



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural

EFEKTIVITAS FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA DALAM MENINGKATKAN SERAPAN FOSFAT DAN PERTUMBUHAN BIBIT LEDA (*Eucalyptus deglupta* Blume) DI TANAH PASCATAMBANG

IDA ROSITA



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2016**



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskula dalam Meningkatkan Serapan Fosfat dan Pertumbuhan Bibit Leda (*Eucalyptus deglupta* Blume) di Tanah Pascatambang adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, September 2016

Ida Rosita
NIM E451130051

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



RINGKASAN

IDA ROSITA. Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskula dalam Meningkatkan Serapan Fosfat dan Pertumbuhan Bibit *Eucalyptus deglupta* Blume di Tanah Pasca Tambang. Dibimbing oleh SRI WILARSO BUDI R dan ARUM SEKAR WULANDARI.

Kondisi tanah yang relatif tidak subur, asam, dan mengandung toksik merupakan faktor pembatas sekaligus tantangan dalam kegiatan revegetasi di lahan pasca tambang. Penggunaan mikroorganisme seperti FMA, pemupukan, dan pemilihan jenis tanaman yang tepat dan adaptif merupakan hal yang penting dalam menunjang keberhasilan kegiatan revegetasi. FMA adalah simbiosis mutualisme antara tanaman dengan fungi yang tergolong ke dalam Glomeromycota. Pupuk P bersifat mobil di dalam tanaman akan tetapi bersifat immobil di dalam tanah. Selain itu pupuk P pada tanah yang masam banyak diikat oleh unsur Al dan Fe sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Menurut Budi ((2012) FMA mengeluarkan enzim fosfatase yang dapat melepas ikatan Al/Fe-P pada tanah yang masam sehingga unsur P dapat diserap oleh hifa maupun akar tanaman. Leda merupakan jenis tanaman cepat tumbuh (*fast growing species*) yang bisa digunakan dalam kegiatan revegetasi di tanah pascatambang. Pada kegiatan revegetasi, leda mampu tumbuh pada kondisi tanah yang miskin hara, mudah tererosi, dan berpasir.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas FMA dan pupuk P dalam meningkatkan pertumbuhan bibit leda, meningkatkan serapan hara P, dan meningkatkan efisiensi serapan hara P. Penelitian ini dilakukan di rumah kaca Departemen Silvikultur IPB dan Laboratorium Tekonologi Mikoriza dan Kualitas Bibit Departemen Silvikultur IPB pada Bulan Agustus 2015 sampai dengan Pebruari 2016. Rancangan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap dengan pola desain split splot terdiri dari dua faktor. Aplikasi FMA sebagai petak utama terdiri dari 5 taraf, M0 (kontrol), M1 (FMA dari tanaman karet), M2 (FMA dari hutan primer), M3 (FMA dari perkebunan sawit), and M4 (FMA dari karet alam). Pupuk P sebagai anak petak terdiri dari 3 taraf, 0 g P/tanaman (P0), 2 g P/tanaman (P1), dan 5 g P/tanaman (P2). Secara umum mikoriza yang berasal dari hutan alam dan yang berasal dari ekosistem karet alam yang dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman memberikan efektivitas yang lebih tinggi dalam meningkatkan pertumbuhan pada bibit leda. FMA yang berasal dari empat tipe ekosistem menunjukkan efektivitas yang berbeda ketika dikombinasikan dengan dosis pupuk yang berbeda. Secara keseluruhan keempat FMA yang dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman memberikan nilai serapan hara tertinggi pada bibit leda. Nilai efisiensi penyerapan hara P tertinggi terdapat pada bibit kontrol dan terkecil terdapat pada bibit yang diinokulasi FMA yang berasal dari tanaman karet, hutan alam, dan karet alam yang dikombinasikan dengan pupuk 5 g/tanaman.

Kata kunci: FMA , fosfat, leda, nitrogen, pertumbuhan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



SUMMARY

IDA ROSITA. Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Improving Phosphate Uptake and Growth of Leda (*Eucalyptus deglupta* Blume) Seedling in Post Mining Soil. Supervised by SRI WILARSO BUDI R and ARUM SEKAR WULANDARI.

Nutrient deficiency, acidity, and toxicity of the soil is restriction factor and also challenge in revegetation at post mining soil. Using microorganism namely AMF, fertilizer, and appropriately plant selection are important things in supporting revegetation success. AMF is mutualism symbiosis between host plant with fungi which included to Glomeromycota. Host plant obtains more nutrient particularly P nutrient while fungi obtains food supply namely exudate that produced by plant. P nutrient is macro nutrient that has an important role in plant growth. P nutrient is mobile in a plant but immobile in a soil. Furthermore, in acid soil, P nutrient is fixed by Al and Fe so that not available for plant. AMF role is very important in releasing its fixation by phosphatase enzyme. Leda (*Eucalyptus deglupta*) is one of fast growing species that can be used for revegetation in post mining area. In reclamation process, leda is able to grow in poorly soil nutrient (Orwa *et al.* 2009).

The aims of this research were to analyze the effectiveness of AMF and P fertilizer on growth of leda seedling and also to analyze P uptake and P efficiency of leda seedling. This research used completely randomized design-split plot consisted of two factors, namely AMF and P fertilizer. AMF application as a main plot consisted of 5 levels, such as M0 (control), M1 (AMF from rubber plant), M2 (AMF from primary forest), M3 (AMF from oil palm plantation), and M4 (AMF from natural rubber). P fertilizer namely rock phosphate as a subplot, consisted of three levels, such as 0 g P/plant (P0), 2 g P/plant (P1), and 5 g P/plant (P2). Observed parameters were height and diameter increment, shoot dry weight, root dry weight, total dry weight, P uptake, P uptake efficiency, seedling quality index, colonization rate, and relative mycorrhizal dependency.

The result showed that AMF originated from 4 ecosystems gave the different effectiveness in improving leda growth. Generally, AMF originated from natural forest and natural rubber that combined with P fertilizer 2 g/plant gave more effectiveness in improving leda growth. AMF originated from four ecosystems gave the different effectivity when combined with different P fertilizer. Overall, four FMA which combined with P fertilizer 2 g/plant gave the most P uptake in leda seedling. Fertilizer application tend to decrease P uptake efficiency in leda seedling. The biggest value of P uptake efficiency was in control seedling and the least is seedling that was inoculated by AMF from rubber plant, natural plant, and natural rubber combined by P fertilizer 5 g/plant.

Keywords: FMA, growth, leda, nitrogen, phosphate



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2016
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural

EFEKTIVITAS FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA DALAM MENINGKATKAN SERAPAN FOSFAT DAN PERTUMBUHAN BIBIT *Eucalyptus deglupta* BLUME DI TANAH PASCATAMBANG

IDA ROSITA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains
pada
Program Studi Silvikultur Tropika

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2016**



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Penguji Luar Komisi pada Ujian Tesis: Dr Ir Prijanto Pamoengkas, M.For.Sc



Judul Tesis : Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskula dalam Meningkatkan Serapan Fosfat dan Pertumbuhan pada Bibit *Eucalyptus deglupta* Blume di Tanah Pascatambang

Nama : Ida Rosita
NIM : E451130051

Disetujui oleh
Komisi Pembimbing

Prof Dr Ir Sri Wilarso Budi R, MS
Ketua

Dr Ir Arum Sekar Wulandari, MS
Anggota

Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Silvikultur Tropika

Dekan Sekolah Pascasarjana

Prof Dr Ir Sri Wilarso Budi R, MS

Dr Ir Dahrul Syah, MScAgr

Tanggal Ujian:

Tanggal Lulus:

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2015 ini ialah revegetasi, dengan judul Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskula dalam Meningkatkan Serapan Fosfat dan Pertumbuhan Bibit *Eucalyptus deglupta* Blume di Tanah Pascatambang.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Prof Dr Ir Sri Wilarso Budi dan Ibu Dr Ir Arum Sekar Wulandari, MS selaku pembimbing, serta Bapak Dr Prijanto Pamoengkas, M.For.Sc yang telah banyak memberi saran. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada DIKTI yang memberikan dukungan berupa beasiswa selama dua tahun. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, suami, dan seluruh keluarga atas segala doa, motivasi, dan kasih sayangnya. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman Silvikultur Tropika 2013, Yanti, Tami, Jenny, Yosi, Eka, Niechi, dan Ereko atas kebersamaan dan dukungannya, teman-teman di Wisma Balio Atas, Fawwarahy, Dewi, Novi, Nae, Puriyani, Dian, Nener, dan Kak Wastu atas kebersamaan dan perhatiannya selama ini. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, September 2016

Ida Rosita

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

(Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
Perumusan Masalah	3
Tujuan Penelitian	3
Hipotesis	3
Manfaat Penelitian	3
METODE	3
Waktu dan Tempat Penelitian	3
Alat dan Bahan	4
Prosedur Penelitian	4
Pengambilan Sampel Fungi	4
Identifikasi dan Persiapan Inokulan	4
Uji Efektivitas Fungi	5
Rancangan Percobaan dan Analisis Data	7
Analisis Data	7
HASIL DAN PEMBAHASAN	8
A. Hasil Penelitian	8
B. Pembahasan	14
KESIMPULAN DAN SARAN	23
Kesimpulan	23
Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN	28
RIWAYAT HIDUP	

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



DAFTAR TABEL

1	Hasil analisis awal tanah pasca tambang	8
2	Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk terhadap pertambahan tinggi leda	9
3	Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk terhadap pertambahan diameter leda	9
4	Pengaruh interaksi FMA dan pupuk terhadap pertambahan tinggi dan diameter bibit leda	10
5	Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk terhadap serapan dan efisiensi hara P	11
6	Pengaruh interaksi FMA dan pupuk terhadap serapan hara dan efisiensi hara	11
7	Tabel Pengaruh pupuk P terhadap efisiensi serapan hara P	12
8	Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk P terhadap bibit leda	12
9	Pengaruh interaksi FMA dan pupuk P terhadap berat kering pucuk dan total bibit leda	12
10	Pengaruh interaksi pupuk dan FMA terhadap Indeks Mutu bibit Leda	13
11	Ketergantungan bibit leda terhadap keberadaan FMA	14

DAFTAR GAMBAR

1	Spora FMA (M1=FMA berasal dari tanaman karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari karet alam)	4
2	Visualisasi bibit leda pada semua perlakuan	11
3	Persentase akar leda yang diinokulasi FMA (M1=FMA berasal dari perkebunan karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari ekosistem karet alam, FMA=fungi mikoriza arbuskula; P0=tanpa pupuk P; P1=pupuk P 2 g/tanaman; P2=pupuk P 5 g/tanaman)	13
4	A) Akar yang tidak terkolonisasi mikoriza B) Akar yang terkolonisasi mikoriza	14
5	Visualisasi bibit leda dari ujung daun hingga akar	21

DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil Analisis Tanah	29
2	Hasil analisis Kandungan Hara P	30

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural



PENDAHULUAN

Industri pertambangan di Indonesia memberi kontribusi bagi perekonomian nasional. Banyak investor asing maupun lokal yang tertarik untuk menginvestasikan modalnya di bidang usaha ini. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) penerimaan negara dari sektor ESDM mencapai 30,2% dari penerimaan nasional atau mencapai 214 triliun. Peran sektor ESDM dalam memacu roda perekonomian nasional bukan hanya dalam bentuk sumber devisa dan penerimaan negara saja, tetapi mencakup kegiatan ekonomi lain seperti penyerapan tenaga kerja, penyediaan bahan baku industri, dan bahan bakar domestik. Namun pada hakikatnya kegiatan penambangan memberikan dampak negatif bagi lingkungan di antaranya berdampak negatif bagi kualitas tanah dan hilangnya vegetasi yang ada di atasnya.

Kegiatan penambangan terutama penambangan dengan metode penambangan terbuka (*open mining*) menyebabkan penurunan kualitas sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Menurut Munawar (2011) secara fisik kegiatan penambangan mengakibatkan rendahnya porositas tanah oleh aktivitas pemadatan tanah, rendahnya kadar air, dan semakin tingginya suhu tanah akibat hilangnya vegetasi penutup tanah. Secara kimia kegiatan penambangan mengakibatkan penurunan jumlah hara terutama unsur hara makro seperti N, P, dan K, penurunan pH tanah, dan larutnya logam-logam berat. Selain itu kegiatan penambangan dapat mengurangi kualitas biologi tanah dengan menurunnya keanekaragaman mikroorganisme tanah yang umumnya berperan penting sebagai dekomposer (pengurai) bahan organik.

Peraturan Pemerintah No. 76 Tahun 2008 mengharuskan setiap perusahaan tambang untuk melakukan kegiatan revegetasi pada lahan-lahan kritis bekas tambang untuk meningkatkan produktivitas lahan bekas tambang. Revegetasi adalah usaha untuk memperbaiki dan memulihkan vegetasi yang rusak melalui kegiatan penanaman dan pemeliharaan pada lahan bekas tambang. Kondisi tanah kritis, masam, dan miskin hara merupakan tantangan dan sekaligus faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman dalam kegiatan revegetasi di tanah pasca tambang.

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) merupakan mikroorganisme yang dapat digunakan dalam membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman terutama tanaman yang tumbuh di tanah-tanah yang kritis dan tanah yang mengalami defisiensi hara seperti tanah pasca tambang. Mikoriza arbuskula merupakan simbiosis mutualisme antara akar tanaman dengan kelompok fungi yang tergolong ke dalam filum Glomeromycota. Istilah simbiosis mutualisme ini seringkali digunakan untuk menggambarkan hubungan mutualistik yang saling ketergantungan, tanaman inang menerima nutrisi mineral sedangkan fungi mendapatkan senyawa karbon yang dihasilkan dari proses fotosintesis (Harley 1989). Menurut Brundett *et al.* (1996) fungi mikoriza memiliki peran penting dalam ekosistem alam maupun buatan. Peran bagi tanaman di antaranya menyuplai unsur hara melalui akar (Min *et al.* 2005), antagonis terhadap organisme parasit (Askar dan Rashad 2010), dan adaptif pada tanah yang kering (Quilambo *et al.* 2005). Pada ekosistem, mikoriza berperan dalam siklus dan konservasi unsur hara melalui miselia tanah, memperbaiki struktur tanah, berperan dalam transpor karbon dari akar tanaman pada organisme tanah lainnya (Alloush *et al.* 2001), dan sebagai bio-indikator kualitas lingkungan dalam hal keragaman fungi (Munkvold *et al.* 2004). Dalam kegiatan revegetasi di lahan pasca tambang, mikoriza memiliki banyak peran di antaranya membantu dalam menyediakan unsur hara,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan akibat hilangnya vegetasi penutup tanah, meningkatkan toleransi tanaman terhadap kondisi tanah yang masam dan logam berat yang bersifat toksik. Salt *et al.* (1998) menyatakan bahwa mikoriza dapat mengurangi stress tanaman pada kondisi lahan pasca tambang dengan suhu lingkungan yang tinggi, asam, dan kering. Selain itu Khan (2006) menambahkan bahwa pada lahan pasca tambang, nitrogen, fosfat, dan potasium mengalami defisiensi tetapi dapat ditingkatkan penyerapannya oleh tanaman dengan adanya peran FMA. Chen *et al.* (2005) menegaskan bahwa FMA yang terdapat di persemaian maupun di lapangan dapat meningkatkan pertumbuhan dan viabilitas tanaman dalam tanah yang bersifat asam dan dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap logam berat.

Peran FMA dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman di tanah pasca tambang yang mengandung banyak logam berat telah banyak dibuktikan seperti hasil studi Bissonnette (2009) yang menyatakan bahwa inokulasi FMA dengan jenis *Glomus* sp dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman *Salix viminalis* dalam kondisi tanah kritis dan banyak mengandung logam berat. Peran ini erat kaitannya dengan peningkatan serapan hara P dalam tanaman oleh FMA. Pupuk P merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan dalam jumlah yang banyak oleh tanaman akan tetapi ketersediaannya untuk tanaman relatif rendah. Pada kondisi tanah yang masam, unsur P banyak diikat oleh Al dan Fe sedangkan pada tanah alkalis unsur P banyak diikat oleh Ca dan Mg (Hardjowigeno 2003). Menurut Chen *et al.* (2005) FMA dapat melepas ikatan antara Al dan P serta Fe dan P sehingga unsur P menjadi tersedia untuk tanaman. Peterson (2004) mengatakan bahwa pada dasarnya FMA memiliki kemampuan berasosiasi dengan lebih dari 80% tanaman vaskular akan tetapi berbeda-beda efektivitasnya dalam meningkatkan pertumbuhan maupun serapan hara tanaman. Perbedaan tersebut tergantung pada jenis dan sumber FMA itu sendiri, lingkungan, dan juga jenis tanaman yang diasosiasikan. Menurut Abbott *et al.* (1992) efektivitas FMA tidak hanya didefinisikan sebagai kemampuan FMA untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman pada tanah yang mengalami defisiensi fosfat, melainkan akan lebih bervariasi tergantung pada pengaruh lingkungan tanah terhadap karakteristik fungi yang berhubungan dengan pembentukan dan fungsi hifa dalam tanah serta akar.

Pemilihan jenis tanaman yang adaptif dan juga dapat berasosiasi dengan baik dengan FMA merupakan hal penting dalam menunjang keberhasilan kegiatan revegetasi di tanah pasca tambang. Jenis-jenis tanaman yang cepat tumbuh (*fast growing species*), pionir, tahan pada kondisi kekeringan dan asam, serta dapat beradaptasi dengan tanah yang mengalami defisiensi hara dapat dijadikan sebagai tanaman unggulan dalam kegiatan revegetasi di tanah pasca tambang. Salah satu jenis yang dapat digunakan dalam kegiatan revegetasi adalah leda (*Eucalyptus deglupta* Blume). Menurut Orwa *et al.* (2009) leda merupakan salah satu tanaman kehutanan yang hidup secara alami di Indonesia, Filipina, dan Papua New Guinea. Leda memerlukan cahaya yang penuh dalam pertumbuhannya sehingga sangat cocok untuk ditanam di area terbuka seperti area pasca tambang. Selain itu, jenis ini memiliki riap pertumbuhan yang cepat (*fast growing species*). Penyebaran leda cukup luas yakni dapat hidup pada area dengan ketinggian 0 – 1800 mdpl dan tumbuh dengan baik pada tanah yang berpasir. Leda memiliki banyak kegunaan, di antaranya dapat digunakan sebagai bahan bakar. Nilai energi dari kayu leda mencapai 18.500 – 21.100 kJ/kg. Dalam industri kertas, leda dijadikan sebagai bahan baku *pulp* dengan kualitas kecerahan kertas yang baik. Selain itu leda dapat digunakan sebagai bahan baku papan partikel. Fungsi lain dari kayu leda dapat digunakan sebagai bahan *furniture*, kayu lapis, dan

bahan lantai. Dalam kegiatan reklamasi, leda mampu tumbuh di area yang tererosi dan miskin hara dan karena kulit batangnya yang cantik dengan pertumbuhan yang cepat menyebabkan jenis ini banyak ditanam sebagai pohon hias.

Penelitian ini akan menguji efektivitas FMA yang berasal dari empat tipe ekosistem pada tanaman leda. Bagaimana peran FMA dalam meningkatkan pertumbuhan dan serapan hara P pada tanaman leda di media tanah pasca tambang?

Perumusan Masalah

1. Apakah fungsi mikoriza arbuskula yang berasal dari empat tipe ekosistem, berbeda efektivitasnya dalam meningkatkan pertumbuhan bibit leda?
2. Apakah fungsi mikoriza arbuskula yang berasal dari empat tipe ekosistem berbeda efektivitasnya dalam meningkatkan serapan P pada bibit leda?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk (1) mengkaji efektivitas FMA yang berasal dari empat tipe ekosistem dalam meningkatkan pertumbuhan leda pada tanah pasca tambang, (2) mengkaji efektivitas FMA dalam meningkatkan serapan fosfat pada bibit leda, dan (3) mengkaji efektivitas FMA dalam meningkatkan efisiensi penyerapan fosfat pada bibit leda.

Hipotesis

1. Terdapat perbedaan efektivitas FMA yang berasal dari empat tipe ekosistem dalam meningkatkan pertumbuhan bibit leda
2. Terdapat perbedaan efektivitas FMA yang berasal dari empat tipe ekosistem dalam meningkatkan serapan P
3. Terdapat perbedaan efektivitas FMA yang berasal dari empat tipe ekosistem dalam meningkatkan efisiensi penyerapan P

Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai efektivitas FMA dari empat tipe ekosistem dalam meningkatkan pertumbuhan leda pada media tanah pasca tambang.
2. Memberikan informasi mengenai efektivitas FMA dari empat tipe ekosistem dalam meningkatkan serapan fosfat pada media tanah pasca tambang.
3. Memberikan informasi mengenai efektivitas FMA dari empat tipe ekosistem dalam meningkatkan efisiensi penyerapan P pada media tanah pasca tambang

METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan dari Bulan Agustus 2015 sampai dengan Bulan Pebruari 2016 di Laboratorium Teknologi Mikoriza dan Kualitas Bibit serta rumah kaca Departemen Silviculture Fakultas Kehutanan IPB.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah timbangan, saringan mikro berukuran 500 μ m, 125 μ m, dan 63 μ m, cawan petri, *dissecting microscope*, *compound microscope*, pipet mikro, pinset spora, *cutter*, oven, kompor gas, wajan, meteran, label, dan *handsprayer*.

Bahan yang digunakan adalah bibit leda, populasi FMA yang berasal dari Hutan Harapan, Jambi terdiri dari empat tipe ekosistem yang berbeda, yaitu ekosistem hutan primer, ekosistem karet alam, ekosistem karet tanaman, dan perkebunan sawit, pupuk P (*rock phosphate*), aquades, polibag, tanah, gliserin, asam laktat, KOH, HCl, biru tripan.

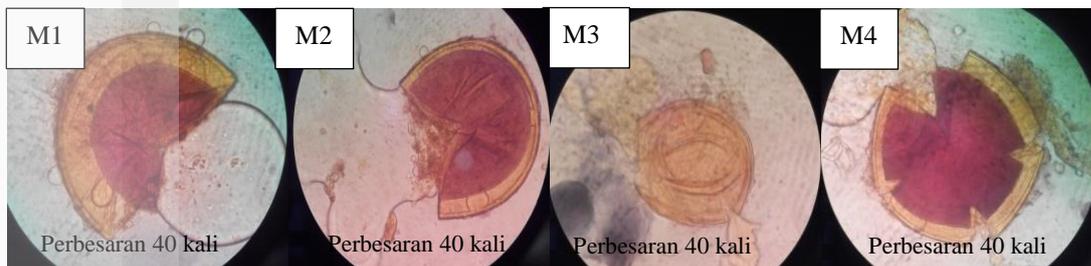
Prosedur Penelitian

Pengambilan Sampel Fungi

Sampel FMA berasal dari Hutan Harapan, Jambi terdiri dari empat tipe ekosistem, yakni ekosistem hutan alam, tegakan karet alam, tegakan karet tanaman, dan perkebunan sawit. Sampel FMA tersebut kemudian diperangkap dengan menggunakan tanaman *Pueraria javanica* (PJ) pada media zeolit.

Identifikasi dan Persiapan Inokulan

Fungi arbuskula yang telah diperbanyak dengan metode *trapping* diidentifikasi secara morfologi. Identifikasi morfologi dilakukan dengan mengukur dan mengamati ukuran dan warna spora, reaksi dengan larutan melzer (*lipid droplet*), ornamen spora, dan bentuk hifa yang melekat pada dinding spora. Spora yang sudah diidentifikasi kemudian dikumpulkan berdasarkan genus yang sama untuk digunakan sebagai inokulan. Spora genus FMA yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Acaulospora* spp. Spora FMA yang digunakan berasal dari empat tipe ekosistem ditunjukkan pada Gambar 1 M1 merupakan spora FMA yang berasal dari ekosistem hutan tanaman karet, Gambar M2 merupakan spora FMA yang berasal dari hutan alam, Gambar M3 merupakan spora FMA yang berasal dari perkebunan sawit, dan Gambar M4 merupakan spora FMA yang berasal dari ekosistem karet alam.



Gambar 1 Spora FMA *Acaulospora* sp. yang berasal dari empat tipe ekosistem (M1=FMA berasal dari tanaman karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari karet alam)

Uji Efektivitas Fungi

1. Persiapan Media Semai dan Sapih

Media semai yang digunakan untuk leda adalah cocopeat. Sebelum media digunakan, cocopeat harus diayak terlebih dahulu dengan tujuan untuk mendapatkan butiran yang halus, dan memisahkan kotoran dari media tersebut. Setelah itu media dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C sebagai tahapan sterilisasi selama 24 jam. Setelah proses sterilisasi selesai, cocopeat direndam dengan air aquades selama 24 jam. Cocopeat kemudian dimasukkan ke dalam bak kecambah dan benih leda siap untuk dkecambahkan. Media sapih yang digunakan adalah tanah pasca tambang yang berasal dari Holcim Educational Forest (HEF). Sebelum dimasukkan ke dalam polibag, media diayak terlebih dahulu. Untuk perlakuan pupuk *rock phosphate* (P) ke media sapih, pupuk dicampur sampai merata dengan tanah pada taraf 0 g, 2 g, dan 5 g kemudian dimasukkan ke dalam polybag berukuran 20 cm x 20 cm. Polibag kemudian diberi label sesuai dengan perlakuan. Semua media yang digunakan disterilisasi terlebih dahulu sebelum dicampur dengan pupuk P dengan penyangraian selama 2 jam. Tanah yang berasal dari HEF dianalisis sifat fisik dan kimianya di Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.

2. Persiapan bibit Leda

Kriteria bibit yang akan disapih ke dalam polibag adalah bibit yang sehat, tidak terserang hama maupun penyakit. Tinggi bibit yang digunakan adalah \pm 4 cm dengan diameter \approx 0,4 cm dengan jumlah daun sebanyak 6 helai.

3. Inokulasi FMA dan Pemberian Pupuk P

Setelah semai disapih dan dipelihara selama dua minggu atau sampai semai dapat beradaptasi (stabil) dilakukan inokulasi FMA. Inokulasi dilakukan dengan cara memberikan inokulum FMA ke lubang tanam sebanyak 30. Pemberian pupuk dilakukan selama dua kali. Pemberian pupuk yang pertama dilakukan bersamaan dengan inokulasi FMA dan yang kedua dilakukan pada minggu ke-6 setelah inokulasi.

4. Pemeliharaan

Seluruh semai diletakkan di dalam rumah kaca selama tiga bulan. Penyiraman semai dilakukan dua kali sehari yaitu pada pagi dan sore hari agar media tetap lembab. Selain itu dilakukan pembersihan gulma dan perbaikan posisi polibag.

5. Pengamatan Parameter dan Pengumpulan Data

Parameter yang diamati selama pengamatan yaitu: (1) tinggi bibit, (2) diameter batang, (3) pengukuran berat kering akar, pucuk dan total, (4) perhitungan indeks mutu bibit (IMB), (5) kolonisasi FMA, (6) serapan hara P, (7) efisiensi penyerapan P, (8) dependensi mikoriza relatif. Selain itu dilakukan pula analisis sifat fisik-kimia tanah awal.

Tinggi Bibit. Tinggi bibit diukur setiap 2 minggu setelah penyapihan. Untuk mengukur bibit digunakan alat bantu penggaris. Tinggi bibit ditentukan dari pangkal batang hingga ujung bibit.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Diameter bibit. Diameter diukur dengan menggunakan kaliper. Pengukuran dilakukan pada batang dengan ketinggian sekitar 1 cm dari pangkal batang. Pengukuran dilakukan selama tujuh kali yakni pada minggu ke-0, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12.

Pengukuran Berat Kering. Berat kering diukur setelah kegiatan pemanenan. Bibit dibagi menjadi dua bagian yakni bagian akar dan bagian pucuk. Kemudian masing-masing bagian dibungkus secara terpisah dan dikeringkan selama 48 jam pada suhu 80 °C. Selanjutnya dilakukan penimbangan. Berat kering total bibit diperoleh dengan menjumlahkan berat kering akar dan pucuk sesuai dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Berat Kering Total} = \text{Berat Kering Pucuk} + \text{Berat Kering Akar}$$

Indeks Mutu Bibit (IMB). Menurut Lackey dan Alm (1982), indeks mutu bibit dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$IMB = \frac{A + B}{\frac{C}{D} + \frac{A}{B}}$$

Keterangan:

- IMB indeks mutu bibit
- A bobot kering pucuk (g)
- B bobot kering akar (g)
- C tinggi tanaman (cm)
- D diameter tanaman (mm)

Bibit yang baik dan mampu bertahan di lapangan yaitu jika memiliki nilai $IMB > 0.09$ (Dickson *et al.* 1960).

Proses Pewarnaan Akar dan Kolonisasi FMA. Proses pewarnaan akar dilakukan dengan metode Clapp (1996). Tahap pertama adalah pencucian akar yang masih muda sampai bersih dengan menggunakan air destilata. Setelah akar bersih dari kotoran akar direndam dengan menggunakan larutan KOH 20% selama 1–3 hari. Lama perendaman tergantung pada kadar lignin, umur akar, dan jenis tanaman. Akar yang sudah berwarna kuning kemudian dicuci dengan air dan menggunakan penyaring spora dan kemudian rendam dalam larutan HCL 0.1 M. Akar tersebut kemudian direndam dengan pewarna biru tripan selama 1–3 hari. Setelah pewarna menyerap ke seluruh bagian akar, akar kemudian dicuci dan direndam kembali dengan larutan destaining satu malam atau lebih. Akar kemudian dipotong-potong sepanjang satu cm, lalu disusun pada gelas objek (satu gelas objek untuk 10 potong akar). Untuk setiap tanaman sampel dibuat tiga preparat. Selanjutnya diamati di bawah *compound microscope*. Potongan akar pada kaca preparat diamati untuk setiap bidang pandang.

Perhitungan persentase kolonisasi dilakukan dengan menggunakan metode Brundrett *et al.* (1996) Bidang pandang yang terkoloni ditunjukkan dengan adanya tanda-tanda seperti hifa, arbuskula maupun vesikula. Persentase kolonisasi akar dihitung dengan rumus yang dikembangkan oleh Brundrett *et al.* (1996):

$$\% \text{ Kolonisasi} = \frac{\sum \text{Bidang pandang yang terkoloni}}{\sum \text{Keseluruhan bidang}} \times 100\%$$

Serapan Hara dan Efisiensi Penyerapan Hara P. Pengukuran kandungan unsur P dan N pada bibit yang telah diinokulasi dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Perhitungan nilai serapan hara dan efisiensi hara dilakukan dengan menggunakan rumus (Ardakani 2011)

$$\text{Efisiensi Penyerapan Hara} = \frac{\text{Serapan Hara Tanaman}}{\text{Jumlah hara yang ditambahkan}}$$

$$\text{Serapan Hara Tanaman} = \text{Bobot Total Biomassa} \times \% \text{ hara tanaman}$$

$$\text{Jumlah Hara} = \text{Kandungan Hara Tanah} + \text{Jumlah Hara yang Ditambahkan}$$

Ketertangunan Mikoriza Relatif (*Relative Mycorrhizal Dependency*). Menurut Menge *et al.* (1978) formula untuk menghitung nilai *Relative Mycorrhizal Dependency* (RMD) adalah sebagai berikut:

$$\text{RMD} = \frac{\text{Berat kering tanaman bermikoriza}}{\text{Berat kering tanaman non - mikoriza}} \times 100\%$$

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan petak terbagi (*split plot design*) dalam pola RAL yang terdiri dari dua faktor, yaitu faktor pemberian mikoriza (petak utama) terdiri dari lima taraf dan faktor pemberian pupuk *rock phosphate* (RP) sebagai anak petak terdiri dari tiga taraf. Aplikasi FMA sebagai petak utama terdiri dari 5 taraf, M0 (kontrol), M1 (FMA dari tanaman karet), M2 (FMA dari hutan primer), M3 (FMA dari perkebunan sawit), and M4 (FMA dari karet alam). Pupuk P sebagai anak petak terdiri dari 3 taraf, 0 g P/tanaman (P0), 2 g P/tanaman (P1), dan 5 g P/tanaman (P2).

Terdapat 15 perlakuan untuk setiap tanaman, tiap perlakuan dilakukan ulangan sebanyak delapan kali. Dengan demikian, jumlah total polibag pengamatan seluruhnya berjumlah 120 polibag.

Analisis Data

Data hasil pengukuran dianalisis dengan menggunakan analisis ragam. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diberikan terhadap peubah yang diamati, maka dilakukan analisis data menggunakan *software* SAS 913. Apabila hasil analisis menunjukkan perbedaan yang nyata, maka dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan (*Duncan's multiple range test-DMRT*). Model linier aditif dalam penelitian ini sebagai berikut (Mattjik dan Sumertajaya 2002):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_{ik} + \epsilon_{jk}$$

i = petak utama yaitu FMA yang terdiri dari M0, M1, M2, M3, dan M4

j	=	anak petak yaitu pupuk P yang terdiri dai P0, P1, dan P2
k	=	ulangan 1, 2, 3, ...dan 8
Yijk	=	nilai pengamatan pada petak utama taraf ke-i, anak petak taraf ke-j dan ulangan ke-k
μ	=	nilai rataan umum
α_i	=	pengaruh perlakuan petak utama yang ke-i
β_j	=	pengaruh perlakuan anak petak yang ke-j
$(\alpha\beta)_{ij}$	=	pengaruh interaksi antara perlakuan petak utama ke-i dengan perlakuan anak petak ke-j
δ_{ik}	=	komponen acak dari petak utama ke-i, ulangan ke-k yang menyebar normal
ϵ_{jk}	=	pengaruh acak dari anak petak yang menyebar normal

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Kondisi Tanah Pasca Tambang

Hasil analisis tanah awal yang dilakukan di Balai Penelitian Tanah, Cimanggu, Bogor disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil analisis, tanah pascatambang tergolong masam, dengan unsur hara, kejenuhan basa, KTK yang umumnya rendah, serta kandungan P tersedia dalam tanah sangat rendah.

Tabel 1 Hasil analisis tanah pasca tambang

No.	Parameter tanah yang dianalisis	Nilai parameter	Kriteria (Pusat Penelitian Tanah 1983)
1	pH H ₂ O	4.70	masam
2	pH KCL	3.90	masam
3	KTK	8.78	rendah
4	Kejenuhan Basa (%)	21.00	rendah
5	Ca (cmol/kg)	1.19	Sangat rendah
6	Mg (cmol/kg)	0.40	Rendah
7	C (%)	0.15	Sangat rendah
8	N(%)	0.01	Sangat rendah
9	C/N	15.00	Sedang
10	P ₂ O ₅ Bray (ppm)	1.40	Sangat rendah
11	P ₂ O ₅ Hcl 25% (mg/100g)	27.00	-
12	K ₂ O (mg/100g)	6.00	Sangat rendah
13	Pasir (%)	70.00	
14	Debu (%)	5.00	
15	Liat (%)	25.00	

Pengaruh Pupuk dan Mikoriza terhadap Pertumbuhan Tinggi dan Diameter Bibit Leda

Hasil analisis ragam pengaruh faktor FMA, pupuk, dan interaksi kedua faktor terhadap pertambahan tinggi leda disajikan pada Tabel 2. Faktor tunggal FMA tidak

berbeda nyata pada penambahan tinggi di minggu ke-8 dan 12 sedangkan faktor pupuk tidak berpengaruh nyata pada penambahan tinggi hanya pada minggu ke-8. Interaksi kedua faktor berpengaruh sangat nyata terhadap penambahan tinggi pada minggu ke-2, 4, dan 10 tetapi tidak berbeda nyata pada minggu ke-6, 8, dan 12.

Tabel 2 Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk terhadap penambahan tinggi leda

Waktu Pengamatan	FMA	Pupuk	FMA x Pupuk
2 MST	**	**	**
4 MST	**	*	**
6 MST	**	**	tn
8 MST	tn	tn	tn
10 MST	*	**	**
12 MST	tn	*	tn

**= berpengaruh sangat nyata; *= berpengaruh nyata; tn=tidak berpengaruh nyata; FMA =fungi mikoriza arbuskula; MST=minggu setelah tanam.

Pengaruh faktor FMA, pupuk P, dan interaksi kedua faktor terhadap penambahan diameter disajikan pada Tabel 3. Pengaruh tunggal dari kedua faktor secara umum berpengaruh nyata terhadap penambahan diameter akan tetapi interaksi dari kedua faktor tersebut hanya berpengaruh sangat nyata di minggu ke-12.

Tabel 3 Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk terhadap penambahan diameter leda

Waktu Pengamatan	FMA	Pupuk	FMA x Pupuk
2 MST	**	*	tn
4 MST	*	*	tn
6 MST	*	**	tn
8 MST	**	**	tn
10 MST	tn	**	tn
12 MST	*	*	**

**= berpengaruh sangat nyata; *= berpengaruh nyata; tn=tidak berpengaruh nyata; FMA =fungi mikoriza arbuskula; MST=minggu setelah tanam.

Hasil uji lanjut Duncan pengaruh interaksi FMA dan pupuk terhadap penambahan tinggi dan diameter disajikan pada Tabel 4. Mikoriza yang berasal dari karet tanaman dengan dosis pupuk 2 g/tanaman (M1P1) memberikan nilai rata-rata penambahan tinggi dan diameter terbaik pada bibit leda. Pertambahan tinggi dan diameter leda pada kontrol dan dengan perlakuan FMA tanpa pupuk cenderung lebih rendah dibandingkan dengan bibit dengan perlakuan FMA dan dengan penambahan pupuk.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 4 Pengaruh interaksi FMA dan pupuk terhadap pertambahan tinggi dan diameter bibit lada

FMA	Pupuk P (g/tanaman)		
	0	2	5
	Pertambahan tinggi minggu ke-2 (cm)		
M0	0.84bc	1.18bc	0.78bc
M1	1.29b	2.16a	0.76bc
M2	0.95bc	1.21bc	0.68c
M3	0.85bc	0.68c	0.95bc
M4	0.76bc	0.79bc	0.75bc
	Pertambahan tinggi minggu ke-4 (cm)		
M0	2.01cde	2.29bcd	1.15ef
M1	1.33e	0.39f	1.69de
M2	1.66de	2.85abc	2.86abc
M3	2.32bcd	3.59a	3.03ab
M4	2.35bcd	3.430a	2.36bcd
	Pertambahan tinggi minggu ke-10 (cm)		
M0	2.49fg	4.31abcd	5.01ab
M1	2.58fg	5.38a	4.21abcd
M2	2.39g	3.03defg	4.54abc
M3	2.50fg	3.33cdefg	4.25abcd
M4	2.85efg	3.74bcdef	3.98bcde
	Pertambahan diameter minggu ke-12 (mm)		
M0	0.33abcde	0.26abcde	0.35abcde
M1	0.22de	0.39ab	0.25abcde
M2	0.17e	0.38abc	0.22cde
M3	0.24bcde	0.24bcde	0.32abcde
M4	0.32abcde	0.35abcde	0.41a

Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom dan baris yang sama pada pengamatan parameter di minggu yang sama menunjukkan perlakuan berbeda nyata; M1=FMA berasal dari perkebunan karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari ekosistem karet alam, FMA=fungi mikoriza arbuskula.

Secara visual bibit untuk seluruh perlakuan terdapat pada Gambar 2. FMA yang berasal dari tanaman karet dengan dosis pupuk 2 g/tanaman memberikan nilai tinggi terbesar.

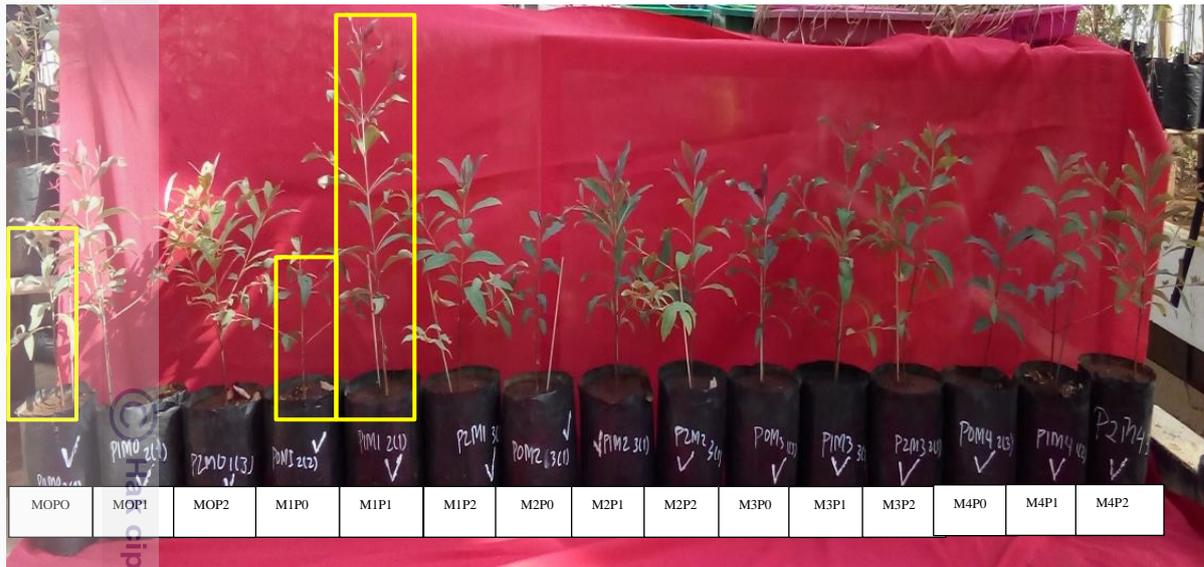
Serapan Unsur Hara P

Hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk terhadap serapan dan efisiensi serapan hara P disajikan pada Tabel 5. Faktor tunggal pupuk P berpengaruh sangat nyata dan nyata pada kedua parameter yakni serapan dan efisiensi penyerapan hara P. Interaksi kedua faktor yakni FMA dan pupuk berpengaruh nyata pada taraf nyata terhadap serapan hara P dan tidak berpengaruh nyata terhadap efisiensi penyerapan hara P.

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



Gambar 2 Visualisasi bibit leda pada semua perlakuan M1=FMA berasal dari perkebunan karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari ekosistem karet alam, FMA=fungi mikoriza arbuskula; P0=tanpa pupuk P, P1=pupuk P 2 g/tanaman; P2=pupuk P 5 g/tanaman

Tabel 5 Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk terhadap serapan dan efisiensi hara P

Parameter	FMA	Pupuk	FMA x pupuk
Serapan Hara	tn	**	*
Efisiensi Hara	tn	*	tn

** = berpengaruh sangat nyata; * = berpengaruh nyata; tn=tidak berpengaruh nyata, FMA= fungi mikoriza arbuskula.

Hasil uji lanjut Duncan pengaruh interaksi FMA dan pupuk P terhadap serapan hara P disajikan pada Tabel 6. Secara umum FMA yang dikombinasikan dengan dosis pupuk 2 g/tanaman memberikan nilai serapan hara P yang lebih baik daripada FMA yang dikombinasikan dengan pupuk P dosis 5 g/tanaman.

Tabel 6 Pengaruh interaksi FMA dan pupuk terhadap serapan hara P

FMA	Pupuk P (g/tanaman)		
	0	2	5
	Serapan Hara (g/tanaman)		
M0	0,25cd	0,36ab	0,30bc
M1	0,17de	0,40ab	0,42a
M2	0,17de	0,42a	0,32abc
M3	0,14e	0,41a	0,42a
M4	0,15de	0,38ab	0,29bc

Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan perlakuan berbeda nyata (=taraf 5%, =taraf 1%) M0=tanpa FMA; M1=FMA berasal dari perkebunan karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari ekosistem karet alam, FMA=fungi mikoriza arbuskula.

Tabel 7 pengaruh faktor tunggal pupuk P terhadap efisiensi penyerapan hara P. Perlakuan tanpa pupuk (P0) dan pupuk P 2 g/tanaman (P1) sama-sama memberikan nilai terbaik untuk efisiensi penyerapan hara P.

Tabel 7 Tabel Pengaruh pupuk P terhadap efisiensi serapan hara P

Dosis Pupuk g/tanaman	Efisiensi Penyerapan P
0	0,27a
2	0,28a
5	0,09b

Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan berbeda nyata (=taraf 5%, =taraf 1%).

Pengaruh FMA dan Pupuk terhadap Berat Kering Bibit Leda

Hasil analisis ragam pengaruh faktor FMA, pupuk P, dan interaksi kedua faktor tersebut terhadap berat kering akar, pucuk, dan total bibit leda disajikan pada Tabel 8. Interaksi kedua faktor tersebut berbeda sangat nyata pada berat kering pucuk dan total tetapi tidak berbeda nyata pada berat kering akar.

Tabel 8 Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh FMA dan pupuk P terhadap bibit leda

Parameter	FMA	Pupuk	FMA x pupuk
Berat kering akar	tn	**	tn
Berat kering pucuk	**	**	**
Berat kering total	tn	**	**

** = berpengaruh sangat nyata; * = berpengaruh nyata; tn=tidak berpengaruh nyata, FMA= fungi mikoriza arbuskula.

Interaksi FMA dan pupuk P terhadap berat kering pucuk dan total bibit leda disajikan pada Tabel 9. FMA yang berinteraksi dengan pupuk dosis 2 g/tanaman cenderung lebih efektif meningkatkan berat kering pucuk dan total bibit leda.

Tabel 9 Pengaruh interaksi FMA dan pupuk P terhadap berat kering pucuk dan total bibit leda

FMA	Pupuk P (g/tanaman)		
	0	2	5
Berat Kering Pucuk (g)			
M0	1.69e	2.74cd	2.65cd
M1	1.06e	3.10abcd	2.81bcd
M2	1.23e	3.60ab	3.73a
M3	1.14e	3,35abc	2,84bcd
M4	1.30e	2.44d	2.75cd
Berat Kering Total (g)			
M0	3.53cd	4.52bc	4.33c
M1	2.18de	4.98abc	4.62abc
M2	2.46de	5.99a	4.63abc
M3	1.93e	5.88ab	4.63abc
M4	2.54de	4.28c	4.19c

Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perlakuan berbeda nyata; M0=tanpa FMA; M1=FMA berasal dari perkebunan karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari ekosistem karet alam, FMA=fungi mikoriza arbuskula.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Bogor Agricultural

Indeks Mutu Bibit (IMB)

Nilai indeks mutu bibit pada bibit yang diberi perlakuan FMA dan pupuk P disajikan pada Tabel 10. Secara keseluruhan mutu bibit tergolong baik dengan nilai indeks >0,009. Nilai IMB tertinggi terdapat pada bibit leda yang dikolonisasi oleh FMA yang berasal dari hutan alam dengan dosis pupuk 2 g/tanaman dan terendah pada bibit yang dikolonisasi oleh FMA yang berasal dari perkebunan sawit tanpa penambahan pupuk.

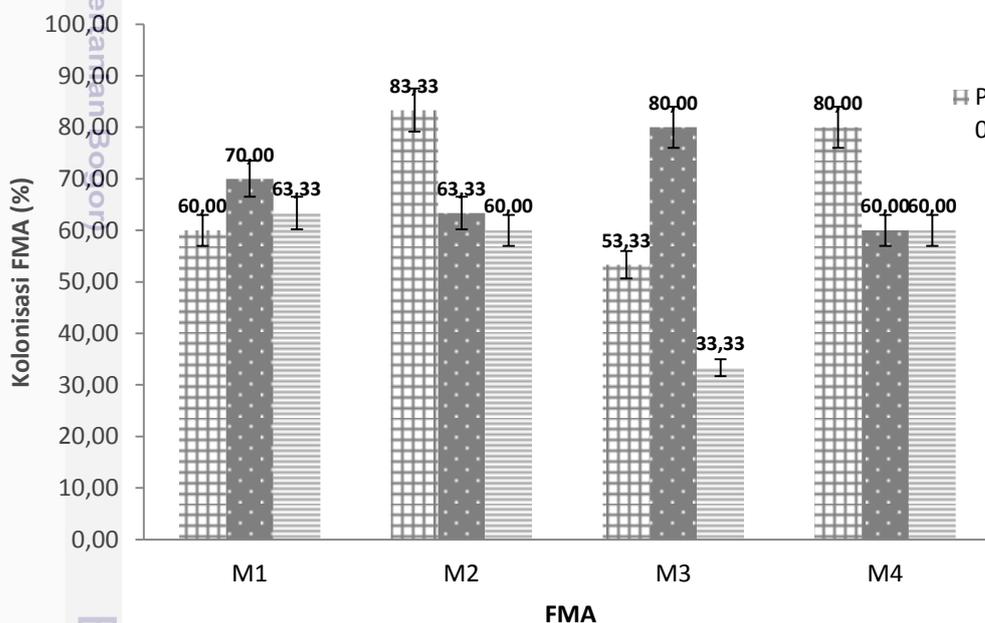
Tabel 10 Pengaruh interaksi pupuk dan FMA terhadap Indeks Mutu bibit Leda

FMA	Pupuk P (g/tanaman)		
	0	2	5
	Indeks Mutu Bibit		
M0	0.50	0.46	0.49
M1	0.27	0.47	0.49
M2	0.23	0.73	0.63
M3	0.22	0.63	0.45
M4	0.30	0.45	0.44

M0=tanpa FMA; M1=FMA berasal dari perkebunan karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari ekosistem karet alam, FMA=fungi mikoriza arbuskula

Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskula

Nilai persentase kolonisasi FMA pada akar bibit leda disajikan pada Gambar 2. Nilai persentase kolonisasi tertinggi terdapat pada akar yang diinokulasi oleh mikoriza yang berasal dari hutan alam tanpa pupuk (M2P0) sebesar 83.33%



Gambar 3. Persentase akar leda yang diinokulasi FMA (M1=FMA berasal dari perkebunan karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari ekosistem karet alam, FMA=fungi mikoriza arbuskula; P0=tanpa pupuk P; P1=pupuk P 2 g/tanaman; P2=pupuk P 5 g/tanaman); garis vertikal= persentase error pada masing-masing grafik batang.

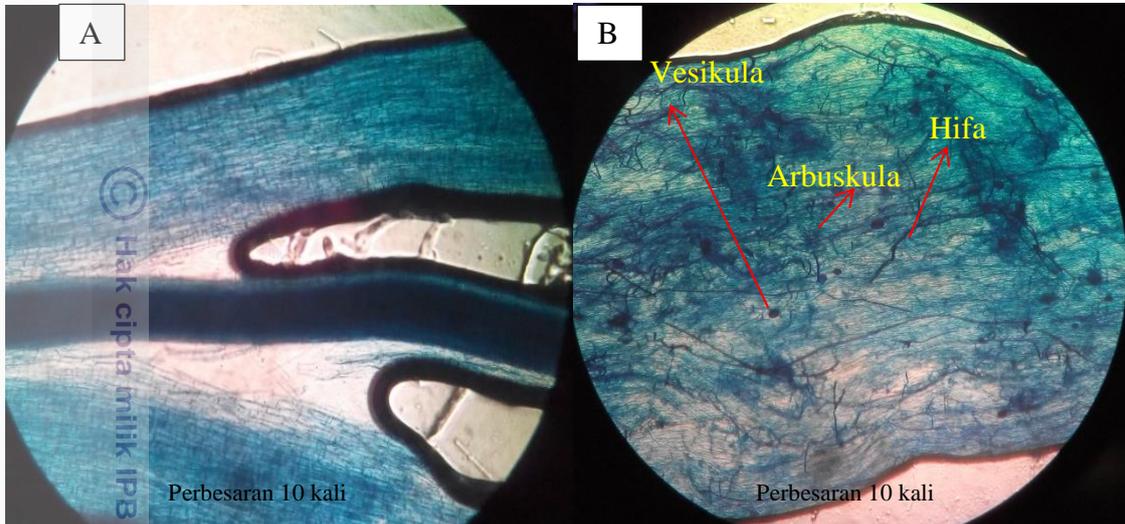
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 Hak cipta milik IPB, dilarang diperjualbelikan

Bogor Agricultural University

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Secara visual akar leda yang terkolonisasi FMA disajikan pada Gambar 4. Inokulasi FMA pada akar ditandai dengan adanya hifa internal, vesikula, dan arbuskula. Ketiga bagian tersebut memiliki peran yang penting dalam membantu meningkatkan serapan hara pada tanaman leda.



Gambar 4 A) Akar leda yang tidak terkolonisasi mikoriza B) Akar leda yang terkolonisasi mikoriza

Ketergantungan Mikoriza Relatif (*Relative Mycorrhizal Dependency/RMD*)

Ketergantungan bibit leda terhadap keberadaan FMA disajikan pada Tabel 11. Nilai ketergantungan bibit tertinggi terdapat pada FMA yang berasal dari ekosistem hutan alam (M2) dengan dosis pupuk 2 g/tanaman sebesar 169,62% sedangkan nilai ketergantungan terkecil terdapat pada FMA yang berasal dari ekosistem perkebunan sawit (M3) sebesar 54,53%.

Tabel 11 Ketergantungan bibit leda terhadap keberadaan FMA

No.	FMA	Pupuk P g/tanaman		
		0	2	5
Nilai ketergantungan mikoriza relatif (%)				
1	M1	61.60	140.85	130.75
2	M2	69.62	169.62	159.81
3	M3	54.53	166.32	130.94
4	M4	71.96	121.04	118.49

M0=tanpa FMA; M1=FMA berasal dari perkebunan karet; M2=FMA berasal dari hutan primer; M3=FMA berasal dari perkebunan sawit; M4=FMA berasal dari ekosistem karet alam, FMA=fungi mikoriza arbuskula

B. Pembahasan

Kondisi Umum Media Tanah Pascatambang

Media yang digunakan dalam penelitian ini berupa tanah pasca tambang yang diperoleh dari Holcim Educational Forest. Berdasarkan hasil analisis tanah tergolong

masam dengan pH sebesar 4.7. Menurut Hardjowigeno (2003) pada umumnya unsur hara mudah diserap oleh tanaman pada pH tanah sekitar netral (pH 7) karena pada pH tersebut unsur hara mudah larut dalam air. Pada tanah masam unsur P tidak dapat diserap tanaman karena difiksasi oleh Al dan Fe sedangkan pada tanah alkalis unsur P juga tidak dapat diserap oleh tanaman karena diserap oleh Ca dan Mg. Selain itu pada tanah-tanah yang masam banyak ditemukan ion-ion Al dalam tanah yang selain dapat memfiksasi unsur P juga merupakan racun bagi tanaman. Pada tanah yang masam unsur-unsur hara mikro mudah terlarut sehingga ditemukan unsur hara mikro yang terlalu banyak. Unsur hara mikro merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sangat kecil sehingga akan menjadi racun apabila terdapat dalam jumlah yang terlalu besar.

Kapasitas tukar kation (KTK) didefinisikan sebagai kapasitas tanah untuk menjerap dan mempertukarkan kation. Nilai KTK tanah bervariasi menurut tipe dan jumlah koloid yang ada dalam tanah (Goenadi 2000). Kation adalah ion yang bermuatan positif seperti Ca^{2+} , Mg^{+} , dan K^{+} . Kation-kation tersebut terlarut di dalam air tanah atau dijerap oleh koloid-koloid tanah. Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa nilai KTK tanah yang digunakan pada penelitian ini tergolong rendah yakni 8.78. KTK merupakan sifat kimia tanah yang sangat erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Menurut Hardjowigeno (2003) tanah dengan KTK tinggi mampu menjerap dan menyediakan unsur hara lebih baik daripada tanah dengan KTK rendah. Nilai KTK tanah juga erat kaitannya dengan komposisi liat dan bahan organik yang ada dalam tanah. Tanah-tanah dengan kandungan bahan organik dan kandungan liat mempunyai KTK lebih tinggi daripada tanah-tanah yang mengandung bahan organik rendah dan berpasir. Hal ini sejalan dengan hasil analisis tanah yang diperoleh bahwasanya tanah yang digunakan tergolong liat berpasir dengan kandungan pasir mencapai 70% berkorelasi dengan nilai KTK yang rendah.

Kation-kation yang terdapat dalam kompleks jerapan koloid dapat dibedakan menjadi kation-kation basa dan kation-kation asam. Kation basa diantaranya Ca^{2+} , Mg^{+} , K^{+} , dan Na^{+} sedang yang tergolong kation asam adalah H^{+} dan Al^{3+} . Kejenuhan basa menunjukkan perbandingan antara jumlah-jumlah kation basa dengan jumlah semua kation yang terdapat dalam kompleks jerapan tanah. Kation basa umumnya merupakan unsur hara yang diperlukan tanaman. Di samping itu, kation basa mudah tercuci sehingga tanah dengan kejenuhan basa tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut belum banyak mengalami pencucian (*leaching*) dan merupakan tanah yang subur. Tanah dengan pH yang rendah umumnya memiliki kejenuhan basa yang rendah. Nilai kejenuhan basa berdasarkan hasil analisis tanah yang telah dilakukan tergolong rendah. Suatu tanah dikatakan subur jika nilai kejenuhan basanya mencapai $\geq 80\%$ dan pada nilai tersebut tanah akan mudah melepaskan basa-basa yang dapat dipertukarkan.

Tabel 1 menunjukkan bahwa secara umum kandungan hara makro dalam tanah pasca tambang tergolong sangat rendah. Unsur hara makro adalah unsur hara esensial yang diperlukan tanaman dalam jumlah yang banyak. Unsur hara makro tersebut di antaranya C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, dan S. Nilai hara Ca, C, N, P, dan K yang terkandung dalam tanah tergolong sangat rendah sedangkan nilai hara Mg tergolong rendah. Hal tersebut mempertegas bahwa kondisi tanah yang digunakan memiliki tingkat kesuburan yang rendah. Unsur N berfungsi penting dalam pertumbuhan vegetatif tanaman dan dalam pembentukan protein. Kekurangan unsur N pada tanaman dapat menyebabkan tanaman tumbuh kerdil, pertumbuhan akar terbatas, dan daun menguning atau gugur. Unsur P berfungsi penting dalam pembelahan sel, pembentukan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

organ generatif tanaman, dan dalam penyimpanan serta transfer energi seperti ATP dan ADP. Gejala kekurangan unsur P pada tanaman ditandai dengan pertumbuhan tanaman yang kerdil dan daun menjadi ungu dan coklat mulai dari ujung. Fungsi unsur K di antaranya mengaktifkan enzim, pembukaan stomata, dan meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kekeringan. Kekurangan K pada tanaman ditandai dengan menguningnya daun-daun tua. Ca berfungsi sebagai penyusun dinding sel tanaman dan pembelahan sel. Kekurangan Ca pada tanaman di antaranya tunas dan akar tidak berkembang akibat dari pembelahan sel yang terhambat. Unsur Mg berfungsi dalam pembentukan klorofil dan sebagai aktivator enzim. Kekurangan Ca pada tanaman ditandai dengan daun yang menguning terutama pada daun tua. Unsur S berfungsi penting dalam pembentukan protein. Kekurangan unsur ini dapat menjadikan tanaman tumbuh kerdil dan daun menguning.

Dasar pemilihan dosis pupuk yang digunakan dalam studi ini adalah nilai total unsur P yang terdapat dalam tanah pasca tambang. Menurut Munawar (2011) kandungan unsur hara P dalam tanah mineral yang tidak mengalami gangguan adalah 0,08% sedangkan nilai total unsur hara dalam tanah pasca tambang yang digunakan adalah sebesar 0,027%. Nilai tersebut menjadi acuan dalam penambahan pupuk beserta dosis yang digunakan. Penambahan pupuk P sebanyak 2 g (P1) dapat meningkatkan kandungan total hara P tanah tersebut menjadi $\pm 0,08\%$. Dosis pupuk 0 g/tanaman (P0) dan 5 g/tanaman (P2) dijadikan sebagai dosis pembandingan untuk memperoleh dosis terbaik untuk perkembangan FMA dan juga pertumbuhan leda.

Pertumbuhan Tinggi dan Diameter serta Serapan Hara Leda

Tabel 2 menunjukkan pengaruh interaksi antara FMA dan mikoriza terhadap pertumbuhan tinggi leda. Interaksi yang terbaik untuk pertumbuhan tinggi adalah FMA yang berasal dari tanaman karet dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman pada minggu ke-2 dan 10 sedangkan pada minggu ke-4 FMA yang berasal dari perkebunan sawit dan karet alam yang dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman sama-sama memberikan nilai rataan pertambahan tertinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa ketiga FMA tersebut dapat bekerja dengan baik pada dosis pupuk 2 g/tanaman. Dosis pupuk yang lebih tinggi tidak selalu memberikan hasil terbaik bagi pertumbuhan tanaman dikarenakan umumnya mikoriza memiliki respon yang berbeda-beda terhadap besarnya ketersediaan unsur P dan cenderung tidak berkembang secara optimal pada kondisi yang kaya hara. Hal tersebut sejalan dengan pertambahan diameter leda. Nilai pertambahan diameter terbaik terdapat pada FMA yang berasal dari tanaman karet dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman. Menurut Ishii (2004) pembentukan simbiosis mikoriza mencapai maksimum jika kadar P dalam tanah tidak melebihi 50 mg/kg (50 ppm). Chen *et al.* (2010) menegaskan bahwa takaran P optimal dipengaruhi oleh bentuk P yang digunakan, organik maupun anorganik, mudah larut dan tidak mudah larut, serta nisbah dari C:N:P.

Pertumbuhan diameter leda cenderung lebih lambat daripada pertumbuhan tinggi sesuai data pada Tabel 3 bahwa pengaruh interaksi faktor FMA dan pupuk P hanya berpengaruh nyata pada akhir pengamatan (minggu ke-12). Hal tersebut disebabkan karena diameter merupakan pertumbuhan sekunder pada tanaman. Pertumbuhan sekunder merupakan aktivitas yang terjadi pada organ dewasa. Aktivitas ini secara normal menghasilkan pembesaran radial pada organ tanaman dari meristem lateral.

Pengaplikasian FMA yang berasal dari tanaman karet dan pupuk 2 g/tanaman dapat menghemat pupuk sebanyak 3 g/tanaman. Hal tersebut terbukti dengan nilai

pertambahan tinggi pada bibit leda yang diberi perlakuan FMA dari tanaman karet dan pupuk P 2 g/tanaman lebih tinggi daripada bibit yang diberi perlakuan pupuk 5 g/tanaman tanpa FMA dan pertambahan tinggi bibit leda meningkat sebesar 116,06% jika dibandingkan dengan kontrol. Pengaplikasian FMA yang berasal dari tanaman karet dianggap efektif meningkatkan pertumbuhan diameter leda dengan dosis pupuk yang hanya 2 g/tanaman. Peningkatan diameter leda setelah diaplikasikan FMA mencapai 18,18% jika dibandingkan dengan kontrol. Selain itu, secara umum interaksi terbaik antara FMA dan pupuk memberikan pertumbuhan lebih baik apabila dibandingkan dengan kontrol. Gambar 2 menunjukkan visualisasi bibit pada seluruh perlakuan. Tinggi terbesar pada bibit terdapat pada perlakuan FMA yang berasal dari tanaman karet dengan pupuk 2 g/tanaman dan terendah pada FMA yang sama tanpa penambahan pupuk (P0). Secara umum bibit tumbuh dengan sehat dan terbebas dari hama dan penyakit.

Respon bibit leda terhadap inokulasi FMA dan penambahan pupuk dalam studi ini tergolong cepat. Hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 3, interaksi FMA dan pupuk berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tinggi di minggu ke-2 setelah inokulasi. Fakta ini diperkuat dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rosewarne *et al.* (1997) yang menyatakan bahwa kolonisasi pada tanaman tomat berlangsung dengan cepat. Pembentukan apresoria terjadi selama 2 hari dan kolonisasi maksimum berjalan dengan cepat pada hari ke-10. Puncak pembentukan arbuskula terjadi pada hari ke-12. Smith dan Read (2008) menambahkan bahwa pada jenis tanaman *Trifolium subterraneum* kolonisasi primer terjadi pada hifa sepanjang 13 mm atau selama 12 hari dengan rata-rata pertumbuhan hifa 0,5 mm/hari. Proses kolonisasi yang terjadi dengan cepat pada FMA dan bibit leda dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor tersebut di antaranya terdapat kecocokan antara FMA dengan eksudat akar yang dikeluarkan oleh bibit leda. Selain itu, faktor lingkungan seperti kondisi tanah, suhu, dan cahaya dapat mempengaruhi proses kolonisasi FMA pada akar. Menurut Smith dan Read (2008) kondisi lingkungan sangat mempengaruhi pembentukan vesikula dan arbuskula. Kandungan hara yang tinggi dalam tanah dengan radiasi cahaya matahari yang rendah dapat menurunkan pembentukan arbuskula dan vesikula. Pada tanaman, peningkatan P di dalam tanah dapat menghambat proses produksi eksudat yang nantinya akan ditranslokasikan pada FMA. Jenis-jenis eksudat akar yang digunakan untuk menstimulasi simbiosis dengan FMA di antaranya flavonoid dan strigolactone (Besserer *et al.* 2006).

Unsur P sangat penting untuk pertumbuhan tanaman dan mencapai 0,2% dari berat kering total tanaman, akan tetapi merupakan unsur hara yang sangat sulit untuk diserap tanaman. Selain unsur P mudah diikat oleh unsur lain seperti Al, Fe, dan Ca, tanaman dan fungi mengambil unsur P dalam bentuk ion negatif ($H_2PO_4^-$). Hal tersebut menyulitkan tanaman dalam menyerap fosfat karena konsentrasi dalam sel tanaman 1000 kali lebih tinggi daripada ion tersebut dan membran sel juga memiliki potensial ion negatif. Oleh karena itu, penyerapan P memerlukan energi metabolik yang tinggi dan melibatkan protein transporter yang memiliki daya serap tinggi (Bucher 2007). Selain itu peran FMA dapat membantu meningkatkan serapan hara dengan beberapa mekanisme seperti dengan membentuk hifa eksternal sehingga dapat menjangkau hara P lebih jauh daripada akar dan mengubah kondisi biokimia dan fisiologis rizosfer sehingga meningkatkan aksesibilitas P ke dalam akar.

Hifa eksternal FMA berkembang dari permukaan akar menuju tanah sampai melebihi zona pengurasan P (*P depletion zone*) dan memiliki akses yang lebih tinggi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

pada area yang mengandung hara P daripada akar tanpa FMA (Lambers *et al.* 2011). Hifa FMA dapat berkembang lebih dari 10 cm dari permukaan akar (Jackobsen *et al.* 2005), yang lebih panjang daripada rambut akar. Selain itu, Lambers *et al.* (2008) menambahkan diameter yang kecil dari hifa (20–50µm) memungkinkan akses kepada pori tanah yang tidak bisa dijangkau oleh akar untuk menyerap hara. Menurut studi yang dilakukan oleh Sieverding (1991), volume tanah yang dapat dicapai FMA mencapai 100 kali lebih tinggi daripada akar yang tidak bermikoriza. Studi lain menyatakan bahwa kolonisasi FMA dapat menginduksi pembentukan akar lateral atau meningkatkan percabangan akar (Bhadoria 2009).

FMA memiliki peran dalam mengubah biokimia lingkungan dan karakter fisiologis dari rizosfer, yang dapat meningkatkan aksesibilitas P di sekitar akar (Richardson 2011). FMA terbukti dapat menginduksi peningkatan aliran proton di sekitar akar, merendahkan pH pada tanah yang bersifat alkalis mencapai pH 6.3 (Rovira 1999) sehingga menyebabkan tingkat kelarutan P lebih tinggi. Asam citric dan siderophores yang diproduksi oleh FMA dapat meningkatkan transfer P dalam tanah menuju akar terutama pada ikatan Al-P atau Fe-P pada tanah masam (Simpson 2011). Selain itu, FMA dilaporkan dapat memproduksi fosfatase alkalin yang dapat mengubah P organik yang memiliki mobilitas rendah menjadi fosfat yang bersifat mobil (Marschner 1994). Hidrolisis P organik melalui enzim fosfatase ekstraseluler yang disekresikan oleh FMA, pengeluaran proton, hidroksil, anion organik (Bhadoria 2007), dan modifikasi dari potensial reaksi redoks di sekitar miselium dan akar dari asosiasi mikoriza dapat mempercepat pelepasan ion P dari tanah ke dalam larutan (Hinsinger 2001). Perubahan pH di sekitar akar juga berkaitan dengan dengan kapasitas penyangga tanah (*soil-buffering capacity*), aktivitas mikrobial, dan genotif tanaman (Vance *et al.* 2003)

Eksudat anion organik di area sekitar akar memainkan peran yang penting dalam membantu meningkatkan ketersediaan P (Roelofs *et al.* 2001). FMA melepaskan anion organik seperti citrate, malate, dan oxalate, yang dapat meningkatkan penyerapan dan mobilitas P atau menggantikan P dalam bentuk kompleks sedikit larut dalam Al, Fe, dan Ca (Richardson 2011).

FMA memiliki peran utama dalam menyuplai fosfat ke dalam akar yang terinfeksi, fosfat merupakan unsur hara yang bersifat *immobile* dalam tanah (Hardjowigeno 2003). Tabel 6 menunjukkan bahwa keempat FMA yang berinteraksi dengan pupuk 2 g/tanaman memberikan serapan hara yang sama baik. Hal tersebut menunjukkan bahwa efektivitas FMA dengan dosis pupuk 2 g/tanaman tidak berbeda. Efektivitas FMA dalam serapan hara cenderung berbeda pada dosis 0 g/tanaman dan 5 g/tanaman.

Peningkatan serapan hara bibit leda setelah diinokulasikan FMA dengan pupuk 2 g/tanaman dapat mencapai 68% jika dibandingkan dengan kontrol. Nilai peningkatan serapan hara ini tidak berbeda nyata pada bibit yang diinokulasikan FMA dengan dosis pupuk 5 g/tanaman akan tetapi FMA yang dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman lebih ekonomis. Hal tersebut berkaitan dengan penghematan pupuk sebanyak 3 g/tanaman. Nilai serapan hara yang tinggi pada bibit bermikoriza dapat disebabkan karena hifa yang terbentuk pada FMA dapat mengakses zona deplesi P pada tanah sehingga unsur P dapat ditranslokasikan menuju akar tanaman. Zona deplesi merupakan area unsur P berada tetapi tidak dapat dijangkau oleh rambut-rambut akar. Unsur P yang dapat dijangkau oleh akar melalui proses intersepsi terdapat hanya pada area yang mengandung rambut akar. Menurut Ocrutt dan Nielsen (2000) beberapa cara FMA dalam meningkatkan serapan hara di antaranya: 1) perluasan areal permukaan karena

adanya hifa eksternal yang berukuran lebih kecil 1/10 dibandingkan akar, 2) mempercepat pergerakan P ke akar sehingga mengurangi konsentrasi ambang yang diperlukan untuk P berdifusi, 3) mengubah lingkungan rizosfer secara kimia misalnya melalui pelepasan asam organik dan peningkatan aktivitas fosfatase, dan 4) meningkatkan produksi fitohormon yang dapat mengubah fenotip akar yaitu dengan pembentukan akar dengan kualitas yang lebih tinggi serta membuat umur akar menjadi lebih lama dan akhirnya dapat meningkatkan kapasitas penyerapan hara total.

Efisiensi penyerapan unsur hara P merupakan perbandingan antara besarnya serapan hara P tanaman dengan jumlah total unsur hara yang diberikan. Berdasarkan hasil analisis ragam, faktor tunggal FMA dan interaksi antara FMA dan pupuk P tidak berpengaruh nyata terhadap efisiensi penyerapan hara. Berbeda halnya dengan faktor pupuk, pupuk P memberikan pengaruh yang nyata terhadap efisiensi penyerapan hara.

Tabel 7 menunjukkan bahwa P0 (bibit tanpa penambahan pupuk) dan P1 (dosis pupuk P 2 g/tanaman) memberikan pengaruh sama baik terhadap efisiensi penyerapan hara P. Pemberian pupuk yang terlalu tinggi cenderung menurunkan nilai efisiensi penyerapan hara P. Hal tersebut terbukti dengan nilai efisiensi yang kecil pada bibit yang diberi pupuk dengan dosis 5 g/tanaman. Menurut Bustami (2012) Pemupukan yang sesuai dengan dosis yang dibutuhkan tanaman mendukung meningkatnya efisiensi serapan P.

Pengaruh FMA dan Pupuk terhadap Berat Kering Bibit Leda dan Indeks Mutu Bibit

Berat kering total bibit merupakan biomassa total (akar, batang, daun, cabang, dan ranting) yang menunjukkan efisiensi dan efektivitas proses fisiologis bibit dalam mengakumulasi hasil fotosintesis (karbohidrat) yang berfungsi sebagai cadangan makanan, energi, dan sebagai bahan pembentuk organ tanaman (Martin *et al.* 2004). Berdasarkan hasil analisis ragam faktor FMA yang diberikan berpengaruh sangat nyata hanya pada berat kering pucuk. Pengaruh FMA yang diberikan tidak berpengaruh nyata terhadap berat kering akar dan total bibit leda. Berbeda halnya dengan faktor FMA, faktor pupuk berpengaruh nyata pada berat kering akar, pucuk, dan total. Pupuk dengan dosis 2 g/tanaman merupakan dosis terbaik untuk meningkatkan berat kering bibit leda.

Kecenderungan meningkatnya berat kering tanaman berkaitan dengan kondisi pertumbuhan yang lebih baik untuk berlangsungnya aktivitas metabolisme tanaman (Widyani *et al.* 2003). Interaksi antara faktor FMA dan pupuk P berpengaruh sangat nyata terhadap berat kering pucuk dan total. FMA yang berasal dari hutan alam yang dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan berat kering pucuk bibit leda. Hal tersebut serupa dengan hasil uji lanjut pada berat kering total bibit leda. Berat kering terbaik terdapat pada FMA yang berasal dari hutan alam dan FMA yang berasal dari perkebunan sawit dan keduanya dikombinasikan dengan pupuk P 2 g/tanaman. Peningkatan berat kering pucuk dan total yang bermikoriza apabila dibandingkan dengan kontrol secara berturut-turut dapat mencapai 113,02% dan 69,69%.

Biomassa FMA dalam akar dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan berat kering total tanaman. Menurut Smith dan Read (2008) berat kering total FMA dalam akar berada pada rentang 4–17%. Biomassa FMA akan mencapai 20% pada minggu ke-8 setelah terjadinya kolonisasi. Biomassa tersebut mencakup hifa internal, vesikula, dan arbuskula tetapi tidak mencakup spora dan hifa eksternal. Hasil studi Nandakwang *et al.* (2008) menyatakan bahwa interaksi antara FMA dan pupuk P pada

tanah yang mengalami defisiensi hara terbukti dapat meningkatkan berat kering total pada tanaman *Castanopsis acuminatissima*. Martin *et al.* (2004) menambahkan bahwa tanaman yang memiliki berat kering lebih besar berarti produktivitas dan perkembangan sel-sel jaringannya tinggi dan cepat. Kecenderungan meningkatnya berat kering tanaman berkaitan dengan metabolisme tanaman atau karena adanya kondisi pertumbuhan yang lebih baik untuk berlangsungnya aktivitas metabolisme tanaman. Menurut Sudrajat *et al.* (2005) berat kering total mencerminkan akumulasi senyawa organik yang berhasil disintesis tanaman dari senyawa anorganik (unsur hara, air, dan karbondioksida). Selain itu, Heriyanto dan Siregar (2004) menyatakan bahwa berat kering total berhubungan erat dengan pertumbuhan tinggi dan diameter. Apabila tinggi dan pertumbuhan tanaman berlangsung cepat, maka berat kering totalnya akan semakin tinggi. Berat kering total selain dipengaruhi oleh faktor genetik (sumber benih) dan FMA, juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Gardner *et al.* (2008) menyatakan bahwa faktor utama yang mempengaruhi berat kering total adalah cahaya matahari yang diserap tanaman dan pemanfaatan energi tersebut untuk memfiksasi CO₂.

Kondisi bibit yang buruk setelah ditanam seringkali berkaitan dengan stress bibit dan rendahnya kualitas bibit yang ditanam. Pemeliharaan bibit muda dengan FMA yang efisien merupakan hal yang penting dalam meningkatkan kesehatan dan pertumbuhan bibit serta meningkatkan adaptasi bibit ketika ditanam di lapangan (Jha *et al.* 2014). Penentuan mutu bibit pada umumnya berdasarkan kepada hasil penilaian atau evaluasi yang berdasarkan pada tiga kriteria yaitu mutu genetik, mutu fisik, dan mutu fisiologis. Mutu genetik didasarkan pada kelas sumber benih, mutu fisik mencerminkan kondisi fisik bibit seperti kekompakan media, kekokohan, keadaan batang, dan kesehatan; sedangkan mutu fisiologis menggambarkan pertumbuhan tinggi, diameter, jumlah daun, warna daun (Pramono dan Suhaendi 2006). Hendromono (2007) menambahkan bahwa ada dua faktor yang mempengaruhi mutu bibit yaitu faktor dalam dan faktor luar. Faktor dalam meliputi genetik, fisik, dan fisiologis bibit. Faktor luar meliputi suhu, cahaya, kelembaban udara, konsentrasi CO₂, O₂, air, media, pupuk, mikoriza, hama dan penyakit.

Indeks mutu bibit (IMB) merupakan indeks yang digunakan untuk mengukur kemampuan bibit dalam bertahan di lapangan. Indeks ini juga dapat dijadikan sebagai dasar dalam menentukan kesiapan bibit untuk ditanam di lapangan. Bibit yang siap tanam di antaranya memiliki ciri batang yang kuat dan kokoh, ditandai batang sudah berkayu. Batang yang masih hijau dan mengandung banyak air menandakan bibit belum siap ditanam. Selain itu, bibit memiliki perakaran yang kuat dan menyatu dengan tanah. Perakaran yang tidak stabil dapat mengganggu aktivitasnya dalam menyerap air dan hara sehingga bibit rentan layu. Bibit yang siap tanam juga memiliki daun yang sehat dan berwarna hijau serta terbebas dari hama dan penyakit. Bibit yang berdaun hijau menandakan bahwa bibit tidak mengalami defisiensi unsur hara terutama unsur N.

Secara visual kondisi daun, batang, dan akar disajikan pada Gambar 5. Pucuk leda berwarna kemerahan sedangkan daun dewasa berwarna hijau. Diameter leda cenderung kecil akan tetapi batangnya keras dan berwarna kecoklatan. Selain itu, perakaran leda berkembang dengan baik sehingga diduga dapat bertahan apabila ditanam di lapangan. Indeks mutu bibit bergantung pada beberapa faktor, di antaranya kemampuan bibit dalam menghasilkan akar baru dengan cepat, waktu memulai proses asimilasi CO₂ setelah ditanam di lapangan, sistem perakaran yang berkembang dengan baik, daun yang adaptif terhadap cahaya matahari, diameter leher akar yang besar, nisbah pucuk akar yang seimbang, cadangan karbohidrat, kandungan nutrisi mineral yang optimum,

dan adanya pembentuk infeksi oleh mikoriza maupun Rhizobium (pada Leguminoceae).



Gambar 5. Visualisasi bibit leda dari ujung daun hingga akar; M0P2=perlakuan bibit tanpa FMA dengan pupuk 5 g/tanaman; M1P2=perlakuan FMA yang berasal dari tanaman karet dan pupuk P 5 g/tanaman; M2P2= perlakuan FMA yang berasal dari hutan alam dan pupuk P 5 g/tanaman; perlakuan FMA yang berasal dari perkebunan sawit dan pupuk P 5 g/tanaman, perlakuan FMA yang berasal dari karet alam dan pupuk P 5 g/tanaman

Secara keseluruhan bibit leda tergolong siap tanam dan dapat bertahan di lapangan karena nilai IMB seluruhnya > 0.09 akan tetapi berdasarkan nilai indeks mutu bibit (Tabel 9) nilai indeks mutu bibit pada bibit yang bermikoriza tanpa pupuk cenderung lebih rendah dibandingkan dengan bibit bermikoriza dan dengan aplikasi pupuk. Hasil ini serupa dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Shukla (2012) bahwa FMA dapat meningkatkan kualitas bibit pada tanaman pionir seperti *Acacia nilotica*, *Albizia procera*, *Dalbergia sissoo* and *Leucaena leucocephala* dengan keseluruhan nilai indeks mutu bibit lebih dari 0.09. Menurut Tsakalidimi (2013) indeks mutu bibit dapat digunakan untuk memprediksi kemampuan bertahannya jenis bibit tertentu ketika ditanam di lapangan.

Bibit leda secara umum memiliki batang yang kokoh dan berkayu serta bebas dari hama dan penyakit meskipun tinggi rata-rata dari keseluruhan bibit adalah 20,28 cm. Berdasarkan nilai IMB pada Tabel 9 bibit leda yang memiliki nilai indeks mutu bibit terbaik adalah bibit yang diinokulasi oleh FMA yang berasal dari hutan primer dengan dosis pupuk 2 g/tanaman sedangkan bibit yang memiliki nilai indeks mutu bibit terkecil adalah bibit leda yang diinokulasi FMA yang berasal perkebunan sawit tanpa pupuk.

Kolonisasi dan Ketergantungan Mikoriza Relatif

Gambar 3 menunjukkan nilai persentase kolonisasi pada setiap akar tanaman yang diberikan perlakuan FMA. Nilai persen kolonisasi tertinggi terdapat pada akar bibit leda yang diinokulasi FMA yang berasal dari hutan primer tanpa penambahan pupuk yaitu sebesar 83.33%. Hal tersebut menunjukkan bahwa FMA tersebut dapat menggunakan nutrisi yang sudah tersedia dalam tanah dengan optimal untuk menginfeksi akar. Akan tetapi, besarnya kolonisasi tersebut ternyata tidak berbanding lurus dengan pertumbuhan diameter, tinggi, dan juga berat kering total. FMA mampu mengkolonisasi jaringan akar

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

tanaman inang melalui kombinasi mekanisme mekanik dan enzimatik juga disertai dengan adanya sinyal dari tanaman inang sendiri berupa eksudat akar (Smith *et al.* 2008).

Berdasarkan Tabel 4 nilai pertambahan tinggi dan diameter pada perlakuan FMA yang berasal dari hutan primer tanpa pupuk masing-masing minggu ke-10 dan 12 menunjukkan nilai pertambahan terkecil. Besarnya kolonisasi akar tidak selalu berbanding lurus dengan pertumbuhan tanaman yang diinokulasi mengingat kemampuan dari FMA dalam mengikat unsur hara dari tanah dan mentransfer kembali hara tersebut ke dalam akar tanaman berbeda-beda. Pernyataan ini dipertegas oleh Corkidi *et al.* (2004) yang menyatakan bahwa kolonisasi atau infektivitas yang tinggi tidak selalu berkorelasi positif dengan keuntungan yang didapatkan oleh tanaman inang. Simbiosis FMA dikatakan efektif jika mampu menghasilkan pengaruh menguntungkan tertentu terhadap tanaman inang atau lingkungan pertumbuhannya.

Menurut Cavagnaro *et al.* (2003) inokulan FMA dikatakan efektif untuk inang jika dapat meningkatkan bobot kering tanaman dan serapan hara, terutama unsur P. Nilai persentase kolonisasi terkecil pada bibit yang diinokulasi FMA terdapat pada bibit yang diinokulasikan FMA yang berasal dari perkebunan sawit dengan kombinasi pupuk 5 g sebesar 33,33% (Gambar 3). Nilai tersebut berkorelasi positif dengan nilai pertambahan pertumbuhan tinggi pada minggu ke 2 dan 10 serta pertambahan diameter minggu ke 12. Akan tetapi, nilai tersebut berkorelasi negatif dengan pertambahan tinggi leda pada minggu ke-4. Menurut O'Conor *et al.* (2001) seluruh nilai persentase kolonisasi pada bibit yang diinokulasi FMA tergolong ke dalam kategori tinggi yakni lebih dari 30%.

Nilai persentase kolonisasi FMA terkecil terdapat pada bibit yang diinokulasi FMA dengan dosis pupuk 5 g/tanaman. Kandungan pupuk yang tinggi dalam tanah dapat menurunkan persentase kolonisasi FMA pada akar. Menurut Smith dan Read (2008) kandungan pupuk yang tinggi dalam tanah dapat menurunkan permeabilitas membran sel akar, menyebabkan sedikitnya sekresi asam amino dan gula dan kemudian menurunkan kolonisasi FMA pada akar. Budi (2012) menambahkan siklus FMA dapat terus berlanjut apabila terdapat gula dan asam amino yang dikeluarkan oleh tanaman inang.

Gambar 4 menunjukkan hasil pewarnaan akar. Gambar 4A menunjukkan akar yang tidak terinokulasi oleh mikoriza. Gambar 4B menunjukkan akar yang telah terinokulasi oleh mikoriza. Demikian dibuktikan dengan adanya hifa dan vesikula yang terbentuk. Hifa FMA berdiameter 2-10 μm atau 30-150 kali lipat lebih kecil daripada diameter akar. Hal tersebut dapat dijadikan dasar mudahnya FMA mempenetrasi dan mentransfer unsur hara ke dalam akar.

Ketergantungan mikoriza relatif (RMD) merupakan derajat ketergantungan tanaman pada kondisi mikoriza untuk menghasilkan pertumbuhan dan hasil maksimumnya pada tingkat kesuburan tanah yang diberikan (Gardemen 1975). Perhitungan nilai ketergantungan mikoriza relatif dibedakan pada tanah yang disterilisasi dan tanah yang tidak steril (umumnya di lapangan). Nilai RMD pada penelitian ini dihitung berdasarkan kondisi tanah yang steril.

Berdasarkan hasil perhitungan RMD pada Tabel 10, dapat dilihat bahwa besarnya ketergantungan mikoriza relatif berkisar antara 54,53% –169,62%. Nilai ketergantungan ini menunjukkan bahwa respon dari bibit leda terhadap mikoriza cukup beragam. Studi terdahulu oleh Gemma *et al.* (2002) menyatakan bahwa nilai RMD tanaman hortikultura yang ditanam pada tanah yang berhara P rendah berkisar antara 44-88% sedangkan pada

tanah yang berhara P cukup berkisar antara -4–42%. Nilai ketergantungan bibit leda terhadap FMA tertinggi terdapat pada FMA yang berasal dari hutan alam dikombinasikan dengan pupuk P 2 g/tanaman sebesar 169,62% dan terendah pada FMA yang berasal dari perkebunan sawit tanpa pupuk P sebesar 54,53%. Penambahan pupuk P pada media tanam cenderung meningkatkan nilai ketergantungan tanaman terhadap FMA. Hal tersebut terbukti dengan nilai ketergantungan leda terhadap FMA pada perlakuan tanpa pupuk lebih kecil daripada bibit leda dengan penambahan pupuk. menurut Habte dan Manjunat (1991) nilai ketergantungan leda terhadap FMA tergolong sangat tinggi pada bibit dengan penambahan pupuk.

Ketergantungan bibit leda terhadap FMA berkaitan dengan fungsi utama FMA dalam mentransfer hara terutama unsur P. Pada kondisi tanah yang miskin hara dan akar tidak dapat menjangkau hara dengan baik, respon positif dari tanaman akan terjadi melalui perubahan anatomi pada sel akar. Proses penetrasi diawali dengan adanya kontak apresoria dengan epidermis akar. Kontak tersebut mengakibatkan perubahan epidermis berupa penebalan sel epidermis. Penebalan tersebut tidak mengandung lignin dan kalus sehingga tidak menghambat proses penetrasi yang dilakukan oleh FMA. Arbuskula terbentuk di dalam korteks akar. Arbuskula berfungsi sebagai tempat transfer hara dari FMA ke dalam sel akar tanaman dan juga merupakan tempat transfer eksudat akar pada FMA. Ukuran arbuskula sangat halus yakni sekitar 50 nm. Respon akar terhadap pembentukan arbuskula dapat membantu meningkatkan masuknya hara ke dalam tanaman. Pembentukan arbuskula dapat meningkatkan ukuran nukleus dan nukleolus dan kemudian memacu perpindahan nukleus dari posisi periferal menuju dinding sel sehingga nukleus tersebut berada pada posisi strategis yang dikelilingi oleh arbuskula. Posisi tersebut memudahkan dan mempercepat transfer hara dari arbuskula menuju sel akar. Peningkatan ukuran nukleus menurut Smith dan Read (2008) berhubungan dengan pepadatan kromatin yang menunjukkan aktivitas yang tinggi dan juga dapat menunda proses penuaan pada sel akar. Selain itu pembentukan arbuskula dapat meningkatkan volume sitoplasma yang penuh dengan organel dan fragmentasi vakuola. Rasio volume sel dapat meningkat 2 – 4 kali akibat respon dari pembentukan arbuskula. Menurut Brundrett *et al.* (1985) pembentukan arbuskula umumnya terjadi selama 2 – 3 hari sedangkan keseluruhan siklus arbuskula terjadi sekitar 7 hari. Pada tanaman musiman pembentukan arbuskula terjadi lebih cepat dibandingkan dengan tanaman dengan pertumbuhan lambat seperti tanaman berkayu (*slow growing woodland plant*) akan tetapi usia arbuskula yang lebih lama dan lebih kokoh.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. FMA yang berasal dari empat tipe ekosistem menunjukkan efektivitas yang berbeda dalam meningkatkan pertumbuhan bibit leda. Secara umum mikoriza yang berasal dari hutan alam dan yang berasal dari ekosistem karet alam yang dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman memberikan efektivitas yang lebih tinggi dalam meningkatkan pertumbuhan pada bibit leda.
2. FMA yang berasal dari empat tipe ekosistem menunjukkan efektivitas yang berbeda ketika dikombinasikan dengan dosis pupuk yang berbeda. Secara keseluruhan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

keempat FMA yang dikombinasikan dengan pupuk 2 g/tanaman memberikan nilai serapan hara tertinggi pada bibit leda.

3. Faktor tunggal FMA dan interaksinya dengan pupuk tidak berpengaruh nyata terhadap efisiensi penyerapan hara P. Faktor tunggal pupuk berpengaruh nyata terhadap efisiensi penyerapan hara P. Dosis pupuk tertinggi (5 g/tanaman) cenderung menurunkan nilai efisiensi penyerapan hara P.

Saran

1. Pengujian lebih lanjut bibit leda yang telah diinokulasi oleh FMA dari empat tipe ekosistem yang berbeda perlu dilakukan di lapangan.
2. Pengujian FMA dapat dilakukan pada jenis-jenis tanaman kehutanan lainnya terutama yang tergolong ke dalam *fast growing species*.
3. Pengujian efektivitas FMA yang berasal dari empat ekosistem yang berbeda perlu dilakukan terhadap unsur hara makro yang lain seperti K, Ca, Mg, S.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott LK, Robson AD, Jasper DA, Grazey C. 1992. What is the role of VA mycorrhizae hyphae in Soil. Didalam: Read DJ, Lewis DH, Fitter AH, Alexander IJ, editor. *Mychorrhizae in Ecosystems*. UK: CAB Internasional. hlm 37-41
- Agustin W. 2011. Inokulasi fungi mikoriza arbuskula dalam meningkatkan produktivitas dan mutu benih Cabai (*Capsicum annum L*) serta efiseinsi penggunaan pupuk P [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Alloush GA, Clark RB. 2001. Maize response to phosphate rock and arbuscular mycorrhizal fungi in acidic soil. *Communication Soil Science and Plant Analysis* 32(1): 231-254.
- Ardakani MR, Mazaheri D, Mafakheri S, Moghaddam A. 2011. Absorption efficiency of N, P, K through triple inoculation of wheat (*Triticum aestivum L.*) by *Azospirillum brasilense*, *Streptomyces* sp., *Glomus intraradices* and manure application. *Physiology and Molecular Biology of Plant* 17:181-192.
- Askar AAA, Rashad YM. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi: biocontrol agent against common bean Fusarium root rot disease. *Plant Pathology Journal* 9(1): 31-38.
- Besserer A, Puech-Pages V, Kiefer P. 2006 Strigolactones stimulate arbuscular mycorrhizal fungi by activating mitochondria. *PLoS Biology* 4, 1239-1247.
- Bhadoria PBS, Dessougi HE, Liebersbach H, Claassen N. 2009. Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture. *Plant Soil* 262: 327-336.
- Bhadoria PBS, Singh S, Claassen N. 2007. Phosphorus efficiency of wheat, maize and groundnut grown in low phosphorus-supplying soil. *Plant. Nutr.* 92: 530-531.
- Bissonnete L, Arnaud M, Lebreque M. 2009. Phytoextraction of heavy metal by two Salicaceae clones in symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungduring the second year of field trial. *Plant Soil* 332:55-67
- Bramasto Y, Putri KP, Suharti T, Agustina D. 2011. Viabilitas benih dan pertumbuhan semai merbau (*Intsia bijuga O. Kuntze*) yang terinfeksi cendawan *Fusarium* sp. dan *Penicillium* sp. *Tekno Hutan Tanaman* 4(3):96

- Brundrett MC, Bougherr N, Dells B, Grove T, Malajczuk N, 1996. *Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*. Canberra (AU): Australian Centre for International Agricultural Research.
- Bucher M. 2007. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. *New Phytol.* 173: 11–26.
- Budi SW, Christina F. 2012. Coal waste powder amendment and arbuscular mycorrhizal fungi enhance the growth of jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq) seedling in ultisol soil medium. *J Trop Soils* 18(1): 59-66.
- Budi SW, Tondok ET, Josepine. 2012. Effect of tropical forest transformation land use on mycorrhizal fungi propagule and its role on plant growth and productivity in agroecosystem Jambi Province. CRC 990 Start Up Researc Final Report. Bogor Agricultural University.
- Bustami, Sufardi, Bakhtiar. 2012. Serapan hara dan efisiensi pemupukan fosfat serta Pertumbuhan padi varietas lokal. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan* 1(2):159-170.
- Cavagnaro TR, Smith FA, Ayling SM, Smith SE. 2003. Growth and phosphorus nutrition of a parys-type arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 157:127-134.
- Chen B, Tang X, Zhu Y, Christie P. 2005. Metal concentrations and mycorrhizal status of plants colonizing copper mine tailings: potential for revegetation. *Science in China Ser. C Life Sciences* 48(1): 156-164.
- Chen MM, Yin HB, O' Connor P, Wang YS, Zhu YG. 2010. C:N:P Stoichimetry and spesific growth rate of clover colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 326:21-29.
- Clap JP, Fitter AH, Merryweather JM, 1996. *Methods for the Examination of Organismal Diversity in the Soil and Sediments*. Wallingford, UK: CAB International. Page 145-161.
- Corkidi L, Alle EB, Merhain D, Allen MF, Downer J, Bohn J, Evan M. 2004. Assesing the infectivity of commercial mycorrhizal inoculation in plant nursery conditions. *J Environ Hert* 22(3):149-154.
- Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. 2008. *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Ed ke-2. Susilo H, penerjemah; Subiyanto, editor. Jakarta (ID): UI Press. Terjemahan dari: *Physiology of Crop Plants*.
- Gemma JN, Koske RE, Habte M. 2002. Mycorrhizal dependency of some endemic and endangered Hawaiian plant species. *American Journal of Botani* 89(2): 337-345.
- Gemma JN, Koske RE. 1992. Are mycorrhizal fungi present in early stages of primary succession? In *Mycorrhizas in Ecosystems*. Eds DJ Read, BG Lewis, AH Fitter, IJ Alexander pp. 183–189. CAB International, Wallingford, UK.
- Gerdeman JW. 1975. In *The Development and Function of Roots* (J. G. Torrey and D. J. Clarkson, eds), pp. 575-591. New York: Academic Press.
- Hardjowigeno S. 2003. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Harley JL, Smith SE. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, UK.
- Hendramono. 2007. Bibit Berkualitas sebagai Kunci Pembuka Keberhasilan Hutan Tanaman dan Rehabilitasi Lahan. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Pengembangan Silvi-kultur. Departemen Kehutanan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. (Tidak dipublikasikan).
- Heriyanto NM, Siregar CA. 2004. Pengaruh pemberian serbuk arang terhadap pertumbuhan bibit *Acaci mangium* Willd. di Persemaian. *J Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 1(1):80-83.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Ishii T. 2004. Vesicular-Arbuscular (VA) Mycorrhiza [internet] (diakses 2016 Maret 12). Tersedia pada: <http://www.bio.kpu.ac.jp/pomlab/VAMinf.html>
- Jakobsen I, Leggett ME, Richardson AE. 2005. Rhizosphere microorganisms and plant Phosphorus Uptake. In: Sims JT, Sharpley AN. (eds) *Phosphorus, Agriculture and the Environment*. American Society for Agronomy, Madison, pp. 437–494.
- Jha AM, Kamalvanshi HAA, Kumar N, Chakravarty A, Shukla SK, Dhyani. 2014. The effects of arbuscular mycorrhizal inoculations and cotyledon removal on early seedling growth of *Pongamia pinnata*. *Turkish Journal of Botany* 38: 526-535.
- Khan AG. 2006. Mycorrhizoremediation-an enhanced form of phytoremediation. *Journal of Zhejiang University Science* 7(7):503–514.
- Lambers H, Finnegan PM, Laliberte E, Pearse SJ, Ryan MH, Shane MW, Veneklaas EJ. 2011. Phosphorus nutrition of Proteaceae in severely phosphorus-impooverished soils: Are there lessons to be learned for future crops? *Plant. Physiol.* 156: 1058–1066.
- Lambers H, Raven JA, Shaver GR, Smith SE, 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends Ecol. Evol.* 23: 95–103.
- Martin CA, Stutz JC. 2004. Interactive effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *Capsicum annuum* L. *Mycorrhiza* 14, 241–244.
- Martin E, Islam S, Rahman T. 2004. Pengaruh endomikoriza dan media semai terhadap pertumbuhan pulai, bungur, mangium dan sungkai di persemaian. *Jurnal Penelitian Hutan tanaman* 1(3):105-115.
- Mattjik AA, Sumertajaya IM. 2013. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab Jilid 1. Bogor: IPB Press.
- Min L, Runjin L, Christie P, Xiaolin L. 2005. Influence of three arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth and nutrient status of taro. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36: 2383–2396
- Munawar A. 2011. *Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman*. Bogor: IPB Press.
- Munkvold L, Kjoller R, Vestberg M, Rosendahl S, Jakobsen I. 2004. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 164: 357-364.
- Nandakwang P, Elliot S, Youpensuk S, Lumyong S. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and fertilizer on production of *Castanopsis acuminatissima* saplings for forest restoration in Northern Thailand. *Journal of Microbiology* 3(4): 225-236.
- O'Connor PJ, Smith SE, Smith FA. 2001. Arbuscular mycorrhizal association in the Southern Simpson desert. *Aust J Bot* 49:493-499.
- Ocrutt DM, Nilsen ET. 2000. *Physiology of Plant Under Stress-Soil and Biotic Factor*. New York: John Wiley.
- Orwa C, Mutua A, Kindt R, Jamnadass R, Anthony S. 2009 *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0* [internet] (diunduh 2016 Pebruari 12). Tersedia pada: (<http://www.worldagroforestry.org>).
- Pacioni G. 1992. Wet-sieving and decanting techniques for the extraction of spores of vesicular-arbuscular fungi. 317-322. In Norris JR, ReadDJ, Varma AK, editor. *Methods in Microbiology*. London (GB): Academic Press.
- Pramono, H. Suhaendi. 2006. Manfaat Sertifikasi Sumber Benih, Mutu Benih dan Mutu Bibit dalam Mendukung Gerhan. Prosiding Seminar Hasil-hasil Penelitian, Jambi

- 22 Desember 2005. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor. Hal. 49-61.
- Pusat Penelitian Tanah. 1983. Jenis dan Macam Tanah di Indonesia untuk keperluan survei dan Pemetaan Tanah Daerah Transmigrasi.
- Quilambo OA, Weissenhorn I, Doddema H, Kuiper PJC, Stulen I. *Journal of Plant Nutrition* 28: 1645-1662.
- Rai A, Rai S, Rakshit A. 2013. Mycorrhiza-mediated phosphorus use efficiency in plants. *Environmental and Experimental Biology* 11:107-117.
- Republik Indonesia. 2009. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor: 4 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Richardson AE, Lynch JP, Ryan PR, Delhaize E, Smith FA. 2011. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant Soil* 349: 121-156.
- Roelofs RFR, Rengel Z, Cawthray GR, Dixon KW, Lambers H. 2001. Exudation of carboxylates in Australian Proteaceae: chemical composition. *Plant Cell. Environ.* 24: 891-904.
- Rosewarne GM, Barker SJ, Smith SE. 1997. Production of near-synchronous fungal colonization in tomato for developmental and molecular analyses of mycorrhiza. *Mycological Research* 101, 966-970.
- Salt DE, Smith RD, Raskin I. 1998. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology* 49:643-668.
- Shukla A, Jha A, Kumar A, Tripathi VD. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizae on nutrient content and seedling quality of important fodder tree species of central India. Central Agroforestry Research Institute: India.
- Simpson RJ, Oberson A, Culvenor RA, Ryan MH, Veneklaas EJ. 2011. Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. *Plant Soil* 349: 89-120.
- Smith SE, Read D. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis Third Edition*. Academic Press: New York.
- Sudrajat DJ, Rohandi A, Widyani N, Aminah A. 2005. Penentuan tinggi kecambah optimal pada penyapihan bibit sonobritz di Persemaian. *J Penelitian Hutan Tanaman* 2(2):223-228.
- Tidsale SM, Neslon WL, Beaton JD. 1990. *Soil Fertility and Fertilizer*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Tsakalidimi MP, Ganstas, Douglas FJ. 2013. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forest* 44: 327-339.
- Vance CP, Stone CU, Allen DL. 2003. Phosphorus acquisition and use critical adaptations by plants for securing a non renewable resource. *New Phytol.* 157: 423-447.
- Widyati E. 2008. Peranan mikroba tanah pada kegiatan rehabilitasi lahan bekas tambang. *J Info Hutan* V(2): 151-160.
- Wijaya KA. 2008. *Nutrisi Tanaman sebagai Penentu Kualitas Hasil dan Resistensi Alami Tanaman*. Fitri, editor. Jakarta: Prestasi Pustaka.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Garut pada tanggal 28 April 1989 dan merupakan anak kelima dari lima bersaudara dari pasangan ayahanda Adja dan Ibunda Yati. Penulis memiliki 4 kakak kandung di antaranya Jajang Mulyana, Iis Mulyani, Dede Gunawan, dan Ima Nurmmaryati. Pada tahun 2008 penulis lulus dari SMAN 9 Garut. Penulis melanjutkan pendidikan strata 1 di Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan, IPB melalui program PMDK.

Penulis lulus dari S1 Program Studi Silvikultur, Fakultas Kehutanan, IPB pada tahun 2012. Selama kuliah S1 penulis aktif menjadi asisten dosen di bagian Silvikultur Fakultas Kehutanan IPB, aktif dalam Himpunan Profesi (Himpro) Tree Grower Community dan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Kehutanan IPB. Pasca lulus, penulis bekerja di PT Gane Permai Sentosa (*Harita Nickel Mine*) sampai September 2013 kemudian meneruskan pendidikan di jenjang S2 program studi Silvikultur Tropika, Pascasarjana IPB dengan bantuan beasiswa BPPDN.

Penulis menikah dengan Jahari Baharizki (AGH 45 IPB) yang merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Zaenal Abidin dan Ibu Darinah di Garut, pada tanggal 16 April 2016. Penulis kini menetap di Pacet, Cianjur.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Bogor Agricultural University (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 2 Hasil analisis Kandungan Hara P

No.	Kode Analisis	Kandungan Hara P (%)
1	M0P0	0,07
2	M0P1	0,08
3	M0P2	0,07
4	M1P0	0,08
5	M1P1	0,08
6	M1P2	0,09
7	M2P0	0,07
8	M2P1	0,07
9	M2P2	0,07
10	M3P0	0,07
11	M3P1	0,07
12	M3P2	0,09
13	M4P0	0,06
14	M4P1	0,09
15	M4P2	0,07

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.