

**KOMBINASI JARAK PAGAR, LAMTORO GUNG, DAN MIKORIZA
ARBUSKULA UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN KEDELAI
DALAM KONDISI ENDEMIS *Sclerotium rolfsii* Sacc. DAN STRESS
MANGAN (Mn)**

Oleh :

NISA KARTIKA SARI

115040200111197

MINAT HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN

PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI



PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI

JURUSAN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2015

**KOMBINASI JARAK PAGAR, LAMTORO GUNG, DAN MIKORIZA
ARBUSKULA UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN KEDELAI
DALAM KONDISI ENDEMIS *Sclerotium rolfsii* Sacc. DAN STRESS
MANGAN (Mn)**

Oleh :

NISA KARTIKA SARI

115040200111197

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

SKRIPSI

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

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
JURUSAN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2015

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Tutung Hadiastono, MS.

Antok Wahyu Sektiono, SP., MP.

NIP. 19521028 1979031 1 003

NIK. 201304 841014 1 001

Penguji III

Penguji IV

Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP.

Muhammad Akhid Syib'li, SP., MP.

NIP. 19771130 200501 1 002

NIP. 201304 870826 1 001

Tanggal Lulus :

Judul Penelitian : Kombinasi Jarak Pagar, Lamtoro Gung, dan Mikoriza
Arbuskula untuk Meningkatkan Pertumbuhan Kedelai
dalam Kondisi Endemis *Sclerotium rolfsii* Sacc. dan Stress
Mangan (Mn)

Nama Mahasiswa : Nisa Kartika Sari

NIM : 115040200111197

Jurusan : Hama dan Penyakit Tumbuhan

Minat : Penyakit Tumbuhan

Menyetujui : Dosen pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP.

Muhammad Akhid Syib'li, SP., MP.

NIP. 19771130 200501 1 002

NIP. 201304 870826 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan

Dr. Ir. Bambang Tri Rahardjo, SU.

NIP. 19550403 198303 1 003

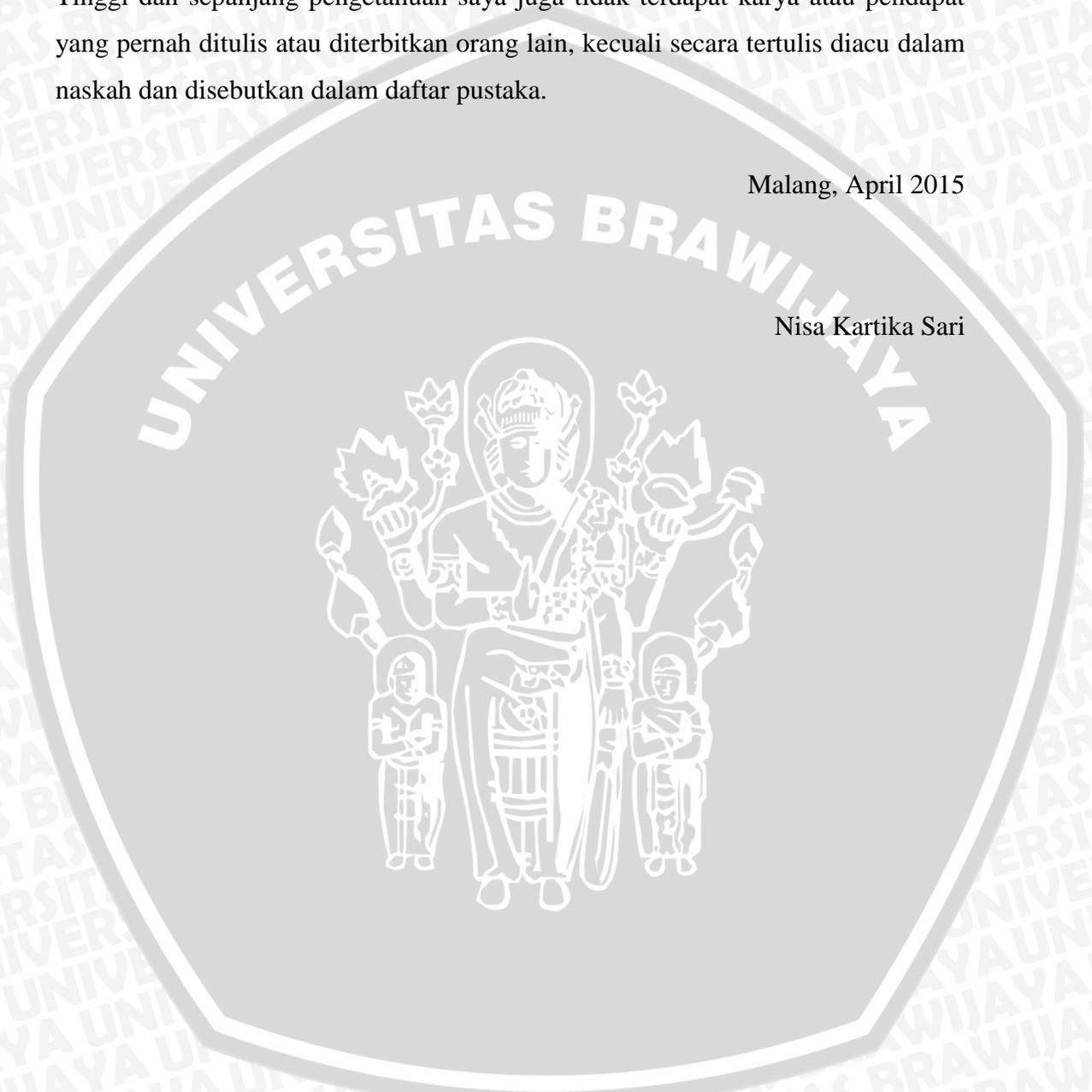
Tanggal Pengesahan :

PERNYATAAN

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

Malang, April 2015

Nisa Kartika Sari



RINGKASAN

NISA KARTIKA SARI. 115040200111197. Kombinasi Jarak Pagar, Lamtoro Gung, dan Mikoriza Arbuskula untuk Meningkatkan Pertumbuhan Kedelai dalam Kondisi Endemis *Sclerotium rolfsii* Sacc. dan Stress Mangan (Mn). Dibawah bimbingan Dr. Anton Muhibuddin, SP. MP. sebagai pembimbing utama dan Muhammad Akhid Syib'li, SP. MP. sebagai pembimbing pendamping.

Pencemaran tanah oleh logam dianggap sebagai masalah lingkungan serius di seluruh dunia, namun perhatian dan kepedulian terhadap permasalahan ini di Indonesia, khususnya yang terjadi di lahan pertanian, masih sangat rendah. Kadar logam yang tinggi, dan bersifat meracun bagi tanaman, biasanya terdapat pada tanah masam akibat tingginya kelarutan. Salah satu cara untuk memulihkan lingkungan tanah dari suatu kontaminan logam adalah dengan menggunakan tanaman, yaitu dengan cara menanam tanaman yang mampu menyerap logam dari dalam tanah. Usaha fitoremediasi tanah tercemar logam dapat dipercepat dengan tanaman bermikoriza, karena jamur mikoriza dapat melindungi tanaman inang dari serapan unsur beracun tersebut melalui efek filtrasi, kompleksasi dan akumulasi. Jamur mikoriza dapat berperan sebagai biokontrol penyerapan logam, dan dapat membantu tanaman terhindar dari keracunan logam.

Dari hasil penelitian, didapat bahwa kombinasi 3 tanaman jarak pagar dan 3 tanaman lamtoro gung mampu menekan keracunan logam Mangan (Mn) pada tanaman kedelai secara optimal dibanding kombinasi lainnya. Hal ini dapat dilihat bahwa pada pengamatan tanaman kedelai keracunan logam Mangan (Mn) tiap minggunya, pada perlakuan P9 (J₃L₃) yaitu 3 tanaman jarak pagar dan 3 tanaman lamtoro gung dengan persentase gejala keracunan sebesar 4,76%. Sedangkan perlakuan P0 (J₀L₀) yaitu tanpa tanaman jarak pagar dan lamtoro gung menunjukkan hasil keracunan paling tinggi dibanding perlakuan lainnya dengan persentase keracunan Mn sebesar 89,68%. Selain itu, Mikoriza mampu menekan persentase kematian akibat serangan *Sclerotium rolfsii* pada tanaman kedelai. Hal ini ditunjukkan melalui rata-rata nilai persentase serangan pada tanaman kedelai yang menunjukkan angka 0%, 11,1%, dan 22,2%.

SUMMARY

NISA KARTIKA SARI. 115040200111197. Combination *Jatropha curcas*, *Leucaena leucocephala*, and Mikoriza Arbuskula to Increase Soybean Growth in a Endemic Condition of *Sclerotium rolfsii* Sacc. and Manganese (Mn) Stress. Supervised by Dr. Anton Muhibuddin, SP. MP. and Muhammad Akhid Syib'li, SP. MP.

Soil pollution by metals is regarded as a serious environmental problem worldwide, but the attention and concern for this issue in Indonesia, particularly in the agricultural land, is still very low. High metal content, that can be poisonous for the plants, usually found on acid soils due to the high solubility. One way to restore the soil environment of a metal contaminants is to use plants, that is by planting plants that are able to absorb metals from the soil. Phytoremediation effort in metal contaminated soil can be accelerated with mycorrhizal plants, as mycorrhizal fungi can protect the host plant of the uptake of toxic elements through the filtration effect, complexation and accumulation. Mycorrhizal fungi can act as biocontrol metal absorption, and can help plants avoid metal poisoning.

From the research, found that the combination of 3 *Jatropha* and 3 *Leucaena* able to suppress Manganese (Mn) poisoning on soybean optimally than other combinations. It can be seen that the soybean observations metal poisoning Manganese (Mn) each week, the treatment P9 (J3L3) 3 *Jatropha* and 3 *Leucaena* plants with symptoms of poisoning percentage of 4.76%. While treatment P0 (J0L0) is without *Jatropha* and *Leucaena* showed the highest toxicity results than other treatments with a percentage of 89.68% Mn poisoning. Additionally, Mycorrhizae able to suppress the percentage of deaths from attacks *Sclerotium rolfsii* on soybean plants. This is demonstrated by the average value of the percentage of attacks on soybean plants which indicates the number of 0%, 11.1%, and 22.2%.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang dengan rahmat dan hidayahNya telah menuntun penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Kombinasi Jarak Pagar, Lamtoro Gung, dan Mikoriza Arbuskula untuk Meningkatkan Pertumbuhan Kedelai dalam Kondisi Endemis *Sclerotium rolfii* Sacc. dan Stress Mangan (Mn)”**.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada Dr. Anton Muhibuddin, SP. MP. dan Muhammad Akhid Syib’li, SP. MP., selaku dosen pembimbing atas segala nasihat, arahan, dan bimbingannya kepada penulis. Terima kasih kepada keluarga atas dukungan dan doa yang menjadi penyemangat utama.

Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap saran dari berbagai pihak untuk perbaikan. Penulis berharap semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, dan memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan bidang pertanian.

Malang, April 2015

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kediri, Jawa Timur, pada tanggal 19 Maret 1993 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari ayah yang bernama Drs. Gunawan Wibisono dan ibu yang bernama Dra. Masrifah Irawati.

Penulis memulai pendidikan dengan menjalani pendidikan sekolah dasar di SDN 22 Dauh Puri, Denpasar, pada tahun 2000 sampai tahun 2005. Penulis melanjutkan ke SMP (SLUB) Saraswati 1 Denpasar pada tahun 2005 sampai tahun 2008. Kemudian pada tahun 2008 sampai tahun 2011 penulis menyelesaikan studi di SMA Negeri 7 Denpasar. Pada tahun 2011 penulis terdaftar sebagai mahasiswa strata 1, Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur.



DAFTAR ISI

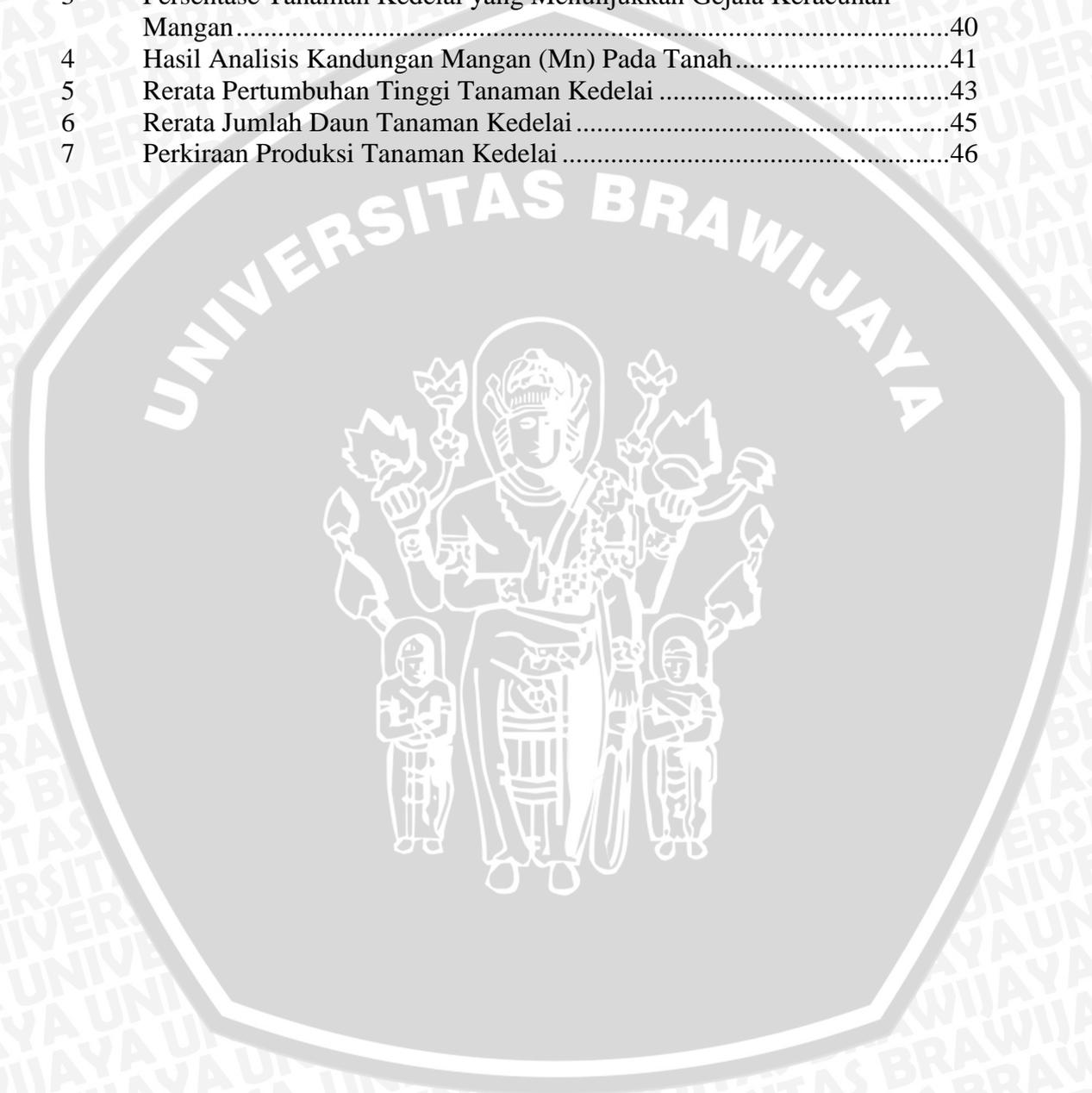
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Hipotesis	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tanaman Kedelai (<i>Glycine max</i> (L.) Merill.)	6
2.2 Jamur <i>Sclerotium rolfsii</i> Sacc	6
2.3 Mikoriza	9
2.4 Logam Berat	12
2.5 Cemaran-cemaran Tanah Akibat Praktek Pertanian	15
2.6 Tanaman Hiperakumulator	17
2.7 Hubungan Logam Berat dengan Jamur Dalam Tanah	24
BAB III. METODOLOGI	27
3.1 Tempat dan Waktu	27
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Metode Penelitian	27
3.4 Pelaksanaan Penelitian	29
3.5 Variabel Pengamatan	31
3.6 Analisis Data	33
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Jumlah Spora Mikoriza	33
4.2 Pengamatan Mikroskopis Patogen <i>Sclerotium rolfsii</i>	35
4.3 Persentase Serangan Patogen <i>Sclerotium rolfsii</i> pada Tanaman Kedelai	36
4.4 Persentase Serangan Penyakit Abiotik Akibat Kelebihan Logam Mangan (Mn) Pada Tanaman Kedelai	39
4.5 Kandungan Logam Mangan (Mn) di Dalam Tanah	41
4.6 Pertumbuhan Tanaman Kedelai	42
4.7 Pembahasan	48

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	60



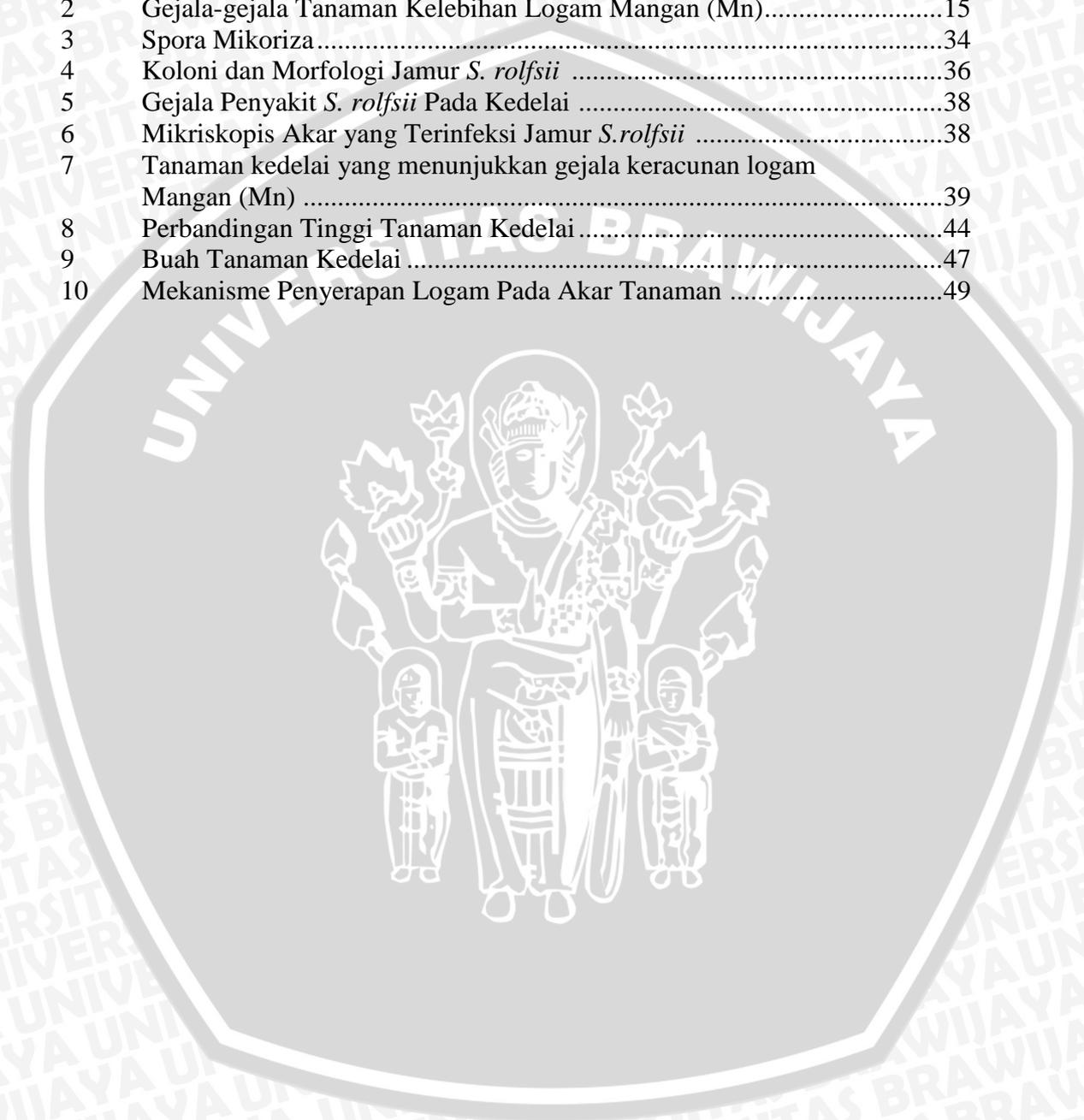
DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1	Rerata Jumlah Akhir Spora Mikoriza.....	35
2	Persentase Kejadian Penyakit Karena Jamur <i>S. rolfsii</i>	37
3	Persentase Tanaman Kedelai yang Menunjukkan Gejala Keracunan Mangan.....	40
4	Hasil Analisis Kandungan Mangan (Mn) Pada Tanah.....	41
5	Rerata Pertumbuhan Tinggi Tanaman Kedelai	43
6	Rerata Jumlah Daun Tanaman Kedelai	45
7	Perkiraan Produksi Tanaman Kedelai	46



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1	Gejala-gejala Tanaman Kedelai yang Terinfeksi Jamur <i>S. rolfsii</i>	9
2	Gejala-gejala Tanaman Kelebihan Logam Mangan (Mn).....	15
3	Spora Mikoriza	34
4	Koloni dan Morfologi Jamur <i>S. rolfsii</i>	36
5	Gejala Penyakit <i>S. rolfsii</i> Pada Kedelai	38
6	Mikroskopis Akar yang Terinfeksi Jamur <i>S.rolfsii</i>	38
7	Tanaman kedelai yang menunjukkan gejala keracunan logam Mangan (Mn)	39
8	Perbandingan Tinggi Tanaman Kedelai	44
9	Buah Tanaman Kedelai	47
10	Mekanisme Penyerapan Logam Pada Akar Tanaman	49



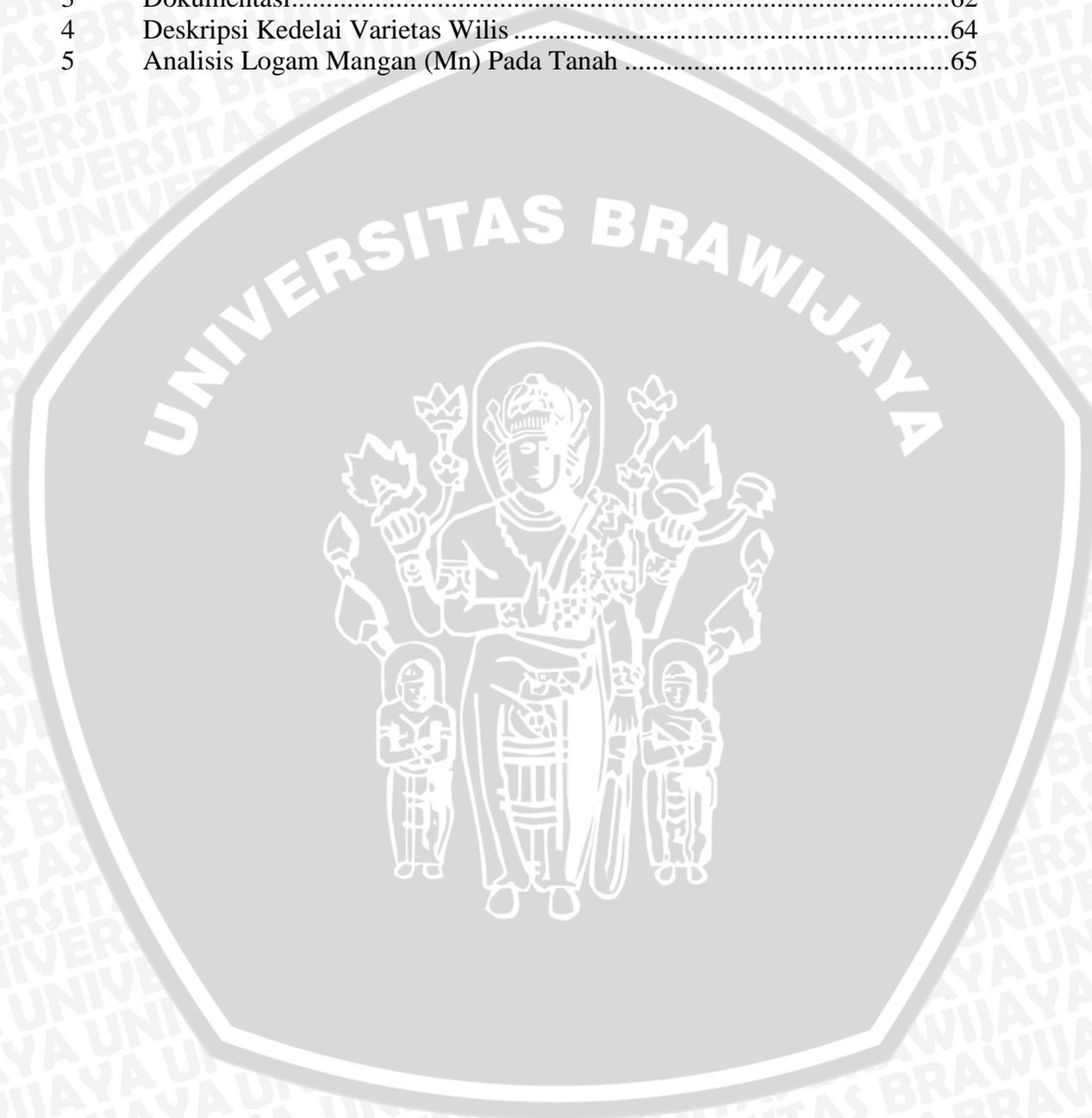
DAFTAR GRAFIK

Nomor	Teks	Halaman
1	Pertumbuhan Tinggi Tanaman Kedelai.....	43
2	Jumlah Daun Tanaman Kedelai	45
3	Perkiraan Produksi Tanaman Kedelai	47



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1	Tabel Anova	60
2	Denah Percobaan	61
3	Dokumentasi	62
4	Deskripsi Kedelai Varietas Wilis	64
5	Analisis Logam Mangan (Mn) Pada Tanah	65



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran tanah oleh logam berat dianggap sebagai masalah lingkungan serius di seluruh dunia, namun perhatian dan kepedulian terhadap permasalahan ini di Indonesia, khususnya yang terjadi di lahan pertanian, masih sangat rendah. Beberapa logam berat, pada kadar tertentu, merupakan bahan beracun dan berbahaya (Nurjaya *et al.*, 2002), sehingga menjadi sumber pencemar lingkungan, antara lain As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sn dan Zn (Jones & Jarvis, 1981). Menurut Subowo *et al* (1999) adanya logam berat dalam pertanian dapat menurunkan produktifitas pertanian dan kualitas hasil pertanian selain dapat membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi pangan yang dihasilkan dari tanah yang tercemar logam berat tersebut.

Selain areal di sekitar lokasi penambangan dan peleburan logam, lahan pertanian perkotaan di sekitar wilayah industri juga rentan terhadap pencemaran logam berat (Cairney, 1995). Sumber utama bahan pencemar logam berat adalah deposisi atmosferik dari sisa pembakaran bahan bakar fosil serta aktivitas penambangan dan peleburan logam, limbah padat dan cair dari proses produksi produk manufaktur, pelapisan logam, cat dan pelapis berbahan dasar logam berat, aplikasi lumpur limbah serta beberapa pestisida dan pupuk yang mengandung logam berat (Adriano, 1986; Alloway, 1995).

Umumnya pestisida yang digunakan cukup luas di bidang pertanian dan hortikultura memiliki kandungan logam berat. Di Inggris misalnya sekitar 10 % pestisida mengandung senyawa Cu, Hg, Mn, Pb, atau Zn. Sebagai contoh pestisida seperti fungisida yang mengandung tembaga seperti campuran Bordeaux (tembaga sulfat) dan tembaga oksiklorida (Jones & Jarvis, 1981). Timbal arsenat digunakan dalam kebun buah-buahan selama bertahun-tahun untuk mengendalikan beberapa serangga parasit. Senyawa yang mengandung arsenik juga digunakan secara luas untuk mengendalikan kutu sapi dan untuk mengendalikan hama pisang di Selandia Baru dan Australia. Disamping itu untuk pengawetan kayu dengan menggunakan formulasi dari Cu, Cr, dan As, sehingga

saat ini banyak tanah tercemar akibat konsentrasi logam berat yang berlebihan (McLaughlin *et al.*, 2000).

Di Indonesia penggunaan pestisida pada tanaman sayuran sangat intensif, khususnya pada tanaman yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Berdasarkan penelitian 30-50% dari total biaya produksi digunakan untuk pestisida (Badan Litbang Pertanian, 1992). Penggunaan pestisida yang intensif dapat meninggalkan residu di dalam tanah dan tanaman, bahkan dapat masuk ke dalam tubuh hewan, ikan, atau biota air lainnya. Pestisida dengan waktu paruh degradasi yang lama dapat membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup yang mengonsumsi produk yang mengandung residu pestisida tersebut.

Salah satu cara untuk memulihkan lingkungan tanah dari suatu kontaminan logam berat adalah dengan menggunakan tanaman, yaitu dengan cara menanam tanaman yang mampu menyerap logam berat dari dalam tanah. Metode ini dikenal dengan nama fitoremediasi. (Smith *et al.*, 1997 dalam Bayu, 2010). Fitoremediasi banyak memiliki manfaat dan keuntungan, yaitu prosesnya ramah lingkungan, mudah untuk diterapkan, efisien dan estetik, dapat bekerja pada berbagai polutan, serta yang utama adalah tidak memerlukan biaya yang tinggi (Zynda, 2001). Teknologi fitoremediasi belum begitu berkembang di Indonesia, mengingat akan kekayaan hayati tumbuhan Indonesia yang besar serta ditunjang iklim yang tropis, tentunya peranan tumbuhan dalam mengendalikan pencemaran perlu dikaji dan diteliti lebih lanjut, serta diterapkan di Indonesia.

Beberapa jenis tanaman mempunyai kemampuan menyerap dan mengkonsentrasikan logam berat dalam biomasnya dalam kadar yang tinggi tanpa membahayakan kehidupan tanaman tersebut dan tanaman itu disebut hiperakumulator. Tanaman hiperakumulator adalah tanaman yang mempunyai kemampuan untuk menyerap dan kemudian mengkonsentrasikan logam didalam biomasnya dalam kadar yang luar biasa tinggi namun tidak mengganggu kehidupannya. Indonesia memiliki keanekaragaman hayati tanaman yang potensial yang dapat digunakan sebagai tanaman yang mempunyai kemampuan untuk mendegradasi dan mengakumulasi logam berat (hiperakumulator). Sampai saat ini telah ditemukan 120 jenis tanaman yang dapat digunakan untuk teknik

fitoremidiasi antara lain *Alamanda* sp, *Cana* sp, Pisang mas, Padi-padian, Anturium merah dan kuning, Bambu air dan sebagainya.

Dalam penelitian, tanaman penyerap logam dalam tanah yang digunakan yaitu tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*) dan lamtoro gung (*Leucaena leucocephala*). Dipilihnya tanaman jarak pagar dan lamtoro gung karena tanaman tersebut mudah tumbuh pada berbagai jenis tanah dan tahan kekeringan dan mudah beradaptasi terhadap lingkungan tumbuhnya. Usaha fitoremidiasi tanah tercemar logam berat dapat dipercepat dengan tanaman bermikoriza, karena jamur mikoriza dapat melindungi tanaman inang dari serapan unsur beracun tersebut melalui efek filtrasi, kompleksasi dan akumulasi.

Jamur mikoriza dapat berperan sebagai biokontrol penyerapan logam berat, dan dapat membantu tanaman terhindar dari keracunan logam berat. Mikoriza merupakan simbiosis mutualistis antara cendawan (myces) dan perakaran (riza) tumbuhan tinggi, dapat diinokulasikan secara tunggal dan campuran. Cendawan ini mempunyai kemampuan untuk berasosiasi dengan hampir 90% jenis tanaman (Setiadi, 1996). Mikoriza dapat berperan sebagai biofertilizer, perbaikan struktur tanah, meningkatkan penyerapan hara dan membantu proses pelapukan, sedangkan secara tidak langsung, cendawan mikoriza dapat meningkatkan serapan air, hara, dan melindungi tanaman dari patogen akar dan unsur toksik seperti logam berat pada lahan pasca tambang (Subiksa, 2002).

Dalam penelitian ini, tanaman indikator yang digunakan sebagai obyek pengamatan adalah tanaman kedelai (*Glycine max*). Tanaman kedelai dipilih karena penanamannya yang mudah dan juga pertumbuhannya yang cepat. Selain itu tanaman kedelai merupakan sumber protein nabati utama untuk sebagian besar penduduk Indonesia. Penggunaan kedelai yang beragam mengakibatkan konsumsi kedelai meningkat. Di sisi lain terjadi ketidakseimbangan antara produksi kedelai dengan jumlah permintaan masyarakat. Salah satu kendala yang mempengaruhi yaitu adanya gangguan penyakit. Penyakit utama yang menyerang kedelai adalah penyakit rebah semai yang disebabkan oleh jamur *Sclerotium rolfsii*. Serangan penyakit ini dapat menurunkan hasil bahkan menyebabkan gagal panen.

Pencemaran lahan pertanian oleh logam, salah satunya logam Mangan (Mn), menjadi permasalahan serius di Indonesia. Salah satu sumber kontaminan logam Mangan (Mn) dikarenakan penggunaan pestisida dan pupuk yang berlebihan pada lingkungan, khususnya lahan pertanian di Indonesia. Dengan metode fitoremediasi diharapkan mampu mengatasi masalah pencemaran lingkungan oleh logam Mangan (Mn). Metode fitoremediasi dilakukan dengan cara menanam tanaman hiperakumulator yaitu tanaman jarak pagar dan lamtoro gung. Usaha penyerapan logam oleh tanaman dapat dipercepat dengan penambahan mikoriza. Selain itu mikoriza juga mampu menekan serangan jamur *S. rolfsii* pada tanaman indikator yaitu kedelai. Diharapkan dengan penanaman tanaman hiperakumulator dan pemberian mikoriza mampu menekan keracunan logam Mangan (Mn) dan serangan jamur *S. rolfsii* pada tanaman kedelai.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah kombinasi jarak pagar, lamtoro gung, dan mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan kedelai dan menurunkan stress akibat pencemaran unsur logam Mn dan menekan penyakit rebah semai (*S. rolfsii*).
2. Apakah penanaman tumpangsari dengan jarak pagar dan lamtoro gung dapat menstimulasi mikoriza sehingga jumlahnya bertambah dengan signifikan dibandingkan dengan tanpa penanaman jarak pagar dan lamtoro gung.

1.3 Hipotesis

1. Kombinasi jarak pagar, lamtoro gung, dan mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan kedelai dan menurunkan stress akibat pencemaran unsur logam Mn dan menekan penyakit rebah semai (*S. rolfsii*).
2. Penanaman tumpangsari dengan jarak pagar dan lamtoro gung dapat menstimulasi mikoriza sehingga jumlahnya bertambah dengan signifikan dibandingkan dengan tanpa penanaman jarak pagar dan lamtoro gung.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui apakah kombinasi jarak pagar, lamtoro gung, dan mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan kedelai dan menurunkan stress akibat pencemaran unsur logam Mn dan menekan penyakit rebah semai (*S. rolfsii*).
2. Mengetahui apakah penanaman tumpangsari dengan jarak pagar dan lamtoro gung dapat menstimulasi mikoriza sehingga jumlahnya bertambah dengan signifikan dibandingkan dengan tanpa penanaman jarak pagar dan lamtoro gung.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Untuk memberikan informasi bahwa kombinasi jarak pagar, lamtoro gung, dan mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan kedelai dan menurunkan stress akibat pencemaran unsur logam Mn dan menekan penyakit rebah semai (*S. rolfsii*).
2. Untuk memberikan informasi bahwa penanaman tumpangsari dengan jarak pagar dan lamtoro gung dapat menstimulasi mikoriza sehingga jumlahnya bertambah dengan signifikan dibandingkan dengan tanpa penanaman jarak pagar dan lamtoro gung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill.)

Berdasarkan taksonominya, tanaman kedelai diklasifikasikan sebagai berikut; Divisi Spermatophyta, Sub-divisi Angiospermae, Kelas Dicotyledonae, Subkelas Archihlamydae, Bangsa Rosales, Suku Leguminosae, Marga Glycnie, Jenis *Glycine max* (L.) Merrill. Tanaman kedelai di Indonesia pada umumnya berbunga pada umur 30-50 hari setelah tanam. Buah kedelai disebut juga polong. Biji kedelai umumnya berbentuk bulat atau pipih sampai bulat lonjong. Warna kulit biji bervariasi antara lain kuning, hijau, coklat atau hitam.

Menurut Irawan (2006), tanaman kedelai umumnya tumbuh tegak, berbentuk semak dan merupakan tanaman semusim. Morfologi tanaman kedelai didukung oleh komponen utamanya, yaitu akar, daun, batang, polong dan biji sehingga pertumbuhannya bisa optimal. Akar kedelai terdiri dari akar tunggang dan serabut yang panjangnya antara 20-50 meter tergantung pada kondisi tanah, jenis tanah, pengolahan tanah dan sebagainya. Batang kedelai pada umumnya bercabang dan berbuku-buku antara 15-30 buah. Daun kedelai mempunyai dua bentuk, yaitu bulat (oval) dan lancip (lanceolate) yang tergantung dari genetisnya. Tanaman kacang-kacangan, termasuk kedelai, mempunyai dua stadia tumbuh, yaitu stadia vegetatif dan stadia reproduktif. Stadia vegetatif mulai dari tanaman berkecambah sampai saat berbunga, sedangkan stadia reproduktif mulai dari pembentukan bunga sampai pemasakan biji. Pembentukan polong terjadi setelah 7-10 hari munculnya bunga. Polong berisi antara 2-3 biji dan warnanya berubah menjadi kecoklatan ketika masak.

2.2 Jamur *Sclerotium rolfsii* Sacc.

Menurut Alexopoulos & Mims (1979), klasifikasi jamur *S. rolfsii* penyebab penyakit rebah semai pada tanaman kedelai adalah sebagai berikut; Kerajaan Mycetae, Divisi Amastigomycota, Sub-divisi Deuteromycotina, Kelas Deuteromycetes, Sub kelas Deuteromycetidae, Ordo Agronomycetales, Bangsa Agronomycetaceae, Marga Sclerotium, Jenis *Sclerotium rolfsii* Sacc. *S. rolfsii* adalah penyakit tular tanah yang menyebabkan rebah semai di persemaian

tanaman budidaya. Pathogen ini menyebabkan busuk pada akar, dan menunjukkan tanda berupa sklerotia pada pangkal batang tanaman dengan warna coklat tua. Sklerotia selalu diproduksi secara aseksual oleh jamur pathogen, sklerotia ini memainkan peran yang penting dalam mempertahankan organisme ini untuk waktu yang lama dalam kondisi yang tidak menguntungkan, dikarenakan kemampuannya dalam bertahan terhadap degradasi kimia dan biologi (Latunde, 1993).

Penyakit rebah semai atau layu dan lebih dikenal sebagai penyakit *damping-off* yang disebabkan oleh *S. rolfsii* merupakan masalah serius di Indonesia, khususnya di Jawa karena menyerang hamper berbagai jenis tanaman kacang-kacangan khususnya kedelai dengan kerusakan hamper mencapai 100% (Djauhari, 2003). Usaha penanggulangannya sulit dilakukan mengingat pathogen menyerang lewat akar dan mampu bertahan tanpa inang selama puluhan tahun (Muhibuddin, 2010).

Gejala awal infeksi *S. rolfsii* pada tanaman kedelai sulit dideteksi. Tanaman yang sakit menjadi layu dan menguning perlahan-lahan. Kemudian pada pangkal batang dan permukaan tanah didekatnya terdapat miselium jamur berwarna putih dan tumbuh sangat agresif pada jaringan tanaman yang diserang. Miselium dapat membentuk seperti biji sawi. Semai sangat rentan dan cepat matisejak terinfeksi oleh pathogen ini sedangkan tanaman tua yang terserang akan segera membentuk luka kemudian layu dan akhirnya mati. pangkal batang yang terinfeksi kadangkala terlihat gejala lesion berwarna coklat muda, lembut dan tidak berair (Semangun, 1991).

Semangun (1991) menambahkan bahwa *S. rolfsii* memiliki koloni berwarna putih dengan banyak uraian hifa, sel hifa primer yang berkembang di tepi koloni mempunyai lebar 4-9 μm dan panjang hingga 350 μm . hifa sekunder timbul tepat di bawah sekat pangkal dan sering tumbuh menempel pada hifa primer. Hifa dapat menggumpal membentuk sklerotia yang mulanya berwarna putih dan akhirnya akan berwarna coklat, bentuknya bulat seperti biji sawi dengan diameter 1-1,5 mm, tidak berhubungan dengan benang-benang miselia, korteks tipis dan menyerupai membran yang tidak dapat dipisahkan. Sklerotia paling cepat muncul 3-5 hari sesudah mekanisme pertumbuhan terhambat. Pada media buatan

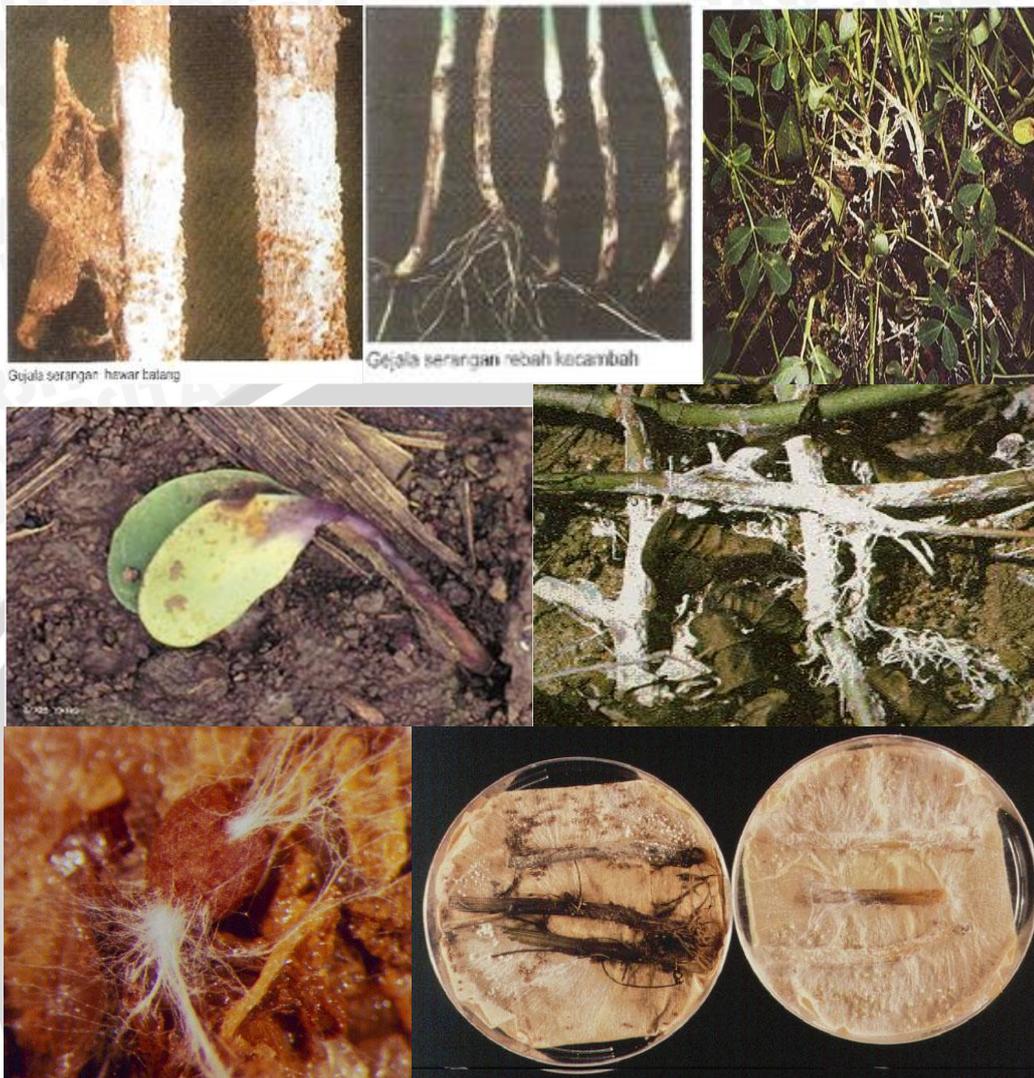
sklerotia terbentuk 8-11 hari. Sklerotia terdiri dari tiga lapisan kulit luar (rind), kulit dalam (cortex), dan teras (medulla), kulit luar mempunyai sel-sel dengan dinding yang penebalannya merata dan mengandung banyak pigmen (Semangun, 2000). Menurut Domsch *et al* (1980) perkecambahan sklerotia berawal dari bagian medulla, hifa yang baru berkecambah mempunyai lebar rata-rata 2,0 μm setelah 15 jam kemudian, lebar hifa bertambah rata-rata mencapai 4,9 μm .

Menurut Sastrahidayat (1989) jamur dapat membentuk spora sebagai hasil karyogami dan meiosis, dan dibentuk di dalam struktur khusus seperti kantong. Konidium dibentuk konidiofor yang bentuknya berbeda-beda. Dapat dibentuk bebas atau satu demi satu tanpa menunjukkan adanya ikatan satu sama lainnya dan tumbuh dari hifa somatic biasa atau dapat pula tersusun di dalam suatu badan buah tertentu.

Sedangkan menurut Dwijoseputro (1978) jamur tidak membentuk spora dalam siklus hidupnya. Jamur membentuk miselium yang sangat agresif dan tumbuh menyerupai kapas, berwarna keputih-putihan pada jaringan tanaman yang terserang. Jamur *S. rolfii* akan membentuk sclerotia dalam kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Sclerotia adalah sekumpulan miselium yang menggumpal dan memaadat sebagai struktur istirahat (dorman) yang dapat bertahan dalam waktu yang lama (6-7 tahun) dan berkecambah jika kondisi lingkungan menguntungkan.

Menurut Domsch (1990) jamur *S. rolfii* memiliki distribusi yang sangat luas dan umumnya terdapat pada daerah beriklim tropis atau daerah yang memiliki temperature hangat khususnya Amerika Serikat bagian selatan, Amerika tengah, India barat, Afrika, Italia, Jepang, Malaysia, Sri Lanka, Taiwan, Indonesia, Libanon, Nigeria, dan Bangladesh.

Menurut Punja (1985) jamur sclerotium mengeluarkan eksudat yaitu ikatan ion protein, karbohidrat, enzim, dan asam oksalik pada permukaan sclerotia. Di dalam sclerotia, yang sudah tua, terkandung asam amino, gula, asam lemak, dan lemak. Dinding sel sclerotia terdiri dari khitin, laminarin, glukosa, gula, dan asam lemak. Sedangkan menurut Widyastuti (2003), dinding sel *S. rolfii* mengandung 1,3-glucans dan khitin.



Gambar 1. Gejala-gejala tanaman kedelai yang terinfeksi jamur *S. rolfsii*

Sumber : (Elizabeth, J. F., 1999)

2.3 Mikoriza

Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA)

Cendawan Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA) merupakan jenis cendawan endomikoriza yang membentuk vesikel dan arbuskel di dalam akar. Arbuskel yang terbentuk di dalam jaringan akar akan berfungsi sebagai tempat pertukaran antara cendawan mikoriza dengan akar tanaman inang. Vesikel merupakan organ yang berbentuk kantung yang terletak di ujung hifa. Vesikel mengandung banyak lemak yang berfungsi untuk penyerapan. Pertumbuhan hifa,

pembentukan, dan *senescense* arbuskel serta pembentukan vesikel berhubungan langsung dengan pembentukan akar (Pujiyanto, 2001).

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

1. Glomus

Perkembangan spora *Glomus* adalah dari hifa. Ujung hifa akan membesar sampai ukuran maksimal dan terbentuk spora. Sporanya disebut *Chlamidospora*. Hifa yang lain kadang-kadang bercabang dan tiap cabang terbentuk *Chlamydospores* dan ini disebut *sporocarp*.

2. Gigaspora

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

3. Acaulospora

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

Peranan Mikoriza

Hubungan timbal balik antara cendawan mikoriza dengan tanaman inangnya mendatangkan manfaat positif bagi keduanya (simbiosis mutualistik) (Donnelly & Fletcher, 1994). Inokulasi cendawan mikoriza dapat dikatakan sebagai "biofertilisasi", baik untuk tanaman pangan, perkebunan, kehutanan maupun tanaman penghijauan (Subiksa, 2002). Bagi tanaman inang, adanya asosiasi ini,

dapat memberikan manfaat yang sangat besar bagi pertumbuhannya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara tidak langsung, cendawan mikoriza berperan dalam perbaikan struktur tanah, meningkatkan kelarutan hara dan proses pelapukan bahan induk. Sedangkan secara langsung, cendawan mikoriza dapat meningkatkan serapan air, hara dan melindungi tanaman dari patogen akar dan unsur toksik.

Peranan cendawan mikoriza dalam rhizosfer adalah memfasilitasi pergerakan mineral tanah menuju tanaman. Tumbuhan inang dapat menyediakan sumber karbon terlarut untuk cendawan. Cendawan mikoriza juga mampu untuk mendegradasi senyawa-senyawa yang sukar diuraikan dalam tanah (Donnelly & Fletcher, 1994). Nuhamara *dalam* Subiksa (2002), mengatakan bahwa sedikitnya ada 4 hal yang dapat membantu perkembangan tanaman dari adanya mikoriza ini yaitu :

1. Mikoriza dapat meningkatkan absorpsi hara dari dalam tanah, serta berperan dalam perbaikan struktur tanah
2. Mikoriza dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan kelembaban yang ekstrim
3. Mikoriza dapat berperan sebagai biokontrol terhadap patogen dan unsur toksik
4. Menjamin terselenggaranya proses biogeokemis

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

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

Cendawan mikoriza melalui jaringan hifa eksternal dapat memperbaiki dan memantapkan struktur tanah. Sekresi senyawa-senyawa polisakarida, asam

organic dan lendir oleh jaringan hifa eksternal yang mampu mengikat butir-butir primer menjadi agregat mikro. "Organic binding agent" ini sangat penting artinya dalam stabilisasi agregat mikro. Struktur tanah yang baik akan meningkatkan aerasi dan laju infiltrasi serta mengurangi erosi tanah, yang pada akhirnya akan meningkatkan pertumbuhan tanaman. Dengan demikian cendawan mikoriza bukan hanya simbiosis bagi tanaman, tapi juga bagi tanah (Pujiyanto, 2001).

Jaringan hifa eksternal mikoriza akan memperluas bidang serapan air dan hara. Disamping itu ukuran hifa yang lebih halus dari bulu-bulu akar memungkinkan hifa bisa menyusup ke pori-pori tanah yang paling kecil (mikro) sehingga hifa bisa menyerap air pada kondisi kadar air tanah yang sangat rendah (Subiksa, 2002). Serapan air yang lebih besar oleh tanaman bermikoriza, juga membawa unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran masa seperti N, K dan S, sehingga serapan unsur tersebut juga makin meningkat.

2.4 Logam Berat

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

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

Logam berat dapat menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat merupakan bahan toksik yang dapat meracuni tubuh makhluk hidup (Heryando, 1994). Logam berat merupakan unsur yang berbahaya, yang dapat bersifat toksik bagi lingkungan dan ekosistem (Subiksa, 2002). Hal ini karena logam berat dapat terakumulasi sampai pada rantai

makanan, sehingga mengganggu kestabilan dan keseimbangan rantai makanan. Hal ini juga mengakibatkan meningkatnya keracunan terhadap air, tanah, dan udara (Suhendaryatna, 2001). Sifat umum dari logam berat adalah potensial toksisitasnya terhadap mikroorganisme dan bentuk kehidupan yang lain (Gadd, 1990).

Logam berat yang terkontaminasi ke dalam tanah dapat menyebabkan tanah menjadi tercemar dan dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, produktivitas tanaman, serta menyebabkan kematian pada tumbuhan (Connell & Miller, 1995). Logam berat seperti Cd, Cu, Ni, dan Zn dapat berinteraksi dengan besi dan mencegah masuknya besi ke dalam metabolisme tanaman. Selain itu adanya logam berat tersebut dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium, dan besi yang ada di dalam jaringan akar (Connell & Miller, 1995).

Mangan (Mn)

Mangan adalah suatu unsur kimia yang mempunyai nomor atom 25 dan memiliki symbol Mn. Mangan ditemukan oleh Johann Gahn pada tahun 1774 di Swedia. Logam mangan berwarna putih keabu-abuan. Mangan termasuk logam berat dan sangat rapuh tetapi mudah teroksidasi. Logam dan ion mangan bersifat paramagnetic. Hal ini dapat dilihat dari orbital d yang terisi penuh pada konfigurasi electron. Mangan mempunyai isotop stabil yaitu ^{55}Mn .

Mangan termasuk golongan transisi . Memiliki titik lebur yang tinggi kira-kira $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ia bereaksi dengan air hangat membentuk mangan (II) hidroksida dan hidrogen. Mangan cukup elektropositif, dan mudah melarut dalam asam bukan pengoksidasi. Selain titik cairnya yang tinggi, daya hantar listrik merupakan sifat-sifat mangan yang lainnya. Selain itu, mangan memiliki kekerasan yang sedang akibat dari cepat tersedianya elektron dan orbital untuk membentuk ikatan logam.

Mangan membuat sampai sekitar 1000 ppm (0,1%) dari kerak bumi, sehingga ke-12 unsur paling berlimpah di sana. Tanah mengandung mangan 7-9.000 ppm dengan rata-rata 440 ppm. air laut yang hanya 10 ppm mangan dan suasana mengandung $0,01\text{ }\mu\text{g} / \text{m}^3$. Mangan terjadi terutama sebagai pyrolusite

(MnO₂), braunite, (Mn²⁺ + Mn³⁺ + Mn⁴⁺) (SiO₂ 12), psilomelane (Ba, H₂O) 2 Mn₅O₁₀, dan ke tingkat yang lebih rendah sebagai rhodochrosite (MnCO₃).

Pyrolusite bijih mangan (MnO₂) merupakan bentuk mangan yang paling penting yang tersedia di alam. Lebih dari 80% dari sumber daya Bijih mangan penting biasanya menunjukkan yang erat kaitannya dengan bijih besi. Tanah yang berbasis mangan dunia dikenal ditemukan di Afrika Selatan dan Ukraina, endapan mangan penting lainnya berada di Australia, India, Cina, Gabon dan Brasil. Pada tahun 1978 diperkirakan 500 miliar ton nodul mangan ada di di dasar laut. Usaha-usaha untuk menemukan metode ekonomis nodul mangan panen ditinggalkan pada 1970-an.

Gejala Keracunan Mangan (Mn)

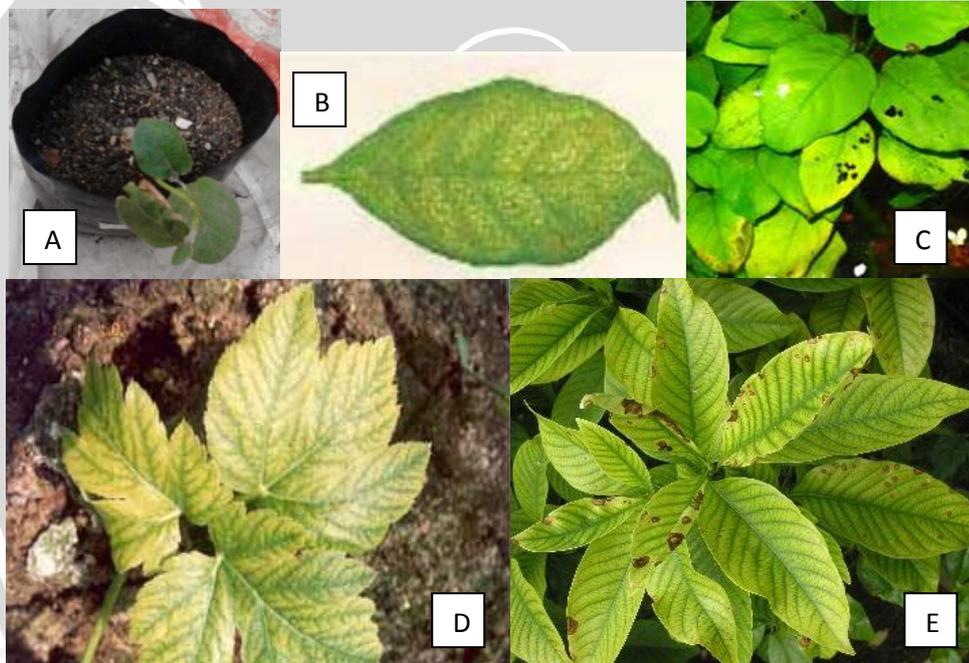
Penyerapan Mn oleh tanaman berbeda-beda, rata-rata penyerapannya lebih rendah daripada kation divalen lainnya (Ca²⁺, Mg²⁺). Penyerapan Mn ditekan oleh adanya Mg. Demikian halnya pengapuran akan mengurangi penyerapan Mn, tidak saja oleh pengaruh Ca dalam larutan tanah, tetapi juga akibat kenaikan pH.

Ketersediaan Fe, Cu dan Zn berpengaruh terhadap penyerapan dan translokasi Mn dalam tanaman, di sisi lain Mn juga menekan penyerapan kation lain, di mana peningkatan supply Mn mengurangi kandungan Fe (tanaman kedele), diketahui bahwa Mn relatif immobil dalam tanaman.

Peran Mn dalam proses fisiologis/biokimia tanaman diketahui bahwa Mn menyerupai Mg, yang menjembatani ATP dengan kompleks enzim (fosfokinase dan fosfotransferase). Dekarboksilase dan dehidrogenase pada siklus TCA juga diaktifkan oleh Mn, namun dalam beberapa hal Mn dapat disubstitusi oleh Mg. Mn juga terlibat dalam proses oksidasi-reduksi pada sistem transport elektron dalam fotosintesis dan Mn penting dalam fotosistem II. Mn juga terkait dengan reduksi nitrat (NO³⁻) di mana tanaman yang mengalami defisiensi Mn akan terjadi akumulasi nitrat.

Defisiensi Mn menunjukkan bahwa volume sel kecil, dinding selnya mendominasi dan jaringan antar epidermis menyusut. Defisiensi Mn ada yang menyerupai Mg, di mana terjadi klorosis pada antarvena daun dan perbedaannya dengan defisiensi Mg, gejala defisiensi Mn pertama nampak di daun muda, sedang

defisiensi Mg, daun tua yang pertama dipengaruhi. Defisiensi Mn yang lanjut menunjukkan hanya bagian sekitar vena yang masih berwarna hijau selebihnya mengalami klorosis, sedang pada monokotil (gandum) nampak bagian bawah daun terdapat bercak dan garis-garis berwarna abu-abu. Titik kritis defisiensi Mn sekitar 15-25 ppm, namun bila jumlahnya dalam tanaman berlebihan dapat meracuni yaitu bila konsentrasi Mn di daun sekitar 160 ppm dengan menunjukkan gejala bercak coklat pada daun tua dan pada bagian ini terdapat endapan Monoksida. Keracunan Mn ini juga menyebabkan berkurangnya ekspresi auksin akibat terjadinya oksidasi IAA oleh IAA oksidase. Ditunjukkan pula bahwa KPK pada jaringan yang mengalami keracunan Mn lebih rendah daripada jaringan yang normal dan aliran Ca ke titik tumbuh terhambat pada kondisi keracunan Mn.



Gambar 2. Gejala-gejala tanaman kelebihan logam Mangan (Mn), [A] tanaman kerdil, [B] & [D] klorosis pada daun, [C] & [E] bercak coklat cincin pada daun
Sumber : (Pusluhtan Kementan, 2011)

2.5 Cemaran-Cemaran Tanah Akibat Praktek Pertanian

Pestisida

Pestisida merupakan bahan agrokimia yang sering digunakan untuk meningkatkan produksi pertanian. Jenis pestisida yang umum digunakan petani di Indonesia antara lain adalah decis, antracol dan curacol. Umumnya bahan agrokimia dibuat untuk mematikan kelompok organisme atau proses tertentu saja,

tetapi bahan ini juga dapat menimbulkan efek racun yang merugikan. Pemberian pestisida terhadap pertumbuhan tanaman dapat mengurangi jumlah mikroba tanah (Agustiyan & Sarjiya, 2005).

Faktor utama pencemaran tanah pertanian disebabkan oleh penggunaan bahan-bahan kimia pertanian. Pencemaran oleh pestisida tidak saja pada lingkungan pertanian tapi juga dapat membahayakan kehidupan manusia dan hewan dimana residu pestisida terakumulasi pada produk-produk pertanian dan pada perairan (Sofia, 2001). Tidak semua pestisida dapat secara efektif membunuh sasaran, dan kurang lebih hanya 20 persen pestisida mengenai sasaran sedangkan 80 persen lainnya jatuh ke tanah (Sa'id, 1994). Pestisida yang disemprotkan pada tanaman dapat diserap tanah serta dapat bercampur dengan air yang mengalir melalui tanah terbawa hujan atau banjir. Jumlah pestisida yang terlepas dari tanah tergantung pada sifat-sifat kimia dan sifat-sifat fisika serta morfologi tanah. Air yang mengandung pestisida tersebut kemudian mencapai air tanah (Butler, 1969 *dalam* Bandini *et al.*, 2002).

Pupuk sintetis atau pupuk anorganik

Pupuk anorganik atau pupuk sintetis merupakan pupuk buatan yang diproduksi oleh pabrik-pabrik yang mengandung unsur hara tertentu dengan kadar yang tinggi. Umumnya pupuk anorganik dapat menyediakan unsur hara yang cukup dan lebih mudah menentukan jumlah pupuk yang diperlukan dengan kebutuhan tanaman. Namun, jumlah pemakaian yang berlebihan akan merusak lingkungan. Pupuk ini pada umumnya mengandung unsur mikro yang rendah dan hanya unsur tertentu saja yang mempunyai konsentrasi tinggi (Hakim *et al.*, 1986).

Efek penggunaan pupuk anorganik dalam jumlah berlebihan terhadap lingkungan adalah terjadinya kerentanan tanah terhadap erosi, penurunan permeabilitas tanah, serta penurunan populasi mikroba tanah (Simanungkalit, 2008). Umumnya pupuk yang diberikan petani berupa unsur hara makro, karena langsung berpengaruh terhadap kuantitas panen. Pemakaian yang berlangsung secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama akan mengakibatkan ketidakseimbangan hara dalam tanah (Yuwono *et al.*, 2010).

Penggunaan tanah yang terus menerus disertai dengan aplikasi pupuk yang tidak tepat akan merusak struktur dan komposisi tanah. Akibatnya, tanah yang semula subur akan menurun kualitasnya, dengan implikasi penggunaan pupuk dengan dosis semula tidak lagi efektif untuk meningkatkan produksi. Selain penggunaan lahan yang terus menerus, adanya perubahan iklim, pencemaran, penggunaan bahan kimia yang berlebihan juga mampu merubah variabel yang mempengaruhi kesuburan tanah seperti pH tanah, kandungan unsur hara makro maupun mikro, KTK (Kapasitas Tukar Kation), dan kelembaban (Pratiwi & Garsetiasih, 2007).

2.6 Tanaman Hiperakumulator

Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasnya dalam kadar yang luar biasa tinggi. Batas hiperakumulator berbeda-beda bergantung pada jenis logamnya, misalnya kadmium 0,01% (100 mg/kg BK) sedangkan kobalt, tembaga dan timbal adalah 0,1% (1.000 mg/kg BK) serta seng dan mangan adalah 1% (10.000 mg/kg BK). Laporan pertama mengenai adanya tumbuhan hiperakumulator muncul pada tahun 1948 oleh Minguzzi dan Vergnano, yang menemukan kadar nikel setinggi 1,2% dalam daun *Alyssum bertolonii*. Sejak itu, terutama dengan mengandalkan analisis mikro terhadap spesimen herbarium, diketahui ada 435 taxa tumbuhan hiperakumulator logam yang tumbuh tersebar di lima benua dan semua wilayah iklim (Priyanto & Prayitno, 2002).

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

1. Penyerapan oleh akar

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

2. Translokasi di dalam tubuh tanaman

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

3. Lokalisasi logam pada jaringan

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

Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)

Jarak pagar merupakan tumbuhan semak berkayu yang banyak ditemukan di daerah tropik. Tumbuhan ini dikenal sangat tahan kekeringan dan mudah diperbanyak. Klasifikasi jarak pagar adalah sebagai berikut; Divisi Spermatophyta, Sub-divisi Angiospermae, Kelas Dicotyledonae, Ordo Euphorbiales, Famili Euphorbiaceae, Genus *Jatropha*, Spesies *Jatropha curcas* L.

Tanaman jarak pagar berupa perdu dengan tinggi 1-7 cm, bercabang tidak teratur. Batangnya berkayu, silindris, dan bila terluka mengeluarkan getah. Daun tanaman jarak pagar adalah tunggal berlekuk dan bersudut 3 atau 5. Daunnya lebar dan berbentuk jantung atau bulat telur melebar dengan panjang 5-15 cm. Helai daunnya bertoreh, berlekuk dan ujungnya meruncing. Tulang daun menjari dengan jumlah 5-7 tulang daun utama. Panjang tangkai daun antara 4-15 cm. Bunga tanaman jarak pagar majemuk berbentuk malai, berwarna kuning kehijauan, berkelamin tunggal dan berumah satu (putik dan benang sari dalam satu tanaman). Bunga betina 4-5 kali lebih banyak dari bunga jantan. Bunga jantan maupun bunga betina tersusun dalam rangkaian berbentuk cawan yang tumbuh di ujung benang atau ketiak daun. Buah tanaman jarak pagar berupa buah kotak berbentuk bola telur dengan diameter 2-4 cm. Panjang buah 2 cm dengan ketebalan sekitar 1 cm. Buah berwarna hijau ketika muda serta abu-abu

kecoklatan atau kehitaman ketika masak. Biji berbentuk bulat lonjong dan berwarna coklat kehitaman dengan ukuran panjang 2 cm dan tebal 1 cm, biji inilah yang banyak mengandung persentase minyak sekitar 20-30 % (Susilo, 2006).

1. Mekanisme *Jatropha curcas* Sebagai Media Fitoremediasi

Jarak pagar atau *Jatropha curcas* merupakan tanaman perdu bercabang dengan bentuk pohon kecil atau belukar besar dan memiliki saluran-saluran getah. Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*) mudah tumbuh pada berbagai jenis tanah dan tahan kekeringan dan mudah beradaptasi terhadap lingkungan tumbuhnya. *Jatropha curcas* memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat nikel (Ni), Pb, Cd dan Zn. Penyerapan logam berat oleh *J. curcas* salah satunya karena tanaman tersebut memiliki akar tunggang yang panjang dan tahan kering (Hardiani, 2008).

Tanaman dapat menyerap ion beracun (seperti logam) secara bersamaan karena adanya kesamaan kimia antara ion-ion tersebut dengan kebutuhan ion yang akan digunakan untuk metabolisme. Beberapa tanaman menggunakan mekanisme eksklusi dimana ada pengurangan penyerapan oleh akar atau membawa logam secara terbatas dari akar hingga ke pucuk daun (Baker, 1981).

2. Metode Fitoekestaksi oleh *J. curcas*

J. curcas dalam peranannya sebagai fitoremediasi adalah melalui proses fitoekestaksi. Logam-logam yang mencemari tanah akan ditranslokasi dari akar hingga ke pucuk. Setelah ditranslokasikan ke daun, logam tersebut diabsorpsi kembali dari getah ke dalam sel-sel yang terdapat di dalam daun (Jamil *et al.*, 2009).

Logam-logam yang telah masuk ke dalam daun kemudian melewati jaringan pengangkut (*xilem* dan *floem*) ke bagian tanaman lainnya. Selanjutnya, adanya lokalisasi logam pada sel dan jaringan yang bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (Priyanto & Prayitno, 2007).

Logam yang diserap dari media oleh sel-sel akar akan mengikuti aliran transpirasi yang diatur oleh penyerapan air dari daun sehingga sebagian besar air dan logam tersebut akan mencapai daun sedangkan akumulasi logam yang diserap oleh tanaman akan membentuk mekanisme sel akan ikut terserap bersamaan dengan air yang dibutuhkan sebagai nutrisi (Lasat, 2003). Sistem fisiologi tanaman tidak dapat membedakan antara logam berat yang memiliki toksisitas tinggi, akibatnya logam berat dapat berkompetisi dengan logam yang berfungsi sebagai nutrisi pada saat proses pengambilan unsur hara dari media oleh akar (Salisbury & Ross, 1995 dalam Hardiani, 2008).

3. Perubahan Biokimia pada *J. curcas*

J. curcas yang telah menyerap polutan logam akan mengalami perubahan biokimia dalam proses metabolismenya. Logam yang masuk akan menginduksi tanaman untuk memproduksi lipid peroksida. Logam tersebut sebenarnya menginduksi produksi radikal bebas utama yaitu oksigen reaktif yang dapat menyebabkan kerusakan oksidatif pada sel-sel membran. Namun, *J. curcas* dapat menanggulangi kerusakan tersebut dengan mencairkan elemen-elemen toksik tersebut dan menghasilkan pertumbuhan tanaman yang baik serta mempertinggi biomassa (Jamil *et al.*, 2009).

4. Penggunaan *J. curcas* Sebagai Media Fitoremediasi

Penggunaan *J. curcas* sebagai media fitoremediasi adalah dengan cara penanaman di sekitar lahan pertanian yang telah tercemar. Penanaman dilakukan dengan cara menanam bibit yang berumur kurang lebih 4 bulan. Bibit dengan umur 4 bulan memiliki akar, batang dan daun yang sudah cukup kuat sehingga akar tanaman pun mampu menyerap cemaran dalam tanah. Penanaman *Jatropha curcas* dilakukan dipinggir lahan pertanian dengan jarak antar tanaman 1,5 meter .

Keunggulan dari penggunaan *J. curcas* sebagai media fitoremediasi diantaranya biaya pengolahan secara fitoekstraksi lebih rendah dibandingkan pengolahan lainnya, tanaman *J. curcas* mudah tumbuh dan mudah beradaptasi sehingga dapat dengan mudah dikembangkan, penurunan tingkat cemaran bahan toksik lebih aman bagi lingkungan pertanian.

Tanaman Lamtoro Gung (*Leucaena leucocephala*)

Lamtoro gung kerap digunakan dalam penghijauan lahan atau pencegahan erosi. Tumbuhan ini sudah ratusan tahun dikenal untuk kepentingan pertanian dan kehutanan. Klasifikasi lamtoro gung adalah sebagai berikut; Divisi Magnoliophyta, Sub-divisi Spermatophyta, Kelas Magnoliopsida, Ordo Fabales, Famili Fabaceae, Genus *Leucaena*, Spesies *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.

Pohon atau perdu, tinggi hingga 20m. Meski kebanyakan hanya sekitar 10m. Percabangan rendah, banyak, dengan pepagan kecoklatan atau keabu-abuan, berbintil-bintil dan berlentisel. Ranting-ranting bulat torak, dengan ujung yang berambut rapat. Daun majemuk menyirip rangkap, sirip 3-10 pasang, kebanyakan dengan kelenjar pada poros daun tepat sebelum pangkal sirip terbawah, daun penumpu kecil, segitiga. Anak daun tiap sirip 5-20 pasang, berhadapan, bentuk garis memanjang dengan ujung runcing dan pangkal miring (tidak sama), permukaannya berambut halus dan tepinya berjumbai. Bunga majemuk berupa bongkol (perbungaan capitulum) bertangkai panjang yang berkumpul dalam malai berisi 2-6 bongkol 1, tiap-tiap bongkol tersusun dari 100-180 kuntum bunga, membentuk bola berwarna putih atau kekuningan berdiameter 12-21 mm, di atas tangkai sepanjang 2-5 cm. Bunga kecil-kecil, berbilangan 5, tabung kelopak bentuk lonceng bergigi pendek, lk 3 mm; mahkota bentuk solet, lk. 5 mm, lepas-lepas. Benangsari 10 helai, lk 1 cm, lepas-lepas. Buah polong bentuk pita lurus, pipih dan tipis, 14-26 cm × 1.5-2 cm, dengan sekat-sekat di antara biji, hijau dan akhirnya coklat kering jika masak, memecah sendiri sepanjang kampuhnya. Berisi 15-30 biji yang terletak melintang dalam polongan, bundar telur terbalik, coklat tua mengkilap, 6-10 mm × 3-4.5 mm.

1. Morfologi tanaman :

1. Akar

Lamtoro mempunyai akar yang sangat kokoh, karena akar tunggangnya menembus kuat ke dalam tanah sehingga pohon tidak mudah tumbang oleh tiupan angin. Rambut akarnya tidak terlalu besar dan semerawut sehingga tidak menonjol ke permukaan tanah, tetapi dapat berfungsi untuk mencengkram tanah sehingga dapat merupakan pencegah erosi dan pelongsoran tanah di sekitar pohon tersebut.

Rambut akar tersebut juga dimanfaatkan untuk menyimpan zat nitrogen dalam butiran-butiran yang dapat dilihat pada rambut akar. Butiran-butiran tersebut berisi nitrogen yang semula diserap dari udara bebas dan dari dalam tanah. Inilah sebabnya akar lamtoro agak kurang perkembangana tidak terlalu besar dan tidak menonjol keluar tanah. Karena akar lamtoro mengikat zat nitrogen, maka tanah disekitar pohon lamtoro akan menjadi subur. Sebabnya ialah kerana nitrogen berfungsi menyuburkan tanah.

2. Batang

Pohon lamtoro mempunyai batang yang kuat dan elastis, sehingga tidak mudah patah. Warna batang kecoklatan semu kemerahan sehingga menarik untuk dipandang. Batang pohon lamtoro dalam waktu 1 tahun dapat mencapai garis tengah (middle line) 10 – 15 cm. Jadi merupak pembesaran yangs angat cepat dibandingkan dengan jenis pohon lainnya. Selain dari keterangan diatas masih ada yang perlu diketahui bahwa kayu lamtoro mempunai serat membujur dan warna kayunya putih.

3. Daun

Daun lamtoro sama bentuknya dengan daun petai cina, yaitu berbentuk simetris kecil- kecil berpasangan tetapi tidak pernah gugur. Tipe daun majemuk ganda Warna daun hijau pupus dan berfungsi untuk memasak makanan sekaligus penyerap nitrogrn dan karbondioksida dari udara bebas. Nitrogen dan karbondioksida ini berasal dari sisa- sisa pembakaran yang kemudian mengotori udara (polusi). Daun lamtoro mempunyai kandungan unsure-unsur kimia yang sangat baik yaitu sebagai berikut yaitu :

- a. a.protein =30-40%
- b. b.lemak =6,14%
- c. c.BETN = 24,53%
- d. d.serat kasar = 8,79%
- e. e.minera = 9,32%
- f. f.memosin = 2,08%

4. Buah

Buah lamtoro berbentuk polong dalam tandan-tandan. Dalam tiap-tiap tandan buah dapat mencapi 20-30 buah polong, sedang dalam satu polongnya

dapat mencapai 15-30 biji. Batang tandan berbentuk besar dan agak pendek. Bijinya berbentuk lonjong dan pipih, berbau langu seperti petai cina, jika sudah tua biji tersebut berwarna coklat kehitaman keras dan berlilin. Buah lamtoro mempunyai kadar memosin yang rendah (2,08%).

2. Manfaat *Leucaena leucocephala*

1. Tanaman pelindung

Lamtoro dapat juga dipakai sebagai tanaman pelindung di sawah maupun di tegalan dan sekaligus daunnya yang gugur akan menjadi humus pada tanah yang sangat berguna pada tumbuh-tumbuhan. Sedangkan akar dari lamtoro dapat menyuburkan dan mengemburkan tanah di sekitarnya, karena akar pohon lamtoro banyak menyimpan nitrogen. Lamtoro sangat baik apabila digunakan sebagai tanaman pelindung bagi perkebunan kopi, kakao, dan cengkeh. Pohon lamtoro yang digunakan sebagai tanaman pelindung akan menghasilkan daun dan buah serta menyuburkan tanah disekitarnya. Cara penanamannya sebaiknya ditanam agak rapat-rapat dengan jarak tanam 4 meter antara pohon lamtoro gung dengan yang lain. Penanaman agak rapat ini digunakan sebagai pada waktu musim kemarau tanah masih tetap lembab dan tidak terbelah.

2. Penyubur tanah

Pohon lamtoro sangat baik sebagai sarana penyubur tanah. Daun pohon lamtoro gung mengandung protein 30-40 % dan zat lemak 6,13% serta memosin 2,08 %. Hal ini disebabkan karena kandungan unsure kimia yang ada pada daun lamtoro yang bermanfaat sebagai pupuk hijau yang dibutuhkan oleh jenis tumbuh-tumbuhan lainnya. Pohon lamtoro berfungsi sebagai penjaga penguapan air tanah agar air yang terkandung di dalam tanah tidak cepat menguap oleh terik sinar matahari. Akar pohon lamtoro juga dapat berguna sebagai sarana pembantu untuk menyuburkan tanah disekitarnya, karena akar dari lamtoro menyimpan zat nitrogen yang diambil dari dalam tanah maupun dari udara bebas.

3. Reboisasi

Kegiatan reboisasi yang dilakukan dengan menggunakan pohon lamtoro bermanfaat untuk mencegah dan melestarikan ekosistem yang ada (air, tanah, udara, flora, dan fauna serta untuk memenuhi salah satu kebutuhan hidup manusia), maka pohon lamtoro sangat baik untuk reboisasi dan akan

memperlihatkan suatu hasil yang sangat positif. Lamtoro akan segera mengembalikan struktur tanah (humus). Hal ini di sebabkan karena pertumbuhan dari lamtoro sangat cepat sehingga proses penghutanan dapat berlangsung dengan cepat pula sehingga fungsi hutan sebagai penyimpan air akan segera terbentuk.

Sehubungan dengan banyaknya lahan kritis dan menurut data statistik yang ada. Dewasa ini terdapat tanah seluas 20 juta hektar yang berada dalam keadaan kritis. Tiga belas juta diantaranya dilanda oleh padang alang-alang (*Imperata cylindrica*), sedangkan tujuh juta hektar terserang erosi, gundul, longsor serta tanah-tanah kosong yang tidak terpelihara.. Penebangan hutan sampai saat ini terus dilakukan, baik penebangan resmi oleh pemerintah maupun penebangan hutan yang dilakukan secara liar oleh rakyat, sehingga dapat menimbulkan erosi besar-besaran dan bahaya banjir dan tidak dapat dikendalikan.

2.7 Hubungan Logam Berat dengan Jamur Dalam Tanah

Parameter penting yang selalu menjadi perhatian dalam kajian logam berat adalah ketersediaan hayati (bioavailaibility) dalam tanah. Hal ini menjadi penting dalam kaitannya dengan usaha bioremediasi pada tanah tercemar logam berat. Beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan hayati logam berat antara lain adalah :

1. pH tanah
2. kandungan bahan organik tanah
3. kapasitas tukar kation dan kapasitas tukar anion
4. jenis tanah

Ketersediaan hayati logam berat dipengaruhi oleh pH tanah, dimana pH tanah akan mempengaruhi erapan pencemar anorganik seperti logam berat maupun pencemar organik yang dapat terionisasi. Perubahan pH tanah mengakibatkan perubahan pada muatan berubah (variable charge) baik pada tanah yang sudah lanjut pelapukannya maupun yang baru pelapukannya. Kenaikan pH mengakibatkan naiknya muatan tanah sehingga memperbesar muatan negatif tanah, sehingga makin banyak kation logam berat yang dapat dijerap (Naidu & Bolan, 2008).

Bahan organik tanah adalah polimer hasil dekomposisi sisa-sisa tanaman atau makhluk hidup oleh mikroba ataupun proses degradasi kimia. Bahan organik tanah memiliki afinitas yang tinggi dalam mengikat logam berat yang akan dapat mengurangi ketersediaan hayatnya. Namun jika asam organik yang memiliki gugus fungsional hadir menjadi bagian bahan organik tanah maka ini akan menguntungkan karena memiliki kemampuan membentuk kompleks organo metal atau khelat yang dapat meningkatkan mobilitas logam berat dalam larutan tanah (Tan, 1998).

Kapasitas tukar kation (KTK) terkait dengan muatan negatif tanah yang merupakan manifestasi dari koloid liat dan bahan organik tanah. Sebaliknya kapasitas tukar anion (KTA) terkait dengan muatan positif tanah yang secara umum diasosiasikan dengan oksida mineral. Baik KTK maupun KTA ditentukan oleh tipe mineral liat, kandungan bahan organik tanah dan pH. Tanah dengan kandungan liat yang tinggi memiliki afinitas yang tinggi pada logam berat hal ini membuat ketersediaan logam berat menjadi berkurang (Bohn, *et al.*, 1985).

Jenis tanah menunjukkan sifat dan karakter tanah yang spesifik yang membedakannya dari yang lain. Tanah di tropis didominasi oleh Ultisol dan Oksisol yang memiliki muatan berubah yang berbeda dengan tanah di subtropis dilihat dari asal muatannya. Tanah di tropis dicirikan oleh liat beraktivitas rendah yang didominasi oleh oksida dan hidroksida Fe dan Al. Berbeda dengan tanah tropis, tanah daerah subtropis didominasi oleh Alfisol, Mollisol, Vertisol, yang dicirikan oleh liat beraktivitas tinggi. Ciri yang berbeda ini mengakibatkan berbedanya ketersediaan hayati logam berat pada tanah Ultisol dan Oksisol dengan tanah Alfisol, Mollisol dan Vertisol (Naidu & Bolan, 2008).

Telah lama diketahui bahwa jamur menghasilkan metabolit dalam bentuk asam-asam organik. Berbagai asam organik diketahui memiliki kemampuan untuk melakukan kompleksasi atau menjadi agen pengkhelat logam. Beberapa jamur diketahui mampu menghasilkan asam organik dalam metabolismenya dengan kehadiran logam berat dalam tanah.

Asam oksalat dan asam sitrat adalah contoh asam organik dengan berat massa rendah yang dapat dihasilkan jamur. Asam organik berberat massa rendah diketahui dapat mempengaruhi distribusi logam dalam tanah yaitu memobilisasi

logam berat dengan pembentukan kompleks metal yang larut. Proses mobilisasi ini dipengaruhi beberapa faktor fisik seperti suhu, kelembaban dan penyediaan hara (Arwidsson *et al.*, 2010).

Beberapa spesies jamur memiliki kemampuan menghasilkan asam – asam organik pada media yang mengandung Pb, diantaranya *Aspergillus niger* dan *Penicillium bilaiae*. Pada percobaan yang dilakukan Ardwisson *et al* (2010) penggunaan asam organik hasil metabolisme jamur sebagai agen pengkhelat logam berat meningkatkan ketersediaan Pb bagi tanaman dikarenakan logam berat menjadi dalam bentuk tersedia dalam larutan tanah. Selain penggunaan asam organik seperti asam oksalat dan sitrat, beberapa agen pengkhelat lain juga dapat digunakan untuk memobilisasi logam berat, baik yang sintetis seperti EDTA (ethylene diamine tetra acetic acid) maupun yang alami seperti asam humik yang terdapat pada tanah gambut.

Bangunan biostruktur tanah diinisiasi oleh simbiose antara jamur Vesicular Arbuscular Mycorrhizae dengan tanaman inang spesifiknya dalam bentuk tiga lapisan system perakaran yang berbeda sebagai model untuk *microbes biotrapping* dan sekaligus sebagai *soil nutritional bank*. Model ini dinamakan *soil drive nutrient system* (SDN) sebagai kunci untuk perbaikan ekosistem tanah. Sistem SDN dalam implementasinya selain sangat efektif untuk *microbial biotrapping* juga dapat digunakan untuk *biophytoremediation* lahan bekas pertambangan. Di Indonesia sendiri, model ini digunakan untuk mengatasi persoalan lahan bekas pertambangan timah di Bangka, lahan bekas pertambangan Mangan (Mn) di Kupang dan di lokasi lainnya. Dengan penerapan system SDN, remediasi lahan akan memakan waktu tiga kali lebih cepat apabila dibandingkan penerapan metode sebelumnya. Selain itu, secara ekonomi, penerapan system SDN jauh lebih menguntungkan masyarakat karena masyarakat sudah dapat memperoleh keuntungan dari hasil tanaman budidaya sejak awal implementasi di lapangan (Muhibuddin, 2014).

III. METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di Laboratorium Penyakit dan *Screen House* Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2014 sampai Januari 2015.

3.2 Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah polybag, sprayer, gelas ukur, labu ukur, pipet tetes, batang pengaduk, timbangan analitik, saringan bertingkat 180 μm , 75 μm , dan 53 μm , centrifuge, cawan petri, mikroskop.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan gula 60%, spora mikoriza *Glomus* spp., formalin 5%, larutan Mn 5 ppm, tanah endemis *Sclerotium rolfii*, bibit jarak pagar, bibit lamtoro gung, benih kedelai varietas Wilis, dan tanah steril.

3.3 Metode Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial 3x3 dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Faktor pertama adalah perbedaan jumlah tanaman jarak pagar tiap polybag dengan tiga taraf, yaitu:

- J₁ : 1 tanaman jarak pagar bermikoriza
- J₂ : 2 tanaman jarak pagar bermikoriza
- J₃ : 3 tanaman jarak pagar bermikoriza

Faktor kedua adalah perbedaan jumlah tanaman lamtoro gung dengan tiga taraf, yaitu:

- L₁ : 1 tanaman lamtoro gung bermikoriza
- L₂ : 2 tanaman lamtoro gung bermikoriza
- L₃ : 3 tanaman lamtoro gung bermikoriza

Untuk perlakuan kontrol, tanaman kedelai ditanam tanpa ditumpangсарikan dengan jarak pagar dan lamtoro gung.

Faktorial antar perlakuan

Lamtoro Gung per Polybag	Jumlah Tanaman Jarak Pagar per Polybag		
	J ₁	J ₂	J ₃
L ₁	J ₁ L ₁	J ₂ L ₁	J ₃ L ₁
L ₂	J ₁ L ₂	J ₂ L ₂	J ₃ L ₂
L ₃	J ₁ L ₃	J ₂ L ₃	J ₃ L ₃

Keterangan perlakuan:

- P0 (kontrol) : tanpa tanaman jarak pagar dan lamtoro gung
- P1 (J₁L₁) : 1 tanaman jarak pagar + 1 tanaman lamtoro gung
- P2 (J₂L₁) : 2 tanaman jarak pagar + 1 tanaman lamtoro gung
- P3 (J₃L₁) : 3 tanaman jarak pagar + 1 tanaman lamtoro gung
- P4 (J₁L₂) : 1 tanaman jarak pagar + 2 tanaman lamtoro gung
- P5 (J₂L₂) : 2 tanaman jarak pagar + 2 tanaman lamtoro gung
- P6 (J₃L₂) : 3 tanaman jarak pagar + 2 tanaman lamtoro gung
- P7 (J₁L₃) : 1 tanaman jarak pagar + 3 tanaman lamtoro gung
- P8 (J₂L₃) : 2 tanaman jarak pagar + 3 tanaman lamtoro gung
- P9 (J₃L₃) : 3 tanaman jarak pagar + 3 tanaman lamtoro gung

Denah Pengacakan

Kelompok	Perlakuan								
1	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P1	P2
2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
3	P5	P6	P7	P8	P9	P1	P2	P3	P4



Parameter yang diukur adalah pertumbuhan tanaman kedelai yang meliputi tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah tanaman hidup, persentase kematian tanaman kedelai akibat keracunan Mn dan akibat jamur *S.rolfsii*, analisis kandungan Mn sebagai parameter kandungan logam berat pada tanah, perhitungan jumlah spora mikoriza pada perakaran tanaman.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

1. Sterilisasi media tanam

Tanah di sterilisasi menggunakan formalin 5%. Sterilisasi dilakukan dengan cara menyemprotkan formalin 5% pada tanah dengan sprayer, tanah diaduk rata kemudian ditutup rapat dalam plastik selama 7 hari. Setelah 7 hari, plastik dibuka dan tanah dianginkan.

2. Pencemaran tanah dengan logam Mn

Tanah yang telah steril kemudian dicemari dengan logam berat Mn. Nilai ambang batas kadar Mn yang ditentukan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003, yaitu 4 mg/kg. Pencemaran dilakukan dengan cara mencampur tanah dengan logam Mn yang telah dilarutkan. Cara pembuatan larutan pencemar Mn buatan adalah sebagai berikut:

a. Pembuatan larutan induk 1000 ppm

Dilarutkan 1 gram logam Mn dalam 30 ml asam nitrat 2 M pada gelas ukur 100 ml, lalu diencerkan dengan aquades. Selanjutnya dimasukkan dalam labu ukur 1000 ml dan ditepatkan volumenya dengan aquades. Larutan ini setara dengan 1000 mg/l atau 1000 ppm kadar Mn.

b. Pembuatan larutan Mn 5 ppm

Larutan induk 1000 ppm dipipet 5 ml kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml lalu ditambahkan dengan aquades sampai batas ukur.

Larutan Mn 5 ppm yang telah dibuat kemudian secara merata disiram ke masing-masing polybag, diamkan selama 24 jam agar limbah homogen dalam tanah.

3. Pencampuran tanah tercemar Mn dengan tanah endemis *S. rolfsii*

Setelah homogen, tanah yang telah tercemar Mn dapat diberi perlakuan. Siapkan tanah endemis *S. rolfsii*. Kemudian tanah endemis dimasukkan dalam polybag dan dicampur dengan perbandingan komposisi 1:1. Setelah tanah tercampur, tanah siap ditanami.

4. Inokulasi mikoriza

Inokulasi mikoriza dilakukan dengan menginfeksi spora mikoriza pada masing-masing perakaran tanaman. Inokulasi mikoriza pada tanaman kedelai dilakukan saat penanaman dalam polybag, inokulan diletakkan pada masing-masing lubang tanam. Inokulasi mikoriza pada tanaman jarak pagar dan lamtoro gung dilakukan saat pembibitan dengan cara disebar merata pada tanah.

5. Penanaman jarak pagar

Lakukan perkecambahan terlebih dahulu dengan merendam biji dalam air selama semalam. Setelah itu, biji-biji dimasukkan ke dalam media tanah (bak perkecambahan). Biji akan berkecambah 7-10 hari. Selanjutnya dapat dipindahkan ke polybag setelah 2 minggu berkecambah, dengan menanamnya sedalam 5-6 cm ke dalam polybag.

6. Penanaman lamtoro gung

Letakkan biji lamtoro dengan cara membenamkan biji dalam medium tumbuh sedemikian rupa sehingga permukaan biji rata dengan permukaan media tumbuh. Biji akan berkecambah 5-7 hari. Kemudian jika tanaman lamtoro tersebut sudah mencapai ketinggian 20 cm sudah siap dipindahkan atau ditanam di polybag.

7. Penanaman kedelai dan pemeliharaan

Buat lubang pada tanah sedalam 1-2 cm, benih kedelai dimasukkan 2-3 biji pada setiap lubang, lalu ditutup dengan tanah. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman, penyiangan gulma, dan pengendalian hama. Penyiraman dilakukan setiap hari, yaitu pada pagi atau sore hari. Penyiangan dilakukan dengan mencabut gulma yang mengganggu disekitar tanaman.

8. Analisa logam berat Mn dalam tanah

Analisa logam berat tanah dilakukan di Laboratorium Kimia. Pengamatan dilakukan dengan mengambil masing-masing sampel tanah dalam polybag lalu di analisis didalam laboratorium. Timbang 10 g contoh tanah halus <2 mm. Tambah 20 ml larutan pengestrak DTPA (dietilene triamine penta acetic acid), dikocok dengan mesin kocok selama 2 jam. Suspensi disaring atau disentrifusi untuk mendapatkan ekstrak yang jernih. Ukur masing-masing unsur dengan alat AAS (Spektrofotometer Serapan Atom).

9. Perhitungan jumlah spora mikoriza

Perhitungan jumlah spora dilakukan di Laboratorium Penyakit. Pengamatan dilakukan dengan mengambil sampel tanah pada perakaran tanaman lalu diamati didalam laboratorium. Sample tanah disekitar perakaran diambil sebanyak 100 gram. Disaring dengan saringan bertingkat masing-masing berukuran 180 μm , 75 μm , dan 53 μm . Endapan yang terdapat pada saringan terkecil dimasukkan dalam botol. Masukkan 5 ml larutan gula 60% pada botol centrifuge lalu tambahkan endapan yang terdapat pada saringan terkecil sampai 15 ml. Centrifuge dengan kecepatan 2000 rpm selama 7 menit. Setelah itu saring endapan yang telah di centrifuge menggunakan saringan terkecil. Letakkan pada cawan petri kemudian dihitung dibawah mikroskop.

3.5 Variabel Pengamatan

a. Persentase kematian tanaman kedelai

Pengamatan dilakukan setiap hari sejak awal penanaman kedelai sampai 28 hari setelah tanam. Dihitung jumlah kedelai yang tidak tumbuh akibat serangan dari jamur *S. rolfii*, dan dilihat dari gejala akibat keracunan logam Mn. Hasil diperoleh pada akhir pengamatan.

Pengukuran gejala keracunan logam Mn dilakukan berdasarkan tingkat serangannya pada daun tanaman kedelai. Perhitungan dilakukan berdasarkan rumus :

$$I = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

I = Intensitas gejala keracunan

n = Jumlah daun yang terserang

N = Jumlah daun yang diamati

Pengamatan intensitas penyakit *S. rolfsii* dilakukan untuk menentukan tingkat ketahanan tanaman kedelai terhadap penyakit rebah semai. Pengamatan intensitas penyakit dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Sastrahidayat, 2011):

$$I = \frac{N}{n} \times 100 \%$$

Keterangan :

I = Intensitas penyakit

n = Jumlah seluruh tanaman

N = Jumlah tanaman yang diamati

b. Pertumbuhan tanaman kedelai

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dengan menggunakan penggaris (cm) dari bagian pangkal batang tanaman yang tumbuh dipermukaan tanah sampai titik tertinggi batang. Jumlah daun dihitung berdasarkan jumlah daun yang dihasilkan sejak dari awal muncul daun hingga 28 hst. Pengamatan pertumbuhan tanaman dilakukan setiap satu minggu sekali. Pengamatan jumlah tanaman kedelai yang hidup dilakukan pada 28 hst.

c. Kandungan logam Mn pada tanah

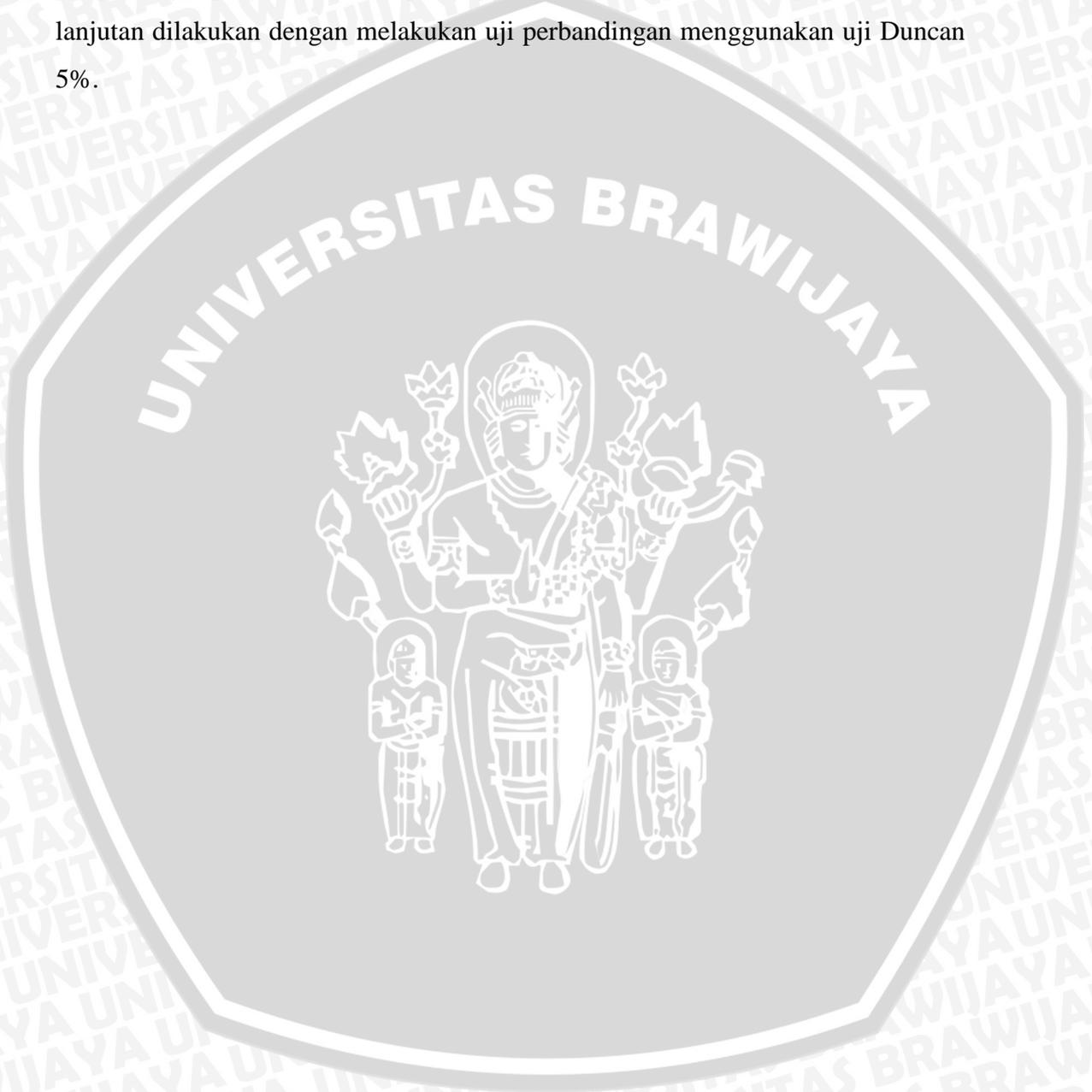
Analisis kandungan logam Mn pada tanah dilakukan di Laboratorium Kimia. Analisis dilakukan sebanyak 2 kali yaitu sebelum penanaman dan setelah tanaman kedelai memasuki umur 28 hst. Masing-masing perlakuan diambil sample tanahnya dan di homogenkan kemudian di analisis kandungan Mn pada tanah.

d. Perhitungan jumlah spora mikoriza

Pengamatan dilakukan di Laboratorium Penyakit setelah tanaman kedelai berumur 28 hst. Sample yang diambil yaitu tanah dekat perakaran. Jumlah spora mikoriza yang diamati yaitu pada tanah perakaran tanaman kedelai.

3.6 Analisis Data

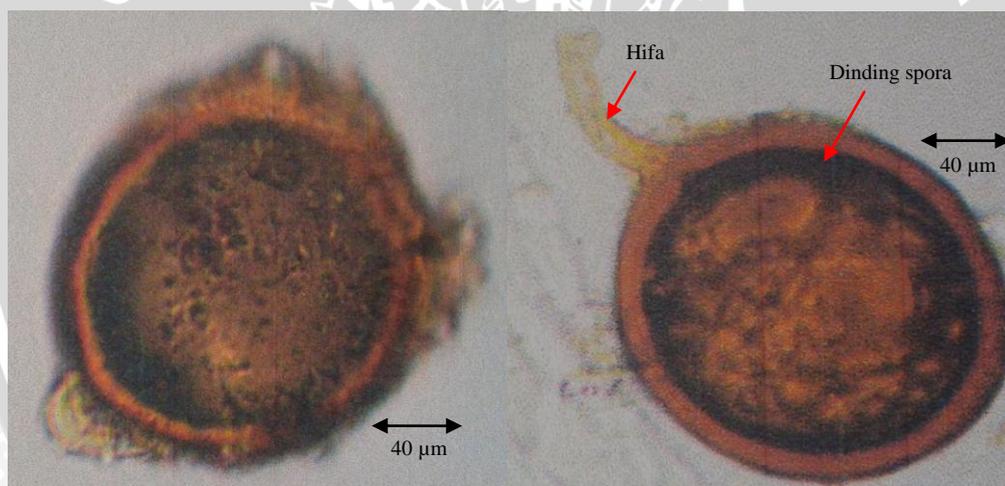
Pengujian pengaruh perlakuan dilakukan dengan menggunakan uji F (analisis ragam) dengan taraf 5%. Apabila dari hasil pengujian didapatkan data pengaruh yang nyata diantara perlakuan maka akan dilakukan uji lanjutan. Uji lanjutan dilakukan dengan melakukan uji perbandingan menggunakan uji Duncan 5%.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Jumlah Spora Mikoriza

Hasil pengamatan mikoriza secara mikroskopis ditemukan jenis mikoriza dari genus *Glomus spp.* Ciri umum spora yang ditemukan adalah bentuk spora agak bulat hingga bulat, warna spora coklat muda hingga coklat tua, tidak terdapat bagian-bagian khusus misalnya cekungan atau bintik pada permukaan, terdapat hifa dan dinding spora. Menurut Alexopoulos (1979) bahwa spesies dari *Glomus* dapat berkembang baik di tanah yang ditanami maupun yang tidak ditanami. Ukuran spora *Glomus* berkisar 50-157 μm , memiliki dinding sel 1 atau lebih (Bundrett *et al.*, 1996). Deskripsi genus *Glomus* pada INVAM (International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi) memiliki warna coklat muda, kemerahan, hingga gelap dan memiliki substanding hifa (INVAM, 2009).



Gambar 3. Spora mikoriza

Hasil perhitungan jumlah mikoriza pada perakaran tanaman kedelai menunjukkan hasil yang berbeda sangat nyata antar tiap perlakuan. Dosis mikoriza yang diberikan sama untuk semua perlakuan. Setiap perlakuan diinokulasikan sebanyak 5 gram spora mikoriza. Pengamatan dilakukan setelah 28 hari setelah tanam (HST). Hasilnya menunjukkan rata-rata jumlah spora mikoriza yaitu sebesar 394 spora setiap 100 gram sampel tanah perakaran tanaman kedelai. Pada perlakuan P0 (J_0L_0) menunjukkan hasil yang berbeda sangat nyata dengan jumlah spora mikoriza sebanyak 287 spora.

Tabel 1. Rerata jumlah akhir spora mikoriza

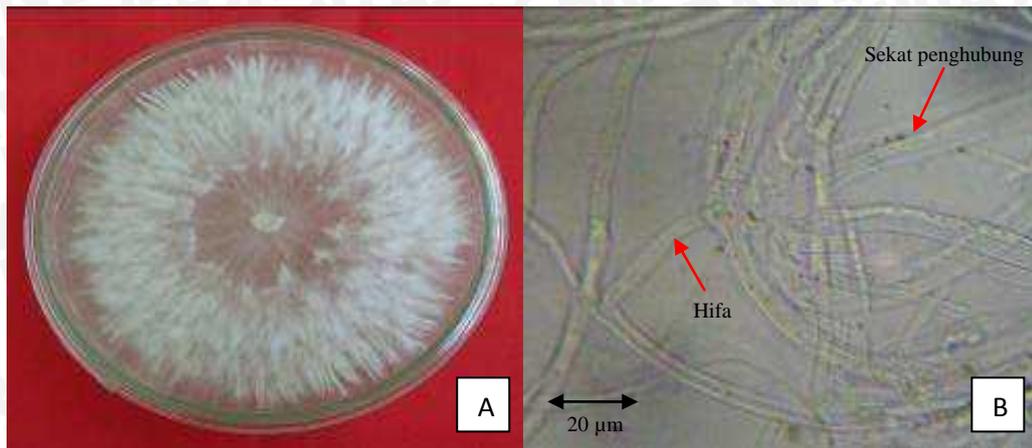
Perlakuan	Jumlah Spora Mikoriza (per 100 gram tanah)
P0 (J ₀ L ₀)	287 a
P1 (J ₁ L ₁)	427 bc
P2 (J ₂ L ₁)	437 cd
P3 (J ₃ L ₁)	443 de
P4 (J ₁ L ₂)	437 cd
P5 (J ₂ L ₂)	425 bc
P6 (J ₃ L ₂)	451 de
P7 (J ₁ L ₃)	442 de
P8 (J ₂ L ₃)	413 b
P9 (J ₃ L ₃)	453 e
F hitung	8,1**
F tabel	2,51

Keterangan : ** = sangat berbeda nyata. Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

Menurut pendapat Sastrahidayat (2010) kemampuan spora beradaptasi dengan lingkungan sangat menentukan efektivitas inokulasi pada tanaman inang. Jumlah mikoriza juga dipengaruhi oleh lamanya proses pembiakan di tanaman inang, semakin lama mikoriza berada dalam suatu perakaran maka akan semakin banyak pula populasi mikoriza tersebut.

4.2 Pengamatan Mikroskopis Patogen *Sclerotium rolfisii*

Pengamatan mikroskopis dilakukan berdasarkan gejala yang ditemukan di lapang dengan cara mengisolasi di laboratorium dengan tujuan untuk memastikan patogen penyebab penyakit pada tanaman kedelai. Hasil isolasi di laboratorium menunjukkan bahwa pada media PDA (*Potato Dextrose Agar*) miselium jamur berwarna putih seperti kapas dan pertumbuhan koloni miselium cepat. Menurut Domsch (1990), jamur *S. rolfisii* memiliki koloni yang tumbuh dengan cepat, diameter koloni mencapai 9 cm setelah 3 hari di media pada suhu 23⁰C. koloni jamur berwarna putih dengan banyak untaian hifa.



Gambar 4. Koloni jamur *S. rolfsii* pada media [A], morfologi jamur *S. rolfsii* [B]

Jamur *S. rolfsii* memiliki ciri-ciri koloni berwarna putih yang selanjutnya berwarna agak kecoklatan pada biakan yang sudah tua. Miselium *S. rolfsii* berwarna putih berserat seperti kapas. Pertumbuhan koloni cepat pada media PDA. Pada hari ke-4, pertumbuhan miseliumnya sudah memenuhi cawan petri berdiameter 9 cm. Hasil pengamatan mikroskopis, jamur *S. rolfsii* mempunyai hifa hialin dan terdapat sekat penghubung yang merupakan ciri khusus hifa *S. rolfsii*. Menurut Domsch (1990), jamur ini membentuk hifa berwarna putih dan meluas dengan miselium kasar, hifa berwarna hialin. Pada pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa *S. rolfsii* memiliki hifa yang hialin.

4.3 Persentase Serangan Patogen *Sclerotium rolfsii* pada Tanaman Kedelai

Berdasarkan hasil pengujian analisis ragam diketahui bahwa persentase serangan *S. rolfsii* pada tanaman kedelai terdapat pengaruh berbeda sangat nyata antar perlakuan. Dosis mikoriza yang diberikan pada tiap perlakuan sama. Hasil yang menunjukkan perbedaan sangat nyata terdapat pada perlakuan P0 (J₀L₀) dimana tingkat persentase serangan *S. rolfsii* mencapai 44,4%. Persentase serangan *S. rolfsii* pada tanaman kedelai disajikan dalam tabel berikut.

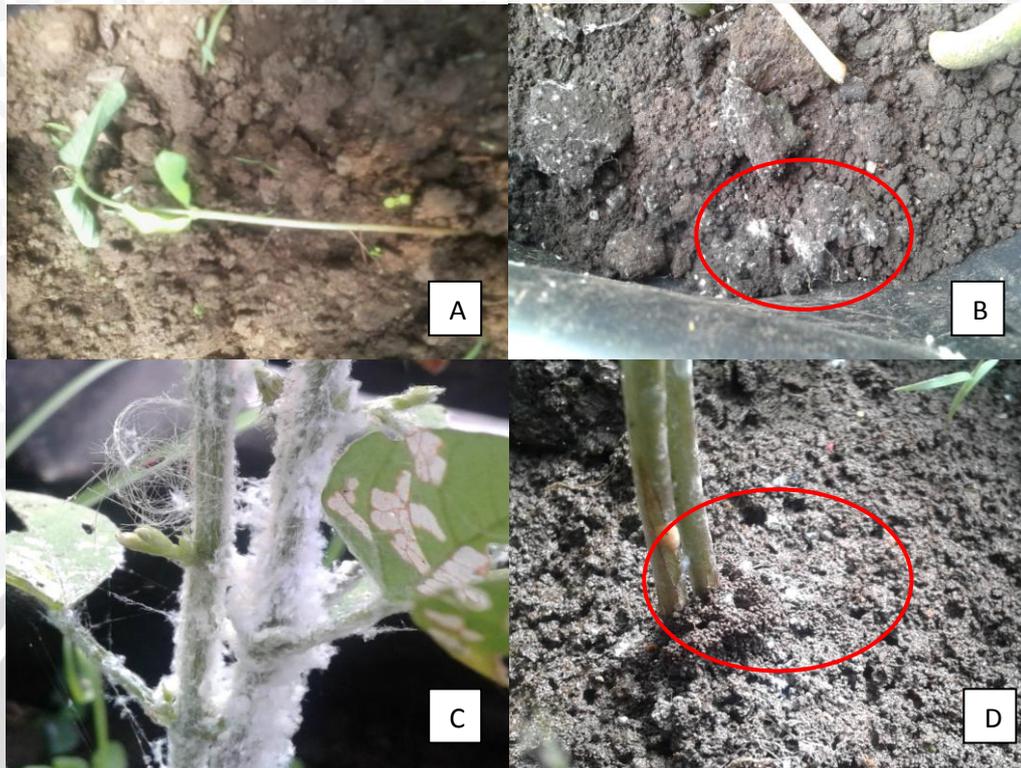
Tabel 2. Persentase kejadian penyakit karena jamur *S. rolfsii*

Perlakuan	Kejadian Penyakit <i>S. rolfsii</i> (%)
P0 (J ₀ L ₀)	44,4 c
P1 (J ₁ L ₁)	0 a
P2 (J ₂ L ₁)	11,1 ab
P3 (J ₃ L ₁)	11,1 ab
P4 (J ₁ L ₂)	0 a
P5 (J ₂ L ₂)	11,1 ab
P6 (J ₃ L ₂)	0 a
P7 (J ₁ L ₃)	0 a
P8 (J ₂ L ₃)	22,2 b
P9 (J ₃ L ₃)	0 a

Keterangan : Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada fase vegetatif yaitu 28 hst, aplikasi mikoriza mampu menekan serangan patogen *S. rolfsii*. Hal ini ditunjukkan melalui rata-rata nilai persentase serangan pada tanaman kedelai yang menunjukkan angka 0%, 11,1%, dan 22,2%. Sedangkan pada perlakuan P0 (J₀L₀), nilai persentase serangan patogen *S. rolfsii* mencapai 44,4% pada tanaman kedelai.

Pengamatan di lapang menunjukkan bahwa gejala serangan patogen *S. rolfsii* penyebab penyakit rebah semai adalah daun tanaman kedelai layu dan menguning yang dimulai dari daun muda, pangkal batang membusuk dan akhirnya tanaman mati. Tanaman mati dalam hitungan 3-6 hari setelah serangan. *S. rolfsii* menyerang pada fase vegetatif yaitu dimulai dari 9 hari hingga 28 hari setelah tanam. Tanda keberadaan *S.rolfsii* yang menyerang kedelai di lahan adalah terdapat miselium putih di sekitar perakaran kedelai yang mati. Hal ini sejalan dengan pernyataan Semangun (1991), tanaman yang terserang penyakit akan menjadi layu dan menguning secara perlahan. Pada pangkal batang dan permukaan tanah di dekatnya terdapat miselium cendawan berwarna putih dan tumbuh sangat agresif pada jaringan tanaman yang diserang.



Gambar 5. Gejala penyakit *S. rolfsii* pada kedelai, [A] tanaman kedelai yang rebah akibat jamur *S. rolfsii*, [B] miselium jamur *S. rolfsii*, [C] miselium jamur *S. rolfsii* pada batang kedelai, [D] miselium jamur *S. rolfsii*



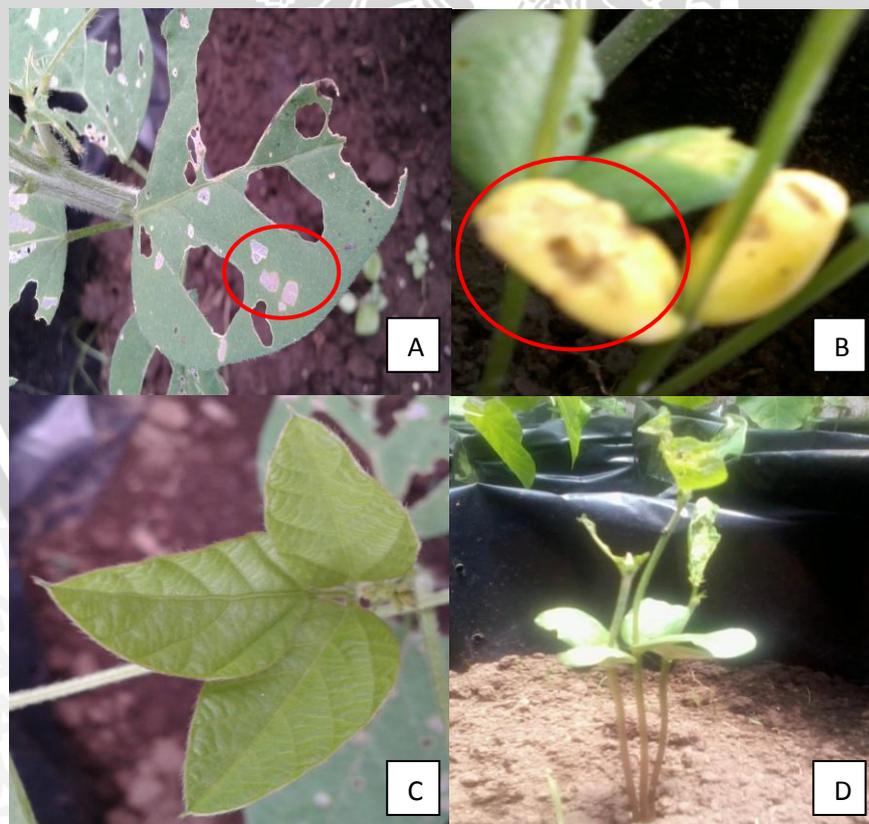
Gambar 6. Mikroskopis akar yang terinfeksi jamur *S.rolfsii*

Pada tabel 2 menunjukkan bahwa pada fase vegetatif kedelai sampai umur 28 hst, mikoriza telah mampu menekan serangan *S. rolfsii*. Keberadaan mikoriza membentuk kondisi yang dapat menekan perkembangan patogen *S. rolfsii* di dalam tanah. Hal ini karena mikoriza memiliki kemampuan dalam meningkatkan ketahanan tumbuhan terhadap infeksi patogen dan parasit akar dengan membentuk

penghalang mekanis berupa mantel jamur yang menghambat penetrasi patogen dan mikoriza mampu memproduksi antibiotic dan fungistatik merangsang tanaman inang membentuk senyawa-senyawa inhibitor dan meningkatkan persaingan kebutuhan hidup di rhizofe oleh adanya mikoriza (Chakravarty & Chatapaul, 1988).

4.4 Persentase Serangan Penyakit Abiotik Akibat Kelebihan Logam Mangan (Mn) pada Tanaman Kedelai

Mangan (Mn) merupakan salah satu unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang sangat sedikit. Kelebihan mangan akan menyebabkan tanaman mengalami keracunan. Ciri-ciri tanaman keracunan mangan yaitu pada daun terdapat bercak coklat pada daun tua yang kelamaan menjadi lubang seperti terbakar, warna pada daun muda hijau pucat, daun mengalami klorosis sehingga warna daun menjadi kekuningan, dan tumbuhan menjadi kerdil.



Gambar 7. Tanaman kedelai yang menunjukkan gejala keracunan logam Mangan (Mn), [A] bercak coklat pada daun tua, [B] klorosis pada daun, [C] daun muda berwarna hijau pucat, [D] tanaman kerdil

Hasil uji analisis ragam menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata antar tiap perlakuan. Perlakuan P0 (J₀L₀) yaitu tanpa tanaman jarak pagar dan lamtoro gung menunjukkan hasil sangat berbeda nyata dibanding perlakuan lainnya dengan persentase keracunan Mn sebesar 89,68%. Keracunan tanaman paling tinggi terdapat pada perlakuan P0 (J₀L₀), sedangkan keracunan paling rendah terdapat pada perlakuan P6 (J₃L₂) yaitu 3 tanaman jarak pagar dan 2 tanaman lamtoro gung, dan perlakuan P9 (J₃L₃) yaitu 3 tanaman jarak pagar dan 3 tanaman lamtoro gung dengan persentase gejala keracunan sebesar 4,76%.

Tabel 3. Persentase tanaman kedelai yang menunjukkan gejala keracunan Mangan

Perlakuan	Gejala Keracunan Mangan (Mn) (%)
P0 (J ₀ L ₀)	89,68 d
P1 (J ₁ L ₁)	38,89 b
P2 (J ₂ L ₁)	20,64 ab
P3 (J ₃ L ₁)	14,29 a
P4 (J ₁ L ₂)	19,84 ab
P5 (J ₂ L ₂)	41,67 bc
P6 (J ₃ L ₂)	4,76 a
P7 (J ₁ L ₃)	14,29 a
P8 (J ₂ L ₃)	61,9 c
P9 (J ₃ L ₃)	4,76 a
F hitung	7,78**
F tabel	2,51

Keterangan : ** = sangat berbeda nyata. Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

Semakin banyak jumlah tanaman hiperakumulator yang ditanam, maka semakin kecil gejala keracunan tanaman kedelai oleh logam Mn. Pencemaran logam berat menyebabkan kerusakan dan perubahan fisiologi tanaman yang diekspresikan dalam gangguan pertumbuhan. Pencemaran menyebabkan perubahan pada tingkatan biokimia sel kemudian diikuti perubahan fisiologi pada tingkat individu hingga tingkat komunitas tanaman (Fontes & Cox, 1995).

4.5 Kandungan Logam Mangan (Mn) di Dalam Tanah

Analisis kandungan logam Mn dilakukan sebanyak dua kali yaitu sebelum penanaman tanaman kedelai dan setelah tanaman kedelai berumur 28 hst. Analisis kandungan logam Mn dalam tanah dilakukan untuk mengetahui apakah tanaman jarak pagar dan lamtoro gung mampu menyerap kelebihan logam dalam tanah secara optimal sehingga tanah tidak tercemar logam Mn dan tanaman utama yaitu tanaman kedelai tidak keracunan logam Mn dan dapat tumbuh sehat serta dapat memberikan hasil produksi yang optimal. Data hasil analisis kandungan Mn pada tanah setelah 28 hst dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4. Hasil analisis kandungan Mangan (Mn) pada tanah

Perlakuan	Parameter	Hasil (ppm)
P0 (J ₀ L ₀)	Mangan	16,028
P1 (J ₁ L ₁)	Mangan	10,628
P2 (J ₂ L ₁)	Mangan	19,860
P3 (J ₃ L ₁)	Mangan	15,380
P4 (J ₁ L ₂)	Mangan	11,720
P5 (J ₂ L ₂)	Mangan	14,900
P6 (J ₃ L ₂)	Mangan	10,696
P7 (J ₁ L ₃)	Mangan	12,164
P8 (J ₂ L ₃)	Mangan	11,980
P9 (J ₃ L ₃)	Mangan	14,268

Tabel 4 menunjukkan bahwa pada tanah yang tercemar Mn, setelah ditanami jarak pagar dan lamtoro gung, nilainya berada tinggi diatas ambang batas yang ditentukan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003, yaitu 4 ppm. Konsentrasi logam Mn pada media tumbuh mengalami peningkatan dari konsentrasi awal yaitu 7,23 ppm. Terjadinya kenaikan konsentrasi logam Mn pada media tumbuh menunjukkan bahwa logam telah terkonsentrasi dalam tanah (Hardiani *et al.*, 2009). Pada saat kondisi tumbuhan telah jenuh, dapat mengakibatkan tumbuhan mengeluarkan semua kontaminan yang didapatkan ke dalam tanah, sehingga mengakibatkan konsentrasi Mn dalam tanah meningkat.

Menurut Muin (2003), jika logam yang terdapat di dalam tanah tinggi, maka bisa terjadi penurunan penyerapan oleh tanaman. Logam yang diserap dari media oleh sel-sel akar akan mengikuti aliran transpirasi yang akan mencapai

daun, sedangkan akumulasi, logam yang diserap oleh tanaman akan membentuk mekanisme sel dan akan ikut terserap bersamaan dengan air yang dibutuhkan sebagai nutrisi (Lasat, 2003).

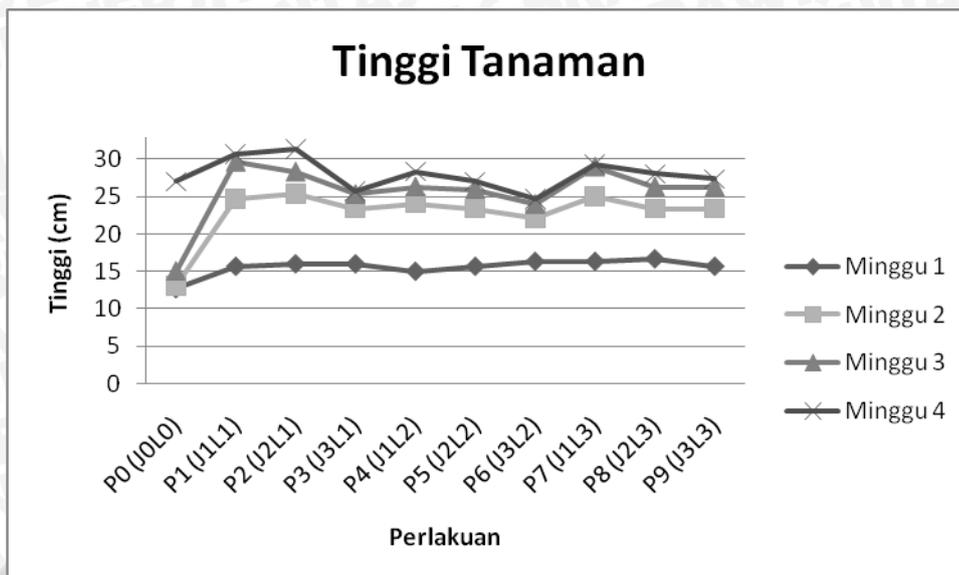
Hal ini dapat terjadi karena setiap tanaman memiliki tipe jaringan yang berbeda sehingga kemampuan dan tingkat toleransi penyerapannya juga berbeda sehingga kandungan Mn yang terserap juga bervariasi. Menurut Knox *et al* (2000), ketersediaan unsur logam dan penyerapannya oleh tanaman ditentukan oleh konsentrasi total dan bentuk dari logam tersebut di dalam tanah selain faktor geokimia pada zona perakaran. Faktor genetik dan jenis tumbuhan menentukan penyerapan logam pada zona perakaran dan akar/tajuk pada tingkat yang bervariasi. Penyerapan juga ditentukan oleh tipe jaringan tanaman dan perlakuan yang diberikan pada tanah.

4.6 Pertumbuhan Tanaman Kedelai

a. Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan salah satu parameter yang diamati secara keseluruhan dengan tujuan untuk mengetahui perkembangan tanaman kedelai pada tiap minggunya. Pengukuran tinggi tanaman kedelai dilakukan pada 7, 14, 21, dan 28 hst. Pertambahan tinggi merupakan salah satu cara pengukuran untuk mengetahui pertumbuhan suatu tanaman pada fase vegetatif yang ditentukan oleh perkembangan dan pertumbuhan sel, semakin cepat sel membelah dan memanjang (membesar) semakin cepat tanaman meninggi.

Hasil pengamatan dan uji analisis ragam menunjukkan tidak terdapat pengaruh nyata antar tiap perlakuan terhadap pertumbuhan tanaman kedelai. Tanaman kedelai yang diberi perlakuan perbedaan jumlah tanaman jarak pagar dan lamtoro gung pertumbuhannya hampir seragam. Ditunjukkan pada minggu ke-1, ke-2, dan ke-3, tanaman mengalami penambahan tinggi, tetapi pada minggu ke-4 pertumbuhan kedelai mulai terhambat. Pada kontrol terlihat tanaman kedelai mengalami pertumbuhan paling lambat dibanding dengan 9 perlakuan. Berikut grafik pertumbuhan tanaman kedelai 9 perlakuan dan kontrol selama 28 hst.



Grafik 1. Pertumbuhan tinggi tanaman kedelai

Tabel 5. Rerata pertumbuhan tinggi tanaman kedelai

Perlakuan	Minggu ke-			
	1	2	3	4
P0 (J0L0)	12,67	13	15	27
P1 (J1L1)	15,67	24,67	29,67	30,67
P2 (J2L1)	16	25,33	28,33	31,33
P3 (J3L1)	16	23,33	25,33	25,67
P4 (J1L2)	15	24	26,33	28,33
P5 (J2L2)	15,67	23,33	26	27
P6 (J3L2)	16,33	22	24	24,67
P7 (J1L3)	16,33	25	29	29,33
P8 (J2L3)	16,67	23,33	26,33	28
P9 (J3L3)	15,67	23,33	26,33	27,33

Tingginya kandungan Mn pada tanah dapat mengganggu pertumbuhan kedelai sehingga mengakibatkan menurunnya kualitas tanaman. Ditinjau dari kandungan logam dalam jumlah berlebih menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah. Sesuai dengan pernyataan Rossiana & Titin (2003), bahwa semakin bertambahnya konsentrasi logam pada media tanam semakin menurun pertumbuhan tanaman. Terhambanya pertumbuhan tanaman juga diduga tanaman

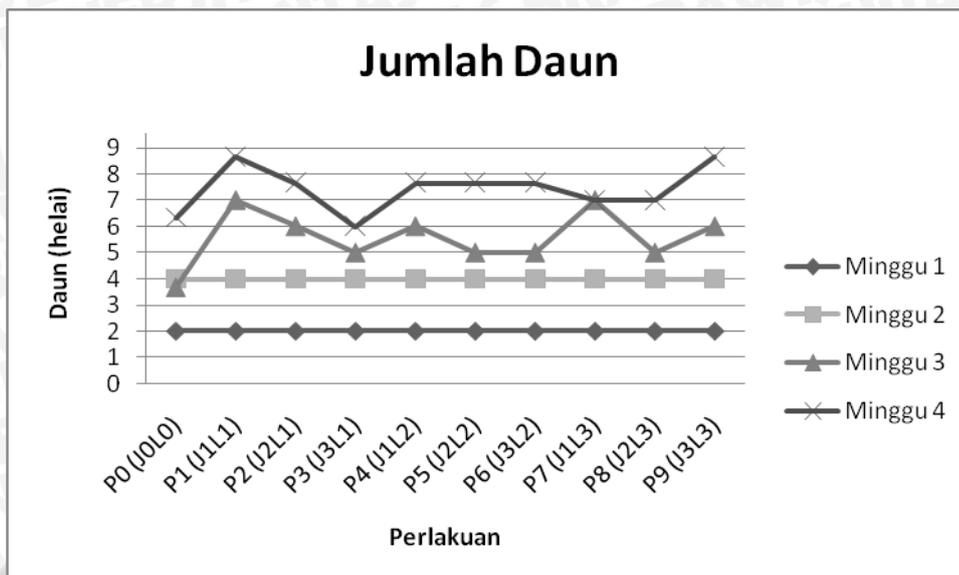
mengalami defisiensi unsur fosfor akibat cekaman logam, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Penanaman jarak pagar dan lamtoro gung berfungsi untuk meningkatkan serapan Mn pada tanah dan diharapkan tanaman jarak pagar dan lamtoro gung mampu menyerap logam lebih banyak, sehingga konsentrasi Mn pada tanah dapat berkurang.



Gambar 8. Perbandingan tinggi tanaman kedelai sehat dan tanaman kedelai sakit [A], tanaman sehat [B], tanaman sakit [C]

b. Jumlah Daun

Pengamatan jumlah daun sangat diperlukan sebagai indikator pertumbuhan pada tanaman kedelai. Pengamatan jumlah daun pada tanaman kedelai dilakukan setiap 7 hari sekali. Daun dapat menentukan penangkapan energi pada akar untuk tanaman mendapatkan nutrisi dan air dalam proses pertumbuhan. Besarnya kandungan Mn dalam tanah dapat memberikan pengaruh yang tidak baik pada pertumbuhan kedelai. Semakin tinggi tanaman maka semakin banyak jumlah daun yang dihasilkan. Jumlah daun sangat bergantung pada tinggi rendahnya kandungan logam dan unsur hara yang terkandung di tanah. Pada grafik menunjukkan bahwa jumlah daun mengalami peningkatan dari minggu ke minggu. Peningkatan jumlah daun ini terjadi karena tanaman kedelai masih toleran terhadap kandungan Mn yang ada di dalam tanah.



Grafik 2. Jumlah daun tanaman kedelai

Tabel 6. Rerata jumlah daun tanaman kedelai

Perlakuan	Minggu ke-			
	1	2	3	4
P0 (J0L0)	2	4	3,67	6,33
P1 (J1L1)	2	4	7	8,67
P2 (J2L1)	2	4	6	7,67
P3 (J3L1)	2	4	5	6
P4 (J1L2)	2	4	6	7,67
P5 (J2L2)	2	4	5	7,67
P6 (J3L2)	2	4	5	7,67
P7 (J1L3)	2	4	7	7
P8 (J2L3)	2	4	5	7
P9 (J3L3)	2	4	6	8,67

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa tiap perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun yang dihasilkan oleh kedelai. Pertambahan jumlah daun dapat dikatakan mengalami peningkatan dalam tiap minggunya, namun pada minggu ke-4 tidak terjadi perubahan jumlah daun yang dihasilkan oleh sebagian besar tanaman. Tidak bertambahnya jumlah daun diakibatkan banyaknya kandungan logam yang terserap oleh tanaman kedelai.

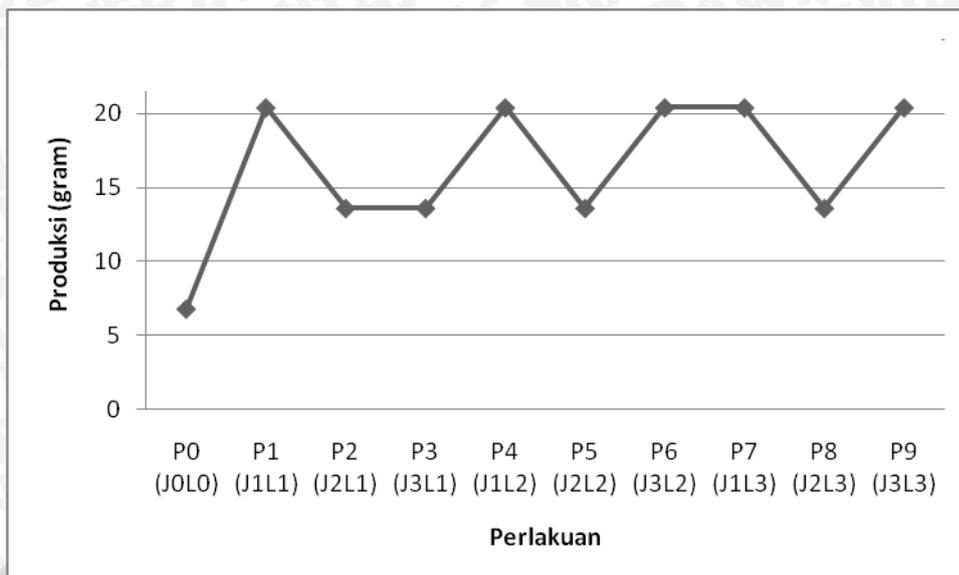
Pada dasarnya daun dapat tumbuh semakin banyak seiring dengan adanya unsur hara yang cukup dalam tanah, jika tanah tersebut kekurangan unsur hara maka akan berdampak pada perumbuhan organ-organ tanaman seperti jumlah daun (Rizqiani *et al.*, 2007). Karti (2003) menyatakan, kandungan nutrisi yang rendah pada tanah tercemar akan dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Dengan adanya peningkatan serapan logam Mn melalui jaringan tumbuhan berdampak pertumbuhan tanaman menjadi tidak optimal. Jumlah daun memiliki keterkaitan dengan tinggi tanaman.

c. Jumlah Tanaman Hidup

Pengamatan jumlah tanaman kedelai yang hidup dilakukan pada 28 hst dengan menghitung jumlah tanaman kedelai yang masih hidup pada tiap perlakuan. Pengamatan jumlah tanaman kedelai yang hidup perlu dilakukan untuk mengetahui perkiraan hasil panen kedelai yang akan didapat. Jumlah tanaman kedelai yang hidup dan perkiraan hasil yang didapat disajikan dalam tabel dan grafik berikut.

Tabel 7. Perkiraan produksi tanaman kedelai

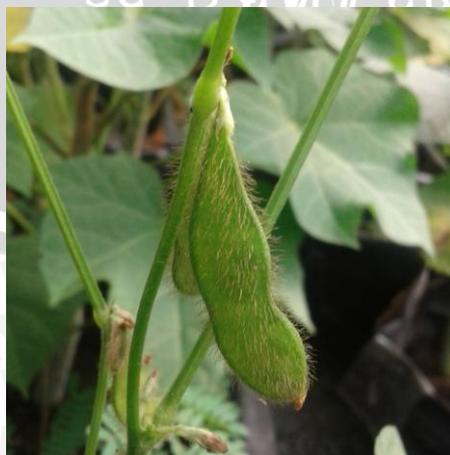
Perlakuan	Jumlah Tanaman	Produksi
P0 (J ₀ L ₀)	1	6,8 gram
P1 (J ₁ L ₁)	3	20,4 gram
P2 (J ₂ L ₁)	2	13,6 gram
P3 (J ₃ L ₁)	2	13,6 gram
P4 (J ₁ L ₂)	3	20,4 gram
P5 (J ₂ L ₂)	2	13,6 gram
P6 (J ₃ L ₂)	3	20,4 gram
P7 (J ₁ L ₃)	3	20,4 gram
P8 (J ₂ L ₃)	2	13,6 gram
P9 (J ₃ L ₃)	3	20,4 gram



Grafik 3. Perkiraan produksi tanaman kedelai

Dari data diatas dapat diketahui bahwa perkiraan hasil tanaman kedelai paling tinggi mencapai 20,4 gram dengan 3 tanaman kedelai. Sedangkan perkiraan hasil terendah hanya mencapai 6,8 gram dengan 1 tanaman kedelai. Kelebihan Mangan (Mn) dapat mempengaruhi hasil dari tanaman kedelai. Semakin banyak kandungan logam Mangan (Mn) dalam tanah maka tanaman akan semakin mengalami penurunan hasil akibat dari tanaman tersebut keracunan Mn.

Sesuai dengan yang telah dikemukakan oleh Fitter *et al* (2001), bahwa terhambatnya pertumbuhan tanaman dikarenakan adanya cekaman logam, sehingga pertumbuhan dan perkembangan jaringan pada akar menjadi terhambat. Menurunnya jaringan pada akar mengakibatkan penurunan pertumbuhan bagian atas tanaman dan pada akhirnya akan menurunkan hasil tanaman.



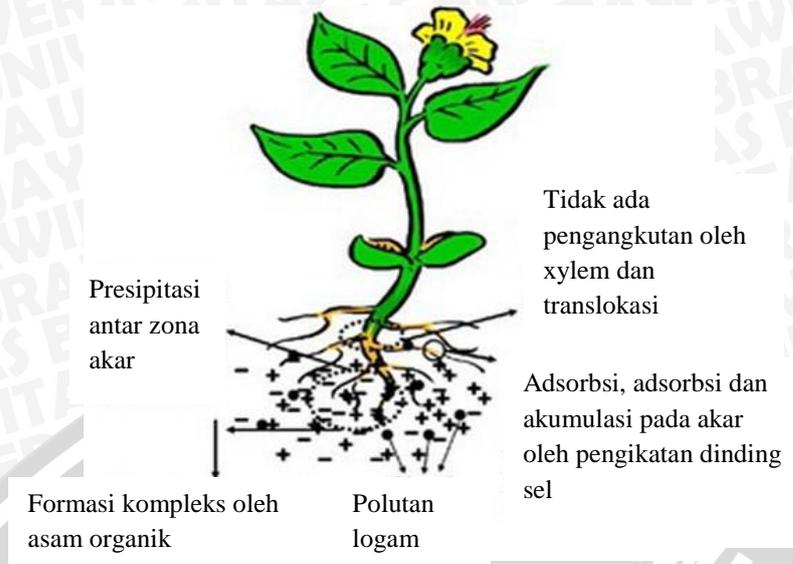
Gambar 9. Buah tanaman kedelai

4.7 Pembahasan

Hasil pengamatan gejala tanaman kedelai yang keracunan Mangan menunjukkan pengaruh yang nyata antar tiap perlakuan. Keracunan tanaman paling tinggi terdapat pada perlakuan P0 yaitu tanpa tanaman jarak pagar dan tanpa tanaman lamtoro gung dengan persentase gejala keracunan sebesar 89,68%. Gejala keracunan paling rendah terdapat pada perlakuan 6 yaitu 3 tanaman jarak pagar dan 2 tanaman lamtoro gung, dan perlakuan 9 yaitu 3 tanaman jarak pagar dan 3 tanaman lamtoro gung. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman jarak pagar bermikoriza dan lamtoro gung bermikoriza dapat menekan keracunan tanaman kedelai akibat logam Mangan (Mn). Menurut Suryatmana *et al* (2003), mikoriza mampu beradaptasi pada tanah yang mengandung logam yang tinggi.

Tumbuhan agar dapat menyerap logam maka logam harus berada dalam larutan tanah di sekitar akar melalui mekanisme yang spesifik untuk setiap spesies tumbuhan dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti: pH dan ada tidaknya pengkhelat (Tessier *et al.*, 1979). Proses serapan logam oleh perakaran tumbuhan akan diikuti dengan pengangkutan logam melalui jaringan pengangkut (xylem) ke bagian tumbuhan lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam juga diikat oleh molekul khelat, termasuk diantaranya: histidin, fitokhelatin glutation, senyawa peptide khusus, dan fitokhelatin (Speiser *et al.*, 1992; Gwozdz *et al.*, 1997).

Tumbuhan pada saat menyerap logam, akan membentuk suatu enzim reduktase di membran akarnya. Reduktase ini berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui mekanisme khusus di dalam membran akar. Pada saat terjadi translokasi di dalam tubuh tanaman, logam yang masuk ke dalam sel akar, selanjutnya diangkut ke bagian tumbuhan yang lain melalui jaringan pengangkut yaitu xylem dan floem. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan logam diikat oleh molekul kelat. Pada konsentrasi rendah logam tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman tetapi pada konsentrasi tinggi akan menyebabkan kerusakan baik pada tanah, air maupun tanaman.



Gambar 10. Mekanisme penyerapan logam pada akar tanaman (Syafrudin, 2010)

Logam yang terserap, menurut Connel & Miller (1995), dapat menyebabkan toksik pada tumbuhan. Kandungan logam yang berlebih dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, penurunan produktivitas tanaman, serta dapat menyebabkan kematian. Selain itu adanya logam tersebut dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium, dan besi yang ada di dalam jaringan akar, yang akibatnya akan memperlambat pertumbuhan akar dan perkembangan jaringan meristem. Ditunjang oleh pernyataan Fitter & Hay (1991), yang menyatakan bahwa ion-ion logam dapat mengganggu kerja enzim, sehingga mengganggu proses metabolisme pada tanaman, dan berpengaruh terhadap pembentukan sel-sel dan jaringan tanaman, khususnya pada jaringan meristem. Akibat adanya gangguan kerja pada jaringan meristem, maka akan menghambat pembentukan dan perpanjangan organ tanaman, khususnya batang.

Kandungan Mn yang tinggi pada tanah tercemar akan berdampak pada aktivitas pertumbuhan tanaman yang menyebabkan kerusakan atau pertumbuhannya kurang optimal, dikarenakan logam Mn dapat menyebabkan keracunan bagi tanaman sehingga sulit bagi tanaman untuk tumbuh. Menurut Walhi (2006), jumlah Mn yang besar dapat merusak tanaman melalui proses penyumbatan, menghambat difusi oksigen ke dalam akar tanaman dan menyebabkan tanaman mati. Kandungan Mn dalam tanah dapat berkurang dengan dilakukannya penggunaan teknik fitoremediasi menggunakan tanaman

hiperakumulator sehingga dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman selanjutnya.

Kondisi kandungan Mn yang tinggi dapat dikatakan bahwa tanah tersebut keracunan logam yang dapat mencemari lingkungan. Alloway (2005) menyatakan, kelebihan logam dalam tanah bukan hanya meracuni tanaman dan organisme, tetapi dapat berimplikasi pada pencemaran lingkungan. Tanaman kedelai pada tiap minggunya mengalami perubahan pertumbuhan, dimana tanaman kedelai semakin bertambah tinggi dalam tiap minggunya. Pada 28 hst tanaman kedelai sebagian besar tidak menunjukkan adanya pertumbuhan. Hal ini disebabkan karena tanah memiliki kandungan Mn yang tinggi, sehingga memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap pertumbuhan kedelai. Ditinjau dari kandungan logam dalam jumlah berlebih menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah. Sesuai dengan pernyataan Rossiana & Titin (2003), bahwa semakin bertambahnya konsentrasi logam pada media tanam semakin menurun pertumbuhan tanaman. Tingginya kandungan Mn yang terkandung dalam tanah mengakibatkan menurunnya pertumbuhan tanaman. Menurut Fitter *et al* (2001), terhambatnya pertumbuhan tanaman dikarenakan adanya cekaman logam, sehingga pertumbuhan dan perkembangan jaringan pada akar menjadi terhambat. Menurunnya jaringan pada akar mengakibatkan penurunan pertumbuhan bagian atas tanaman dan pada akhirnya akan menurunkan hasil tanaman.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa mikoriza dapat meningkatkan serapan logam dari tanah yang terkontaminasi. Hal ini didukung oleh Prayitno & Priyanto (2002), yang menyatakan bahwa penyerapan dan akumulasi logam oleh tumbuhan terjadi melalui tiga proses, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu. Penyerapan unsur-unsur mikro oleh tanaman bermikoriza bergantung kepada beberapa faktor, yaitu kondisi fisik-kimia tanah, tingkat kesuburan tanah, pH, jenis tanaman, serta konsentrasi unsur-unsur mikro di dalam tanah (Khan *et al.*, 2000). Cendawan mikoriza membutuhkan kondisi lingkungan yang sesuai. Keberhasilan inokulasi mikoriza tidak hanya berdasarkan kecocokan

dengan tanaman inang, namun juga harus sesuai dengan kondisi tanah atau medium tanam.

Menurut Lu (1994), menyatakan bahwa toksisitas logam dalam tanah tergantung pada jenis logam, ketersediaannya, serta besarnya keragaman antara satu tanah dengan yang lainnya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Muin (2002), bahwa jika logam yang terdapat dalam tanah pada tingkat yang tinggi, maka bisa terjadi penurunan serapan oleh mikoriza. Pernyataan ini juga didukung oleh Subiksa (2002), yang menyatakan bahwa efektifitas mikoriza dipengaruhi oleh faktor lingkungan tanah, diantaranya yaitu faktor abiotik yang meliputi konsentrasi hara, pH, kadar air dan temperatur.

Perkembangan kolonisasi mikoriza dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan populasi mikoriza tanah. Kandungan air tanah yang sedikit lebih memacu pembentukan spora daripada yang berlebihan dan tanah yang memiliki sistem aerasi yang baik lebih memacu spora mikoriza daripada tanah yang beraerasi jelek. Temperature tanah yang tinggi biasanya sesuai untuk terjadinya infeksi dan pembentukan spora sedangkan pada tanah dengan temperature rendah sesuai dengan pembentukan arbuskular (Sastrahidayat, 2006).

Pembentukan dan perkembangan mikoriza dipengaruhi oleh faktor hayati dan non-hayati. Faktor hayati yang berpengaruh diantaranya ialah jenis mikoriza, tanaman inang, dan jasad renik yang bersimbiosis dengan mikoriza dan tanaman. Faktor non-hayati yang berperan diantaranya ialah kadar air, suhu, dan intensitas cahaya. Hal ini sejalan dengan pendapat Sastrahidayat (2010) bahwa kemampuan spora beradaptasi dengan lingkungan sangat menentukan efektivitas inokulasi pada tanaman inang. Jumlah populasi mikoriza juga dipengaruhi oleh lamanya mikoriza berada di perakaran, semakin lama mikoriza berada dalam suatu perakaran maka akan semakin banyak pula populasi mikoriza tersebut.

Dari grafik pertumbuhan tanaman kedelai dilihat dari tinggi dan jumlah daun menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh nyata dari semua perlakuan. Tinggi tanaman mengalami pertambahan setiap minggunya begitupula dengan jumlah daun. Pemberian mikoriza memberikan pengaruh lebih baik terhadap pertumbuhan tanaman kedelai. Efek mandiri inokulasi mikoriza dapat

meningkatkan pertumbuhan tanaman yang mencakup tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun, dan persentase infeksi.

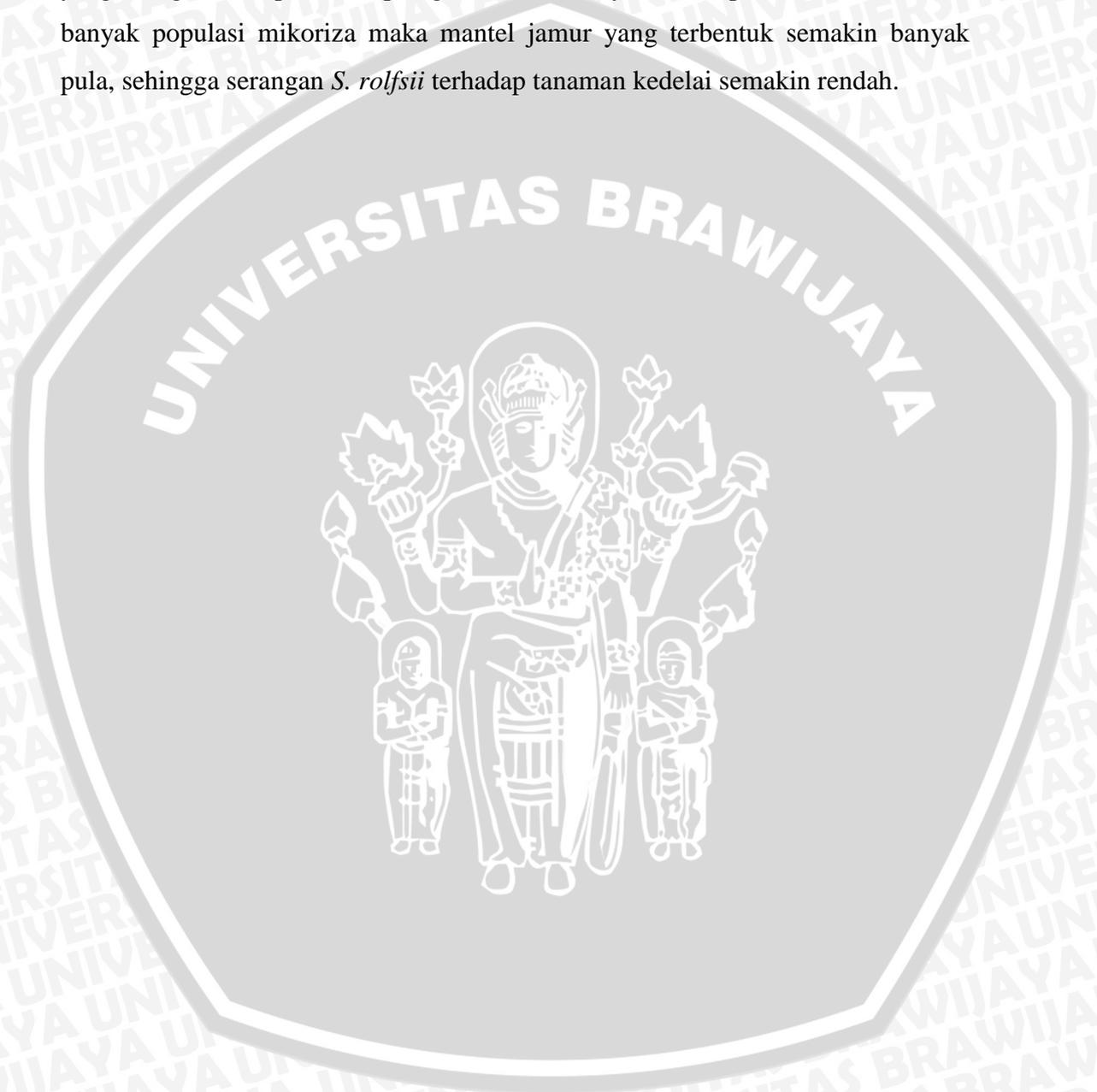
Menurut Hidayat (1995), cendawan Mikoriza mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman karena dapat meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Mikoriza yang menginfeksi sistem perakaran tanaman inang akan memproduksi jalinan hifa secara intensif, sehingga tanaman bermikoriza akan mampu meningkatkan kapasitasnya dalam menyerap air dan unsur hara. Ukuran hifa yang halus akan memungkinkan hifa bisa menyusup ke pori-pori tanah yang paling kecil (mikro), sehingga hifa bisa menyerap air pada kondisi kadar air yang sangat rendah (Subiksa, 2002). Dengan adanya peran mikoriza dalam membantu penyerapan air dan unsur hara, maka sel tumbuhan akan cepat tumbuh dan berkembang, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman.

Jumlah mikoriza berpengaruh terhadap intensitas serangan *S. rolfsii*. Keberadaan mikoriza membentuk kondisi yang dapat menekan perkembangan patogen *S. rolfsii* di dalam tanah. Semakin meningkat populasi mikoriza dalam tanah, maka intensitas serangan *S. rolfsii* semakin rendah. Mikoriza memiliki peran sebagai biocontrol bagi tanaman dan meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan, dan sebaliknya mikoriza tidak menyebabkan penyakit pada tanaman. Selain itu, akar tanaman yang bermikoriza akan tumbuh lebih cepat dan menghasilkan bobot panen yang lebih banyak daripada tidak bermikoriza serta lebih tahan terhadap serangan penyakit tertentu (Muhibuddin, 2006).

Patogen *S. rolfsii* menyerang tanaman kedelai pada fase awal vegetatif sampai tanaman berumur 27 hari. Serangan yang tinggi mulai terjadi pada 9 hari dan mencapai puncak serangan tertinggi pada 21 hari. Sesuai pernyataan Henis *et al* (1983), penyakit busuk batang kedelai yang disebabkan oleh *S. rolfsii* ini adalah penyakit pembibitan atau tanaman muda. Walaupun pada kondisi tertentu dan lingkungan yang memungkinkan patogen ini dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman dewasa, pada bagian daun, bahkan polong kedelai (Takaya & Sudjono, 1987). Semakin meningkatnya umur tanaman maka tanaman lebih tahan terhadap serangan patogen dan intensitas serangan menjadi konstan.

Jumlah serangan *S. rolfsii* berbanding terbalik dengan jumlah populasi mikoriza, yaitu semakin sedikit populasi mikoriza maka semakin besar serangan

S. rolfii. Begitupula sebaliknya, semakin banyak populasi mikoriza maka semakin kecil serangan *S. rolfii* (Istiqomah, 2014). Mikoriza memiliki kemampuan dalam meningkatkan ketahanan tumbuhan terhadap infeksi patogen dan parasit akar dengan membentuk penghalang mekanis berupa mantel jamur yang menghambat penetrasi patogen (Chakravarty & Chatapaul, 1988). Semakin banyak populasi mikoriza maka mantel jamur yang terbentuk semakin banyak pula, sehingga serangan *S. rolfii* terhadap tanaman kedelai semakin rendah.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

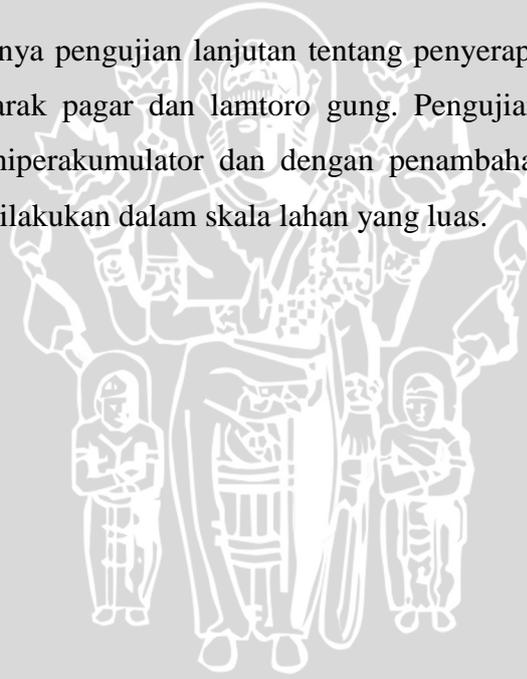
5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapat kesimpulan bahwa:

1. Kombinasi jarak pagar, lamtoro gung, dan mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan kedelai dan menurunkan stress akibat pencemaran unsur logam Mn dan menekan penyakit rebah semai (*S. rolfii*).
2. Penanaman tumpangsari dengan jarak pagar dan lamtoro gung dapat menstimulasi mikoriza sehingga jumlahnya bertambah dengan signifikan dibandingkan dengan tanpa penanaman jarak pagar dan lamtoro gung.

5.2 Saran

Perlu diadakannya pengujian lanjutan tentang penyerapan logam Mangan (Mn) oleh tanaman jarak pagar dan lamtoro gung. Pengujian lanjutan dengan penanaman tanaman hiperakumulator dan dengan penambahan dosis mikoriza. Pengujian dapat pula dilakukan dalam skala lahan yang luas.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustiyan, D. & A. Sarjiya. 2005. Denitrifikasi di Tanah: Efek Pestisida Terhadap Populasi dan Aktivitas Denitrifikasi. Bidang Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi, LIPI, Bogor.
- Alexopoulos, C., J. & Mims. 1979. Introductory Mycology. John Wiley and Sons. New York. 407p.
- Alloway, B.J. 2005. Heavy Metals in Soils. 2nd Edition. Blackie Academic and Professional. London-Glasgow-Wenheim-New York-Tokyo-Melbourne-Madras. 368 p.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 1992. 5 Tahun Penelitian dan Pengembangan Pertanian (1987-1991). Sumbangan dan Menyongsong Era Tinggal landas. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian RI. Jakarta.
- Baker, A. J. M. 1981. Accumulation and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutr. 3 : 643–654.
- Bandini, Stefania, Pavesi, Guilio. 2002. Simulation of Pesticide Percolation in the Soil Based on Cellular Automata. <http://iemss.Orgiemss2002Proceedingspdfvolume%20tre258pavesi.pdf>.
- Brundrett, M., N., B. Bougher, B. Dell, T. Grove & N. Malajczuk. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR monograph 32. 374 + x h.
- Connell, D.W & G.J Miller. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Djauhari, S. 2003. Structural equation modeling penyakit busuk batang (*Sclerotium rolfsii*) pada kedelai. Desertasi pascasarjana Unibraw.
- Domsch, K.H.W.Gams & T. H. Anderson. 1980. Compendium of Soil Fungi. Vol. 1 Academic Press. New York. 895 hal.
- Domsch, K.H.W.Gams. 1990. Compendium of Soil Fungi vol 1. Academic Press. London.
- Donnelly, PK & Fletcher, JS. 1994. Potential Use of Mycorrhizal Fungi as Bioremediation Agents. American Chemical Society. USA. 94-97.

- Elizabeth, J. F. 1999. *Sclerotium rolfsii* Sacc. : 'Kudzu of the Fungal World'. NC State University.
- Fitter, A.H. & Hay, R.K.M. 1991. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Terjemahan oleh Sri Andani dan E.D. Purbayanti. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Fitter, A.H. & Hay, R.K.M. 2001. Environmental Physiology of Plants. Academic Press. London. 367 pp.
- Gadd, G.M. 1990. Metal Tolerance, In Microbiology of Extreme Environments. Open University Press. Milton Keynes.
- Hakim, N., Y. Nyakpa, A.M. Lubis, S.G. Nugroho. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung, Lampung.
- Hardiani, H. 2008. Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 Dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi. Jurnal Riset Industri Vol 2 (2) : 64-75.
- Hardiani, H. 2009. Potensi Tumbuhan dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. Balai Besar Pulp dan Kertas. Bandung.
- Heryando, Palar. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Penerbit PT Rieneka Cipta. Jakarta.
- Hidayat, Estiti. 1995. *Anatomi Tumbuhan Berbiji*. Penerbit ITB. Bandung.
- INVAM. 2009. International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi. URL : <http://invam.caf.wvu.edu/Myco>. diakses pada 25 februari 2015.
- Irawan, A. 2006. Budidaya Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill.). Universitas Padjajaran. Bandung.
- Istiqomah, 2014. Pengaruh penggunaan inang perantara padi gogo terhadap populasi mikoriza dan intensitas serangan penyakit rebah semai (*Sclerotium rolfsii*) pada kedelai (*Glycine max* L.).
- Jamil, S., P. C. Abhilash, N. Singh, & P. N. Sharma. 2009. *Jatropha curcas* : A Potential Crop For Phytoremediation of Coal Fly Ash. *Journal of Hazardous Materials*, 172 : 269-275.

- Jones, L. H. P. & S. C. Jarvis. 1981. The fate of heavy metals. D. J. Green and M. H. B. Hayes (Eds.). in *The Chemistry of Soil Processes*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA. p.593.
- Khan, A.G; C. Kuek; T.M. Chaundry; C.S. Khoo; W.J. Hayes. 2000. Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated land Remediation. Faculty of Infomatics, Science and Technology, university of Western Sydney, Macarthur, campbelltown NSW 2560. Australia.
- Knox, A.S., Seaman, J., Andriano, D.C. & Pierzyaski, G. 2000. *Chemostabilization of Metals in Contaminated Soils*. New York: Marcek Dekker Inc. hlm 811-836.
- Lasat, M.M. 2003. The Use of Plants for the Removal of Toxic Metals from Contaminated Soil. American Association for the Advancement of Science Environmental Science and Engineering Fellow.
- Latunde. A. O. 1993. Biological Control of Southern Blight Disease of Tomato Caused by *Sclerotium rolfsii* with Simplified Mycelial Formulation of *Trichoderma Koningii*. *Plant Pathology* 42: 522-529.
- Lu, C. Frank. 1994. *Toksikologi Dasar : Asas, Organ, Sasaran dan Penilaian Resiko*, Edisi Kedua. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- McLaughlin, M. J., R. E. Hamon, R. G. McLaren, T. W. Speir, & S. L. Rogers 2000. Review: a bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. *Australian Journal of Soil Research* 38(6): 1037–1086.
- Muin, A. 2002. Penggunaan Mikoriza Untuk Menunjang Pembangunan Hutan Pada Lahan Kritis Atau Marginal. Dalam <http://www.hayatiipb.com/users/rudyct/PPs702/ABDURRANI.htm>.
- Muin, A. 2003. Penggunaan Mikoriza untuk Menunjang Pembangunan Hutan pada Lahan Kritis atau Marginal. <http://www.hayatiipb.com/users/PPs702.htm>.
- Muhibuddin, A. 2006. Model matematik populasi vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) pada pergiliran tanaman jagung dan kedelai di

- jatikerto Malang. Disertasi. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Muhibuddin, A. 2010. Antagonisme streptomyces terhadap *Sclerotium rolfsii* sacc. penyebab penyakit rebah semai pada tanaman kedelai.
- Muhibuddin, A. 2014. Soil Drive Nutrients Creation through Alternate Host System Propagation of VAM to Support Selective Exploration of Microbial Fermentation.
- Pratiwi & R. Garsetiasih. 2007. Sifat Fisik dan Kimia Tanah serta Komposisi Vegetasi di Taman Wisata Alam Tangkuban Perahu, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, IV(5): 457-466.
- Priyanto, Budhi & Prayitno, J. 2002. Fitoremediasi sebagai sebuah teknologi pemulihan pencemaran, khususnya logam berat.
- Priyanto, Budhi & Priyatno, J. 2007. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khusus Logam Berat. *Journal of Biotechnology*, 6 (3) : 285-300.
- Pujiyanto. 2001. Pemanfaatan Jasad Mikro Jamur Mikoriza dan Bakteri Dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan di Indonesia : Tinjauan dari Perspektif Falsafah Sains.
- Pusluhtan Kementan. 2011. Penampakan Fisik Tanaman Kedele Dan Gejala Kekurangan/Kelebihan Unsur Hara Mangan, Boron Dan Aluminium Dalam Tanah. Published on Cyber Extension. <http://cybex.pertanian.go.id>
- Rizqiani, N.F., Ambarwati, E. & Yuwono,W.N. 2007. Pengaruh Dosis dan Frekuensi Pemberian Pupuk Cair Terhadap Pertumbuhan dan Hasil.
- Rossiana, N. & Titin, S. 2003. Fitoremediasi Lumpur Minyak Bumi Dengan Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) Bermikoriza Skala Rumah Kaca. Dalam Seminar dan Pameran Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan. Bandung.
- Sa'id, E. G. 1994. Pestisida. Kanisius, Yogyakarta.
- Sastrahidayat, I.R. 2010. Rekeyasa Pupuk hayati mikoriza dalam meningkatkan produksi pertanian. Penerbit Universitas Brawijaya, Malang.

- Sastrahidayat, I.R. 2011. Rekayasa Pupuk Hayati Mikoriza Dalam Meningkatkan Produksi Pertanian. Universitas Brawijaya Press, Malang.
- Semangun, H. 1991. Penyakit-penyakit Tanaman Pangan di Indonesia. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Semangun, H. 2000. Ilmu Penyakit Tumbuhan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Setiadi, Yadi. 1996. Peranan mikoriza arbuskula dalam rehabilitasi lahan kritis di Indonesia. Dalam *Seminar Penggunaan Cendawan Mikoriza dalam Sistem Pertanian Organik dan Rehabilitasi Lahan Kritis*. Bandung.
- Simanungkalit, R. D. M. 2008. Prospek Pupuk Organik dan Pupuk Hayati di Indonesia. <http://balitanah.litbang.deptan.go.id/dokumentasi/buku/pupuk13.pdf>.
- Sofia, D. 2001. Pengaruh Pestisida dalam Lingkungan Pertanian. Fakultas Pertanian, USU. Sumatera.
- Subiksa, I.G.M. 2002. Pemanfaatan Mikoriza Untuk Penanggulangan Lahan Kritis.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme : Suatu Kajian Kepustakaan. Dalam *Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia abad 21*.
- Suryatmana, P; Setiawati, M.R; Primahesa, R. 2003. Peranan mikoriza mikofer dan bahan organik kascing dalam translokasi Pb, serapan fosfor dan hasil tanaman cabai (*Capsicum anuum*) pada tanah tercemar logam berat. Dalam *Seminar Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan*. Bandung.
- Syafrudin, R. Z. 2010. Penghilangan dan Penstabilan Limbah Budidaya Perikanan Menggunakan Kemampuan Fitoremediasi Rumput Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*, L). <https://vetiverindonesia.wordpress.com>.
- Walhi. 2006. Dampak Lingkungan Hidup Operasi Pertambangan Tembaga dan Emas Freeport-Rio Tinto di Papua. 25 Tahun WALHI, Wahana Lingkungan Hidup Indonesia. Jakarta.
- Yuwono, N. W., B. H. Purwanto & E. Hanudin. 2010. Kesuburan Tanah Lahan Petani Kentang di Dataran Tinggi Dieng. UGM, Yogyakarta.

Lampiran

Tabel Anova intensitas serangan *Sclerotium rolfsii*

SK	Db	JK	KT	Fhit	Ftab 5%	Ftab 1%
Perlakuan	8	2587.41	323.43	1.97 ^{tn}	2.51	3.71
J	2	82.14	41.07	0.25 ^{tn}	3.55	6.01
L	2	1067.82	533.91	3.25 ^{tn}	3.55	6.01
JL	4	410.7	102.67	0.62 ^{tn}	2.93	4.58
Galat	18	2957.04	164.28			
Total	26	4517.7				

Tabel Anova intensitas serangan penyakit abiotik akibat kelebihan logam Mangan

SK	Db	JK	KT	Fhit	Ftab 5%	Ftab 1%
Perlakuan	8	8774.94	1096.87	7.78 ^{**}	2.51	3.71
J	2	5040.06	2520.03	17.88 ^{**}	3.55	6.01
L	2	107.83	53.92	0.38 ^{tn}	3.55	6.01
JL	4	3627.05	906.76	6.43 ^{**}	2.93	4.58
Galat	18	2536.46	140.91			
Total	26	11311.4				

Tabel Anova jumlah spora mikoriza

SK	Db	JK	KT	Fhit	Ftab 5%	Ftab 1%
Perlakuan	8	4001.3	500.2	8.1 ^{**}	2.51	3.71
J	2	2636.2	1318.1	21.4 ^{**}	3.55	6.01
L	2	22.8	11.4	0.2 ^{tn}	3.55	6.01
JL	4	1342.3	335.6	5.4 ^{**}	2.93	4.58
Galat	18	1110.7	61.7			
Total	26	5112				

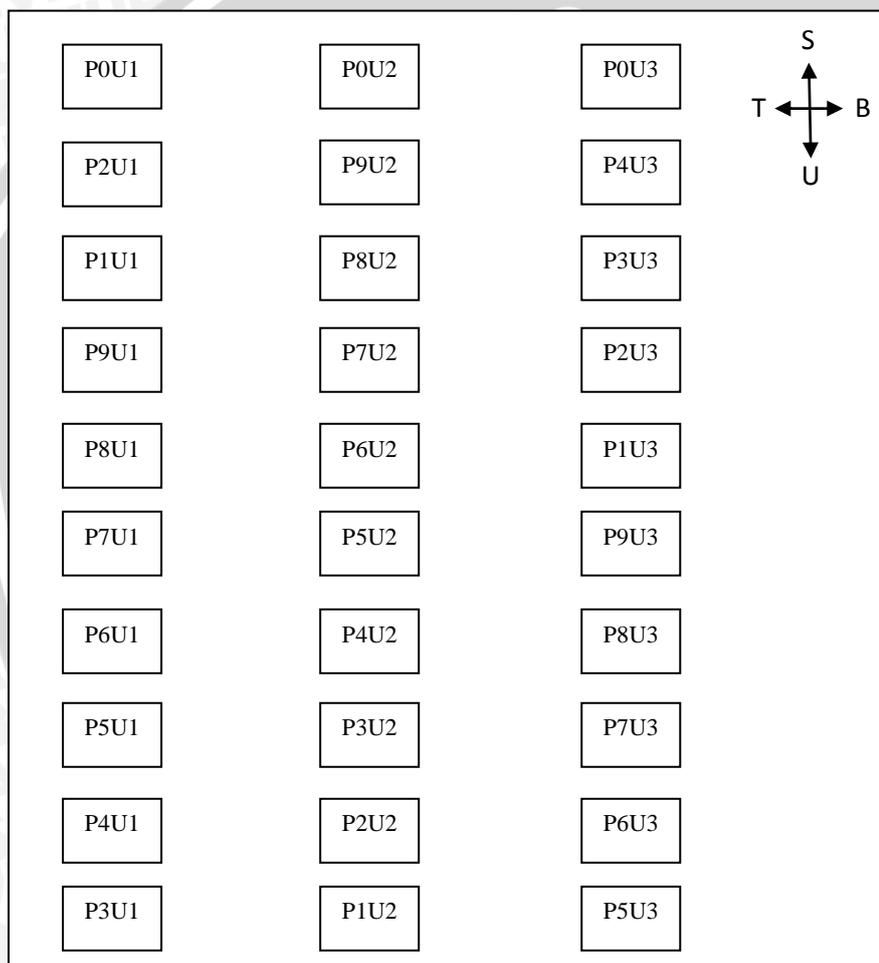
Tabel Anova tinggi tanaman kedelai

SK	Db	JK	KT	Fhit	Ftab 5%	Ftab 1%
Perlakuan	8	114.29	14.29	1.05 ^{tn}	2.51	3.71
J	2	64.29	32.15	2.36 ^{tn}	3.55	6.01
L	2	29.85	14.93	1.1 ^{tn}	3.55	6.01
JL	4	20.15	5.04	0.37 ^{tn}	2.93	4.58
Galat	18	244.67	13.59			
Total	26	358.96				

Tabel Anova jumlah daun tanaman kedelai

SK	Db	JK	KT	Fhit	Ftab 5%	Ftab 1%
Perlakuan	8	16.67	2.08	0.22 ^{tn}	2.51	3.71
J	2	0.67	0.34	0.04 ^{tn}	3.55	6.01
L	2	0.23	0.12	0.01 ^{tn}	3.55	6.01
JL	4	15.77	3.94	0.42 ^{tn}	2.93	4.58
Galat	18	170	9.44			
Total	26	186.67				

Denah percobaan



Gambar Dokumentasi



Bibit tanaman Lamtoro Gung



Bibit tanaman Jarak Pagar



Tanaman pengamatan



Perlakuan dalam polybag



Pengukuran tinggi kedelai



Perhitungan jumlah daun kedelai



Pengamatan penyakit



Penyiraman & pemeliharaan



Serbuk logam Mangan (Mn)



Larutan Mangan (Mn) 5 ppm



Saringan bertingkat



Mikroskop

Deskripsi kedelai varietas Wilis

Dilepas tanggal	: 21 Juli 1983
SK Mentan	: TP240/519/Kpts/7/1987
No.Induk	: B 3034
Asal	: Hasil seleksi keturunan orba x No. 1682
Hasil rata-rata	: 1,6 t/ha
Warna hipokotil	: Ungu
Warna batang	: Hijau
Warna daun	: Hijau – hijau tua
Warna bulu	: Coklat tua
Warna bunga	: Ungu
Warna kulit biji	: Kuning
Warna polong tua	: Coklat tua
Warna hilum	: Coklat tua
Tipe tumbuh	: Determinit
Umur berbunga	: ± 39 hari
Umur matang	: 85-90 hari
Tinggi tanaman	: ± 50 cm
Bentuk biji	: Oval,agak pipih
Bobot 100 biji	: ± 90 gr
Kandungan protein	: 37%
Kandungan minyak	: 18%
Kerebahan	: Tahan rebah
Ketahanan terhadap penyakit	: Agak peka karat daun dan virus

