

## APLIKASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA BIBIT *Desmodium ovalifolium* DI LAHAN PASCA TAMBANG

(Application Arbuscular Mycorrhizal Fungi on *Desmodium ovalifolium* in Post Mining Soil)

**Sri Muryati, Irdika Mansur dan/and Sri Wilarso Budi**

Program Studi Silvikultur Tropika, Departemen Silvikultur Tropika, Fakultas Kehutanan IPB  
Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB, Dramaga; Telp. (0251) 8621677, Bogor, Indonesia  
E-mail: srimuryati11@rocketmail.com

Naskah masuk: 26 April 2017; Naskah direvisi: 30 Mei 2017; Naskah diterima: 20 Juli 2017

### ABSTRACT

Mining activities results on environmental degradation and finally on ecosystem damage. Legume cover crop forming symbiosis with beneficial soil microorganism is widely well known to be used for degraded land reclamation such as in post mining area. *Desmodium* spp. is one of legume cover crop forming symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and rhizobium symbiosis. This study aimed to isolate and characterize AMF collected from rhizosphere of 4 species of *Desmodium* spp. grow in gold mining of PT. Cibaliung Sumberdaya, Banten and analyse the growth respond *D. ovalifolium* that has inoculated AMF from rhizosphere of 4 types of *Desmodium* spp. Soil collected from post mining was used as growth media. There were two factors that are AMF inoculation and media treatment, were applied: with and without inoculation of AMF, and with and without applications of compost. There were two factors in this study: AMF inoculation and compost treatment. Based on morphological characteristics, there were 9 species of *Glomus* sp. and 1 species of *Acaulospora* sp. isolated from 4 species of *Desmodium* spp. collected in PT. Cibaliung Sumberdaya. Inoculation of AMF and compost application increased height of *D. ovalifolium* two week after planting (WAP). Single inoculation of AMF into *D. ovalifolium* improved height variables of stem significantly, total biomass, sprout biomass, and number of postule roots as well. Combination of compost and post mining soil had the highest increased in height 2 WAP and roots biomass of *Desmodium* spp. This research implies that AMF application is an important key for effective methods in improving plant grow in post mining area.

**Keywords:** *compost, desmodium* spp., FMA, post mining

### ABSTRAK

Aktivitas pertambangan menyebabkan kerusakan lingkungan yang akhirnya dapat menyebabkan kerusakan ekosistem. Simbiosis legum penutup tanah dengan mikroorganisme tanah diketahui dapat digunakan untuk reklamasi lahan khususnya pada lahan pasca tambang. *Desmodium* spp. adalah salah satu jenis legum penutup tanah yang mampu bersimbiosis dengan fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan *rhizobium*. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan melihat karakteristik FMA asal rhizosfer 4 jenis *Desmodium* spp. dari lahan pasca tambang emas PT. Cibaliung Sumber Daya, menganalisis respon bibit *Desmonium ovalifolium* terhadap inokulasi FMA asal rhizosfer 4 jenis *Desmodium* spp. Media tanah berasal dari lahan pasca tambang. Penelitian terdiri dari 2 faktor perlakuan yaitu inokulasi FMA dan media tanam, yaitu : menggunakan aplikasi FMA dan tanpa aplikasi FMA, serta aplikasi kompos atau tanpa kompos pada media tanah pasca tambang. Berdasarkan hasil pengamatan karakteristik FMA asal PT. Cibaliung Sumberdaya ditemukan 9 spesies *Glomus* sp. dan 1 spesies *Acaulospora*. Inokulasi FMA dan aplikasi kompos dapat meningkatkan pertambahan panjang batang pada umur 2 minggu setelah tanam (MST). Sedangkan perlakuan tunggal inokulasi FMA pada *Desmodium* spp. dapat meningkatkan pertambahan panjang batang, biomassa total, biomassa pucuk dan jumlah bintil akar. Kombinasi perlakuan kompos dan tanah pasca tambang dapat meningkatkan pertambahan panjang batang 2 MST dan biomassa akar pada *Desmodium* spp. Pemberian perlakuan inokulasi FMA merupakan kunci penting sebagai metode yang efektif dalam meningkatkan pertumbuhan *Desmodium* spp. pada lahan pasca tambang.

**Kata kunci:** *desmodium* spp., FMA, kompos, pasca tambang

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Penggunaan jenis tanaman penutup tanah merupakan salah satu alternatif dalam memperbaiki kondisi lahan pasca penambangan secara alami. Tanaman penutup tanah memiliki fungsi meningkatkan produktivitas tanah (fisik, kimia dan biologi), menyumbangkan nutrisi bagi pertumbuhan tanaman pokok, menekan pertumbuhan gulma, menjaga kelembaban tanah, melindungi tanah dari terpaan langsung air hujan yang dapat menyebabkan hilangnya lapisan *topsoil* serta mencegah erosi (Evans *et al.*, 1988; Ding *et al.*, 2006). Penggunaan tanaman penutup tanah merupakan salah satu metode yang telah banyak digunakan dalam mengurangi dampak erosi pada lahan pasca tambang (Hasanah, 2014).

Indonesia memiliki beberapa jenis tanaman penutup tanah yang banyak dikembangkan pada beberapa perusahaan tambang seperti *Centrosema pubescens*, *Calopogonium mucunoides*, *Pueraria javanica*, dan *Mucuna* spp. Namun jenis-jenis ini memiliki kelemahan, yaitu bersifat merambat dan melilit sehingga membutuhkan biaya ekstra dalam pemeliharaan agar tidak mengganggu pertumbuhan tanaman pokok. Beberapa perusahaan pertambangan lebih memilih mengimpor benih rumput dan legum dari luar negeri yang bersifat tidak melilit agar mengurangi biaya perawatan (Mansur 2013). Upaya pengembangan jenis alternatif yang dapat tumbuh secara alami perlu dilakukan untuk mengevaluasi kekurangan dari jenis yang biasa digunakan (Hasanah, 2014).

Salah satu jenis legum penutup tanah yang memiliki potensi untuk dikembangkan pada lahan pasca tambang yaitu tanaman *Desmodium* spp. Jenis ini merupakan tanaman herba yang tumbuhnya menjalar namun tidak melilit pada tanaman pokok, selalu hijau, menghasilkan serasah melimpah sebagai sumber bahan organik tanah, serta pertumbuhan yang cepat (Evans *et al.*, 1988). Hasil penelitian Zuhelmi *et al.*, (2015) penanaman *D. heterophyllum* di lahan pasca tambang kapur memiliki persentase tutupan lahan mencapai 17.09% selama 8 minggu setelah tanam (MST); sedangkan Hasanah (2014) menghasilkan persentase luasan penutupan lahan pada tanah normal, *D. heterophyllum* mencapai 100%, *D. ovalifolium* 95.2%, dan *D. triflorum* 65.8% selama 8 MST.

Tanaman *Desmodium* spp. dapat tumbuh secara alami pada lahan pasca tambang serta memiliki kemampuan hidup dalam kondisi tanah yang kritis dan lahan terbuka (Schmidt *et al.*, 1997). Hasanah (2014) melaporkan bahwa tanaman *Desmodium* spp. menghasilkan biomassa yang lebih besar di lahan tambang dibandingkan pada tanah *subsoil*. Penanaman *Desmodium* spp. juga mampu meningkatkan pertumbuhan semai jabon (*Anthocephalus cadamba*) yang ditanam secara berdampingan. Hal ini berkaitan dengan kemampuan *Desmodium* spp. dalam menghasilkan rhizobium yang dapat meningkatkan pengikatan nitrogen dari udara yang digunakan dalam menunjang pertumbuhan tanaman pokok.

Peningkatan kemampuan *Desmodium* spp. dalam penyerapan unsur hara selain dibantu

oleh rhizobium, juga erat kaitannya dengan adanya simbiosis dengan fungi mikoriza arbuskula (FMA). Fungi mikoriza arbuskula merupakan salah satu mikroorganisme tanah yang membantu dalam siklus unsur hara. Struktur hifa yang panjang dan halus dapat menjelajah ke dalam tanah untuk menyerap air, unsur hara makro, dan mikro yang tidak dapat dijangkau oleh akar (Goltapeh *et al.*, 2008). Simbiosis FMA dengan inang dapat meningkatkan ketahanan inang terhadap serangan patogen akar (Suharti *et al.*, 2011), hifa FMA juga menghasilkan glomalin yang berperan mengatur stabilisasi agregasi tanah (Rillig dan Steinberg 2002), FMA juga dapat membantu dalam proses fitoremediasi pada lahan tercemar logam berat (Suharno dan Sancayaningsih 2013). Penggunaan FMA dalam pengembangan *Desmodium* spp. sebagai alternatif tanaman penutup tanah diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan *Desmodium* spp. pada lahan pasca tambang.

## B. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respon bibit *D.ovalifolium* terhadap inokulasi FMA asal rhizosfer 4 jenis *Desmodium* spp. Dari lahan pasca tambang emas PT. Cibaliung Sumber Daya dan menganalisis respon bibit *desmodium ovalifolium* terhadap inokulasi FMA asal rhizosfer 4 jenis *Desmodium* spp.

## II. BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Februari sampai Desember 2015. Pengambilan sampel tanah dan akar *Desmodium* spp. dilaksanakan di bawah tegakan 4 jenis *Desmodium* spp. yang tumbuh pada areal kerja PT. Cibaliung Sumberdaya Kecamatan Cimanggu, Kabupaten Pandeglang, Banten dan pada areal tersebut belum dilakukan kegiatan penambangan. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Mikoriza dan Kualitas Bibit dan Rumah Kaca Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah contoh tanah dan akar dari rhizosfer *D. ovalifolium*, *D. heterophyllum*, *D. triflorum* dan *D. heterocarpon* asal areal kerja PT. Cibaliung Sumberdaya, aquades, larutan KOH 20%, larutan *destaining* (25 ml aquades dicampurkan dengan 475 ml asam laktat), HCl 0.1 M, larutan sukrosa 60% bobot/volume (60 g sukrosa dilarutkan dalam 100 ml aquades), larutan *trypan blue* (0.25 g *trypan blue* dilarutkan dalam 475 ml asam laktat + 25 ml aquades), *polyvinil alkohol lactoglycerol* (PVLG), larutan *Melzer's*, benih sorgum (*Sorghum vulgare*), benih *Peureria javanica*, benih *D. ovalifolium*, zeolit, hyponex merah (N 25%, P 5%, K 20%, B, Fe, Zn, Ca, Co, Mg, Mn, Mo, dan S), pupuk kompos (produksi Pusat Konservasi Tumbuhan Kebun Raya, LIPI), zeolit, *topsoil*, tanah pasca tambang PT. Holcim Indonesia Tbk, dan kokopit.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *autoclave*, *oven*, *centrifuge*, *micro pipet*, gelas objek, kaca penutup, satu set penyaring dengan diameter lubang 500 $\mu$ m, 125  $\mu$ m dan 63  $\mu$ m, timbangan analitik, gunting, kertas label, *optilab camera*, *digital camera*, cawan Petri, *sprayer*, *dissecting microscope*, *compound microscope*, *polybag* ukuran 20 cm x 20 cm, *pottray*, penggaris, spidol, plastik, meteran, dan kaliper.

Prosedur kerja diawali dengan pengambilan contoh tanah dan akar tanaman dilakukan pada rhizosfer 4 jenis *Desmodium* spp. yang ditemukan pada areal kerja PT. Cibaliung Sumberdaya. Pengambilan contoh tanah dan tanaman *Desmodium* spp. dilakukan pada 4 titik pengamatan yaitu pada rhizosfer tanaman *D. heterophyllum* (D<sub>1</sub>), *D. ovalifolium* (D<sub>2</sub>), *D. triflorum* (D<sub>3</sub>), dan *D. heterocarpon* (D<sub>4</sub>), kemudian ditangkarkan dengan menggunakan 3 jenis tanaman inang yaitu *S. vulgare* (I<sub>1</sub>), *P. javanica* (I<sub>2</sub>) dan *D. ovalifolium* (I<sub>3</sub>). Percobaan ini memiliki 12 kombinasi yang diulang sebanyak 7 kali sehingga terdapat 84 pot tanaman. Setelah proses penangkaran sampel akar dan inokulan dilakukan perhitungan persentase kolonisasi akar, jumlah spora dan tipe spora. Data ini merupakan dasar penentuan inokulan yang akan diaplikasikan pada tanaman *D. ovalifolium*. Kemudian inokulan diinokulasikan pada saat pengecambahan benih *D. ovalifolium* sebanyak 10 gram per *pottray*. Setelah inokulasi bibit *D. ovalifolium* dipelihara

selama 2 bulan, kemudian dilakukan penanaman berdampingan dengan bibit *O. sumatrana* yang berumur 6 bulan. Pengamatan pada bibit *D. ovalifolium* dilakukan selama 3 bulan.

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan petak terbagi (*split plot design*) yang terdiri dari dua faktor perlakuan yaitu inokulasi FMA dan media tanam. Faktor 1 inokulasi FMA yang di dapatkan dari hasil kultur penangkaran, dan dapatkan 6 taraf perlakuan FMA yaitu kontrol (tanpa inokulasi FMA), inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *S. vulgare* (D<sub>4</sub>I<sub>1</sub>), inokulan asal *D. triflorum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (D<sub>3</sub>I<sub>3</sub>), inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (D<sub>4</sub>I<sub>3</sub>), inokulan asal *D. ovalifolium* dengan tanaman inang *P. javanica* (D<sub>2</sub>I<sub>2</sub>) dan inokulan asal *D. heterophyllum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (D<sub>1</sub>I<sub>3</sub>), hasil kultur penangkaran menunjukkan bahwa sumber inokulan ini potensial untuk diaplikasikan pada *D. ovalifolium* berdasarkan parameter penilaian nilai persentase kolonisasi akar, jumlah spora, dan jumlah tipe spora FMA yang memiliki nilai paling tinggi dibandingkan inokulan lain (Tabel 1). Faktor 2 media tanam terdiri dari 2 taraf yaitu tanah pasca tambang (T<sub>1</sub>), tanah pasca tambang dan kompos (T<sub>2</sub>). Terdapat 12 kombinasi perlakuan, tiap perlakuan terdiri dari 9 kali ulangan, dengan masing-masing ulangan terdiri dari 1 bibit sehingga terdapat 108 bibit. Adapun data yang diamati yaitu peubah

pertambahan panjang batang (cm), biomassa pucuk, biomassa akar dan biomassa total (g), persentase kolonisasi akar (%), dan jumlah bintil akar. Analisis data menggunakan sidik ragam (ANOVA) pada tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan model Rancangan Petak Terbagi (RPT). Uji lanjut Duncan pada taraf 5% dilakukan jika terdapat pengaruh nyata terhadap peubah yang diamati.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil

##### 1. FMA pada *Desmodium* spp.

Hasil pengamatan terhadap persentase kolonisasi akar, jumlah spora, dan keragaman jenis pada contoh tanah asal rhizosfer 4 jenis *Desmodium* spp., dari areal kerja PT. Cibaliung Sumberdaya, Banten setelah kultur penangkaran disajikan pada Tabel 1.

Tabel (Table) 1. Kolonisasi akar, jumlah spora, dan tipe spora fungi mikoriza arbuskula pada contoh tanah asal rhizosfer 4 jenis *Desmodium* spp. (Root colonization, number and type of spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil samples of rhizosphere originated from four species of *Desmodium* spp.)

Inokulum (Inoculum)	Jenis tanaman Inang (Host plant)	Kolonisasi akar (%) (Root colonization (%))	Jumlahs spora/ 20 g contoh tanah (Number of spore/20 g soil sample)	Jumlah tipe FMA (FMA type)
<i>D. heterophyllum</i> (D <sub>1</sub> )	<i>S. vulgare</i> (I <sub>1</sub> )	91.1	18	2 tipe genus <i>Glomus</i> spp.
	<i>P. javanica</i> (I <sub>2</sub> )	22.2	55	4 tipe genus <i>Glomus</i> spp. dan 1 tipe genus <i>Acaulospora</i> spp.
	<i>D. ovalifolium</i> (I <sub>3</sub> )	64.4	32	4 tipe genus <i>Glomus</i> spp. dan 1 tipe genus <i>Acaulospora</i>
<i>D. ovalifolium</i> (D <sub>2</sub> )	<i>S. vulgare</i> (I <sub>1</sub> )	91.1	16	4 tipe genus <i>Glomus</i> spp.
	<i>P. javanica</i> (I <sub>2</sub> )	33.3	28	3 tipe genus <i>Glomus</i> spp.
	<i>D. ovalifolium</i> (I <sub>3</sub> )	26.7	20	2 tipe genus <i>Glomus</i> spp.
<i>D. triflorum</i> (D <sub>3</sub> )	<i>S. vulgare</i> (I <sub>1</sub> )	88.9	26	4 tipe genus <i>Glomus</i> spp.
	<i>P. javanica</i> (I <sub>2</sub> )	37.8	16	3 tipe genus <i>Glomus</i> spp.
	<i>D. ovalifolium</i> (I <sub>3</sub> )	83.3	42	3 tipe genus <i>Glomus</i> spp.
<i>D. heterocarpon</i> (D <sub>4</sub> )	<i>S. vulgare</i> (I <sub>1</sub> )	95.5	105	6 tipe genus <i>Glomus</i> spp. dan 1 tipe genus <i>Acaulospora</i>
	<i>P. javanica</i> (I <sub>2</sub> )	48.9	114	5 tipe genus <i>Glomus</i> spp.
	<i>D. ovalifolium</i> (I <sub>3</sub> )	57.8	65	6 tipe genus <i>Glomus</i> spp.

Hasil kultur penangkaran spora dengan menggunakan 3 jenis tanaman inang yaitu *S. vulgare*, *P. javanica* dan *D. ovalifolium* menunjukkan pengaruh yang berbeda terhadap

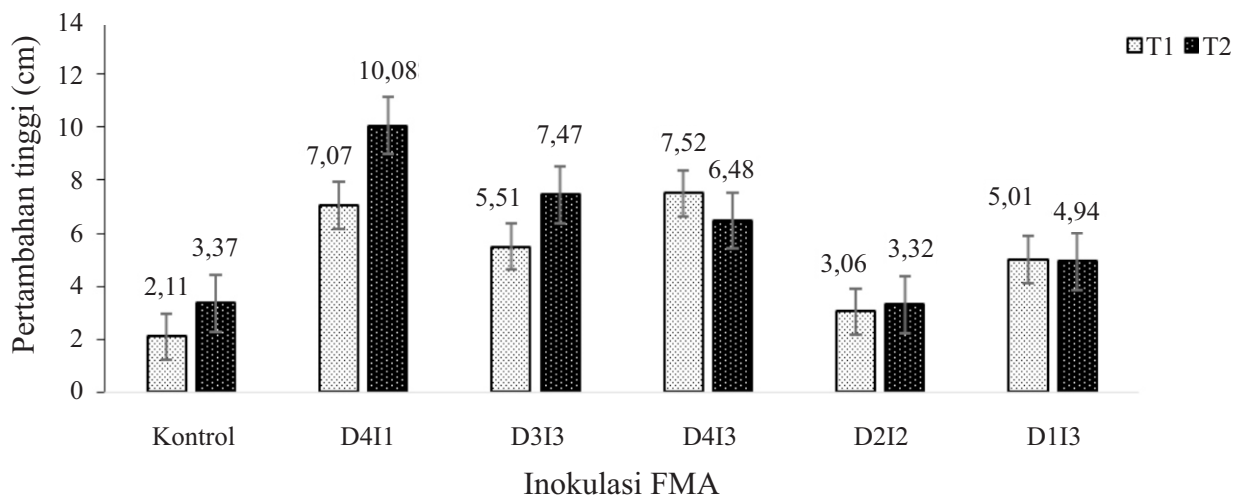
persentase kolonisasi akar, jumlah spora, dan karakteristik tipe spora. Data menunjukkan penggunaan tanaman inang *S. vulgare* pada semua perlakuan sumber inokulum asal



*Desmodium* spp., memberikan nilai persentase kolonisasi akar paling tinggi yaitu pada inokulum asal *D. heterophyllum* (91.1%), *D. ovalifolium* (91.1%), *D. triflorum* (88.9%), dan *D. heterocarpon* (95.5%). Sedangkan kolonisasi akar paling rendah ditunjukkan oleh kombinasi sumber inokulum *D. heterophyllum* dengan tanaman inang *P. javanica* (D<sub>1</sub>I<sub>2</sub>) yaitu 22.2%.

## 2. Inokulasi FMA terhadap Pertumbuhan Bibit *D. ovalifolium*

Hasil analisis sidik ragam terhadap pertumbuhan bibit *D. ovalifolium* menunjukkan interaksi inokulasi FMA dan media tanam berpengaruh nyata terhadap pertambahan panjang batang umur 2/(Gambar 1).



### Keterangan (Remark) :

- Kontrol : tanpa inokulasi FMA (without AMF inoculation)
- D<sub>4</sub>I<sub>1</sub> : inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *S. vulgare* (AMF inoculants from *D. heterocarpon* propagated by growing *S. vulgare*)
- D<sub>3</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. triflorum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (AMF inoculants from *D. triflorum* propagated by growing *D. ovalifolium*)
- D<sub>4</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (AMF inoculants from *D. heterocarpon* propagated by growing *D. ovalifolium*)
- D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> : inokulan dari *D. ovalifolium* dengan tanaman inang *P. javanica* (AMF inoculants from *D. ovalifolium* propagated by growing *P. javanica*)
- D<sub>1</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. heterophyllum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (AMF inoculants from *D. heterophyllum* propagated by growing *D. ovalifolium*)
- T<sub>1</sub> : tanah pasca tambang (post mining soil)
- T<sub>2</sub> : tanah pasca tambang dan kompos (post mining soil and compost)

Gambar (Figure) 1. Interaksi antara perlakuan inokulasi fungi mikoriza arbuskula dan media tanam pada peubah pertambahan tinggi bibit *Desmodium ovalifolium* umur 2 minggu setelah tanam (Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and growing medium treatments on increasing height of 2 weeks after planting *Desmodium ovalifolium* seedling)

Interaksi antara perlakuan inokulasi FMA dan media tanam yang terjadi pada peubah pertambahan tinggi umur 2 MST menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *S. vulgare* (D<sub>4</sub>I<sub>1</sub>) dan diikuti kombinasi perlakuan inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (D<sub>4</sub>I<sub>3</sub>) pada media tanam tanah pasca tambang dan kompos memberikan nilai terbaik, sedangkan perlakuan kontrol memiliki nilai yang paling rendah. Terlihat bahwa keberadaan

FMA dan kompos dapat meningkatkan pertumbuhan bibit *D. Ovalifolium*.

Faktor tunggal inokulasi FMA juga memberikan pengaruh nyata pada peubah pertambahan panjang batang pada semua umur, biomassa total, biomassa pucuk, dan jumlah bintil akar. Sedangkan faktor tunggal media tanam memberikan pengaruh nyata pada pertambahan panjang batang umur 2 MST dan biomassa akar (Tabel 2).

Tabel (Table) 2. Pengaruh inokulasi fungi mikoriza arbuskula terhadap pertumbuhan bibit *Desmodium ovalifolium* (The effect of inoculated arbuskula mycorrhizal fungi on the seedling *Desmodium ovalifolium* growth)

Peubah (Variables)	Inokulasi FMA (AMF inoculation)					
	Kontrol	D <sub>4</sub> I <sub>1</sub>	D <sub>3</sub> I <sub>3</sub>	D <sub>4</sub> I <sub>3</sub>	D <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> I <sub>3</sub>
Pertambahan panjang batang (cm) (Stem diameter increment (cm))						
2 MST	2.74 d	8.58 a	6.49 b	6.99 b	3.19 d	4.98 c
4 MST	6.52 d	15.88 a	12.14b	15.36 a	8.86 c	10.44bc
6 MST	11.18d	25.44 a	19.99b	24.68 a	16.58bc	14.43cd
8 MST	15.67c	33.81 a	25.42b	31.75 a	23.63b	16.00c
10 MST	19.89c	39.52 a	28.91b	36.79 a	29.09b	17.57c
Biomassa total (g) (Total biomass (g))	6.21 b	17.38 a	9.42 b	18.04 a	10.46b	6.33 b
Biomassa akar (g) (Root biomass (g))	1.17	1.04	1.38	1.88	1.17	1.79
Biomassa pucuk (g) (Shoot biomass (g))	5.04 c	13.88 ab	8.13 bc	18.25 a	9.38 b	4.54 c
Jumlah bintil akar (Number of postule roots)	60.67c	122.17ab	75.17bc	142.50a	105 abc	78.92bc

Keterangan (Remark): Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Duncan pada taraf  $\alpha$  5%.

Kontrol : tanpa inokulasi FMA (without AMF inoculation)

D<sub>4</sub>I<sub>1</sub> : inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *S. vulgare*  
(AMF inoculants from *D. heterocarpon* propagated by growing *S. vulgare*)

D<sub>3</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. triflorum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium*  
(AMF inoculants from *D. triflorum* propagated by growing *D. ovalifolium*)

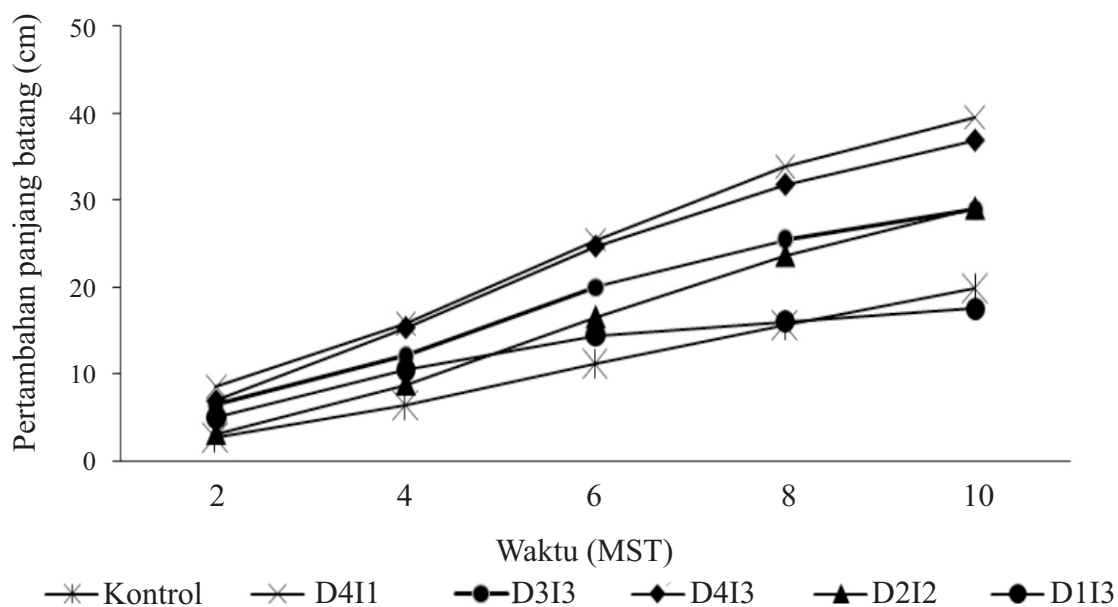
D<sub>4</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium*  
(AMF inoculants from *D. heterocarpon* propagated by growing *D. ovalifolium*)

D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> : inokulan dari *D. ovalifolium* dengan tanaman inang *P. javanica*  
(AMF inoculants from *D. ovalifolium* propagated by growing *P. javanica*)

D<sub>1</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. heterophyllum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium*  
(AMF inoculants from *D. heterophyllum* propagated by growing *D. ovalifolium*)

Jenis inokulan yang memberikan nilai pertambahan panjang batang terbaik yaitu inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* ( $D_{4I_1}$ ) (2 MST, 4 MST, 6 MST, 8 MST dan 10 MST) dan inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* ( $D_{4I_3}$ ) (4 MST, 6 MST, 8 MST dan 10 MST) dengan peningkatan sebesar (213.13%, 143.55%, 127.55%, 115.76%, 96.69%) dan (135.58%, 120.75%, 102.62%, 84.97 %) terhadap kontrol (Gambar 2).

Hubungan signifikan antara peningkatan panjang batang terhadap biomassa ditunjukkan pula oleh perlakuan inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* ( $D_{4I_1}$ ) dan inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* ( $D_{4I_3}$ ). Pada peubah biomassa total dengan peningkatan sebesar 190.49% dan 179.88% dan biomassa pucuk dengan peningkatan 262.11% dan 175.39% terhadap kontrol.



Keterangan (Remark):

- Kontrol : tanpa inokulasi FMA (without AMF inoculation)
- $D_{4I_1}$  : inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *S. vulgare* (AMF inoculants from *D. heterocarpon* propagated by growing *S. vulgare*)
- $D_{3I_3}$  : inokulan dari *D. triflorum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (AMF inoculants from *D. triflorum* propagated by growing *D. ovalifolium*)
- $D_{4I_3}$  : inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (AMF inoculants from *D. heterocarpon* propagated by growing *D. ovalifolium*)
- $D_{2I_2}$  : inokulan dari *D. ovalifolium* dengan tanaman inang *P. javanica* (AMF inoculants from *D. ovalifolium* propagated by growing *P. javanica*)
- $D_{1I_3}$  : inokulan dari *D. heterophyllum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (AMF inoculants from *D. heterophyllum* propagated by growing *D. ovalifolium*)

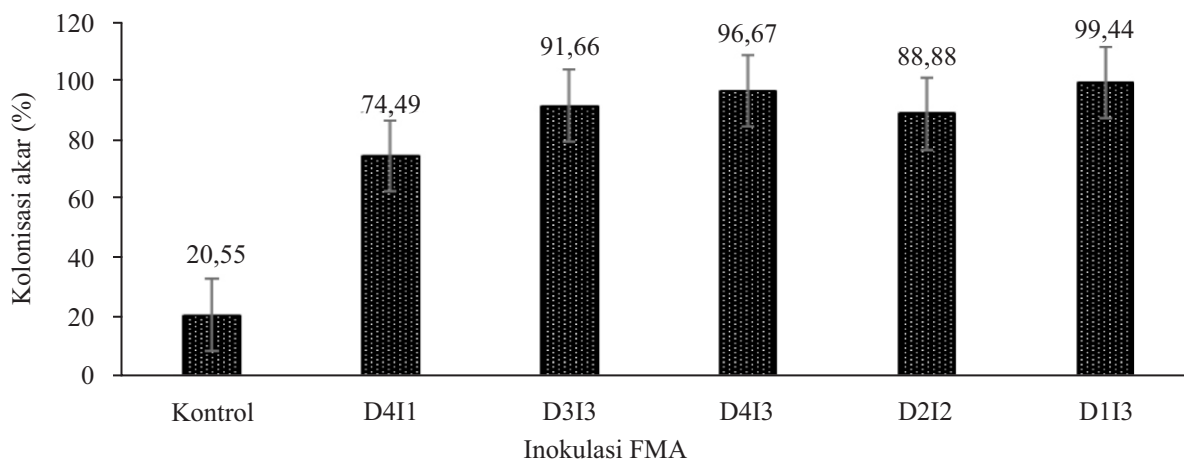
Gambar (Figure) 2. Pengaruh inokulasi fungi mikoriza arbuskula terhadap pertambahan panjang batang bibit *Desmodium ovalifolium* pada umur 10 minggu setelah tanam (The effect of inoculated arbuskula mycorrhizal fungionincreasing height of 10 weeks after planting *Desmodium ovalifolium* seedling)



Persentase kolonisasi akar pada bibit *D. ovalifolium* merupakan cerminan keberadaan hifa internal, visikula, arbuskula dan miselia dalam jaringan akar. Nilai persentase kolonisasi akar yang tinggi akan berpengaruh terhadap jumlah sebaran hifa eksternal didalam tanah. Meningkatkan jumlah hifa eksternal yang menyebar akan meningkatkan luasan jangkauan akar, sehingga dapat meningkatkan kerja akar dalam menyerap unsur-unsur hara dan air sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman seperti penambahan panjang batang.

Adapun persentase kolonisasi akar pada akar *D. ovalifolium* pada umur 10 MST terlihat pada Gambar 3.

Penggunaan media tanam tanah pasca tambang dan kompos pada penelitian ini juga untuk ditunjukkan untuk mengevaluasi kemampuan pertumbuhan *D. ovalifolium* pada kondisi tanah pasca tambang. Hasil analisis uji lanjut Duncan terhadap pengaruh media tanam terhadap pertumbuhan bibit *D. ovalifolium* disajikan pada Tabel 3.



Keterangan (Remark):

- Kontrol : tanpa inokulasi FMA (*without AMF inoculation*)
- D<sub>4</sub>I<sub>1</sub> : inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *S. vulgare* (*AMF inoculants from D. heterocarpon propagated by growing S. vulgare*)
- D<sub>3</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. triflorum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (*AMF inoculants from D. triflorum propagated by growing D. ovalifolium*)
- D<sub>4</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (*AMF inoculants from D. heterocarpon propagated by growing D. ovalifolium*)
- D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> : inokulan dari *D. ovalifolium* dengan tanaman inang *P. javanica* (*AMF inoculants from D. ovalifolium propagated by growing P. javanica*)
- D<sub>1</sub>I<sub>3</sub> : inokulan dari *D. heterophyllum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* (*AMF inoculants from D. heterophyllum propagated by growing D. ovalifolium*)

Gambar (Figure) 3. Persentase kolonisasi akar bibit *Desmodium ovalifolium* pada umur 10 minggu setelah tanam (*Root colonization of 10 weeks after planting Desmodium ovalifolium seedling*)

Tabel (Table) 3. Pengaruh perlakuan media tanam terhadap pertumbuhan bibit *Desmodium ovalifolium* pada umur 10 minggu setelah tanam (*The effect of media treatment on increasing height of 10 weeks after planting Desmodium ovalifolium seedling*)

Peubah (Variables)	Media tanam (Media treatments)	
	Tanah pasca tambang (Post mining soil)	Tanah pasca tambang dan kompos (Post mining soil and compost)
Pertambahan Panjang batang (cm) (Stem diameter increment (cm))		
2 MST	5.04 b	5.94 a
4 MST	11.08	11.95
6 MST	17.08	19.62
8 MST	23.59	25.36
10 MST	24.49	29.77
Biomassa total (g) (Total biomass (g))	12.29	10.32
Biomassa akar (g) (Root biomass (g))	1.71 a	1.10 b
Biomassa pucuk (g) (Shoot biomass (g))	11.28	8.46
Jumlah bintil akar (Number of postule roots)	92.60	89.25

Keterangan (Remark): Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Duncan pada taraf  $\alpha$  5% (*The numbers followed by the same letters in the same row showed no significant different by Duncan test alfa 5% confidence interval*).

## B. Pembahasan

### 1. Keragaman FMA pada *Desmodium* spp.

Hasil kultur penangkaran spora dengan menggunakan 3 jenis tanaman inang yaitu *S. vulgare*, *P. javanica* dan *D. ovalifolium* menunjukkan pengaruh yang berbeda terhadap persentase kolonisasi akar, jumlah spora, dan karakteristik tipe spora. Kultur penangkaran ini juga bertujuan untuk menstimulasi sporulasi yang berasal dari lapangan, karena setiap jenis FMA akan aktif pada periode waktu yang berbeda-beda, sebagian jenis FMA jumlah sporanya akan melimpah pada musim hujan sedangkan sebagian yang lain pada musim kemarau (Delvian, 2006). Suharno *et al.* (2015) menambahkan peningkatan jumlah spora pada kultur penangkaran didukung dengan kondisi lingkungan rumah kaca yang terkontrol dan stabil, sehingga memberikan kesempatan spora

yang diisolasi dari lapangan yang belum berkecambah, kemudian mengalami perkecambahan dan membentuk spora baru.

Penggunaan tanaman inang *S. vulgare* pada semua perlakuan sumber inokulum asal *Desmodium* spp., memberikan nilai persentase kolonisasi akar paling tinggi ini menunjukkan bahwa tanaman inang *S. vulgare* memiliki kompatibilitas yang tinggi terhadap jenis FMA yang terdapat dalam sumber inokulum asal *Desmodium* spp. Hal ini didukung dengan sistem perakaran serabut dari tanaman inang *Shorghum*. Menurut Dogget (1988); Dicko *et al.*, (2006) sistem perakaran serabut memiliki akar halus yang banyak dan menyebar rata ke seluruh tanah dan memberikan kontak maksimum dengan tanah. Luasnya permukaan akar akan memudahkan spora FMA dapat menginfeksi akar.

Kombinasi masing-masing perlakuan menghasilkan jumlah spora yang bervariasi. Namun terdapat kombinasi perlakuan tertentu yang cenderung menghasilkan jumlah spora yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi perlakuan inokulan lain, yaitu kombinasi pada perlakuan sumber inokulum *D. heterocarpon* dengan ketiga jenis tanaman inang, *S. vulgare* menghasilkan 105 spora, *P. javanica* 114 spora dan *D. ovalifolium* 65 spora untuk 20 g contoh tanah. Data ini menunjukkan bahwa sumber inokulum asal *D. heterocarpon* memiliki spora yang efektivitas yang tinggi. Sedangkan hasil pengamatan terhadap keragaman tipe spora menunjukkan tipe genus *Glomus* selalu mendominasi jenis spora FMA sebelum dan setelah kultur penangkaran. Menurut Wanda *et al.*, (2015) spora genus *Glomus* merupakan jenis spora yang paling dominan ditemukan pada beberapa kondisi ekosistem, karena jenis FMA ini memiliki kisaran inang yang luas.

Hasil pengamatan kultur penangkaran didapatkan 5 sumber inokulan potensial yaitu D<sub>4</sub>I<sub>1</sub> (inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *S. vulgare*), D<sub>3</sub>I<sub>3</sub> (inokulan asal *D. triflorum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium*), D<sub>4</sub>I<sub>3</sub> (inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium*), D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> (inokulan asal *D. ovalifolium* dengan tanaman inang *P. javanica*) dan D<sub>1</sub>I<sub>3</sub> (inokulan asal *D. heterophyllum* dengan tanaman inang *D. ovalifolium*) (Tabel 1).

## 1. Respon Inokulasi FMA terhadap Pertumbuhan Bibit *D. ovalifolium*

Interaksi antara perlakuan inokulasi FMA dan media tanam yang terjadi pada peubah pertambahan tinggi umur 2 MST, hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan bahan organik yang terkandung dalam kompos berperan penting dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sehingga dapat memberikan ruang tumbuh yang baik bagi perkembangan FMA. Menurut Setyaningsih (2007) perkecambahan spora FMA sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik tanah (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, temperatur tanah, dan kandungan air), dan sifat kimia tanah (pH dan kandungan hara). Ketersediaan unsur hara diawal pertumbuhan dapat meningkatkan proses fotosintesis tanaman inang sehingga dapat menghasilkan karbohidrat lebih awal, sebagai sumber energi FMA dalam proses perkembangannya di dalam akar tanaman.

Menurut Simanungkalit *et al.*, (2006) penambahan bahan organik ke dalam tanah dapat memacu perkembangan mikroorganisme tanah terutama bakteri rhizobium. Jumlah N<sub>2</sub> yang dikonversi oleh bakteri rhizobium menjadi amonia sangat dipengaruhi oleh ketersediaan C-organik di lingkungan rhizosfer tanaman. Keberadaan kompos sebagai sumber bahan organik meningkatkan kerja FMA dan rhizobium sehingga ketersediaan unsur hara seperti nitrogen dan fosfor meningkat yang akan berpengaruh terhadap serapan hara

tanaman, yang diikuti dengan peningkatan pertambahan tinggi bibit *D. ovalifolium* umur 2 MST. Hasil ini mendukung hasil penelitian Prayudyarningsih dan Sari (2013) yang menunjukkan kombinasi perlakuan inokulasi *Gigaspora* sp. dan kompos sebanyak 5% dapat meningkatkan pertumbuhan diameter batang, pertambahan jumlah daun, biomassa total, rasio pucuk akar dan persentase kolonisasi FMA semai jati pada media tanah bekas tambang kapur.

Faktor tunggal inokulasi FMA juga menunjukkan pengaruh nyata terhadap pertambahan panjang batang *D. ovalifolium*. Keberadaan hifa dari spora FMA memiliki peran penting membantu tanaman inang dalam meningkatkan serapan hara. Keberadaan hifa FMA dapat meningkatkan daya jangkauan akar, karena ukuran hifa yang sangat kecil yaitu 1/10 ukuran akar dengan panjang dapat mencapai 80 sampai 134 kali panjang akar (Agustin, 2011). Hifa masuk ke dalam partikel-partikel tanah untuk menyerap unsur hara dan air yang tidak terjangkau oleh akar. Hifa FMA juga dapat menghasilkan enzim fosfatase yang dapat meningkatkan ketersediaan fosfor pada daerah perakaran sehingga dapat diserap oleh akar. Peran ini sangat penting karena kondisi tanah pasca tambang pada umumnya dalam kondisi pH masam dengan unsur fosfat dalam bentuk terikat oleh Ca, Fe dan Al (Agustin, 2011; Mansur, 2013).

Unsur fosfor memegang peranan penting bagi pertumbuhan tanaman karena fosfor

merupakan unsur hara esensial penyusun substrat berenergi tinggi (ATP, ADP, AML) yang memiliki peranan penting dalam reaksi-reaksi pada fase gelap fotosintesis, respirasi dan beberapa proses metabolisme lainnya (Lakitan 2011). Fosfor juga mempengaruhi aktivitas meristem pada ujung batang tanaman, sehingga peningkatan serapan hara fosfor akan meningkatkan aktivitas meristem pada batang (Mbaubedari, 2011), sehingga dapat meningkatkan pertambahan tinggi bibit *D. ovalifolium*. Hubungan signifikan antara peningkatan panjang batang terhadap biomassa ditunjukkan pula oleh perlakuan inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* dan inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium*. Ini menunjukkan semakin panjangnya batang, maka biomassa total dan biomassa pucuk mengalami peningkatan (Tabel 2).

Proses kolonisasi akar oleh FMA pada tanaman inang membutuhkan waktu hingga keberadaan FMA efektif membantu tanaman inangnya dalam menyerap unsur hara. Bertham (2003) menyatakan sporulasi umumnya terjadi antara minggu ke 4 - 8 setelah pengkulturan. Dinamika pertambahan panjang batang *D. ovalifolium* terhadap perlakuan inokulasi FMA pada 4 MST telah menunjukkan peningkatan, sedangkan perlakuan kontrol memiliki tingkat pertumbuhan yang paling rendah (Gambar 3). Menurut Goltapeh *et al.*, (2008) proses kolonisasi FMA pada akar tanaman inang melalui beberapa tahapan meliputi proses

perkecambahan spora, diferensiasi hifa eksternal, pembentukan appresorium, penetrasi pada dinding sel akar inang membentuk hifa intraradikal, hifa intraradikal tumbuh menjalar diantara sel atau menembus sel epidermis dan mengkolonisasi ruang intra dan interseluler kortek akar, kemudian hifa intraradikal berdiferensiasi membentuk arbuskula, vesikel, dan spora. Setelah proses ini baru terjadi transportasi nutrisi dari FMA ke tanaman inang berupa serapan hara dan air, sedangkan FMA memperoleh unsur karbon dan fotosintat sebagai sumber energi dalam proses perkembangan spora di dalam akar tanaman inang.

Tanaman *D. ovalifolium* merupakan jenis tanaman legum yang secara alami menghasilkan bintil akar yang bersimbiosis dengan bakteri rhizobium yang merupakan bakteri aerobik yang berbentuk batang, tidak punya spora dan hidup di sekitar perakaran tanaman. Pada umumnya rhizobium bersimbiosis dengan jenis tanaman legum yang memiliki kemampuan untuk membentuk bintil akar. Bakteri ini akan memasuki rambut-rambut akar dan menembus sel korteks bagian dalam, di dalam sel bakteri mengalami pembelahan sel dan memperbanyak diri, sehingga akar akan membengkak membentuk bintil akar yang mengandung sel-sel bakteri yang disebut bakteroid. Pada bakteroid ini terjadi fiksasi nitrogen yang dibantu oleh enzim nitrogenase untuk mengubah nitrogen ( $N_2$ ) di udara ke dalam bentuk amonium ( $NH_4^+$ ) yang dapat diserap oleh tanaman (Munawar, 2011). Nitrogen

merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan dalam jumlah banyak dalam tubuh tanaman, yang berfungsi sebagai komponen protein, hormon, klorofil, vitamin dan enzim-enzim esensial. Di dalam tubuh tanaman nitrogen menyusun 40 - 50% bobot kering protoplasma pada bahan hidup sel tanaman (Munawar, 2011).

Keberadaan hormon pertumbuhan yang dihasilkan hifa FMA seperti auksin dan giberelin juga dapat merangsang pembentukan bintil akar sehingga keberadaan hormon ini dapat meningkatkan jumlah bintil akar pada tanaman *D. ovalifolium*. Peningkatan jumlah bintil akar terlihat pada perlakuan inokulum asal  $D_4I_3$  (inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium*) dan  $D_4I_1$  (inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *S. vulgare*) dengan peningkatan 134.88% dan 101.37% terhadap kontrol. Keberadaan rhizobium dan FMA akan saling berinteraksi secara sinergistik dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif, jumlah bintil akar dan hasil panen (Rao, 1994; Oktaviani *et al.*, 2014).

Inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* ( $D_4I_1$ ) dan inokulan asal *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* ( $D_4I_3$ ) memberikan pengaruh terbaik pada pertumbuhan bibit *D. ovalifolium*. Hasil ini juga telah terlihat dari hasil kultur penangkaran yang memperlihatkan penggunaan sumber inokulum asal *D. heterocarpon* dengan tiga jenis tanaman inang memberikan nilai persentase kolonisasi akar,



jumlah spora, dan tipe spora paling tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa sumber inokulum *D. heterocarpon* memiliki tingkat efektivitas spora FMA yang tinggi terhadap pertumbuhan tanaman *D. ovalifolium*. Jumlah spora dan keragaman tipe spora yang lebih banyak, akan meningkatkan kesempatan spora untuk menginfeksi akar tanaman inang. Hasil penelitian Widiastuti dan Sukarno (2005) perlakuan inokulasi spora *Acaulospora tuberculata* dengan 3 dosis jumlah spora (200, 350, dan 500 spora) pada bibit kelapa sawit menunjukkan bahwa perlakuan 500 spora *A. tuberculata* berpengaruh nyata dalam meningkatkan bobot basah tajuk, bobot kering akar, dan total bobot basah dan bobot kering bibit kelapa sawit.

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada peubah pertambahan panjang batang umur 2 MST, nilai terbaik ditunjukkan oleh perlakuan media tanam tanah pasca tambang dan kompos. Penambahan kompos pada tanah pasca tambang memberikan pengaruh terhadap serapan hara bibit *D. ovalifolium* sehingga dapat meningkatkan pertambahan panjang batang. Sedangkan pada peubah biomassa akar, perlakuan media tanam tanah tambang memberikan nilai terbaik, hal ini dikarenakan keberadaan rhizobium pada akar *D. ovalifolium* tetap dapat meningkatkan serapan nitrogen bagi tanaman walau tanpa penambahan kompos. Sejalan dengan hasil penelitian Hasanah (2014) penanaman *D. ovalifolium* dan *D. heteropyllum* menghasilkan

biomassa yang lebih besar pada tanah tambang dengan peningkatan sebesar 111.59% dan 63.73% pada tanah *subsoil*, sehingga walaupun ditanam pada kondisi tanah pasca tambang tanaman tetap mendapatkan suplai unsur hara N dari asosiasi akar tanaman *D. ovalifolium* dengan bakteri rhizobium.

#### IV. KESIMPULAN

Inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* dan inokulan dari *D. heterocarpon* dengan tanaman inang *D. ovalifolium* merupakan inokulan yang memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan bibit *D. ovalifolium* berdasarkan peubah pertambahan panjang batang, biomassa total, biomassa pucuk, jumlah bintil akar dan persentase kolonisasi akar.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih dan penghargaan penulis sampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membayai penelitian, PT. Cibaliung Sumberdaya dan PT. Holcim yang telah memberikan izin penelitian disana, serta semua pihak yang membantu kelancaran penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Agustin, W. (2011). Inokulasi fungi mikoriza arbuskula untuk meningkatkan produktivitas dan mutu benih cabai (*Capsicum annum* L) serta efisiensi penggunaan pupuk P [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

- Bertham, Y.H. (2003). Teknik pemurnian biakan monoxenic CMA dengan metode cawan petri dan tabung reaksi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 5(1), 18-26.
- Delvian. 2006. Dinamika sporulasi cendawan mikoriza arbuskula [Karya Tulis]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.
- Dicko, M.H., Gruppen, H., Traore, A.S., Voragen, A.G.J., Berkel, W.J.H. (2006). Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*, 5(5), 384 - 395.
- Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D., Xing, B. (2006). Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130, 229- 239.
- Dogget, H. (1988). *Sorghum*. Canada : Longman Scientific and Technical.
- Evans, D.O., Joy, R.J., Chia, C.L. (1988). Cover crop for orchards in Hawaii. Research Extension Series 094.
- Goltapeh, E.M., Danesh, Y.Z., Prasad, R., Varma, A. (2008). Mycorrhizal fungi: what we know and what should we know?, 3- 28. In : Varma, A, editor. *Mycorrhiza Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. India. Springer.
- Hasanah, N.I. (2014). Pengembangan *Desmodium* spp. sebagai tanaman penutup tanah dalam reklamasi lahan pasca tambang [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Lakitan, B. (2011). *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Rajagrafindo Persada.
- Mansur, I. (2013). *Teknik Silvikultur untuk Reklamasi Lahan Bekas Tambang*. Bogor: SEAMEO BIOTROP.
- Mbaubedari, K.F. (2011). Pengaruh fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan media tumbuh terhadap pertumbuhan plantling gaharu (*Gyrinops versteegii* Gilg. Domke) hasil multiplikasi in-vitro [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Munawar, A. (2011). *Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman*. Bogor. IPB Press.
- Oktaviani, D., Hasanah, Y., Barus, A. (2014). Pertumbuhan kedelai (*Glycine max* l. Merrill) dengan aplikasi fungi mikoriza arbuskular (FMA) dan konsorsium mikroba. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 2(2), 905-918.
- Prayudianingsih, R., Sari, R. (2013). Aplikasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan kompos untuk meningkatkan pertumbuhan semai jati (*Tectona grandis* linn.f.) pada media tanah bekas tambang kapur. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 5(1), 37-46
- Rao, N.S. (1994). *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Rillig, M.C., Steinberg, P.D. (2002). Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification. *Soil Biology & Biochemistry*, 34, 1371-1374.
- Sastrahidayat, I.R. (2011). *Rekayasa Pupuk Hayati Mikoriza dalam Meningkatkan Produksi Pertanian*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Schmidt, A., Lascano, C.E., Maass, B.L., Kraft, R.S. (1997). An approach to define G x E interaction in a core collection of *Desmodium ovalifolium*. ID, 192: 1/59-1/60.
- Setyaningsih, L. (2007). Pemanfaatan cendawan mikoriza arbuskula dan kompos aktif untuk meningkatkan pertumbuhan semai mindi (*Melia Azedarach* LINN) pada media tailing tambang emas pongkor [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Simanungkalit, R.D., Saraswati, R., Hastuti, R.D., Husen, E. (2006). Bakteri penambat fosfat. Di Dalam: Simanungkalit, R. D., Suriadikarta, D. A., Saraswati, R., Setyorini, D., Hartatik, W., Editor. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Suharno, Sancayaningsih, R.P. (2013). Fungi mikoriza arbuskula: potensi teknologi mikorizoremediasi logam berat dalam rehabilitasi lahan tambang. *Jurnal Bioteknologi*, 10(1), 31-42.
- Suharno, Tanjung RH, I VA, Sufaati S. (2015). Keragaman fungi mikoriza arbuskula pada tumbuhan pokem [*Setaria italica* (L). Beauv.] dengan metode *trapping*. *Jurnal Biologi Papua*, 7(2): 68 - 77.
- Suharti, N., Habazar, T., Nasir, N., Dachryanus, Jamsari. (2011). Induksi ketahanan jahe terhadap penyakit layu *Rastonia solanecearum* ras 4 menggunakan fungi mikoriza arbuskula (FMA) indigenus. *Jurnal HPT Tropika*, 11(1), 102-111.

- Utami, Y. (2015). Produktivitas dan kualitas hijauan *Indigofera zollingeriana* yang diinokulasi fungi mikoriza arbuskula dengan berbagai level boron [Tesis]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Wanda, A.R., Yuliani, Trimulyono, G. (2015). Keanekaragaman cendawan mikoriza vesikula arbuskula (MVA) di hutan pantai nepa Sampang Madura berdasarkan gradien salinitas. *Lentera Bio*, 4(3), 180-186.
- Widiastuti, H., Sukarno, N. (2005). Penggunaan spora cendawan mikoriza arbuskula sebagai inokulum untuk meningkatkan pertumbuhan dan serapan hara bibit kelapa sawit. *Jurnal Manara Perkebunan*, 73(1), 26-34.
- Zuhelmi, V., Aneloi, Z., Suwirmen. (2015). Pengatur tumbuh giberalin (GA3) dalam upaya reklamasi lahan pasca tambang batu kapur [Prosiding Seminar Nasional Biodeversitas dan Ekologi Indonesia]. Padang. Jurusan biologi FMIPA, Universitas Andalas.