) dan Ilmu Penyakit Tanaman (2014-2015).

## DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERUNTUKAN .....	iv
RINGKASAN .....	v
SUMMARY .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Hipotesis .....	3
1.5 Manfaat .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penyakit Akar Gada pada Tanaman Sawi Hijau.....	5
2.2 Tanaman Sawi Hijau.....	6
2.3 Vesicular Arbuscular Mycorrhizal (VAM) dan Peranannya.....	7
2.4 Logam Pb (Plumbum).....	11
2.5 Fitoremediasi .....	13
2.6 Tanaman Sengon .....	14
2.7 Hubungan Tanah Supresif dengan Mikroorganisme Tanah .....	14
2.8 Hubungan Logam Berat dengan Mikroorganisme dalam Tanah.....	16
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Tempat dan Waktu.....	18
3.2 Alat dan Bahan .....	18
3.3 Metode Penelitian .....	18

3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	19
3.5 Parameter Pengamatan.....	22
3.6 Analisa Data.....	24
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Penyakit Akar Gada pada Tanaman Sawi Hijau.....	25
4.2 Intensitas Penyakit Akar Gada pada Tanaman Sawi Hijau .....	26
4.3 Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Sawi Hijau .....	27
4.4 Jumlah Spora Mikoriza dan Persen Infeksi Mikoriza.....	32
4.5 Analisis Logam Pb pada Tanah dan Tanaman .....	34
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>42</b>
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>46</b>



## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1	Penyakit akar gada.....	6
2	Efek keracunan Pb konsentrasi 90 mg/kg pada daun jarak pagar .....	12
3	Sketsa penanaman sengon dan sawi hijau pada <i>trashbag</i> .....	19
4	Penyakit akar gada pada tanaman sawi hijau .....	25
5	Mikroskopis spora <i>P. brassicae</i> penyebab akar gada.....	25
6	Rerata penambahan panjang batang tanaman sawi hijau dari awal penanaman sampai 35 HST .....	28
7	Grafik penambahan jumlah daun tanaman sawi hijau dari awal penanaman sampai 35 HST .....	29
8	Pengaruh pemberian mikoriza terhadap tanaman sawi hijau pada umur 35 HST .....	32
9	Mikoriza.....	33
10	Grafik penurunan kadar logam Pb dalam tanah .....	36
11	Grafik serapan logam Pb pada jaringan tanaman sengon.....	37
12	Grafik serapan logam Pb pada jaringan tanaman sawi hijau.....	38
13	Gejala keracunan Pb pada tanaman sawi hijau.....	39

## LAMPIRAN

Gambar Lampiran 1. Dokumentasi penelitian .....	52
Gambar Lampiran 2. Analisa logam Pb.....	53

**DAFTAR TABEL**

Nomor	Teks	Halaman
1	Skala serangan <i>P. brassicae</i> .....	22
2	Indeks penyakit akar gada pada tanaman sawi hijau .....	26
3	Panjang batang dan jumlah daun tanaman sawi hijau .....	28
4	Berat basah dan berat kering tanaman sawi hijau tanpa akar .....	31
5	Jumlah spora mikoriza dalam tanah setelah 35 HST .....	32
6	Persentase infeksi mikoriza pada akar tanaman sengon dan sawi hijau .....	33
7	Analisis kandungan Pb dalam tanah .....	35
8	Analisis serapan Pb pada jaringan tanaman sengon .....	36
9	Analisis serapan Pb pada jaringan tanaman sawi hijau .....	38

**LAMPIRAN**

Tabel Lampiran 1. Analisis ragam intensitas penyakit akar gada.....	47
Tabel Lampiran 2. Analisis ragam panjang batang tanaman sawi hijau.....	48
Tabel Lampiran 3. Analisis ragam jumlah daun tanaman sawi hijau .....	49
Tabel Lampiran 4. Analisis logam Pb.....	50

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani sehingga pertanian merupakan sektor penting dalam perekonomian Indonesia. Salah satu komoditas pertanian yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah sawi hijau. Komoditas sawi hijau banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan oleh masyarakat Indonesia. Produksi tanaman sawi hijau dalam kurun waktu 5 tahun terakhir sejak tahun 2010 sampai 2014 berfluktuasi. Di Jawa Timur produksi tanaman sawi hijau pada tahun 2010 41.111 ton, 2011 59.375 ton, 2012 47.158 ton, 2013 36.929 ton, dan tahun 2014 39.399 ton (Badan Pusat Statistik, 2015). Naik turunnya produksi tanaman sawi hijau di Indonesia khususnya di Jawa Timur disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah serangan penyakit.

Penyakit pada tumbuhan dapat disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik yang menyebabkan penyakit pada tumbuhan disebabkan oleh patogen. Salah satu patogen yang menyebabkan penyakit pada tanaman dan mengakibatkan penurunan produksi adalah *Plasmodiophora brassicae*. Patogen *P. brassicae* adalah patogen penyebab penyakit akar gada atau akar bengkak pada tanaman kubis-kubisan salah satunya pada tanaman sawi hijau. Hajoeningtjas dan Budi (2005) melaporkan bahwa di daerah Sumatera Utara, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan daerah lain serangan penyakit ini dapat menimbulkan kerugian hingga 100%. Sedangkan salah satu faktor abiotik yang dapat menyebabkan penyakit pada tumbuhan adalah pencemaran logam berat. Pencemaran logam berat dapat dihasilkan dari kegiatan manusia seperti pertambangan, industri, rumah tangga, dan pertanian. Salah satu logam berat yang dapat menurunkan kualitas tanah dan menyebabkan penyakit pada tanaman adalah Pb (timah hitam). Sumber utama pencemaran Pb dapat berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor, limbah cair industri yang pada proses produksinya menggunakan timbal seperti industri pembuatan baterai, industri cat, dan industri keramik (Naria, 2005). Meningkatnya penggunaan Pb dalam kehidupan sehari-hari menjadikan Pb sebagai salah satu pencemar utama saat ini di lingkungan.

Selama ini, berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan penyakit yang disebabkan oleh faktor biotik maupun abiotik. Upaya yang telah dilakukan untuk mengatasi masalah penyakit yang disebabkan oleh faktor biotik diantaranya dengan penggunaan varietas tahan dan aplikasi fungisida. Penggunaan varietas tahan merupakan cara pengendalian yang praktis, murah, dan ramah lingkungan, namun ketersediaan varietas tahan sangat terbatas. Aplikasi fungisida juga kurang tepat dilakukan karena dapat membunuh musuh alami dan mikroorganisme tanah yang berperan sebagai agen antagonis patogen penyebab penyakit serta dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Sedangkan upaya yang telah dilakukan dalam mengatasi masalah pencemaran logam berat adalah dengan cara penambahan lapisan permukaan tanah dan cara fisik atau kimiawi. Penambahan lapisan permukaan tanah membutuhkan biaya yang besar sehingga sulit diaplikasikan. Cara fisik atau kimiawi sulit diaplikasikan, hal ini dikarenakan membutuhkan peralatan dan sistem monitoring yang mahal.

Permasalahan penyakit yang disebabkan oleh kedua faktor tersebut di atas memerlukan suatu teknologi pengendalian yang efektif dan efisien sehingga dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh kedua faktor tersebut. Salah satu teknologi pengendalian yang dapat digunakan adalah fitoremediasi. Kegiatan fitoremediasi adalah penggunaan tanaman tertentu untuk mengurangi kandungan logam berbahaya di dalam tanah (Rondonuwu, 2013).

Tanaman yang digunakan dalam kegiatan fitoremediasi disebut dengan tanaman hiperakumulator. Tanaman hiperakumulator adalah tanaman yang mampu mengakumulasi unsur logam berat tertentu di dalam jaringan akar, batang, dan daun. Salah satu tanaman yang bersifat hiperakumulator dan dapat dimanfaatkan dalam kegiatan fitoremediasi adalah sengon. Menurut Rossiana (2007), tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*) dapat menurunkan kandungan logam Pb, Zn, dan Cu di dalam tanah.

Kegiatan fitoremediasi dapat dikombinasikan dengan suatu mikroorganisme tertentu agar keberhasilannya dapat ditingkatkan. Salah satu mikroorganisme yang dapat dimanfaatkan dalam kegiatan fitoremediasi adalah mikoriza. Mikoriza adalah jamur yang hidup pada perakaran tanaman dan bersimbiosis mutualisme dengan tanaman inangnya. Pemberian mikoriza selain dapat melindungi tanaman

dari serangan penyakit tanah seperti akar gada, mikoriza juga dapat meningkatkan kemampuan tanaman hiperakumulator dalam menyerap logam berat. Menurut Husna *et al.* (2007), mikoriza dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen melalui perbaikan nutrisi tanaman, lapisan hifa yang menutupi akar sehingga menjadi penghalang fisik terhadap penetrasi patogen, dan pelepasan antibiotik. Aprilia dan Purwani (2013) memaparkan bahwa mikoriza dapat meningkatkan serapan logam pada tanaman.

Berdasarkan uraian di atas, maka diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pemberian mikoriza terhadap serangan penyakit akar gada yang disebabkan oleh patogen *P. brassicae* pada tanaman sawi hijau di lahan tercemar logam Pb dan pengaruh mikoriza terhadap serapan logam Pb pada tanaman sengon.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah penggunaan mikoriza dapat mengatasi penyakit akar gada yang disebabkan oleh *P. brassicae* pada tanaman sawi hijau di lahan tercemar logam Pb.
2. Apakah penggunaan mikoriza dapat meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman sengon?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan mikoriza dalam mengatasi penyakit akar gada yang disebabkan oleh *P. brassicae* pada tanaman sawi hijau di lahan tercemar logam Pb.
2. Mengetahui penggunaan mikoriza dalam meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman sengon.

## 1.4 Hipotesis

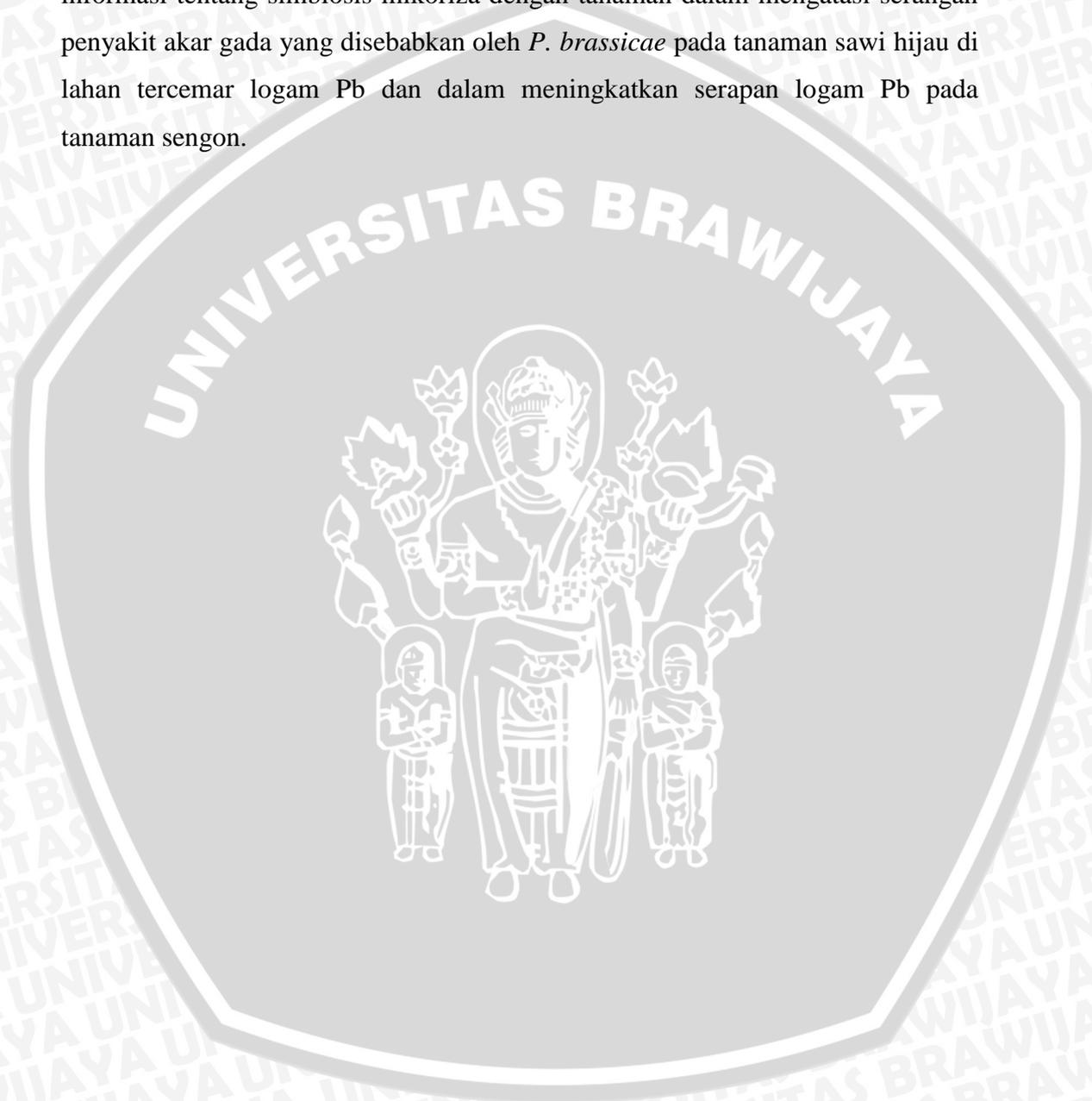
Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini yaitu:

1. Pemberian mikoriza dapat menurunkan serangan penyakit akar gada yang disebabkan oleh *P. brassicae* pada tanaman sawi hijau di lahan tercemar logam Pb

2. Pemberian mikoriza dapat meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman sengon.

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi tentang simbiosis mikoriza dengan tanaman dalam mengatasi serangan penyakit akar gada yang disebabkan oleh *P. brassicae* pada tanaman sawi hijau di lahan tercemar logam Pb dan dalam meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman sengon.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penyakit Akar Gada pada Tanaman Sawi Hijau

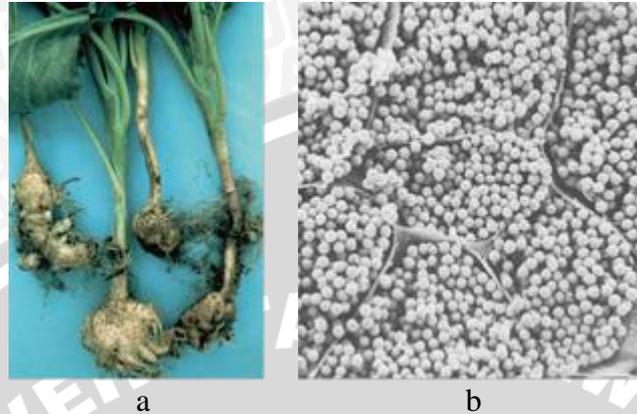
Penyakit akar gada disebabkan oleh patogen *P. brassicae*. Penyakit akar gada, akar pekung, atau akar bengkak merupakan salah satu penyakit yang sering menyerang tanaman kubis-kubisan termasuk sawi hijau. Patogen ini biasanya menyerang dan merusak perakaran sehingga pertumbuhan tanaman terhambat.

*P. brassicae* termasuk ke dalam Kingdom: Protozoa, Filum: Plasmodiophoromycota, Kelas: Plasmodiophoromycetes, Ordo: Plasmodiophorales, Family: Plasmodiophoraceae, Genus: Plasmodiophora, Spesies: *Plasmodiophora brassicae* (Agrios, 2005).

*P. brassicae* merupakan parasit obligat dan dapat bertahan dalam tanah selama bertahun-tahun sebagai spora istirahat. Penyebaran patogen dari tanaman ke tanaman lain oleh zoospora. Peralatan pertanian dan air yang digunakan pada lahan yang terinfeksi patogen akan mengandung spora yang dapat menginfeksi tanaman kembali. Akar yang terinfeksi akan membesar dan membentuk bisul-bisul yang berbeda dengan akar tanaman normal. Jika tanaman terserang pada awal tanam maka tanaman akan mati atau ukuran gadanya besar. Jika tanaman terserang pada pertengahan musim tanam maka tanaman masih bisa bertahan dan ukuran gadanya relatif lebih kecil. Akar yang telah terinfeksi dari awal penanaman biasanya akan hancur karena adanya invasi dari bakteri atau jamur lain. *P. brassicae* menyebabkan gangguan terhadap translokasi mineral, penyerapan unsur hara dan air (Agrios, 2005)

Siklus penyakit akar gada pada tanaman kubis-kubisan oleh *P. brassicae* berawal dari zoospora tunggal yang diproduksi dalam spora istirahat dan mempenetrasi rambut akar kemudian berkembang menjadi sebuah plasmodium (Agrios, 2005). Bentuk dari badan jamur yang disebut juga plasmodium adalah bulat agak lonjong (Towaki, 2004). Setelah beberapa hari, plasmodium membelah menjadi bagian multinukleat dan masing-masing berkembang menjadi sebuah zoosporangium yang berisi empat sampai delapan zoospora sekunder. Zoospora terlepas ke luar inang dengan melewati pori-pori dinding sel yang telah hancur. Beberapa zoospora berpasangan untuk menghasilkan zygot yang dapat menyebabkan infeksi baru dan menghasilkan plasmodium baru. Zoospora

menginfeksi jaringan akar muda secara langsung. Sementara itu, zoospora menembus jaringan yang lebih tua, akar yang keras, dan batang yang ada di dalam tanah melalui luka (Agrios, 2005).



Gambar 1. Penyakit akar gada. a. Tanaman kubis yang terinfeksi, b. Spora istirahat dari *P. brassicae* dalam sel akar tanaman yang terserang (Agrios, 2005)

## 2.2 Tanaman Sawi Hijau

Tanaman sawi hijau merupakan tanaman sayuran yang banyak ditanam oleh petani di Indonesia baik untuk memenuhi kebutuhan sendiri maupun untuk dijual. Sawi hijau adalah salah satu produk pertanian yang banyak dimanfaatkan manusia sebagai bahan pangan. Sawi termasuk ke dalam kelompok tanaman sayuran daun yang mengandung vitamin K, A, C, dan E yang tinggi sehingga baik untuk dikonsumsi oleh masyarakat.

Tanaman sawi hijau memiliki akar serabut yang tumbuh dan berkembang secara menyebar ke seluruh permukaan tanah. Tanaman sawi hijau termasuk tanaman yang memiliki perakaran dangkal yaitu sekitar 5 cm. Perakaran tanaman sawi hijau dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada tanah yang subur, gembur, dan mudah menyerap air (Pratiwi, 2012)

Suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman sawi hijau adalah 25-36 °C dan pH berkisar antara 5,5-6,5. Jenis tanah lempung berpasir atau lempung berliat yang subur cocok untuk pertumbuhan tanaman sawi hijau (Pratiwi, 2012). Umur panen dari tanaman sawi hijau sekitar 35 hari. Hal ini dikarenakan karena tanaman sawi hijau dipanen sebelum terjadinya fase generatif.

### 2.3 Vesicular Arbuscular Mycorrhizal (VAM) dan Peranannya

Mikoriza berasal dari kata Myches yang berarti jamur dan Rhiza yang berarti akar. Mikoriza adalah jamur akar yang bersimbiosis dengan tanaman dan berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan dan serapan unsur hara terutama unsur fosfor oleh tanaman. Adanya simbiosis mikoriza dengan tanaman menyebabkan mikoriza memperoleh karbohidrat dari tanaman, sedangkan tanaman memperoleh unsur hara fosfor dalam jumlah yang lebih banyak dari mikoriza. Jamur mikoriza dibedakan menjadi dua kelompok besar yaitu jamur yang hidup di permukaan akar (ekto-mikoriza) dan yang hidup dalam korteks akar (endo-mikoriza) yang dikenal dengan Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM) (Priyono, 2012).

Hifa atau miselium VAM yang menembus jauh ke luar akar sangat bermanfaat untuk meningkatkan serapan unsur hara terutama unsur fosfor oleh tanaman inangnya. Adanya hifa mikoriza dapat memperluas jangkauan serapan unsur hara oleh tanaman sehingga tanaman yang bermikoriza dapat menyerap unsur hara lebih banyak. Mikoriza berkembangbiak dengan cara membentuk spora (Priyono, 2012). Identifikasi terhadap jenis mikoriza dapat dilakukan dengan cara mengamati bentuk, ukuran, ornament, ketebalan, jumlah dinding spora, dan warna spora (Cruz, 1989 *dalam* Priyono, 2012).

Berdasarkan morfologi sporanya, VAM dibagi dalam tujuh genus yaitu *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Archaeospora*, *Paraglomus*, *Gigaspora*, dan *Scutellospora* (Morton dan Redecker (2001) *dalam* Lukiwati (2011)).

#### 1. *Glomus*

Proses perkembangan spora berawal dari perpanjangan secara blastis dari ujung hifa. Beberapa spesies juga dilaporkan terbentuk dari spora interkalar, namun hal ini jarang sekali terjadi. Lapisan terluar dari dinding spora seringkali mengelupas seiring perkembangan spora (dalam tanah maupun disimpan dalam pot biakan). Dalam perkembangannya, lapisan terluar dari dinding spora adalah komponen pertama untuk membentuk spora muda (INVAM, 2015).

Spora berwarna coklat tua sampai hitam, coklat terang, kuning-coklat sampai coklat-kuning, transparan sampai semi transparan. Spora berbentuk bulat (*globose*) dan beberapa ada yang berbentuk semi bulat (*subglobose*) atau *ellips*.

Diameter spora berkisar antara 85-249  $\mu\text{m}$ . Dinding spora terdiri dari 2-3 lapisan. Substending hifa berbentuk silinder dan berada pada dasar spora dengan lebar antara 5-10  $\mu\text{m}$ , dindingnya terdiri dari 1-2 lapisan yang berhubungan dengan lapisan terluar dari dinding spora, berbentuk lurus atau tidak lurus dan berwarna kuning pucat sampai coklat. Tidak bereaksi dengan larutan Melzer's. Dilaporkan pernah ditemukan *Glomus* yang berbentuk sporokarp berwarna coklat tua sampai hitam, dan berbentuk *subglobose* (INVAM, 2015).

## 2. Acaulospora

Perkembangan spora *Acaulospora* berasal dari *sporiferous saccule* yang berkembang secara blastis dari ujung hifa. Setelah *saccule* mencapai ukuran maksimal, spora mulai berkembang dari sisi samping substending hifa (leher *saccule*). Pada spora dewasa, isi *saccule* hilang (masuk ke dalam spora) (INVAM, 2015).

Spora berbentuk bulat (*globose*), semi bulat (*subglobose*) dengan ukuran 80-380  $\mu\text{m}$ . Spora berwarna jingga-coklat sampai coklat gelap kemerahan, semi transparan (*subhialin*), kuning pucat, dan ada yang berwarna hijau. Dinding spora terdiri dari 3 lapisan. Koloni dapat diamati dibawah mikroskop stereo apabila diwarnai dengan lactofenol tripan blue (INVAM, 2015).

## 3. Entrophospora

Spora dihasilkan diantara leher spora sebelum pembelahan yang disebut *sporiferous saccule*. Spora berwarna jingga muda-coklat sampai jingga tua-coklat. Namun kebanyakan spora genus *Entrophospora* berwarna jingga tua. Spora berbentuk bulat (*globose*), namun ada beberapa yang semi bulat (*subglobose*). Spora berukuran antara 100-160  $\mu\text{m}$  dan dinding spora memiliki 4 lapisan (INVAM, 2015).

## 4. Archaeospora

Dahulu *Archaeospora trappei* merupakan *Acaulospora trappei* dan *Archaeospora schenckii* merupakan *Entrophospora schenckii*. Sekarang keduanya masuk ke dalam genus *Archaeospora*. Keduanya tidak dimasukkan dalam genusnya masing-masing karena dua lapis dinding germinalnya tidak termasuk ke dalam genus awalnya tersebut (INVAM, 2015).

Spora transparan (putih terang) ketika dewasa, beberapa berwarna putih susu ketika belum dewasa. Bentuk bulat (*gobose*), semi bulat (*subglobose*), dan ada beberapa bulat telur (*ellips*). Ukuran spora antara 40-80  $\mu\text{m}$ . Dinding spora terdiri dari 3 lapisan yang hialin (INVAM, 2015).

### 5. Paraglomus

Proses perkembangan spora secara nyata seperti spesies Glomeraceae. Perpanjangan hifa secara blastis dari ujung hifa. Lapisan terluar dari dinding spora sering mengelupas seiring perkembangan spora (pada tanah atau pada pot kultur penyimpanan). Dalam perkembangannya, lapisan terluar adalah komponen pertama dari dinding spora untuk membentuk spora muda. Biasanya bahan organik diakumulasi pada permukaan. Tidak bereaksi dengan larutan Melzer's reagent (INVAM, 2015).

Spora berwarna transparan sampai putih susu pucat, semi transparan sampai putih susu. Spora berbentuk bulat sampai agak bulat. Spora berukuran antara 60-140  $\mu\text{m}$ . Dinding spora terdiri dari 3 lapisan. Substending hifa berbentuk silindris sampai mengembang (INVAM, 2015).

### 6. Gigaspora

Spora genus *Gigaspora* berkembang secara blastis dari ujung hifa, mengembang menjadi sel sporogenous. Setelah sel sporogenous mencapai ukuran maksimal (biasanya antara 25-50  $\mu\text{m}$  pada kebanyakan spesies), spora mulai berkembang pada ujung sel sporogenous. Lapisan terluar dan lapisan-lapisan lain berkembang secara bersama-sama, seringkali tidak dapat dibedakan pada spora muda tanpa bantuan pereaksi Melzer's. Lapisan-lapisan menebal dan akhirnya berkembang membentuk bintil kecil pada lapisan dalam, yang akhirnya semakin membesar dan menjadi spora (INVAM, 2015).

Spora berwarna putih, putih susu dengan warna hijau pucat, kuning cerah kehijauan, dan beberapa berwarna kuning gelap. Spora berbentuk bulat (*globose*) sampai semi bulat (*subglobose*). Diameter spora antara 160-440  $\mu\text{m}$ . Dinding spora terdiri dari 3 lapisan. Spora yang belum dewasa berwarna merah muda, putih susu pucat dan tebal dinding sporanya antara 1,6-2  $\mu\text{m}$ . Spora dewasa berwarna kuning sampai coklat. Substending hifa memiliki dua lapisan yang hialin, intraradical hifa berdiameter antara 3-9  $\mu\text{m}$  dengan bagian yang

menggembung mencapai 16  $\mu\text{m}$ . Apabila akar diwarnai dengan larutan lactofenol tripan blue struktur arbuskula akan terlihat berwarna kehitaman (INVAM, 2015).

### 7. Scutellospora

Spora genus *Scutellospora* ada yang memiliki ornamen dan ada yang tidak. Spora berkembang secara blastis dari ujung hifa yang membengkak dan menjadi sel sporogenous. Setelah sel sporogenous mencapai ukuran penuh (biasanya berukuran 25-50  $\mu\text{m}$  pada beberapa spesies, spora mulai berkembang pada ujung hifa. Lapisan-lapisan berkembang secara bersama-sama dan tidak dapat dibedakan pada spora muda tanpa menggunakan pereaksi Melzer's. Lapisan dalam menebal dan lapisan terluar membentuk ornamen. Dinding bagian dalam berkembang dan pada fase akhir membentuk struktur untuk melindungi perkecambahan (INVAM, 2015).

Spora berwarna kuning-coklat dengan bercak-bercak kehijauan, coklat kekuningan, dan pada spora yang baru terbentuk berwarna putih transparan. Spora umumnya berbentuk semi bulat (*subglobose*) menjadi bulat telur sampai *oblong* (membujur), bulat (*globose*), dengan ukuran 120-640  $\mu\text{m}$ . Genus *Scutellospora* memiliki dua lapisan pada dinding sporanya. Substending hifa memiliki ukuran 22-28  $\mu\text{m}$ . Selama perkembangan spora, satu dinding spora terdiri dari dua lapisan yang berasal dari dinding sel sporogenous yang pertama membelah diri (INVAM, 2015).

Mikoriza yang bersimbiosis dengan tanaman akan memberikan banyak manfaat diantaranya membantu akar dalam penyerapan unsur hara makro dan mikro terutama fosfat (mekanismenya terjadi peningkatan permukaan absorpsi, kerja enzim fosfatase dan enzim oksalat), dapat menjangkau pori-pori mikro tanah yang tidak dapat dijangkau oleh rambut akar sehingga lebih banyak air yang dapat diserap, tanaman akan lebih tahan terhadap kekeringan (mekanismenya melalui penyerapan hifa yang sangat luas, laju transpirasi lebih kecil per satuan luas daun dan peningkatan tekanan osmotik), meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen (mekanismenya melalui perbaikan nutrisi tanaman, lapisan hifa yang menutupi akar sehingga menjadi penghalang fisik terhadap penetrasi patogen, dan pelepasan antibiotik), dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman dengan menghasilkan zat pengatur tumbuh atau hormon pertumbuhan, serta

meningkatkan ketahanan tanaman terhadap tingkat salinitas dan cekaman logam berat (Husna *et al.*, 2007).

Mekanisme perlindungan terhadap cekaman logam berat oleh mikoriza melalui efek filtrasi, akumulasi, dan menonaktifkan secara kimiawi. Tanaman yang bersimbiosis dengan mikoriza akan lebih tahan terhadap cekaman logam berat dikarenakan terjadi akumulasi logam pada hifa jamur dan melalui mekanisme penguraian logam tersebut oleh sekresi hifa eksternal (Rossiana, 2007).

Aplikasi mikoriza memiliki manfaat ganda dalam pengendalian penyakit baik penyakit yang disebabkan oleh faktor biotik maupun abiotik. Menurut Aprilia dan Purwani (2013) memaparkan bahwa mikoriza dapat meningkatkan serapan logam pada tanaman. Selain dapat membantu penyerapan logam berat, mikoriza juga dapat melindungi tanaman inang dari serangan patogen tular tanah dengan cara melindungi akar tanaman inang oleh hifanya.

#### **2.4 Logam Pb (Plumbum)**

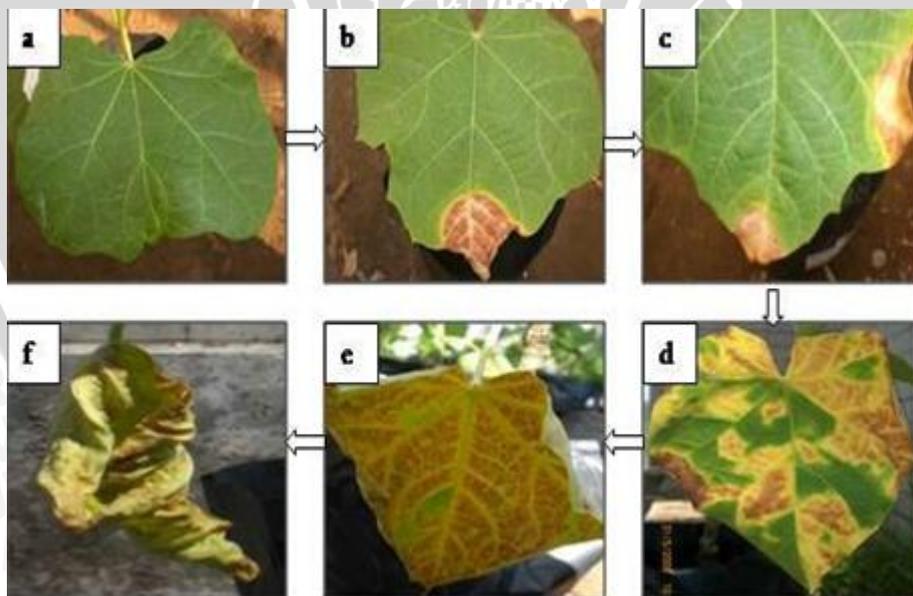
Saat ini tanah-tanah di Indonesia mengalami penurunan tingkat kesuburan yang sangat memprihatinkan. Salah satu penyebabnya adalah pencemaran logam berat. Pb yang juga dikenal dengan timbal atau timah hitam merupakan bahan kimia yang tergolong dalam logam berat. Sumber utama pencemaran Pb menurut Naria (2005) dapat berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor, limbah cair industri yang pada proses produksinya menggunakan timbal seperti industri pembuatan baterai, industri cat, dan industri keramik. Selain itu, Pb juga digunakan sebagai aditif pada bahan bakar, khususnya bensin di mana bahan ini dapat memperbaiki mutu bakar, sebagai anti *knocking* (anti letup), pencegah korosi, anti oksidan, diaktifator logam, anti pengembunan, dan zat pewarna.

Keberadaan Pb di tanah, air, dan udara menyebabkan tranmisi pencemaran menjadi lebih luas kepada berbagai makhluk hidup baik manusia, hewan, dan tumbuhan. Air yang mengandung Pb jika digunakan untuk menyiram tanaman akan menyebabkan resiko masuknya Pb ke dalam jaringan tanaman. Pemanfaatan air sungai Bengawan Solo yang mengandung Pb rata-rata 0,063 ppm digunakan untuk mengairi sawah sehingga menyebabkan tanaman padi mengandung Pb sebesar 13,57 mg/kg (Diponegoro, 1997 *dalam* Naria, 2005). Tanaman bayam

pada umur 26 HST juga mengandung Pb sebesar 1,98 ppm, selada sebesar 2,72 ppm, dan kangkung sebesar 1,80 ppm. Kandungan Pb dalam tanaman tersebut akan menyebabkan munculnya resiko kesehatan pada manusia jika mengkonsumsinya (Naria, 2005).

Pada konsentrasi timah hitam yang tinggi antara 100-1000 mg/kg akan mengakibatkan pengaruh toksik pada proses metabolisme tumbuhan (Sudaryono, 2007). Perpindahan Pb dari tanah ke tanaman tergantung pH dan konsentrasinya. Pb dapat diakumulasi oleh organ tanaman yaitu daun, batang, dan akar. Pada kondisi kesuburan tanah yang rendah, logam Pb terlepas dari ikatan tanah dan berupa ion yang bergerak bebas didalam tanah sehingga akan lebih cepat terserap oleh tanaman.

Gejala keracunan logam Pb oleh tanaman adalah terjadinya klorosis (terganggunya pembentukan klorofil daun sehingga daun tidak berwarna hijau) di antara urat daun (Arisoesilaningih, 1986). Tanah yang tercemar Pb sebesar 90 mg/kg menyebabkan tanaman mengalami nekrosis, klorosis, dan penggulangan mati sebagai akibat kerusakan fungsional ketidakmampuan menjalankan fungsi pertumbuhan (Mangkoedihardjo *et al.*, 2005).



Gambar 2. Efek keracunan Pb konsentrasi 90 mg/kg pada daun tanaman jarak pagar. a. Daun sehat, (b,c). Nekrosis akibat efek kerusakan struktural, (d,e). Klorosis, f. Daun menggulung dan mati sebagai akibat ketidakmampuan menjalankan fungsi pertumbuhan (Mangkoedihardjo *et al.*, 2005)

## 2.5 Fitoremediasi

Pencemaran lingkungan oleh logam Pb semakin parah sejalan dengan berkembangnya penggunaan Pb dalam kehidupan sehari-hari. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu teknik pemulihan tanah tercemar yang efektif dalam mengurangi cekaman logam Pb di lingkungan. Upaya pemulihan tanah tercemar logam berat yang saat ini mendapat perhatian adalah fitoremediasi.

Fitoremediasi adalah penggunaan tanaman tertentu untuk mengurangi masalah lingkungan tanpa perlu menggali bahan kontaminan tersebut. Beberapa tahun terakhir teknik reklamasi dengan fitoremediasi mengalami perkembangan pesat, hal ini dikarenakan teknik fitoremediasi terbukti lebih murah dibandingkan dengan metode lainnya, misalnya penambahan lapisan permukaan tanah yang membutuhkan biaya besar. Tumbuhan yang digunakan dalam fitoremediasi dapat berupa herba, semak bahkan pohon (Rondonuwu, 2013).

Pada dasarnya semua tumbuhan mampu menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi, tetapi ada beberapa tumbuhan yang mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan dalam kegiatan fitoremediasi. Tumbuhan yang relatif tahan terhadap berbagai macam bahan pencemar seperti logam-logam berat Hg, Pb, Cn, Mn, dan Mg serta mampu mengakumulasikannya dalam jaringan dengan jumlah yang cukup besar disebut dengan hiperakumulator.

Suatu tumbuhan dapat digolongkan sebagai hiperakumulator apabila memiliki kriteria sebagai berikut: tahan terhadap unsur logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuk, tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang tinggi dibandingkan tanaman lain, memiliki kemampuan mengakumulasi dan mentranslokasi unsur logam dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi, dan memiliki potensi produksi biomasa yang tinggi (Juhaeti *et al.*, 2009).

Proses penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga yaitu: (1) Penyerapan oleh akar tanaman, agar terjadi penyerapan oleh akar maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*rizosfer*), (2) translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain, setelah logam diserap dan melewati endodermis akar, logam atau senyawa asing lain akan mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan

floem), (3) lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Lokalisasi bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman sehingga mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (Hardiani, 2009).

Beberapa tumbuhan telah dilaporkan memiliki kemampuan sebagai hiperakumulator logam, salah satunya adalah tanaman sengon (*P. falcataria*). Sengon yang diinokulasi mikoriza mampu menurunkan kandungan Pb sebesar 10,1 ppm, Zn sebesar 16,6 ppm, dan Cu sebesar 21,55 ppm. Sedangkan sengon tanpa inokulasi mikoriza mampu menurunkan kandungan Pb sebesar 2,6 ppm, Zn sebesar 2,19 ppm, dan Cu sebesar 5,5 ppm (Rossiana, 2007).

## 2.6 Tanaman Sengon

*P. falcataria* (L.) Nielsen atau dikenal dengan nama sengon merupakan salah satu jenis tanaman pioner serbaguna yang sangat penting di Indonesia. Tanaman sengon memiliki pertumbuhan yang sangat cepat dan mampu beradaptasi pada berbagai jenis tanah (Krisnawati *et al.*, 2011).

Steenis, 1992 (*dalam* Rossiana, 2007) mengemukakan taksonomi tanaman sengon sebagai berikut: Kingdom: Plantae, Filum: Spermatophyta, Kelas: Angiospermae, Ordo: Leguminosae, Famili: Mimosaceae, Genus: *Paraserianthes*, Spesies: *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen.

Suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman sengon berkisar antara 22-29 °C dengan suhu maksimum 30-34 °C (Krisnawati *et al.*, 2011). Tanaman sengon memiliki bintil pada akarnya yang berisi bakteri penambat nitrogen sehingga tanaman sengon cocok untuk penghijauan dan rehabilitasi lahan kritis.

## 2.7 Hubungan Tanah Supresif dengan Mikroorganisme Tanah

Penyakit dapat diartikan sebagai ketidaknormalan pada tumbuhan akibat adanya serangan patogen (biotik) atau faktor lingkungan (abiotik) yang ditandai dengan munculnya gejala pada tumbuhan. Penyakit pada tumbuhan dapat terjadi apabila terdapat inang yang rentan, patogen yang virulen, dan lingkungan yang mendukung terjadinya penyakit. Tanah merupakan lingkungan tempat hidup berbagai makhluk hidup, didalamnya terdapat berbagai mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman maupun yang bersifat patogen terhadap tanaman.

Tanah dengan kandungan unsur hara yang tinggi seperti tanah supresif dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit. Timothy dan Arnold (2010) dalam Rahmawanto *et al.* (2015) menjelaskan bahwa kekurangan unsur hara menyebabkan proses metabolisme tanaman terhambat dan tanaman menjadi rentan terhadap serangan patogen.

Tanah supresif adalah tanah yang kaya akan mikroorganisme tanah sehingga bersifat kondusif terhadap pertumbuhan tanaman dan dapat menekan pertumbuhan patogen (Asmarahman dan Febryano, 2008). Keberadaan mikroorganisme dalam tanah dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah. Salah satu mikroorganisme yang dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah adalah mikoriza. Mikoriza adalah mikroorganisme yang hidup dan bersimbiosis dengan akar tanaman. Menurut Husna *et al.*, (2007) simbiosis mikoriza dengan tanaman akan memberikan banyak manfaat diantaranya membantu akar dalam penyerapan unsur hara makro dan mikro terutama fosfat (mekanismenya terjadi peningkatan permukaan absorpsi, kerja enzim fosfatase dan enzim oksalat).

Kandungan unsur hara di dalam tanah akan mempengaruhi ketahanan tanaman terhadap serangan patogen. Tanaman yang hidup pada kondisi tanah yang subur memiliki pertumbuhan yang baik dan cenderung lebih tahan terhadap serangan patogen. Tanah yang subur juga menciptakan kondisi yang kurang menguntungkan terhadap patogen sehingga perkembangannya menjadi terhambat. Menurut Matruti *et al.* (2013) penurunan intensitas penyakit bulai (*Peronosclerospora* spp) pada tanaman jagung dipengaruhi oleh kandungan unsur nitrogen dan fosfor di dalam tanah. Kandungan nitrogen dan fosfor yang cukup di dalam tanah menyebabkan tanaman tumbuh baik dan relatif tahan terhadap penyakit bulai yang ditunjukkan dengan rendahnya intensitas penyakit.

Unsur hara selain mempengaruhi pertumbuhan tanaman juga mempengaruhi populasi mikroorganisme di dalam tanah. Tanah dengan kandungan unsur hara yang tinggi cenderung memiliki populasi mikroorganisme yang lebih beragam. Keanekaragaman mikroorganisme dalam tanah menyebabkan kemungkinan lebih banyaknya mikroorganisme yang dapat bersimbiosis dengan tanaman dan bersifat

antagonis terhadap patogen. Sudarma dan Suprpta (2011) menjelaskan bahwa populasi dan jumlah jenis jamur antagonis di dalam tanah dipengaruhi oleh kondisi di dalam tanah (supresif). Jamur antagonis yang ditemukan pada habitat tanaman pisang dengan tanpa gejala layu *Fusarium* lebih banyak dibandingkan dengan habitat tanaman pisang dengan gejala layu *Fusarium*. Kepadatan populasi jamur antagonis pada tanah supresif lebih tinggi daripada tanah kondusif.

Tanah supresif dapat meningkatkan populasi mikroorganisme antagonis di dalam tanah dan juga dapat mempengaruhi serangan patogen pada tanaman. Murakami *et al.* (2000) dalam Cicu (2006) menjelaskan bahwa adanya keterlibatan antara faktor biotik dan abiotik pada tanah supresif dalam menekan penyakit akar gada yang disebabkan oleh *P. brassicae*. Faktor biotik memiliki peran penting dalam menekan penyakit pada tanah kondusif. Pada tanah supresif maupun kondusif, indeks penyakit akar gada lebih rendah pada tanah yang tidak disterilkan daripada tanah yang disterilkan, hal ini menunjukkan bahwa faktor biotik mempengaruhi penekanan penyakit akar gada pada tanah tersebut. Tanah yang disterilkan diduga memiliki keragaman mikroorganisme yang lebih rendah daripada tanah yang tidak disterilkan. Pada tanah supresif yang disterilisasi menunjukkan bahwa masih terjadi penekanan terhadap penyakit akar gada, hal ini membuktikan bahwa faktor abiotik juga berperan dalam penekanan penyakit pada tanah.

## 2.8 Hubungan Logam Berat dengan Mikroorganisme dalam Tanah

Logam berat adalah bahan kimia golongan logam yang tidak dibutuhkan oleh tubuh sehingga apabila logam tersebut masuk dan terakumulasi dalam jumlah yang tidak dapat ditoleransi oleh tubuh akan menyebabkan gangguan pada proses metabolisme di dalam tubuh. Logam berat dapat mencemari lingkungan sehingga berbahaya untuk pertumbuhan tanaman dan juga mempengaruhi mikroorganisme di dalam tanah. Taberima (2004) mengatakan bahwa pengaruh logam berat terhadap mikroorganisme melalui gangguan fungsi, perubahan protein, atau penghancuran sel membran.

Logam berat dapat menyebabkan penurunan populasi mikroorganisme di dalam tanah. Mikroorganisme merupakan organisme yang lebih sensitif terhadap stress logam-logam berat dibandingkan dengan tanaman atau binatang tanah pada

tanah yang sama. Taberima (2004) menjelaskan bahwa jumlah mikroorganisme tanah terjadi penurunan sebagai akibat kontaminasi logam berat pada waktu yang lama. Kandungan Cu dan Zn yang berasal dari pupuk kandang dan fungisida juga dapat menurunkan biomassa mikroorganisme tanah.

Logam berat selain dapat menurunkan populasi mikroorganisme di dalam tanah juga dapat menurunkan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah. Taberima (2004) memaparkan bahwa tanah-tanah yang terkontaminasi logam Cu dan Zn atau Pb dan Zn pada konsentrasi yang bervariasi menyebabkan fiksasi  $N_2$  oleh bakteri heterotropik cenderung menurun. Tanah yang terkontaminasi logam Cu atau Cd secara nyata dapat menurunkan jumlah bakteri heterotropik dan menyebabkan fluktuasi terhadap aktivitas mikroorganisme tanah. Keberadaan logam berat dari limbah mempengaruhi hubungan simbiosis genus *Rhizobium* dengan tanaman legum dan menyebabkan kepunahan *Rhizobia* dalam tanah.



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mikologi Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, serta Laboratorium Kimia Universitas Muhammadiyah Malang. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret sampai Oktober 2015.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *tray* persemaian, *trashbag* berdiameter 90 cm, cangkul, arko, gelas ukur, timbangan, gembor, penggaris, pisau, blender, saringan, kamera, *haemocytometer*, timbangan analitik, gunting, gelas beker, kompor listrik, pipet tetes, batang pengaduk, saringan (ukuran 200  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , dan 45  $\mu\text{m}$ ), tub 15 ml, *sentrifuge*, kaca preparat, kaca penutup, pinset, *hand counter*, sprayer, cawan petri, mikroskop.

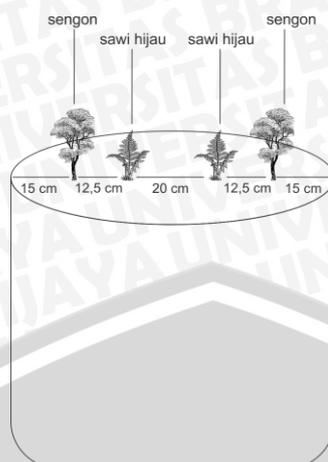
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah, mikoriza, benih sawi hijau, benih sengon, NaClO 5,25%, aquades, formalin 5%, HNO<sub>3</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, akar sawi yang terinfeksi penyakit akar gada, pupuk NPK 16:16:16 cap Tawon, KOH 10%, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HCl 1%, lactofenol tripan blue (LTB) 1%, larutan gula 60%.

#### 3.3 Metode Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan 4 kali ulangan. Dosis Pb yang digunakan adalah 100 ppm Pb. Konsentrasi Pb yang tinggi antara 100-1000 mg/kg akan mengakibatkan pengaruh toksik pada proses metabolisme tumbuhan (Sudaryono, 2007).

Perlakuan yang diujikan dalam penelitian ini adalah:

- P0 : sengon + sawi hijau + 0 gram mikoriza
- P1 : sengon + sawi hijau + 20 gram mikoriza
- P2 : sengon + sawi hijau + 40 gram mikoriza
- P3 : sengon + sawi hijau + 60 gram mikoriza
- P4 : sengon + sawi hijau + 80 gram mikoriza
- P5 : sengon + sawi hijau + 100 gram mikoriza



Gambar 3. Sketsa penanaman sengon dan sawi hijau pada *trashbag*

### 3.4 Pelaksanaan Penelitian

**Sterilisasi media tanam.** Sterilisasi dilakukan dengan cara menyemprotkan formalin 5% dengan dosis 25 ml per kg tanah dengan gembor, diaduk hingga merata pada tanah kemudian ditutup selama 7 hari. Setelah 7 hari tutup tanah dibuka, selanjutnya tanah dikering anginkan.

**Pencemaran tanah dengan logam Pb.** Tanah yang telah steril kemudian dicemari dengan logam Pb yang telah dilarutkan. Pembuatan larutan Pb sebagai berikut: dilarutkan 4 gram logam Pb dalam 15 ml  $\text{HNO}_3$  pada gelas ukur 1000 ml, lalu diencerkan dengan aquades sampai volumenya 1000 ml. Larutan ini setara dengan 4000 mg/l atau 4000 ppm kadar Pb. Larutan Pb yang telah dibuat kemudian disiramkan ke 40 kg tanah steril secara merata sehingga konsentrasi Pb-nya adalah 100 ppm per kg tanah. Tanah kemudian diaduk sampai larutan Pb tersebut merata pada semua tanah.

**Pencemaran tanah dengan *P. brassicae*.** Tanah yang sudah tercemar logam Pb kemudian diinokulasikan dengan suspensi *P. brassicae*. Pembuatan suspensi *P. brassicae* dengan cara mengambil akar tanaman sawi yang terserang akar gada di lahan kemudian dibersihkan dengan air, dipotong kecil-kecil lalu di blender. Hasil blenderan disaring untuk mendapatkan suspensi *P. brassicae*. Suspensi *P. brassicae* kemudian dimasukkan dalam tub 15 ml untuk disentrifuge dengan kecepatan 2000 rpm selama 5 menit. Hasil sentrifuge dihitung kerapatan sporanya menggunakan *haemocytometer* di bawah mikroskop.

Kerapatan spora *P. brassicae* yang didapatkan dari hasil pengamatan di *haemocytometer* kemudian dimasukkan ke dalam rumus sebagai berikut:

$$C = t / (n \times k) \times 10^6$$

**Keterangan:**

C : kerapatan spora per ml larutan

t : jumlah total spora dalam kotak sampel yang diamati

n : jumlah kotak sampel (5 kotak besar x 16 kotak kecil)

x : 0,25 faktor koreksi penggunaan kotak sampel kecil pada *haemocytometer*

Hasil perhitungan kerapatan spora adalah  $5,8 \times 10^6$  spora/ml. Menurut Asniah *et al.* (2013), suspensi spora *P. brassicae* yang ditambahkan ke dalam tanah untuk perlakuan adalah  $10^6$  spora/ml. Hajoeningtjas dan Budi (2005) mengatakan bahwa jumlah spora *P. brassicae* yang rendah menyebabkan tingkat infeksi yang rendah pada tanaman. Kerapatan spora yang cocok untuk infeksi *P. brassicae* pada tanaman berkisar antara  $10^3$ - $10^7$  spora/ml. Suspensi *P. brassicae* yang telah dihitung kerapatan sporanya siap diinokulasikan ke tanah dengan dosis 250 ml/trashbag.

**Analisis kandungan Pb dalam tanah.** Analisis kandungan logam Pb dalam tanah sebelum penanaman dilakukan di Jurusan Kimia Universitas Muhammadiyah Malang. Analisis dilakukan dengan mengambil sampel tanah setelah pencemaran lalu dianalisis di laboratorium menggunakan alat spektrofotometer. Sampel yang akan dianalisis direaksikan dengan sulfid sehingga membentuk larutan berwarna coklat. Serapan warna yang terbentuk diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 430 nm (Basset *et al.*, 1983).

Sampel yang akan dianalisis terlebih dahulu ditimbang sebanyak 10 g ke dalam tabung digest, kemudian ditambahkan 1 ml asam perklorat pro analis dan 5 ml asam nitrat pro analis, setelah itu didiamkan selama satu malam. Setelah satu malam bahan tersebut dipanaskan pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 90 menit. Setelah 90 menit suhu ditingkatkan menjadi  $130^\circ\text{C}$  selama 60 menit. Setelah 60 menit suhu ditingkatkan kembali menjadi  $150^\circ\text{C}$  selama 150 menit (sampai uap kuning habis, jika uap kuning masih ada maka waktu pemanasan ditambah lagi). Setelah uap kuning habis suhu pemanasan ditingkatkan kembali menjadi  $170^\circ\text{C}$  selama 60

menit. Setelah 60 menit suhu dinaikkan kembali menjadi 200 °C selama 60 menit atau sampai terbentuk uap putih. Proses destruksi selesai dengan terbentuknya endapan putih atau sisa larutan jernih sekitar 1 ml. Larutan tersebut didinginkan kemudian diencerkan dengan aquades sampai volumenya menjadi 10 ml kemudian dikocok.

Larutan sampel yang telah dibuat kemudian direaksikan dengan larutan standar. Larutan standar yang digunakan adalah PbO. Pembuatan larutan induk standar PbO sebanyak 50 ppm. Pembuatan larutan PbO 50 ppm adalah dengan menimbang PbO sebanyak 50 mg kemudian dilarutkan dalam aquades sampai volumenya 1000 ml. Larutan tersebut kemudian digunakan untuk membuat larutan standar dengan berbagai konsentrasi. Deret konsentrasi larutan standar (ppm) adalah 0; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1; dan 0,2.

Larutan sampel yang telah dibuat kemudian ditambahkan dengan larutan standar sebanyak 1 ml kemudian ditambahkan 0,5 ml larutan KCN 10%, setelah itu ditambahkan 5 ml larutan ammonia 1:2 dan ditambahkan 0,5 larutan Na-sulfid 10%. Selanjutnya tambahkan aquades sampai volumenya menjadi 25 ml. Larutan tersebut siap untuk di ukur nilai arsobansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 430 nm.

**Inokulasi mikoriza.** Inokulasi mikoriza dilakukan dengan meletakkan mikoriza pada perakaran tanaman ( $\pm 10$  cm) dalam *trashbag* perlakuan. Mikoriza diletakkan pada lubang tanam tanaman sengon dan sawi hijau pada saat penanaman sesuai dengan dosis perlakuan.

**Penanaman sengon.** Persemaian benih dilakukan dengan cara benih direndam dalam larutan desinfektan (bayclean) dengan bahan aktif NaClO 5,25% selama 1 menit, kemudian dicuci dengan air berulang-ulang hingga bersih. Benih disiram dengan air panas sampai kesat dan dibiarkan dingin selama 24 jam. Benih dicuci dengan air setelah 24 jam. Benih ditiriskan dan selanjutnya disemaikan. Penyemaian dilakukan dengan menyiapkan media tanam dalam *tray* persemaian kemudian dibuat lubang tanam dengan kedalaman  $\pm 2$  cm. Setelah 7-14 hari bibit sengon siap untuk dipindahkan ke *trashbag* perlakuan.

**Penanaman sawi hijau.** Persemaian benih dilakukan dengan membenamkan dalam tanah ( $\pm 1$  cm). Helai daun akan muncul  $\pm 7$  hari setelah persemaian dan bibit dapat dipindahkan ke *trashbag* perlakuan dengan selang waktu 15 hari dari penanaman sengon.

**Pemeliharaan.** Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman dan penyiangan gulma. Penyiraman dilakukan setiap hari yaitu pada pagi atau sore hari, namun juga melihat kebutuhan air tanaman. Penyiangan dilakukan dengan mencabut gulma yang mengganggu disekitar tanaman.

### 3.5 Parameter Pengamatan

#### 3.5.1 Intensitas penyakit akar gada

Pengamatan intensitas penyakit akar gada pada sawi hijau dilakukan secara destruktif setelah 35 hari setelah tanam dengan melihat kerusakan akar secara langsung. Intensitas serangan penyakit dihitung dengan nilai skoring menggunakan rumus (Bjorling, 2013) yang sudah dimodifikasi,

$$IP = \frac{\sum(n \times 0 + n \times 1 + n \times 2 + n \times 3 + n \times 4)}{\text{Jumlah tanaman} \times 4} \times 100\%$$

Keterangan: IP = Intensitas Penyakit  
n = jumlah tanaman dengan skala serangan tertentu  
0-4 = skala serangan

**Tabel 1.** Skala serangan *P. brassicae*

Skala	Keterangan
0	Tidak ada gejala pembengkakan
1	Kerusakan akar 1-25%
2	Kerusakan akar 26-50%
3	Kerusakan akar 51-75%
4	Kerusakan akar lebih dari 75%

#### 3.5.2 Pertumbuhan vegetatif sawi hijau

**Panjang batang tanaman.** Pengukuran tinggi tanaman dilakukan setiap seminggu sekali dari awal tanam sampai tanaman dipanen (35 HST). Pengamatan dilakukan dengan menggunakan penggaris dimulai dari permukaan tanah tempat tanaman tumbuh sampai pangkal pertumbuhan daun yang paling muda.

**Jumlah daun.** Pengamatan jumlah daun dilakukan setiap seminggu sekali dari awal tanam sampai tanaman dipanen (35 HST). Daun yang diamati adalah daun yang telah membuka sempurna.

### 3.5.3 Analisis Pb pada tanah dan jaringan tanaman

Analisis logam Pb dilakukan di Jurusan Kimia, Universitas Muhammadiyah Malang. Sampel tanah dan tanaman yang akan dianalisis diambil 35 hari setelah tanam sawi hijau kemudian dianalisis di laboratorium menggunakan alat spektrofotometer. Sampel tanaman yang di uji adalah akar, batang, dan daun.

### 3.5.4 Pengamatan mikoriza

**Jumlah spora mikoriza.** Perhitungan jumlah spora mikoriza pada tanah dilakukan dengan mengambil sampel tanah pada setiap perlakuan 35 hari setelah tanam. Tanah yang diambil untuk perhitungan jumlah spora adalah sebanyak 10 gram. Tanah tersebut kemudian dimasukkan dalam gelas beker dan ditambahkan air 200 ml, diaduk hingga tercampur dengan air. Larutan tersebut kemudian dituang ke dalam saringan bertingkat (200  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , dan 45  $\mu\text{m}$ ), setelah proses penyaringan selesai tanah yang tertahan di saringan 45  $\mu\text{m}$  dituang ke dalam gelas beker dengan cara disemprot air. Kemudian larutan hasil penyaringan dimasukkan dalam tub  $\pm 4$  ml dan ditambahkan larutan gula 60% sebanyak  $\pm 8$  ml. Sentrifuge dengan kecepatan 3000 rpm selama 3 menit. Hasil sentrifuge dituang ke dalam saringan 45  $\mu\text{m}$  tanpa mengikutkan tanah endapannya. Tuang ke dalam cawan petri dengan cara disemprot air. Spora mikoriza siap diamati dibawah mikroskop.

**Infeksi mikoriza pada perakaran tanaman.** Pengamatan infeksi mikoriza pada perakaran tanaman sengon dan sawi hijau dilakukan dengan cara akar tanaman dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel kemudian dipotong-potong sepanjang  $\pm 1$  cm. Potongan akar tersebut kemudian dimasukkan dalam gelas beker yang sudah berisi larutan KOH 10% dan direbus  $\pm 20$  menit. Fungsi perendaman dengan KOH adalah untuk menghilangkan warna akar, setelah 20 menit KOH dibuang kemudian akar dibilas dengan air sebanyak 4 kali. Akar kemudian direndam dalam larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  alkalin selama  $\pm 10$  menit. Larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  alkalin kemudian dibuang dan akar direndam dengan HCL 1% selama  $\pm 10$  menit. HCL dibuang dan akar direbus dalam lactophenol tryphan blue (LTB) 1% selama

±10 menit. Akar hasil rebusan dengan LTB diambil sebanyak 25 potongan akar kemudian disusun pada kaca preparat untuk diamati di mikroskop.

Persentase infeksi mikoriza dihitung berdasarkan jumlah akar yang terinfeksi dibagi jumlah akar yang diamati. Akar yang terinfeksi mikoriza ditandai dengan adanya vesikel atau arbuskula dalam korteks akar tanaman. Mikoriza dikatakan viable jika mempunyai persentase infeksi sebesar  $\geq 50\%$ . Persen infeksi mikoriza dihitung berdasarkan rumus:

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

### 3.6 Analisis Data

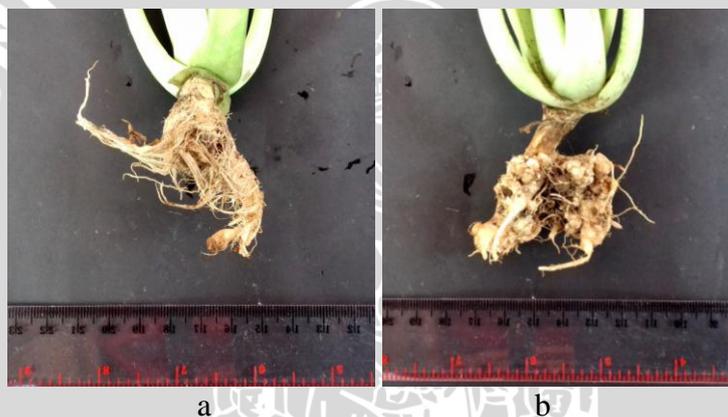
Data intensitas penyakit akar gada, panjang batang, dan jumlah daun tanaman sawi hijau dianalisis dengan analisis ragam (ANOVA) dan data yang berbeda nyata akan dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT).



## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

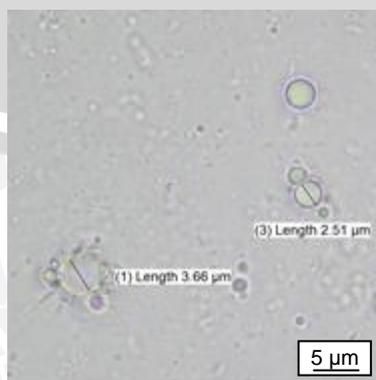
### 4.1 Penyakit Akar Gada pada Tanaman Sawi Hijau

Tanaman sawi hijau yang terserang patogen *P. brassicae* menampilkan gejala pembengkakan pada akarnya. Pada serangan berat juga terjadi pembusukan akar. Pembengkakan akar pada tanaman yang terserang menyebabkan tanaman layu pada siang hari dan segar kembali pada pagi hari. Pada siang hari terjadi penguapan pada tanaman sehingga tanaman membutuhkan air yang lebih banyak, namun kerusakan pada akar menyebabkan akar tidak mampu menyerap air dengan baik sehingga tanaman menjadi layu. Pada pagi hari tanaman terlihat segar kembali karena penguapan pada tanaman rendah dan tanaman memperoleh air dari embun.



Gambar 4. Penyakit akar gada pada tanaman sawi hijau. a. Akar sehat, b. Akar yang terserang

*P. brassicae* merupakan patogen tular tanah dan bersifat parasit obligat. Pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa spora *P. brassicae* berbentuk bulat dan berwarna transparan.



Gambar 5. Mikroskopis spora *P. brassicae* penyebab akar gada

#### 4.2 Intensitas Penyakit Akar Gada pada Tanaman Sawi Hijau

Hasil analisis ragam intensitas penyakit akar gada pada tanaman sawi hijau (Lampiran 1) menunjukkan bahwa perlakuan dosis mikoriza berpengaruh nyata terhadap penurunan intensitas penyakit akar gada. Perlakuan sengon dan sawi hijau dengan dosis mikoriza 80 dan 100 g memberikan hasil yang berbeda nyata dengan tanpa pemberian mikoriza (kontrol). Namun perlakuan sengon dan sawi hijau dengan dosis mikoriza 80 dan 100 g tidak berbeda nyata dengan perlakuan sengon dan sawi hijau pada dosis mikoriza 20, 40, dan 60 g terhadap intensitas penyakit akar gada. Perlakuan sengon dan sawi hijau dengan dosis mikoriza 100 g memberikan rata-rata serangan penyakit akar gada paling rendah yaitu sebesar 25% (Tabel 2).

**Tabel 2.** Intensitas penyakit akar gada pada tanaman sawi hijau

Perlakuan	Intensitas penyakit akar gada (%)
Sengon + Sawi Hijau + 0 g mikoriza	66 b
Sengon + Sawi Hijau + 20 g mikoriza	53 ab
Sengon + Sawi Hijau + 40 g mikoriza	47 ab
Sengon + Sawi Hijau + 60 g mikoriza	44 ab
Sengon + Sawi Hijau + 80 g mikoriza	28 a
Sengon + Sawi Hijau + 100 g mikoriza	25 a

Keterangan: - Angka-angka yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan (DMRT) pada taraf kepercayaan 95%.  
- Data sudah ditransformasi Arc Sin untuk keperluan analisis.

Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis mikoriza yang diberikan (0-100 g) maka rata-rata serangan penyakit akar gada oleh *P. brassicae* semakin menurun. Hal ini dikarenakan hifa mikoriza yang menyelubungi akar tanaman sawi hijau menjadi penghalang langsung terhadap penetrasi patogen *P. brassicae*. Selain itu, mikoriza yang menginfeksi akar tanaman dan membentuk vesikel maupun arbuskula membuat ruang sel-sel dalam akar terisi sehingga menekan terhadap perkembangan patogen di dalam akar. Keberhasilan penggunaan mikoriza dalam menekan penyakit akar gada juga terjadi pada penelitian Cicu (2005) yang menyatakan bahwa mikroorganisme di dalam tanah yang mengkolonisasi akar tanaman kubis dapat mengurangi kontak antara tanaman kubis dengan *P. brassicae* sehingga dapat mengurangi keparahan penyakit. Penurunan serangan *P. brassicae* oleh mikroba kemungkinan terjadi secara alami

melalui proteksi pada akar sehingga meningkatkan ketahanan tanaman inang terhadap infeksi patogen dan selanjutnya meningkatkan produksi tanaman. Hajoeningtjas dan Budi (2005) juga melaporkan bahwa adanya arbuskula hasil pengembangan spora mikoriza pada sel-sel akar tanaman caisin membuat ruang sel menjadi sedikit sekali atau bahkan tidak ada yang tersisa untuk perkembangbiakan patogen *P. brassicae*.

Simbiosis mikoriza dengan tanaman dapat menurunkan serangan penyakit akar gada yang disebabkan oleh patogen *P. brassicae*. Rata-rata intensitas penyakit akar gada menurun seiring dengan meningkatnya pemberian dosis mikoriza (0-100 g). Namun, hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada perlakuan dosis mikoriza tertinggi (100 g) masih menunjukkan adanya serangan penyakit akar gada sebesar 25%, hal ini disebabkan oleh kondisi lingkungan yang mendukung perkembangan penyakit. Adanya penambahan Pb pada media tanam menyebabkan tanah menjadi tercemar sehingga menjadikan kondisi yang menguntungkan untuk perkembangan patogen. Pada kondisi tanah tercemar tersebut translokasi unsur hara pada tanaman terganggu sehingga tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik yang akhirnya tanaman menjadi rentan terhadap serangan patogen. Suatu patogen dapat menyebabkan penyakit pada tanaman apabila terdapat hubungan antara tiga faktor diantaranya adalah inang yang rentan, patogen yang virulen, dan lingkungan yang mendukung terjadinya penyakit. Menurut Timothy dan Arnold, 2010 (dalam Rahmawanto *et al.*, 2015) menjelaskan bahwa kekurangan unsur hara menyebabkan proses metabolisme tanaman terhambat dan tanaman menjadi rentan terhadap serangan patogen.

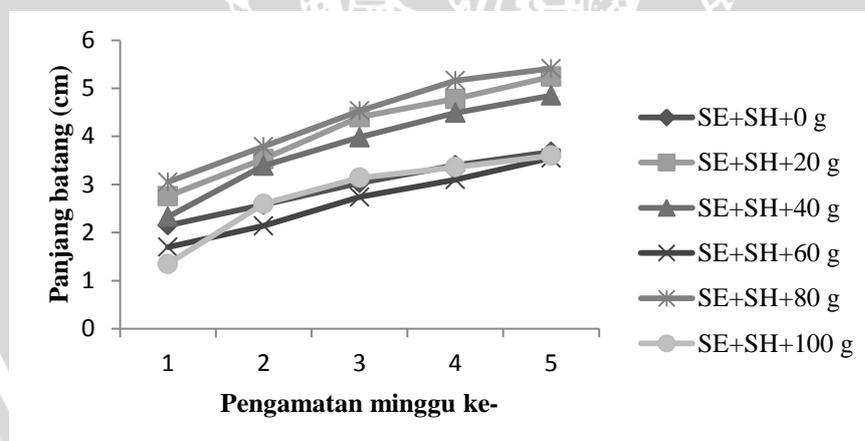
#### **4.3 Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Sawi Hijau**

Pengamatan terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman sawi hijau meliputi panjang batang dan jumlah daun. Hasil pengamatan panjang batang dan jumlah daun dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Panjang batang dan jumlah daun tanaman sawi hijau

Perlakuan	Rata-rata panjang batang (cm)	Rata-rata jumlah daun
Sengon + Sawi Hijau + 0 g mikoriza	3,68	8,00
Sengon + Sawi Hijau + 20 g mikoriza	5,24	8,50
Sengon + Sawi Hijau + 40 g mikoriza	4,85	8,38
Sengon + Sawi Hijau + 60 g mikoriza	3,55	8,38
Sengon + Sawi Hijau + 80 g mikoriza	5,41	8,75
Sengon + Sawi Hijau + 100 g mikoriza	3,60	8,00

Hasil analisis ragam panjang batang tanaman sawi hijau menunjukkan pemberian dosis mikoriza 0-100 g tidak berpengaruh nyata terhadap panjang batang tanaman sawi hijau (Lampiran 2). Hasil pengamatan terhadap rata-rata panjang batang tanaman sawi hijau pada Tabel 3 menunjukkan bahwa panjang batang berfluktuasi dari perlakuan kontrol sampai dosis mikoriza tertinggi (100 g). Pada perlakuan kontrol menunjukkan rata-rata panjang batang 3,68 cm. Perlakuan pemberian mikoriza dosis 60 g memberikan rata-rata panjang batang terendah yaitu 3,55 cm. Sedangkan perlakuan pemberian mikoriza dosis 80 g memberikan hasil rata-rata panjang batang tertinggi yaitu 5,41 cm.

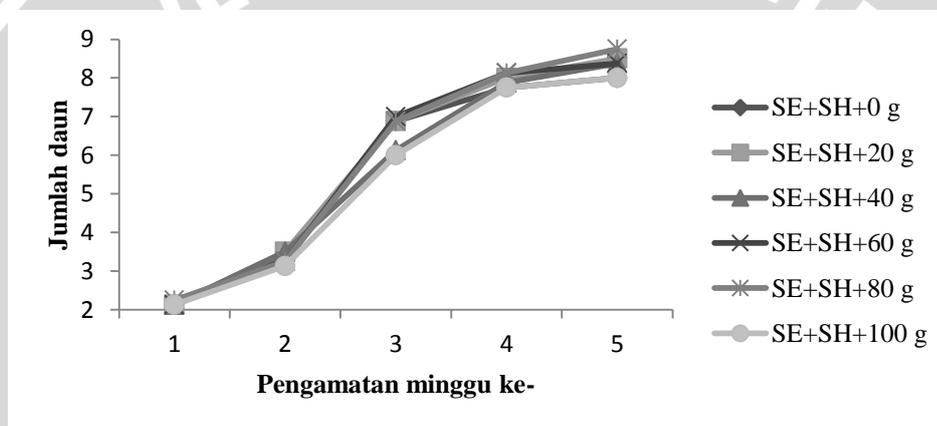


Gambar 6. Rerata penambahan panjang batang tanaman sawi hijau dari awal penanaman sampai 35 HST. SE= sengon, SH= sawi hijau, 0-100 g= dosis mikoriza

Grafik diatas menunjukkan bahwa penambahan panjang batang tanaman sawi hijau pada semua perlakuan relatif konstan. Namun pada perlakuan pemberian mikoriza dosis 100 g, terjadi peningkatan penambahan panjang batang yang signifikan daripada perlakuan lain pada pengamatan minggu ke-2 (Gambar 6). Peningkatan penambahan panjang batang yang signifikan tersebut dikarenakan

adanya simbiosis antara tanaman dan mikoriza. Adanya mikoriza dapat memperluas daerah serapan unsur hara oleh tanaman dengan hifanya. Meningkatnya daerah serapan unsur hara yang dapat dijangkau mikoriza membuat unsur hara yang dapat diserap oleh tanaman semakin banyak dan akhirnya meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Hasil analisis ragam jumlah daun tanaman sawi hijau menunjukkan pemberian mikoriza dosis 0-100 g tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman sawi hijau (Lampiran 3). Hasil pengamatan rata-rata jumlah daun tanaman sawi hijau setelah 35 HST menunjukkan jumlah daun berfluktuasi dari perlakuan kontrol sampai dosis mikoriza tertinggi (100 g).



Gambar 7. Grafik penambahan jumlah daun tanaman sawi hijau dari awal penanaman sampai 35 HST. SE= sengan, SH= sawi hijau, 0-100 g= dosis mikoriza

Grafik penambahan jumlah daun tanaman sawi hijau dari awal penanaman sampai 35 HST menunjukkan peningkatan pada setiap minggunya. Peningkatan jumlah daun signifikan pada minggu ke-1 sampai minggu ke-4 (Gambar 7). Pada minggu ke-1 sampai minggu ke-4 adalah masa pertumbuhan vegetatif tanaman sehingga tanaman aktif membentuk daun. Pada minggu ke-5 mulai menunjukkan penambahan jumlah daun yang tidak signifikan, hal ini dikarenakan pada minggu ke-5 tanaman sudah mulai memasuki fase pertumbuhan generatif. Penambahan jumlah daun tanaman sawi hijau dari awal penanaman sampai 35 HST hampir sama pada semua perlakuan.

Pertumbuhan tanaman sawi hijau yang meliputi panjang batang dan jumlah daun tidak berbeda nyata (Lampiran 2 dan 3) disebabkan oleh adanya kompetisi ruang, cahaya, dan juga unsur hara antara tanaman sawi hijau dengan tanaman sengon. Adanya penanaman sengon dengan tanaman sawi hijau menyebabkan ruang untuk pertumbuhan tanaman sawi hijau menjadi berkurang, selain itu keberadaan tanaman sengon juga menimbulkan kompetisi untuk mendapatkan unsur hara dan cahaya matahari. Tajuk dan tinggi tanaman sengon yang lebih lebar dan lebih tinggi daripada tanaman sawi hijau menyebabkan cahaya matahari tidak dapat seluruhnya masuk ke permukaan daun tanaman sawi hijau karena terhalang oleh tajuk tanaman sengon, akibatnya mengganggu proses fotosintesis pada daun tanaman sawi hijau. Terganggunya proses fotosintesis berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman sawi hijau. Hasil penelitian Kadir (2014) juga menyatakan bahwa perlakuan jarak tanam dan pupuk kandang serta pengaruh keduanya tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman sawi hijau. Adanya kompetisi antar tanaman mempengaruhi morfologi dari tanaman itu sendiri khususnya tinggi tanaman.

Faktor lain yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman sawi hijau adalah keberadaan logam Pb yang diberikan pada media tanam. Logam Pb yang diberikan dengan konsentrasi 100 mg/kg menyebabkan tanaman mengalami klorosis dan nekrosis sehingga mengganggu proses fotosintesis tanaman (Gambar 14). Terganggunya proses fotosintesis menyebabkan pertumbuhan tanaman sawi hijau terganggu. Mangkoedihardjo *et al.* (2005) mengatakan bahwa tanah yang tercemar Pb sebesar 90 mg/kg menyebabkan tanaman mengalami nekrosis, klorosis, dan penggulungan mati sebagai akibat kerusakan fungsional ketidakmampuan menjalankan fungsi pertumbuhan. Adanya gejala klorosis, nekrosis, serta penggulungan mati pada daun menyebabkan proses fotosintesis terganggu. Gangguan pada proses fotosintesis menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat.

Gangguan terhadap pertumbuhan tanaman sawi hijau selain disebabkan oleh keberadaan logam Pb juga disebabkan oleh keberadaan patogen *P. brassicae*. Keberadaan patogen *P. brassicae* yang diinokulasikan pada media tanam menyebabkan terjadinya kerusakan pada akar tanaman sehingga tidak dapat

menjalankan fungsinya dengan baik dalam menyerap air dan unsur hara. Gangguan dalam penyerapan air dan unsur hara menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat. Menurut Sastrahidayat (2011) akar terinfeksi *P. brassicae* tidak mampu menyerap air dan unsur hara sehingga tanaman akan terhambat pertumbuhannya dan daun bagian bawah menjadi kuning dan akhirnya mati.

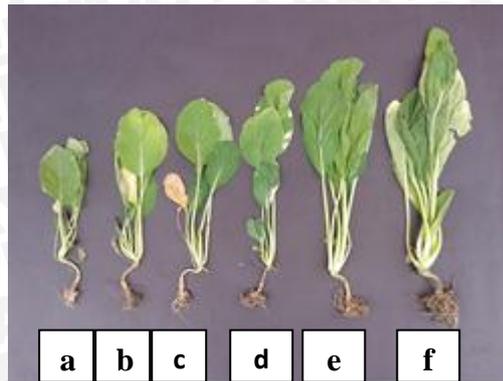
Inokulasi patogen *P. brassicae* penyebab penyakit akar gada dan pencemaran logam Pb pada media tanam menyebabkan pertumbuhan tanaman sawi hijau terganggu. Gangguan dari kedua faktor tersebut dapat dikurangi dengan pemberian mikoriza. Manfaat pemberian mikoriza antara lain membantu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit akar gada dan cekaman logam Pb. Tanaman yang diinokulasi mikoriza dapat tumbuh lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi mikoriza.

Inokulasi mikoriza (0-100 g) tidak mempengaruhi panjang tanaman dan jumlah daun tanaman sawi hijau dari awal penanaman sampai 35 HST. Akan tetapi, pemberian mikoriza (0-100 g) membantu tanaman dalam menghasilkan rata-rata berat basah dan kering tanaman tanpa akar yang lebih tinggi daripada tanpa mikoriza (Tabel 4). Data hasil pengamatan berat tanaman sawi hijau (Tabel 4) menunjukkan pemberian mikoriza mempengaruhi berat basah dan kering tanaman dibandingkan dengan kontrol.

**Tabel 4.** Berat basah dan berat kering tanaman sawi hijau tanpa akar (g)

Perlakuan	Rata-rata berat basah (g)	Rata-rata berat kering (g)
Sengon + Sawi Hijau + 0 g mikoriza	11,58	0,91
Sengon + Sawi Hijau + 20 g mikoriza	13,02	0,93
Sengon + Sawi Hijau + 40 g mikoriza	15,50	1,03
Sengon + Sawi Hijau + 60 g mikoriza	17,01	1,12
Sengon + Sawi Hijau + 80 g mikoriza	18,06	1,16
Sengon + Sawi Hijau + 100 g mikoriza	24,49	1,42

Semakin tinggi dosis mikoriza yang diberikan menyebabkan berat tanaman sawi hijau semakin meningkat. Peningkatan berat tanaman sawi hijau disebabkan oleh adanya asosiasi antara mikoriza dan tanaman. Tanaman yang bermikoriza dapat menyerap unsur hara dan air lebih baik karena adanya jalinan hifa mikoriza. Hifa eksternal mikoriza dapat menjangkau air dan unsur hara lebih luas, sehingga dapat membantu meningkatkan berat tanaman sawi hijau.



Gambar 8. Pengaruh pemberian mikoriza terhadap tanaman sawi hijau pada umur 35 HST. a. 0 g mikoriza (kontrol), b. 20 g mikoriza, c. 40 g mikoriza, d. 60 g mikoriza, e. 80 g mikoriza, dan f. 100 g mikoriza

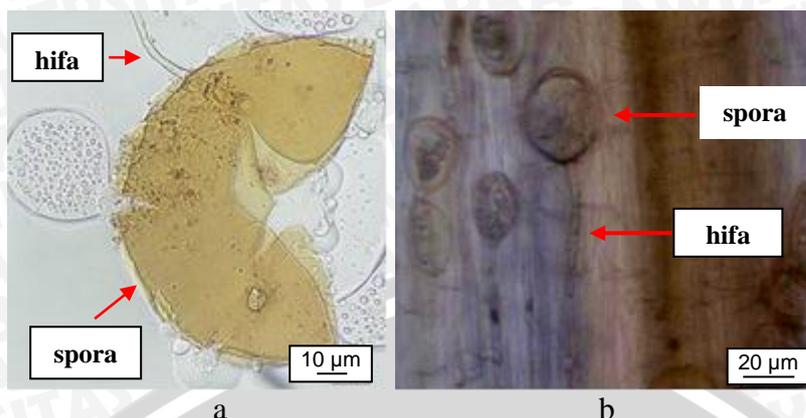
#### 4.4 Jumlah Spora Mikoriza dan Persen Infeksi Mikoriza

Hasil pengamatan jumlah spora mikoriza pada tanah setelah 35 HST (Tabel 5) didapatkan hasil bahwa jumlah spora meningkat seiring dengan peningkatan dosis mikoriza yang diberikan. Perlakuan kontrol didapatkan hasil 9 spora, hal ini dikarenakan mikoriza sudah ada secara alami di dalam tanah. Husna *et al.* (2007) mengemukakan bahwa jamur mikoriza arbuskula merupakan sumber daya alam hayati potensial yang terdapat di alam dan dapat ditemukan hampir di berbagai ekosistem.

**Tabel 5.** Jumlah spora mikoriza dalam tanah setelah 35 HST

Perlakuan	Jumlah spora/10 g tanah
Sengon + Sawi Hijau + 0 g mikoriza	9
Sengon + Sawi Hijau + 20 g mikoriza	22
Sengon + Sawi Hijau + 40 g mikoriza	42
Sengon + Sawi Hijau + 60 g mikoriza	87
Sengon + Sawi Hijau + 80 g mikoriza	119
Sengon + Sawi Hijau + 100 g mikoriza	151

Simbiosis mikoriza dengan tanaman dapat diketahui dengan melakukan pengamatan terhadap infeksi akar oleh mikoriza. Suatu simbiosis terjadi apabila jamur mikoriza masuk ke dalam akar tanaman dan menginfeksi akar tanaman. Infeksi mikoriza pada akar tanaman ditandai dengan adanya vesikel (struktur mikoriza berbentuk bulat atau lonjong yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan) atau arbuskula mikoriza (struktur mikoriza berbentuk seperti pohon yang berfungsi sebagai tempat pertukaran makanan antara mikoriza dengan inangnya).



Gambar 9. Mikoriza. a. Spora pecah, b. Infeksi pada akar tanaman

Pengamatan persentase infeksi mikoriza pada akar tanaman sengon dan sawi hijau disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Persentase infeksi mikoriza pada akar tanaman sengon dan sawi hijau

Perlakuan	Persentase infeksi (25 akar)	
	Sengon (%)	Sawi (%)
Sengon + Sawi Hijau + 0 g mikoriza	0	0
Sengon + Sawi Hijau + 20 g mikoriza	40	44
Sengon + Sawi Hijau + 40 g mikoriza	28	40
Sengon + Sawi Hijau + 60 g mikoriza	28	44
Sengon + Sawi Hijau + 80 g mikoriza	48	52
Sengon + Sawi Hijau + 100 g mikoriza	60	52

Hasil pengamatan infeksi pada tanaman sengon (Tabel 6) menunjukkan bahwa perlakuan kontrol tidak terjadi infeksi sama sekali. Pada perlakuan dengan penambahan dosis mikoriza 20 g terjadi peningkatan infeksi yaitu sebesar 40%. Perlakuan dengan penambahan dosis mikoriza 40 dan 60 g terjadi penurunan persen infeksi yaitu masing-masing 28%. Pada perlakuan dengan penambahan dosis mikoriza 80 dan 100 g terjadi peningkatan kembali yaitu masing-masing 48% dan 60%.

Hasil pengamatan persentase infeksi mikoriza pada tanaman sawi hijau (Tabel 6) menunjukkan bahwa perlakuan kontrol tidak terdapat infeksi sama sekali. Pada perlakuan dengan penambahan dosis mikoriza 20 g terjadi infeksi sebesar 44%. Pada perlakuan dengan dosis mikoriza 40 g terjadi penurunan persentase infeksi, infeksi yang terjadi sebesar 40%. Pada perlakuan dengan penambahan dosis mikoriza 60, 80, dan 100 g terjadi peningkatan kembali, yaitu masing-masing adalah 44%, 52%, dan 52%. Perlakuan kontrol pada tanaman

sengon maupun sawi hijau tidak terdapat infeksi, hal ini diduga karena tidak adanya penambahan mikoriza pada media tanam. Meskipun hasil pengamatan jumlah spora di dalam tanah pada perlakuan tanpa penambahan mikoriza didapatkan 9 spora, namun jumlahnya masih terlalu sedikit untuk melakukan infeksi pada akar.

Semakin tinggi pemberian dosis mikoriza tidak selalu meningkatkan infeksi mikoriza pada akar tanaman sengon maupun sawi hijau. Penurunan infeksi mikoriza dikarenakan spesies mikoriza yang digunakan berbeda-beda. Spesies mikoriza yang berbeda memiliki kemampuan yang berbeda pula dalam menginfeksi akar tanaman. Selain itu, perlakuan yang digunakan adalah dosis mikoriza berdasarkan berat pupuk kompos bermikoriza, sehingga tidak diketahui secara pasti kerapatan spora yang diberikan dalam pupuk kompos bermikoriza pada setiap perlakuan.

Infektivitas mikoriza dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adalah spesies jamur, tanaman inang, interaksi mikrobial, tipe perakaran tanaman inang, dan kompetisi antara jamur mikoriza yang disebut dengan faktor biotik, dan lingkungan tanah yang disebut faktor abiotik (Solaiman dan Hirata, 1995 *dalam* Nurhayati, 2012). Faktor lingkungan tanah yang mempengaruhi infeksi mikoriza adalah bahan organik, residu akar, unsur hara, pH, suhu, serta kadar air tanah (Gianinazzi-Pearson, 1982 *dalam* Nurhayati, 2012). Lebih lanjut Nurhayati (2012), menjelaskan bahwa mikoriza asal rhizosfer tanaman inang yang sama dengan jenis tanaman inangnya lebih kompatibel daripada mikoriza asal rhizosfer tanaman inang yang berbeda dengan jenis tanaman inangnya.

#### **4.5 Analisis Logam Pb pada Tanah dan Tanaman**

Pb adalah salah satu logam berbahaya dan beracun yang saat ini termasuk bahan pencemar utama di lingkungan. Pb dapat diakumulasi oleh tanaman pada akar, batang, dan daun. Logam  $Pb(NO_3)_2$  yang digunakan untuk pencemaran tanah berbentuk seperti bubuk dan berwarna putih. Konsentrasi Pb yang digunakan untuk pencemaran media tanam adalah 100 mg/kg.

Hasil analisis logam Pb pada tanah awal sebelum pencemaran dan sesudah 35 HST ditunjukkan pada Tabel 7. Kandungan logam Pb di dalam tanah pada tiap perlakuan setelah 35 HST mengalami penurunan. Penurunan kandungan logam Pb

di dalam tanah menunjukkan bahwa terjadi serapan logam Pb oleh tanaman selama kegiatan fitoremediasi. Meningkatnya dosis mikoriza yang diberikan menyebabkan semakin menurunnya kandungan logam Pb di dalam tanah setelah 35 HST (Gambar 10). Menurunnya kandungan logam Pb dalam tanah mengindikasikan bahwa pemberian mikoriza dapat meningkatkan serapan Pb oleh tanaman.

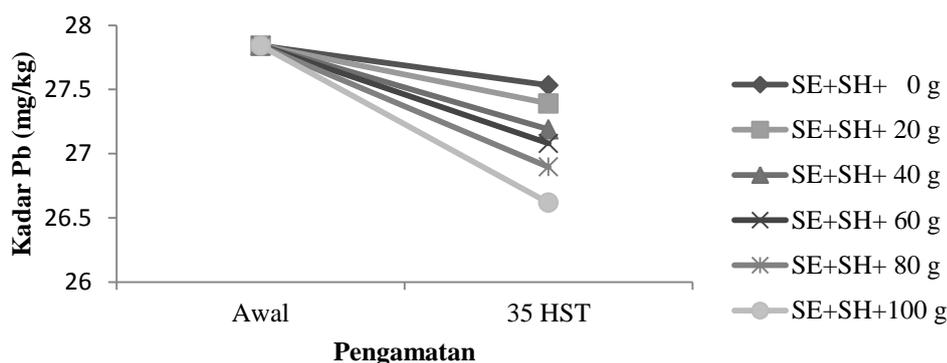
**Tabel 7.** Analisis kandungan Pb dalam tanah

Perlakuan	Analisis kandungan Pb dalam tanah (mg/kg)			
	Sebelum pencemaran	Setelah pencemaran	Setelah 35 HST	Jumlah penurunan Pb
SE+SH+ 0 g	4,213	27,841	27,532	0,310
SE+SH+ 20 g	4,213	27,841	27,391	0,451
SE+SH+ 40 g	4,213	27,841	27,189	0,653
SE+SH+ 60 g	4,213	27,841	27,079	0,762
SE+SH+ 80 g	4,213	27,841	26,896	0,945
SE+SH+100 g	4,213	27,841	26,617	1,224

Keterangan: SE= sengon, SH= sawi hijau, 0-100 g= dosis mikoriza.

Kandungan Pb dalam tanah sebelum dilakukan pencemaran adalah 4,213 mg/kg. Kandungan Pb dalam tanah setelah dilakukan pencemaran Pb dengan dosis 100 mg/kg adalah 27,841 mg/kg. Konsentrasi Pb setelah dilakukan pencemaran 100 mg/kg hanya didapatkan 27,841 mg/kg, hal ini diduga karena Pb menguap ke udara dan mengendap di dalam tanah berupa molekul garam. Menurunnya kandungan logam Pb dalam tanah tiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar 10.

Kandungan logam Pb di dalam tanah semakin menurun seiring meningkatnya pemberian mikoriza. Mikoriza membantu penyerapan logam Pb dengan menyimpan logam di dalam hifanya. Penurunan kandungan logam Pb terendah terjadi pada perlakuan kontrol, dimana didapatkan hasil penurunan sebesar 0.310 mg/kg. Meningkatnya dosis mikoriza yang diberikan (20, 40, 60, 80, dan 100 g ) menyebabkan penurunan kandungan logam Pb di dalam tanah yang semakin besar. Penurunan kandungan Pb tertinggi terjadi pada dengan penambahan mikoriza 100 g yaitu sebesar 1.224 mg/kg.



Gambar 10. Grafik penurunan kadar logam Pb dalam tanah. SE= sengon, SH= sawi hijau, 0-100 g= dosis mikoriza

Analisis kandungan logam Pb pada jaringan tanaman sengon dan sawi hijau dilakukan pada umur 35 HST. Jaringan tanaman yang digunakan dalam analisis adalah akar, batang, dan daun. Hasil analisis serapan logam Pb pada tanaman sengon dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Analisis serapan Pb pada jaringan tanaman sengon

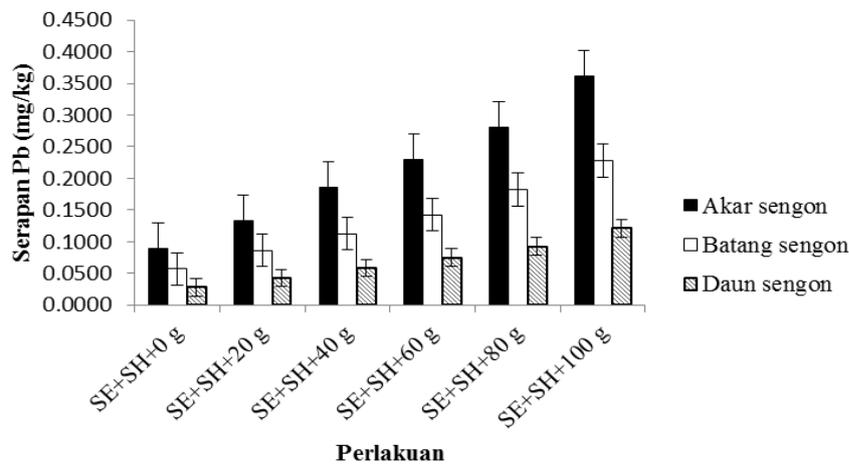
Perlakuan	Akar (mg/kg)	Batang (mg/kg)	Daun (mg/kg)	Total serapan Pb (mg/kg)
SE+SH+ 0 g	0,0894	0,0573	0,0278	0,1745
SE+SH+ 20 g	0,1332	0,0860	0,0427	0,2620
SE+SH+ 40 g	0,1863	0,1128	0,0585	0,3576
SE+SH+ 60 g	0,2289	0,1427	0,0747	0,4463
SE+SH+ 80 g	0,2802	0,1825	0,0921	0,5548
SE+SH+ 100 g	0,3622	0,2279	0,1207	0,7108

Keterangan: SE= sengon, SH= sawi hijau, 0-100 g= dosis mikoriza.

Serapan logam Pb pada jaringan tanaman sengon meningkat seiring dengan meningkatnya dosis mikoriza. Perlakuan kontrol didapatkan hasil serapan Pb sebesar 0,0894 mg/kg pada akar, 0,0573 mg/kg pada batang, dan 0,0278 mg/kg pada daun. Meningkatnya dosis mikoriza yang diberikan (20, 40, 60, 80, dan 100 g) menyebabkan peningkatan serapan logam Pb pada tanaman sengon. Perlakuan dengan dosis mikoriza 100 g memiliki hasil serapan logam Pb tertinggi pada akar, batang, maupun daunnya.

Tanaman sengon dengan pemberian mikoriza dosis 100 g dapat menyerap logam Pb total sebesar 0,7108 mg/kg pada umur 50 HST, hasil tersebut jika dikonversi ke dalam persen sebesar 2,55% dari total Pb yang ada didalam tanah. Dengan serapan sebesar 2.55% tersebut maka tanaman sengon membutuhkan

waktu tidak kurang dari 5 tahun untuk menyerap semua Pb yang ada didalam tanah sehingga tanah dapat digunakan kembali dan tidak berbahaya untuk pertumbuhan tanaman. Besarnya serapan logam oleh tanaman dipengaruhi oleh beberapa hal (Hilamuhu *et al.*, Tanpa Tahun) diantaranya adalah umur tumbuhan, banyaknya logam dalam tanah, dan lamanya waktu tanaman berada pada tanah tercemar. Peningkatan serapan logam Pb pada tiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik serapan logam Pb pada jaringan tanaman sengon. SE= sengon, SH= sawi hijau, 0-100 g= dosis mikoriza

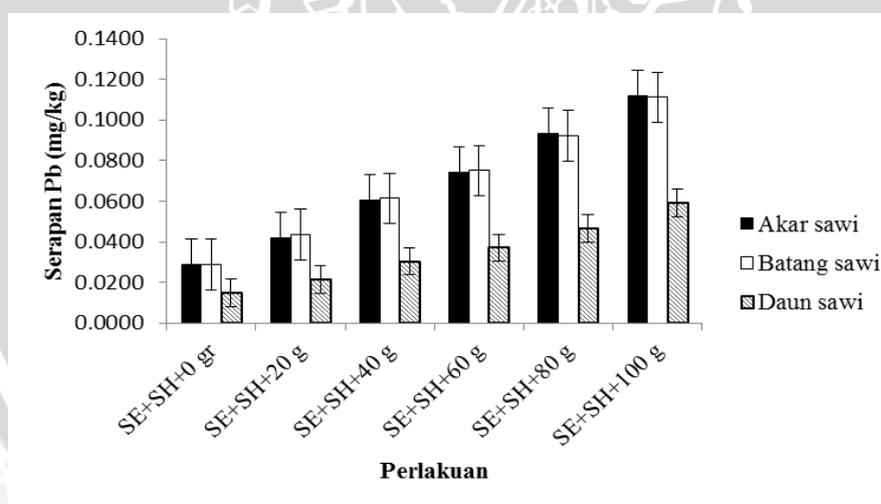
Hasil analisis serapan logam Pb pada tanaman sawi hijau dapat dilihat pada Tabel 9. Perlakuan kontrol memiliki serapan paling kecil daripada perlakuan lain. Serapan logam Pb pada perlakuan kontrol sebesar 0,0288 mg/kg pada akar, 0,0288 mg/kg pada batang, dan 0,0148 mg/kg pada daun. Meningkatnya pemberian dosis mikoriza (20, 40, 60, 80, dan 100 g) menyebabkan peningkatan serapan logam Pb oleh tanaman. Serapan logam Pb tertinggi pada perlakuan dengan dosis mikoriza 100 g yaitu 0,1117 mg/kg pada akar, 0,1111 mg/kg pada batang, dan 0,0592 mg/kg pada daun.

**Tabel 9.** Analisis serapan Pb oleh jaringan tanaman sawi hijau

Perlakuan	Akar (mg/kg)	Batang (mg/kg)	Daun (mg/kg)	Total serapan Pb (mg/kg)
SE+SH+ 0 g	0,0288	0,0288	0,0148	0,0724
SE+SH+ 20 g	0,0420	0,0436	0,0215	0,1071
SE+SH+ 40 g	0,0606	0,0614	0,0304	0,1523
SE+SH+ 60 g	0,0740	0,0751	0,0372	0,1862
SE+SH+ 80 g	0,0931	0,0922	0,0465	0,2318
SE+SH+100 g	0,1117	0,1111	0,0592	0,2820

Keterangan: SE= sengan, SH= sawi hijau, 0-100 g= dosis mikoriza.

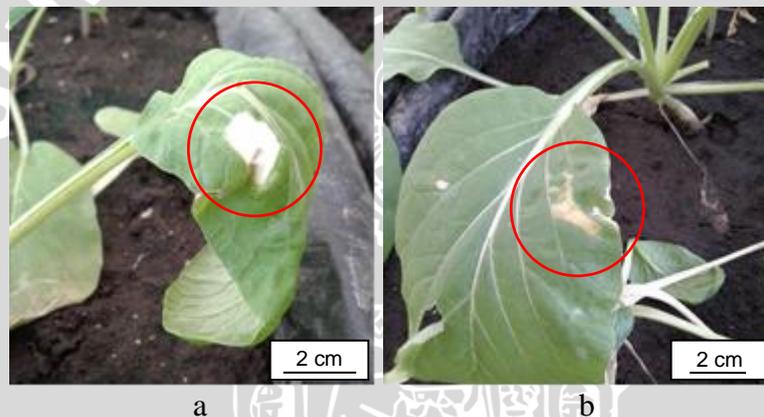
Serapan logam Pb pada batang tanaman sawi hijau lebih besar daripada akar dan daun pada perlakuan pemberian dosis mikoriza 20, 40, dan 60 g. Besarnya serapan logam Pb pada batang tanaman sawi hijau disebabkan oleh adanya proses translokasi air dan unsur hara dari akar ke daun. Pada saat terjadi proses translokasi, logam Pb akan mengikuti aliran air ke daun dan melewati batang sehingga kandungan logam Pb pada batang tinggi. Tingginya kandungan logam Pb pada batang menyebabkan efek toksik. Gejala kerusakan akibat toksisitas logam Pb yaitu nekrosis dan klorosis pada daun bagian atas (Gambar 13).



Gambar 12. Grafik serapan logam Pb pada jaringan tanaman sawi hijau. SE= sengan, SH= sawi hijau, 0-100 g= dosis mikoriza

Hasil analisis logam Pb pada tanaman sawi hijau menunjukkan tanaman sawi hijau mengandung logam Pb pada akar, batang, maupun daunnya. Logam Pb yang diserap oleh tanaman sawi hijau konsentrasinya lebih rendah bila dibandingkan dengan tanaman sengan. Tanaman sengan dapat menyerap logam Pb lebih dari 2 kali lipatnya serapan tanaman sawi hijau.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa semua tanaman dapat menyerap logam namun pada konsentrasi yang berbeda-beda. Tanaman menyerap logam dan mengakumulasinya dalam jaringan akar, batang, maupun daunnya. Tanaman yang memiliki kemampuan menyerap logam berat dalam jumlah yang besar tanpa memperlihatkan gejala keracunan dapat digunakan dalam kegiatan fitoremediasi. Kandungan Pb sebesar 27,841 mg/kg pada tanah menyebabkan gejala keracunan pada tanaman sawi hijau. Gejala keracunan tersebut berupa klorosis dan nekrosis pada daun bagian atas (Gambar 13). Jika dibandingkan dengan hasil serapan pada tanaman sawi hijau, tanaman sengon lebih potensial untuk dikembangkan sebagai tanaman penyerap logam Pb dalam kegiatan fitoremediasi.



Gambar 13. Gejala keracunan Pb pada tanaman sawi hijau. a. Klorosis, b. Nekrosis

Asosiasi mikoriza dengan tanaman dapat meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman. Meningkatnya serapan logam Pb seiring meningkatnya dosis mikoriza yang diberikan. Simbiosis mikoriza dengan tanaman membuat luas daerah jangkauan serapan unsur hara dan air termasuk logam Pb semakin luas. Semakin luasnya daerah serapan menyebabkan air dan unsur hara termasuk logam Pb yang dapat diserap juga semakin banyak. Meningkatnya Pb yang dapat diserap menyebabkan kandungan Pb dalam tanaman semakin besar.

Tanaman yang bersimbiosis dengan mikoriza memiliki serapan logam Pb lebih tinggi daripada tanaman yang tidak bermikoriza. Tingginya serapan logam Pb pada tanaman bermikoriza disebabkan Pb diserap dan disimpan oleh mikoriza di dalam jalinan hifanya, sehingga tanaman yang bermikoriza dapat menyerap

logam lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Arisusanti (2013), akumulasi logam Pb oleh akar tanaman *Dahlia pinnata* terbesar pada perlakuan dengan dosis mikoriza *Glomus fasciculatum* 25 gram dan akumulasi logam paling sedikit pada akar tanaman yang tidak diinokulasi mikoriza. Akumulasi logam Pb pada akar dengan dosis 25 gram mikoriza adalah 5,97 mg/kg dan akumulasi logam Pb pada akar yang tidak diinokulasi mikoriza adalah 0,22 mg/kg.

Pada penelitian lain juga dilaporkan bahwa inokulasi mikoriza *Glomus deserticola* pada tanaman *Eucalyptus* dapat meningkatkan akumulasi Pb. Pada konsentrasi Pb yang tinggi didalam tanah (100 dan 1000 mg/kg), konsentrasi Pb pada akar tanaman bermikoriza nyata lebih tinggi dari daripada akar tanaman yang tidak diinokulasi mikoriza. Konsentrasi Pb pada tanaman *Eucalyptus* bermikoriza lebih tinggi daripada tanaman *Eucalyptus* yang tidak bermikoriza pada semua tingkat penambahan Pb didalam tanah. Konsentrasi logam berat yang tinggi pada tanaman bermikoriza menunjukkan bahwa infeksi jamur mikoriza arbuskular (VAM) dapat meningkatkan serapan logam berat melalui mekanisme perluasan area serapan, volume tanah yang dapat dijangkau, dan efektifitas translokasi hifa (Bafeel, 2008).

Mikoriza meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman. Keberadaan mikoriza yang bersimbiosis dengan akar tanaman menyebabkan kandungan logam Pb di akar menjadi lebih tinggi daripada batang dan daun. Kandungan logam Pb di akar yang lebih tinggi tersebut disebabkan adanya bantuan dari mikroriza. Mikoriza membantu tanaman dalam mengakumulasi logam Pb pada jalinan hifanya. Hal ini sesuai dengan Hardiani (2009), akar yang bermikoriza dapat menyerap logam Pb lebih banyak dibandingkan dengan akar yang tidak bermikoriza. Mekanisme perlindungan oleh mikoriza terhadap logam berat yaitu melalui penimbunan unsur tersebut dalam akar yang telah bersimbiosis dengan mikoriza, sehingga akar dapat menyerap logam Pb lebih banyak dari batang dan daun.

Pemanfaatan mikoriza memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah membantu tanaman dalam penyerapan unsur hara makro dan mikro, lebih banyak memanen air karena dapat menjangkau pori-pori mikro tanah yang tidak dapat dijangkau oleh rambut-rambut akar, meningkatkan ketahanan terhadap

kekeringan, meningkatkan ketahanan terhadap patogen akar (perbaikan nutrisi tanaman, lapisan hifa yang menutupi akar, melepaskan antibiotik), pencemaran logam berat (mekanisme kerja dari hifa jamur) dan salinitas, mikoriza juga mampu menghasilkan hormon yang dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman (Husna *et al.*, 2007).



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan mikoriza memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan intensitas penyakit akar gada yang disebabkan oleh *Plasmodiophora brassicae* pada tanaman sawi hijau di lahan tercemar logam Pb.
2. Peningkatan pemberian dosis mikoriza dari 0 hingga 100 g dapat memberikan pengaruh terhadap peningkatan serapan logam Pb oleh tanaman sengon dan semakin menurunkan kandungan logam Pb dalam tanah.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap potensi jenis atau spesies mikoriza dan pemberian jumlah spora yang berbeda dalam mengatasi masalah penyakit akar gada yang disebabkan oleh patogen *P. brassicae* dan potensinya dalam meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman hiperakumulator.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. Fifth Edition. Elsevier Acad. Press. USA. 948 hal.
- Aprilia, D.D., dan K.I. Purwani. 2013. Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap Akumulasi Logam Timbal (Pb) pada Tanaman *Euphorbia milii*. Jurnal Sains dan Seni Pomits. 2 (1): 79-83.
- Arisoesilaningsih, E. 1986. Pengaruh Timbal dan Kadmium terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). [Tesis]. ITB. Bandung.
- Arisusanti, R.J. 2013. Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap Pertumbuhan Tanaman *Dahlia pinnata* yang ditumbuhkan pada Media mengandung Logam Timbal (Pb). FMIPA ITS. Surabaya.
- Asmarahman, C., dan I.G. Febryano. 2008. Pemanfaatan *Rhizobium* untuk meningkatkan Pertumbuhan Semai Sengon (*Paraserianthes falcataria*) pada Media Tanah Bekas Tambang Semen. Fakultas Kehutanan Universitas Lampung. Lampung.
- Asniah, Widodo, dan S. Wiyono. 2013. Potensi Jamur Asal Tanah Perakaran Bambu sebagai Endofit dan Agen Biokontrol Penyakit Akar Gada pada Tanaman Brokoli. J. HPT Tropika. 13 (1): 61-68.
- Badan Pusat Statistik. 2015. [online]. diunduh di <http://www.bps.go.id/index.php> pada tanggal 15 Desember 2015.
- Bafeel, S.O. 2008. Contribution of Mycorrhizae in Phytoremediation of Lead Contaminated soil by *Eucalyptus rostrata* Plants. World Applied Sciences Journal. 5 (4): 490-498.
- Basset, J., Denney, RC., Jeffrey GH., dan Mendham J. 1983. Vogel's textbook of quantitative inorganic analysis including elementary indrument analysis 4<sup>th</sup> edition. Longman. New York.
- Bjorling, O. 2013. *Plasmodiophora brassicae* – host and environment interactions. Swedish University of Agriculture Sciences. Uppsala.
- Cicu. 2005. Penekanan Penyakit Akar Gada pada Tanaman Kubis melalui Perlakuan Tanah Pembibitan. J. Hort. 5 (1): 58-66.
- Cicu. 2006. Penyakit Akar Gada (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) pada Kubis-kubisan dan Upaya Pengendaliannya. Jurnal Litbang Pertanian. 23 (1): 16-21.
- Hajoeningtjas, O.D., dan G.P. Budi. 2005. Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskula sebagai Alternatif Pengendali Penyakit Akar Gada (*Plasmodiophora brassicae* Worr.) pada Tanaman Caisin (*Brassicae campestris* L.). Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Purwokerto.
- Hardiani, H. 2009. Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. Jurnal BS. 44 (1): 27-40.

- Hilamuhu, F., N.Y. Kandowangko, dan D.W.K. Baderan. Kandungan Merkuri (Hg) pada Tumbuhan di Kawasan Penambangan Emas Desa Ilangata Kec. Anggrek Kab. Gorontalo Utara. FMIPA Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- Husna, F.D. Tuheteru, dan Mahfudz. 2007. Mycorrhiza Application to Support Growth of Teak in Muna. *Jurnal Info Teknis*. 5 (1): 1-4.
- INVAM (International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal). 2015. [online] diunduh pada <http://invam.wvu.edu/> pada tanggal 27 Desember 2015.
- Juhaeti, Titi, dan F. Syarif. 2009. Potensi *Centrocoma pubescence*, *Calopogonium mucunoides*, dan *Micania cordata* dalam membersihkan Logam Kontaminan pada Limbah Penambangan Emas. *Jurnal Biodiversitas*. 7 (1): 4-6.
- Kadir, A. 2014. Pengaruh Variasi Jarak Tanam dan Pupuk Organik Padat terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea* L.). Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- Krisnawati, H., E. Varis, M. Kallio, dan M. Kanninen. 2011. *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen: Ekologi, Silviculture and Productivity. CIFOR. Bogor. Indonesia.
- Lukiwati, D.R. 2011. Penerapan Bioteknologi Mikoriza untuk Peningkatan Produksi dan Kualitas Hijauan Pakan. Pidato Pengukuhan Guru Besar. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Mangkoedihardjo, S., Surahmida, C. Margareth, dan Y. Ludang. 2008. Sistem Loop Pemulihan Tanah Tercemar Timbal menggunakan Proses Bioaugmentasi Kompos dan Fitoremediasi Tanaman Jarak Pagar. ITS. Surabaya.
- Matruti, A.E., A.M. Kalay, dan C. Uruilal. 2013. Serangan *Peronosclerospora* spp pada Tanaman Jagung di Desa Rumahtiga, Kec. Teluk Ambon Baguala Kota Ambon. *Jurnal Agrologia*. 2 (2): 109-115.
- Naria, E. 2005. Mewaspada Dampak Bahan Pencemar Timbal (Pb) di Lingkungan terhadap Kesehatan. *Jurnal Komunikasi Penelitian*. 17 (4): 66-72.
- Nurhayati. 2012. Infektivitas Mikoriza pada berbagai Jenis Tanaman Inang dan beberapa Jenis Sumber Inokulum. *J. Floratek*. 7: 25-31.
- Pratiwi, H. 2012. Studi Bioavailabilitas Logam Berat (Cd dan Pb) dalam Tanah dan Penyerapannya pada *Brassica juncea* L. (Sawi Hijau) dengan teknik *Diffusive Gradient in Thin Film* (DGT). [Skripsi]. FMIPA, Universitas Indonesia. Depok.
- Prijono, S. 2012. Instruksi Kerja Laboratorium Biologi Tanah. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang. 41 hal.
- Rahmawanto, D.G., Muhibuddin, A., dan Aini, L.Q. 2015. Pengaruh Faktor Abiotik Kimia Tanah terhadap Supresifitas Tanah dalam Mengendalikan

- Penyakit Layu Bakteri (*Ralstonia solanacearum*) pada Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill). Jurnal HPT. 3 (2): 1-8.
- Rondonuwu, S.B. 2014. Fitoremediasi Limbah Merkuri menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. Jurnal Ilmiah Sains. 14 (1): 52-59.
- Rossiana, N. 2007. Penurunan Kandungan Logam Berat dan Pertumbuhan Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* L (Nielsen) Bermikoriza dalam Medium Limbah Lumpur Minyak Hasil Estraksi. FMIPA Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Sastrahidayat, I.R. 2011. Fitopatologi. Universitas Brawijaya Press. Malang. 282 hal.
- Sudarma, I.M., dan D.N. Suprpta. 2011. Potensi Jamur Antagonis yang Berasal dari Habitat Tanaman Pisang dengan dan tanpa Gejala Layu Fusarium untuk Mengendalikan *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Secara *In Vitro*. Fakultas Pertanian Universitas Udayana. Bali.
- Sudaryono. 2007. Pengaruh Pupuk Hayati dan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) terhadap Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Lahan Berpasir. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Yogyakarta.
- Taberima, S. 2004. Peranan Mikroorganisme dalam Mengurangi Efek Toksik pada Tanah Terkontaminasi Logam Berat. Program Pasca Sarjana/S3 IPB. Bogor.
- Towaki, F. 2014. Insidensi Penyakit Akar Gada (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) pada Tanaman Kubis di Desa Rukukan dan Kumelembuay Kec. Tomohon Timur Kota Tomohon. Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi. Manado.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

**Tabel Lampiran 1.** Analisis ragam intensitas penyakit akar gada

## 1. Data pengamatan

Perlakuan	Ulangan				Total	Rata-rata
	1	2	3	4		
P0	78,17	81,88	78,17	60,52	298,74	74,69
P1	72,62	60,52	72,62	72,62	278,38	69,59
P2	68,91	68,91	64,72	68,42	270,97	67,74
P3	72,62	64,72	72,62	49,82	259,77	64,94
P4	57,72	64,72	39,12	57,72	219,28	54,82
P5	39,12	49,82	72,62	54,02	215,58	53,89
Total					1542,72	385,68

Keterangan: - P0= SE+SH+0 g, P1= SE+SH+20 g, P2= SE+SH+40 g, P3= SE+SH+60 g, P4= SE+SH+80 g, P5= SE+SH+100 g, SE: sengon, SH: sawi hijau, 0-100 g: dosis mikoriza.

- Data sudah ditransformasi Arc Sin untuk keperluan analisis.

## 2. Tabel ANOVA

SK	Db	JK	KT	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Perlakuan	5	1385,17	277,03	2,95*	2,77	4,25
Galat	18	1691,87	93,99			
Total	23	3077,03	133,78			

**Tabel Lampiran 2.** Analisis ragam panjang batang tanaman sawi hijau

## 1. Data pengamatan

Perlakuan	Ulangan				Total	Rata-rata
	1	2	3	4		
P0	2,29	2,02	2,11	1,63	8,05	2,01
P1	2,66	2,44	2,28	2,16	9,52	2,38
P2	2,28	2,29	2,56	1,96	9,09	2,27
P3	2,23	2,28	2,07	1,24	7,82	1,96
P4	2,50	2,41	2,68	2,08	9,67	2,42
P5	1,16	2,28	2,28	1,97	7,69	1,92
Total					51,84	

Keterangan: P0= SE+SH+0 g, P1= SE+SH+20 g, P2= SE+SH+40 g, P3= SE+SH+60 g, P4= SE+SH+80 g, P5= SE+SH+100 g, SE: sengon, SH: sawi hijau, 0-100 g: dosis mikoriza.

- Data sudah ditransformasi Akar Kuadrat untuk keperluan analisis.

## 2. Tabel ANOVA

SK	Db	JK	KT	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Perlakuan	5	0,99	0,20	1,56	2,77 <sup>tn</sup>	4,25
Galat	18	2,29	0,13			
Total	23	3,28	0,14			

**Tabel Lampiran 3.** Analisis ragam jumlah daun tanaman sawi hijau

1. Data pengamatan

Perlakuan	Ulangan				Total	Rata-rata
	1	2	3	4		
P0	2,91	2,98	2,91	2,44	11,25	2,81
P1	3,00	2,55	3,07	3,00	11,62	2,90
P2	3,08	2,90	2,88	2,62	11,49	2,87
P3	2,91	3,23	3,08	2,19	11,42	2,85
P4	3,23	2,83	2,64	3,08	11,78	2,95
P5	2,44	3,08	3,08	2,64	11,24	2,81
Total					68,79	

Keterangan: - P0= SE+SH+0 g, P1= SE+SH+20 g, P2= SE+SH+40 g, P3= SE+SH+60 g, P4= SE+SH+80 g, P5= SE+SH+100 g, SE: sengan, SH: sawi hijau, 0-100 g: dosis mikoriza.  
 - Data sudah ditransformasi Akar Kuadrat untuk keperluan analisis.

2. Tabel ANOVA

SK	db	JK	KT	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Perlakuan	5	0,06	0,01	0,12	2,77 <sup>tn</sup>	4,25
Galat	18	1,63	0,09			
Total	23	1,69	0,07			

**Tabel Lampiran 4.** Analisis logam Pb

## 1. Tanah

Sampel	ul	Total Pb (mg/kg)
Tanah awal tanpa penambahan Pb	1	4,195
	2	4,231
Tanah awal dengan penambahan Pb	1	27,845
	2	27,838
P0	1	27,544
	2	27,519
P1	1	27,397
	2	27,384
P2	1	27,221
	2	27,156
P3	1	27,070
	2	27,089
P4	1	26,893
	2	26,899
P5	1	26,609
	2	26,625

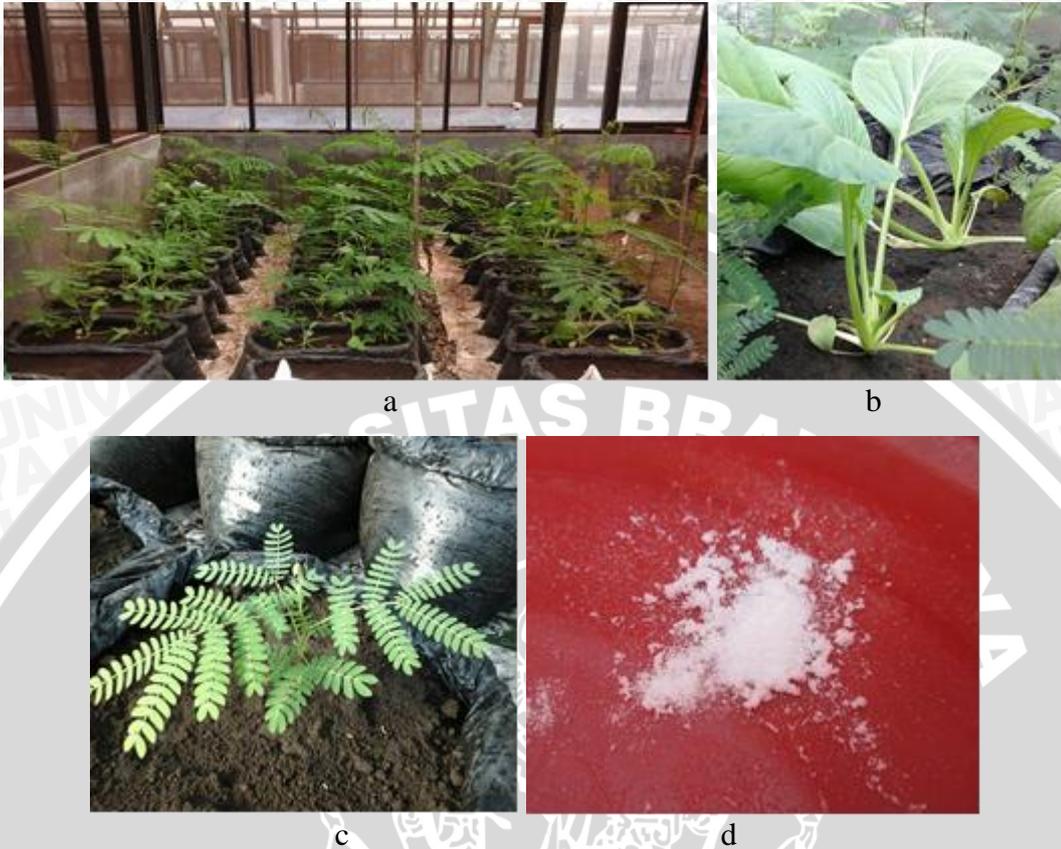
## 2. Tanaman sengon

Sampel	ul	Total Pb (mg/kg)		
		Akar	Batang	Daun
P0	1	0,0881	0,0578	0,0274
	2	0,0906	0,0568	0,0283
P1	1	0,1322	0,0855	0,0423
	2	0,1343	0,0866	0,0432
P2	1	0,1853	0,1134	0,0579
	2	0,1873	0,1121	0,0592
P3	1	0,2294	0,1435	0,0754
	2	0,2284	0,1418	0,0740
P4	1	0,2800	0,1821	0,0927
	2	0,2803	0,1828	0,0916
P5	1	0,3651	0,2268	0,1215
	2	0,3592	0,2289	0,1199

## 3. Tanaman sawi hijau

Sampel	ul	Total Pb (mg/kg)		
		Akar	Batang	Daun
P0	1	0,0298	0,0285	0,0144
	2	0,0279	0,0290	0,0152
P1	1	0,0411	0,0435	0,0211
	2	0,0430	0,0438	0,0219
P2	1	0,0605	0,0611	0,0298
	2	0,0607	0,0616	0,0310
P3	1	0,0745	0,0759	0,0376
	2	0,0736	0,0742	0,0367
P4	1	0,0935	0,0929	0,0464
	2	0,0927	0,0914	0,0466
P5	1	0,1124	0,1105	0,0598
	2	0,1110	0,1117	0,0586



**Gambar Lampiran 1. Dokumentasi penelitian**

Keterangan: a. Rancangan penelitian di dalam rumah kaca, b. Tanaman sawi hijau umur 35 HST, c. Tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*) umur 21 HST, d. Logam  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .

**Gambar Lampiran 2. Analisa logam Pb**



a

b



c

d

Keterangan: a. Alat furnace, b. Warna uji Pb, (c,d). Spektrofotometer Shimadzu UV 1800.

