

Ketergantungan Tiga Jenis Tanaman Kehutanan terhadap Mikoriza pada Media Tanah Bekas Tambang Pasir Silika

(Mycorrhizal Dependency of Three Forest Trees Species Grown in Post Sand Silica Mining Media)

Putri Aurum, Sri Wilarso Budi*, Prijanto Pamoengkas

(Diterima April 2019/Disetujui Maret 2020)

ABSTRAK

Salah satu upaya untuk menunjang keberhasilan reklamasi dan rehabilitasi lahan bekas tambang pasir silika adalah dengan perbaikan media tumbuh dan kualitas bibit yang ditanam dengan inokulasi mikoriza. Setiap jenis tanaman mempunyai ketergantungan terhadap mikoriza yang berbeda dan sangat ditentukan oleh jenis tanaman dan tingkat kesuburan tanahnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketergantungan terhadap mikoriza dari jenis jabon (*Anthocephalus cadamba*), sengon merah (*Albizia chinensis*) dan kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) yang tumbuh pada media tanah pascatambang pasir silika yang diberi perlakuan kompos dan kapur. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap petak terbagi dengan dua faktor perlakuan, yaitu faktor inokulasi mikoriza dalam bentuk inokulum *Mycosilvi* yang terdiri dari dua taraf dan faktor pemberian bahan amelioran tanah berupa kapur dan kompos terdiri dari enam taraf. Setiap perlakuan diulang lima kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kapur dan *Mycosilvi* menghasilkan nilai persentase ketergantungan terhadap mikoriza paling tinggi pada bibit jabon, sengon merah, dan kaliandra yaitu berturut-turut sebesar 76, 62, dan 59%. Perlakuan kapur dan kompos menurunkan nilai persentase ketergantungan terhadap mikoriza dari tiga jenis tanaman seiring dengan meningkatnya kandungan P tersedia di dalam media tumbuhnya.

Kata kunci: amelioran tanah, ketergantungan mikoriza, *Mycosilvi*, tanah bekas tambang

ABSTRACT

One effort to support the success of reclamation and rehabilitation of ex-silica sand mines is to improve the quality of seedling planted with mycorrhizal inoculation. Each plant has a mycorrhizal dependency which varies depending on the plant species and the level of soil fertility. This study aimed to analyze the mycorrhizal dependency of Kadam (*Anthocephalus cadamba*), Red Sengon (*Albizia chinensis*), and Kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) grown on soil growing media from post silica sand mining and amended with compost and lime. The study used completely randomized design with a split plot design consist of two factors, first factor was mycorrhizal inoculation in the form of *Mycosilvi* inoculum, consisting of two levels and the second factor was soil ameliorant in the form of lime and compost consisting of six levels, each treatment was repeated five times. The results showed that the treatment of lime and *Mycosilvi* addition showed the highest percentage of mycorrhizal dependency on Kadam, Red Sengon and Kaliandra seedlings, which were 76, 62, and 59% respectively. The addition of lime and compost decreased the degree of relative mycorrhizal dependency of three plants species tested, in line with increasing available P in soil growth medium.

Keywords: mycorrhizal dependency, *Mycosilvi*, post mined soil, soil ameliorant

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan sebagian besar dilakukan dengan sistem terbuka (*opened mining*), yang menyebabkan terjadi pengikisan lapisan atas tanah, pengerukan, dan penimbunan batuan penutup tanah (*overburden*). Sistem penambangan terbuka dapat menyebabkan perubahan sifat-sifat tanah antara lain sifat fisik, kimia, dan biologi (Cakyayanti & Setiadi 2014). Perubahan sifat-sifat tanah tersebut dapat mengakibatkan degradasi lahan seperti struktur tanah didominasi pasir, porositas tanah yang rendah,

permeabilitas tanah lambat, aerasi tanah yang jelek, dan permasalahan pada kondisi pH tanah (Tamin 2010), sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman.

Widyati (2012) melaporkan bahwa tanah pada lahan pascatambang dapat menghambat pertumbuhan tanaman, karena pH yang rendah serta kelarutan logam-logam berat meningkat. pH tanah yang masam dapat menyebabkan kerusakan pada Al-oktahedral mineral klei silikat, sehingga Al mineral klei silikat menjadi Al^{3+} yang bersifat toksik bagi tanaman (Rumondang 2016). Kelarutan Al^{3+} atau yang disebut dengan Al-yang dapat dipertukarkan (Al-dd) yang tinggi mengikat unsur P-tersedia di dalam tanah menjadi tidak tersedia bagi tanaman (Rout *et al.* 2001). Al-dd merupakan faktor pembatas dalam pertumbuhan

tanaman seperti terhambatnya pertumbuhan akar dan perpanjangan akar untuk mengambil nutrisi tanah (Silva 2012). Hal ini memengaruhi interaksi penyerapan unsur hara oleh tanaman, seperti menekan penyerapan unsur hara esensial lainnya (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe) oleh tanaman (Sopandie 2013). Unsur yang bersifat toksik dapat mengakibatkan penyimpangan fisiologis dan proses biokimia saat pertumbuhan tanaman (Barchia 2009). Persebaran tanah dengan pH rendah tidak hanya di tanah pasca tambang, tapi juga pada tanah Oxisol dan Ultisol yang memiliki karakteristik sifat tanah yang sangat masam, sehingga memiliki kendala keracunan Al, pH <5,5, fikasi P tinggi, dan miskin elemen biotik (Sopandie 2013).

Upaya pemulihan tanah pascatambang sangat diperlukan agar dapat dimanfaatkan kembali secara produktif dengan cara melakukan reklamasi dan revegetasi. Penambahan bahan-bahan amelioran tanah seperti kapur untuk meningkatkan pH, kompos untuk ketersediaan bahan organik, serta pemberian inokulum Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) sebagai mikroba tanah yang membantu pengambilan nutrisi dapat meningkatkan kualitas hidup tanaman agar dapat bertahan di lahan terdegradasi. Penambahan kompos pada tanah pascatambang merupakan tahapan ameliorasi tanah yang harus dilakukan. Menurut Muryati (2016) bahwa penambahan kompos dan FMA pada tanaman binuang (*Octomeles sumatrana*) memberikan respons yang baik bagi pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Janting *et al.* (2018) menunjukkan bahwa perlakuan penambahan kapur dan pupuk organik dapat memperbaiki kondisi lahan marginal. FMA juga dapat membantu inang tanaman untuk bertahan dari cekaman logam berat dengan meningkatkan nutrisi yang tersedia untuk tanaman (Miransari 2017). FMA merupakan salah satu mikroba tanah yang dapat memperbaiki struktur tanah dan membebaskan P yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman (Bonfante & Genre 2010). Karti & Setiadi (2011) menjelaskan bahwa FMA mengeluarkan enzim fosfatase dan asam-asam organik yang dapat membebaskan fosfat yang diikat oleh Al dan Fe.

Respons tanaman yang diinokulasi dengan FMA berbeda-beda bergantung pada berbagai macam faktor seperti kandungan P dalam tanah dan bahan organik tanah (Filho *et al.* 2008). Pada umumnya ketergantungan tanaman kehutanan terhadap mikoriza berkisar 79%, tanaman hijauan 56%, tanaman pekarangan 44%, serta rumput liar 70% (Tawaraya 2003). Dengan diketahuinya ketergantungan tanaman terhadap mikoriza maka dapat dijadikan strategi dalam pemilihan jenis tanaman yang akan diinokulasi mikoriza serta bahan amelioran tanah lainnya dengan tepat. Dalam penelitian ini tiga jenis tanaman kehutanan yang potensial untuk rehabilitasi lahan pascatambang akan diuji ketergantungannya terhadap mikoriza jika dikombinasikan dengan bahan amelioran tanah lainnya berupa kapur dan kompos.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis ketergantungan terhadap mikoriza dari jenis jabon (*Anthocephalus cadamba*), sengon merah (*Albizia chinensis*), dan kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) yang ditumbuhkan pada media tumbuh tanah pascatambang pasir silika yang diberi perlakuan kompos, dan kapur.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di laboratorium Teknologi Mikoriza dan Kualitas Bibit serta rumah kaca Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (IPB). Analisis tanah dan kompos dilakukan di Laboratorium, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB. Kegiatan penelitian berlangsung dari September 2016–Maret 2017.

Tanah pascatambang pasir silika diambil dari areal tambang PT. Holcim Indonesia Tbk di Sukabumi, Jawa Barat. Tanah diambil dari empat titik yang berbeda pada kedalaman 0–20 cm. Tanah tersebut dikomposit, sehingga menjadi satu sampel tanah, kemudian dianalisis sifat kimia dan teksturnya. Media tanah tersebut mempunyai karakteristik kimia sebagai berikut; pH H₂O = 3,2; C-organik = 4,21%, N-total = 0,19%, P-tersedia = 13,78 ppm, P-total = 278,04 ppm, Ca = 2,87 Cmol⁽⁺⁾/kg, Mg = 0,85 Cmol⁽⁺⁾/kg, K = 0,09 Cmol⁽⁺⁾/kg, Na = 0,11 Cmol⁽⁺⁾/kg, Al = 7,70 Cmol⁽⁺⁾/kg, H = 0,09 Cmol⁽⁺⁾/kg, KTK=15,28 Cmol⁽⁺⁾/kg, Fe = 208,59 ppm, Cu = 0,98 ppm, Zn = 2,31 ppm, Mn = 6,98 ppm, KB = 25,65%, dan tekstur tanah terdiri dari pasir 27,7%, debu 31,49%, serta liat 40,81%.

Produk inokulum pupuk hayati *Mycosilvi* dikembangkan oleh Laboratorium Teknologi Mikoriza dan Peningkatan Kualitas Bibit, Departemen Silviculture dalam bentuk granule. *Mycosilvi* mengandung FMA jenis *Glomus mosseae* dan diperkaya dengan Mycorrhizal Helper Bacterias (MHBs) dan diproduksi dalam media zeolit dengan *Pueraria javanica* sebagai tanaman inang. Setelah tanaman berumur dua bulan, media zeolit dikeringkan, kemudian zeolit beserta perakarannya diambil dan dihitung jumlah spora FMA nya.

Benih jabon ditabur pada media tanam pasir yang sudah disterilisasi. Pematahan dormansi benih sengon merah dilakukan dengan perendaman dalam air panas (80°C) selama 15 menit, kemudian direndam dalam air dingin selama 24 jam dan benih kaliandra direndam dalam air panas (100°C) selama 5 menit, kemudian direndam dalam air dingin selama 24 jam. Benih sengon merah dan kaliandra kemudian dikecambahkan pada media zeolit yang telah disterilisasi dan dipelihara di rumah kaca sampai siap untuk disapih ke media tanam di *polybag*.

Tanah pascatambang pasir silika dihaluskan dan diayak dengan ayakan yang berdiameter lubang 2 mm, kemudian dimasukkan ke dalam plastik anti panas dan disterilkan dengan *autoclave* selama 1 jam dengan

suhu 121°C. Media tanah steril dicampur dengan bahan amelioran tanah berupa kapur dolomit dan kompos bokasi (pH H₂O = 7,21; N = 1,17%, P₂O₅ = 1,21%, dan K₂O = 2,14%) sesuai rancangan perlakuan yang diberikan, kemudian dimasukkan ke *polybag* dengan ukuran 15 x 20 cm.

Bibit jabon, sengon merah, dan kaliandra yang sehat dan relatif seragam dengan tinggi sekitar 2 cm disapih pada media tanah di dalam *polybag*. Bibit diinokulasi dengan FMA dalam bentuk inokulum *MycoSilvi* sebanyak 10 g (±50 spora) yang diletakkan di dekat akar bibit pada saat penyapihan. Bibit-bibit tersebut dipelihara di dalam rumah kaca selama 16 minggu. Penyiraman dilakukan setiap hari.

Tanaman dipanen pada umur 16 minggu, kemudian dioven pada suhu 80°C selama 24 jam dan ditimbang bobot keringnya. Ketergantungan terhadap mikoriza (MD) dihitung menggunakan metode Plenchette *et al.* (1983), yaitu;

$$MD(\%) = \frac{BKT \text{ bermikoriza} - BKT \text{ tidak bermikoriza}}{BKT \text{ bermikoriza}} \times 100\%$$

Keterangan:

MD = Ketergantungan terhadap mikoriza

BKT = Bobot kering tanaman

Respons pertumbuhan (GR) dihitung dengan menggunakan rumus Hetrick *et al.* (1992), yaitu:

$$GR(\%) = \frac{BKT \text{ bermikoriza} - BKT \text{ tidak bermikoriza}}{BKT \text{ tidak bermikoriza}} \times 100\%$$

Keterangan:

GR = Respons pertumbuhan tanaman

BKT = Bobot kering tanaman

Sampel tanah pada akhir penelitian diambil dari masing-masing perlakuan, kemudian dikompositkan per ulangan hingga menjadi 12 sampel. Sampel tanah kemudian dianalisis sifat kimia tanah yaitu pH, C-organik, N-total, P-tersedia dan Aluminium.

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan petak terbagi (*split pot design*) yang terdiri dari atas dua faktor perlakuan yaitu *MycoSilvi* dan amelioran tanah. Petak utama berupa *MycoSilvi* yang terdiri dari 2 taraf yaitu tanpa *MycoSilvi* dan dengan *MycoSilvi*. Anak petak berupa amelioran tanah yang terdiri atas enam taraf, yaitu 1) Kontrol; 2) Pemberian kapur 5,79 g; 3) Pemberian kapur 10,58 g; 4) Pemberian kompos 35 g; 5) Pemberian kompos 35 g dan kapur 5,79 g; serta 6) Pemberian kompos 35 g dan kapur 10,58 g. Dari dua faktor tersebut diperoleh 12 kombinasi perlakuan yang masing-masing diulang sebanyak 5 kali.

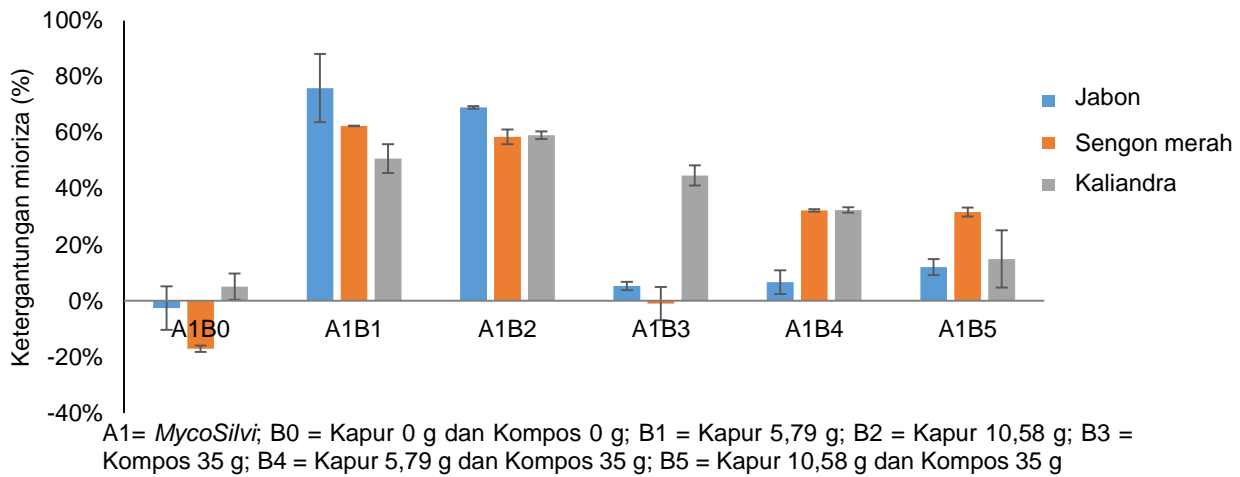
Kode untuk masing-masing perlakuan sebagai berikut; tanpa *MycoSilvi* dan amelioran tanah (A0B0), pemberian kapur 5,79 g (A0B1), pemberian kapur 10,58 g (A0B2), pemberian kompos 35 g (A0B3), pemberian kompos 35 g dan kapur 5,79 g (A0B4), pemberian kompos 35 g dan kapur 10,58 g (A0B5), pemberian *MycoSilvi* (A1B0), pemberian *MycoSilvi* dan

kapur 5,79 g (A1B1), pemberian *MycoSilvi* dan kapur 10,58 g (A1B2), pemberian *MycoSilvi* dan kompos 35 g (A1B3), pemberian *MycoSilvi*, kompos 35 g, dan kapur 5,79 g (A1B4), dan pemberian *MycoSilvi*, kompos 35 g dan kapur 10,58 g (A1B5).

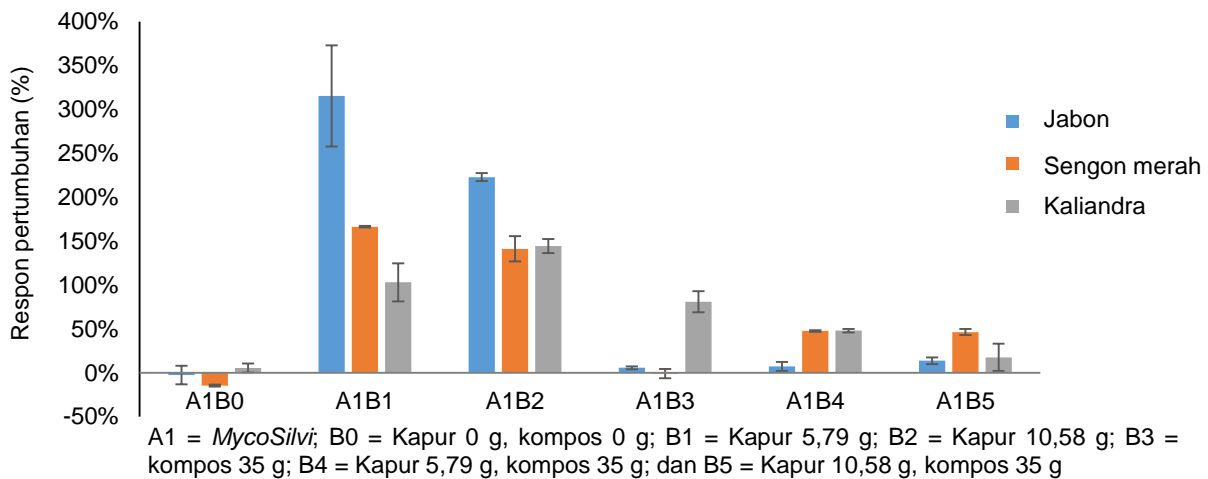
HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketergantungan tanaman terhadap mikoriza (*mycorrhizal dependency*) adalah kondisi tanaman dalam memproduksi pertumbuhan atau hasil yang maksimum bergantung pada mikoriza pada level kesuburan tanah tertentu (Gerdemann 1975). Semakin subur tanah maka tanaman semakin tidak tergantung pada mikoriza. Nilai ketergantungan yang tinggi menunjukkan bahwa inokulasi FMA bermanfaat bagi produksi tanaman dan tahan terhadap kondisi kekeringan, miskin hara dan serangan patogen akar (Ghosh & Verma 2006). Pada penelitian ini, tiga jenis tanaman ditumbuhkan pada media tanah pasca-tambang yang sangat tidak subur yang dicirikan oleh pH sangat masam, yaitu 3,7 dan kandungan aluminium yang sangat tinggi, yaitu 7,70 cmol/kg, serta kadar N, P dan K sangat rendah. Kondisi tanah tersebut tidak optimal mendukung pertumbuhan tanaman. Di samping itu, mikoriza juga tidak dapat berfungsi dengan baik, bahkan dapat bersifat sebagai parasit serta menghambat pertumbuhan tanaman melalui kompetisi penggunaan unsur hara (Hart & Forsythe 2012). Hal ini dapat dibuktikan dari hasil penelitian ini (Gambar 1). Tiga tanaman memberi respons yang berbeda terhadap keberadaan mikoriza. Pada media tanah yang tidak diberi bahan amelioran baik kapur maupun kompos, pertumbuhan jabon dan sengon merah sangat terhambat dan mempunyai ketergantungan mikoriza berturut-turut sebesar -3 dan -17%, sedangkan kaliandra mempunyai ketergantungan mikoriza sebesar 5%. Perbedaan jenis tanaman terhadap ketergantungan mikoriza juga sejalan dengan penelitian Menge *et al.* (1978); Yao *et al.* (2001).

Mikoriza merupakan simbiosis antara fungi dengan akar tanaman yang saling menguntungkan, tanaman menggantungkan pada fungi untuk mengambil unsur hara dari dalam tanah dan fungi menggantungkan sumber makanannya dari eksudat akar (Smith & Read 2008). Namun demikian, respons positif tanaman terhadap kehadiran mikoriza sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Menurut Smith & Smith (2012) bahwa tanaman dapat merespon negatif terhadap kehadiran mikoriza pada saat pengambilan P oleh mikoriza lebih rendah dari pada pengambilan P oleh akar secara langsung. Secara umum, respons negatif tanaman terjadi pada kondisi kandungan nutrisi di dalam tanah sangat terbatas. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini bahwa fungi tetap bergantung pada tanaman, namun tidak mampu mengambil nutrisi dari dalam tanah, akibatnya pertumbuhan tanaman justru terhambat (Gambar 2), pertumbuhan jabon dan



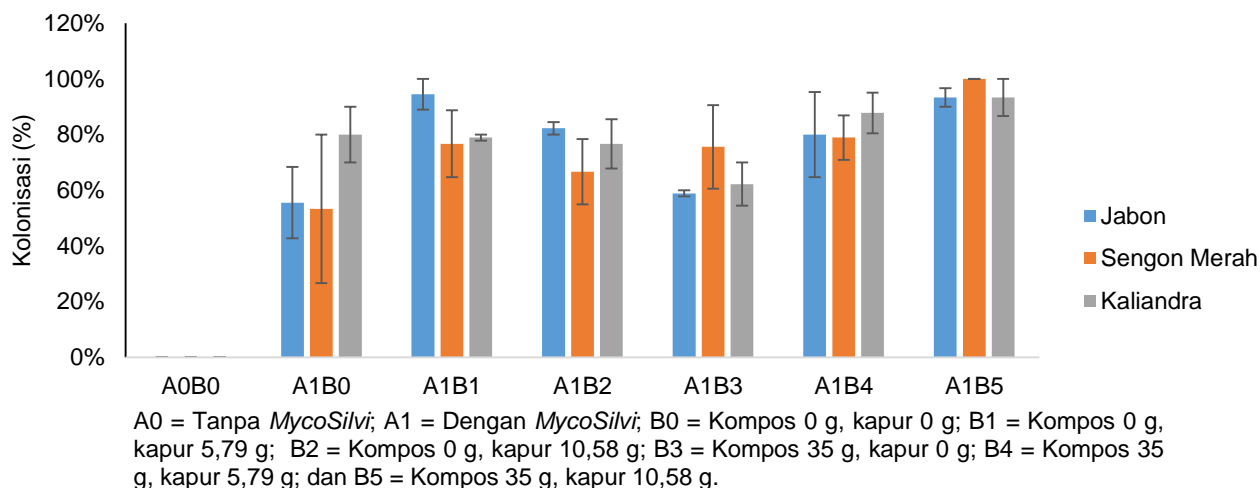
Gambar 5 Perbandingan ketergantungan tanaman terhadap *MycoSilvi* pada bibit jabon, sengon merah, dan kaliandra.



Gambar 6 Perbandingan respons pertumbuhan terhadap *MycoSilvi* pada bibit jabon, sengon merah, dan kaliandra

sengon merah terhambat masing-masing sebesar -3 dan -15%. Namun, dari data kolonisasi mikoriza (Gambar 3) pada jabon dan sengon merah menunjukkan nilai kolonisasi yang tinggi, yaitu sebesar 56 dan 53%. Hal ini menunjukkan bahwa bibit yang diberi perlakuan *MycoSilvi* saja belum memberikan manfaat terhadap tanaman. FMA yang diinokulasikan adalah jenis *G. mosseae* yang merupakan fungi obligat yang hanya bisa hidup jika bersimbiosis dengan tanaman inang. Sifat kimia tanah pada Tabel 1–3, menunjukkan bahwa perlakuan B0 masih memiliki pH tanah yang sangat masam dan kandungan Al yang sangat tinggi serta bersifat toksik bagi tanaman. Menurut Yamamoto (2019) bahwa mekanisme toksisitas Al terhadap tanaman terjadi karena tiga hal, yaitu 1) Meningkatnya ion Fe yang dipicu oleh lipid peroksidasi yang mengakibatkan hilangnya integritas plasma membran sel, 2) Terjadi disfungsi mitokondria akibat meningkatnya ROS (*Reactive Oxygen Species*), dan 3) Terjadi kerusakan integritas plasma membrane vakuola. Media tumbuh yang digunakan dalam penelitian ini selain mempunyai kandungan Al yang tinggi juga mempunyai kandungan Fe yang juga tinggi,

sehingga tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik tanpa pemberian perlakuan dengan bahan ameliorant tanah. Inokulasi *MycoSilvi* (A1B0) pada tanaman dapat mengkolonisasi akar tanaman yang tinggi (Gambar 3), namun persentase ketergantungan terhadap mikoriza sangat rendah (Gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman masih berupaya untuk hidup di media tumbuh yang miskin hara namun juga memberikan makanan berupa eksudat akar untuk FMA. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Correa *et al.* 2006) pada tanaman *Pinus pinaster*. Di sisi lain, pada media tanam yang diberi kapur sebanyak 5,79 g (A0B1) maupun 10,58 g (A0B2), respons pertumbuhan jabon, sengon merah, dan kaliandra meningkat berturut-turut sebesar 315, 166, dan 103% pada perlakuan (A0B1) dan 223, 141, dan 144%, pada perlakuan (A0B2) (Gambar 2). Nilai ketergantungan relatif terhadap mikoriza berturut-turut sebesar 76, 62, dan 51% pada perlakuan (A0B1) dan 69, 59, dan 59%, pada perlakuan (A0B2) (Gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian kapur dapat meningkatkan pH dan menurunkan kandungan Al di dalam media.



Gambar 7 Perbandingan persentase kolonisasi *MycoSilvi* pada bibit jabon, sengon merah, dan kaliandra,

Tabel 1 Hasil analisis sifat kimia tanah pada bibit jabon umur 16 minggu setelah tanam (MST)

Perlakuan	pH	C-Organik	N-Total	P-tersedia	Al-dd
		%	%	ppm	cmol ⁽⁺⁾ /kg
A0B0	4,28sm	1,09r	0,10r	2,03sr	4,83st
A0B1	6,53am	1,49r	0,09sr	1,87sr	tr
A0B2	7,45n	1,57r	0,11r	2,37sr	tr
A0B3	4,80m	1,10r	0,14r	10,01r	2,31st
A0B4	6,91n	2,28s	0,17r	20,80st	tr
A0B5	7,18n	1,97r	0,15r	14,86t	tr
A1B0	3,96sm	1,41r	0,12r	1,36sr	5,23st
A1B1	6,02am	1,57r	0,11r	1,70sr	0,45s
A1B2	7,33n	0,79sr	0,12r	2,04sr	tr
A1B3	5,67am	3,00t	0,21s	27,74st	1,02t
A1B4	7,81aa	2,28s	0,18r	19,57st	tr
A1B5	7,74aa	2,68s	0,17r	26,78st	tr

Keterangan: A0 = tanpa *MycoSilvi*, A1 = dengan *MycoSilvi*, B0 = tanpa bahan amelioran, B1 = kapur 5,79 g, B2 = kapur 10,58 g, B3 = kompos, B4 = kompos dan kapur 5,79 g, B5 = kompos dan kapur 10,58 g, sm = sangat masam, m = masam, am = agak masam, n = netral, aa = agak alkalis, sr = sangat rendah, r = rendah, s = sedang, t = tinggi, st = sangat tinggi, dan tr = nilai lebih kecil dari 0 sehingga tidak dapat dihitung. Kriteria: Eviati & Sulaeman (2009).

Tabel 2 Hasil analisis sifat kimia tanah pada bibit sengon merah umur 16 minggu setelah tanam (MST)

Perlakuan	pH	C-Organik	N-Total	P-tersedia	Al-dd
		%	%	ppm	cmol ⁽⁺⁾ /kg
A0B0	4,18sm	1,56r	0,10r	3,05sr	6,75st
A0B1	6,79n	1,41r	0,11r	1,36sr	1,06t
A0B2	6,87n	1,57r	0,09sr	2,04sr	tr
A0B3	5,42m	1,88r	0,18r	10,71r	1,80t
A0B4	6,93n	2,28s	0,17r	13,61r	0,17s
A0B5	7,59n	2,36s	0,15r	15,17r	tr
A1B0	4,54m	1,26r	0,11r	1,02sr	5,76st
A1B1	7,00n	1,26r	0,09sr	1,54sr	0,12s
A1B2	7,29n	1,33r	0,10r	1,69sr	tr
A1B3	5,61am	2,37s	0,20r	22,38s	1,47t
A1B4	7,82aa	3,71t	0,24s	23,96s	tr
A1B5	8,52aa	3,00t	0,21s	17,63s	tr

Keterangan: A0 = tanpa *MycoSilvi*, A1 = dengan *MycoSilvi*, B0 = tanpa bahan amelioran, B1 = kapur 5,79 g, B2 = kapur 10,58 g, B3 = kompos, B4 = kompos dan kapur 5,79 g, B5 = kompos dan kapur 10,58 g, sm = sangat masam, m = masam, am = agak masam, n = netral, aa = agak alkalis, sr = sangat rendah, r = rendah, s = sedang, t = tinggi, st = sangat tinggi, dan tr = nilai lebih kecil dari 0 sehingga tidak dapat dihitung. Kriteria: Eviati & Sulaeman (2009).

Tabel 3 Hasil analisis sifat kimia tanah pada bibit kaliandra umur 16 minggu setelah tanam (MST)

Perlakuan	pH	C-Organik	N-Total	P-tersedia	Al-dd
		%	%	ppm	cmol ⁽⁺⁾ /kg
A0B0	4,27sm	0,86sr	0,12r	3,40sr	4,42st
A0B1	7,21n	1,41r	0,12r	2,55sr	0,09s
A0B2	7,25n	1,80r	0,11r	2,04sr	tr
A0B3	4,72sm	1,42r	0,14r	2,52sr	2,87st
A0B4	7,38n	1,96r	0,17r	14,62t	tr
A0B5	7,63aa	1,90r	0,17r	15,25st	tr
A1B0	4,05sm	1,57r	0,12r	1,70sr	6,26st
A1B1	7,11n	1,41r	0,12r	2,04sr	0,12s
A1B2	7,30n	5,48t	0,12r	1,70sr	tr
A1B3	4,13sm	3,15t	0,18r	22,35st	3,37st
A1B4	7,39n	1,74r	0,20r	16,95st	tr
A1B5	7,76aa	2,36s	0,10r	23,87st	tr

Keterangan: A0 = tanpa *Mycosilvi*, A1 = dengan *Mycosilvi*, B0 = tanpa bahan amelioran, B1 = kapur 5,79 g, B2 = kapur 10,58 g, B3 = kompos, B4 = kompos dan kapur 5,79 g, B5 = kompos dan kapur 10,58 g, sm = sangat masam, m = masam, am = agak masam, n = netral, aa = agak alkalis, sr = sangat rendah, r = rendah, s = sedang, t = tinggi, st = sangat tinggi, dan tr = nilai lebih kecil dari 0 sehingga tidak dapat terhitung. Kriteria: Eviati & Sulaeman (2009).

Hasil analisis kimia tanah setelah perlakuan pada penelitian ini (Tabel 1–3), menunjukkan adanya peningkatan nilai pH, kandungan P tersedia, dan menurunkan kandungan Al pada media yang ditanam dengan tiga jenis tanaman uji. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Khairuna *et al.* (2015) bahwa pemberian kapur berpengaruh terhadap meningkatnya pH tanah dan mampu mengurangi jumlah kelarutan unsur-unsur mikro seperti Al, Fe, dan Mn yang apabila dalam jumlah banyak dapat meracuni tanaman. Dengan berkurangnya kelarutan Al dalam tanah, maka tanaman tumbuh lebih baik (Munawar 2011). Hasil penelitian ini juga menunjukkan adanya sinergi antara mikoriza dengan pemberian kapur yang ditunjukkan dengan meningkatnya respons pertumbuhan jenis tanaman uji.

Penambahan kompos pada media tanam dapat memperbaiki sifat fisik tanah, sehingga meningkatkan kesuburan tanah dan meningkatkan kemampuan tanah untuk mempertahankan kandungan air tanah (Notodarmojo 2005). Hasil penelitian Fini & Ferrini (2011); Mrabet *et al.* (2014) menunjukkan bahwa kompos dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman *Acer compestre*, *Carpinus betulus*, dan *Argania spinosa* dalam program reforestasi. Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan kompos pada media tanam mampu meningkatkan respons pertumbuhan tanaman jabon dan kaliandra berturut-turut sebesar 6 dan 81%, serta ketergantungan mikoriza berturut-turut sebesar 5 dan 45%. Di sisi lain, pemberian kompos pada bibit sengon merah belum mampu meningkatkan pertumbuhan yang ditunjukkan oleh respons pertumbuhan yang bernilai negatif, yaitu -1 dan nilai ketergantungannya juga -1. Nilai minus pada persentase ketergantungan mikoriza dan respons pertumbuhan terhadap bibit sengon merah ini disebabkan karena bobot kering total pada bibit yang diberikan *Mycosilvi* dan kompos lebih kecil dibandingkan dengan bobot kering total pada bibit yang hanya diberi kompos saja. Hal ini menunjukkan bahwa bibit sengon merah lebih sensitif terhadap kandungan

Al yang ada di media tanam. Hasil analisis media tanam menunjukkan bahwa pemberian kompos tidak mampu menurunkan kandungan Al di dalam media tanam dan masih dalam kategori tinggi pada media tanam sengon merah (Tabel 2) dan sangat tinggi pada media tanam jabon dan kaliandra (Tabel 1 dan 3). Kandungan Al yang tinggi pada tanah dapat bersifat racun bagi tanaman melalui beberapa mekanisme penghambatan pertumbuhan terutama pembelahan dan pemanjangan sel akar (Silva 2012).

Respons pertumbuhan tiga bibit serta ketergantungannya terhadap mikoriza pada media tanah yang diberi perlakuan kapur dan kompos lebih tinggi daripada media yang hanya diberi kompos saja, namun masih lebih rendah dibanding media yang diberi kapur (Gambar 1 dan 2). Hal ini mengindikasikan pemberian kapur dan kompos secara bersama dapat meningkatkan kesuburan tanah, sehingga menurunkan nilai ketergantungan relatif terhadap mikoriza. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian pada tanaman *Hancornia speciosa* (Filho *et al.* 2008), tanaman bambu (Jha *et al.* 2012), dan Balsa (*Ochroma bicolor*) (Budi *et al.* 2020) bahwa ketergantungan terhadap mikoriza menurun seiring dengan meningkatnya kandungan P tersedia di dalam tanah. Keuntungan yang tinggi dari tanaman bersimbiosis dengan mikoza diperoleh pada tanah yang kekurangan P dan turun pada tanah yang ketersediaan P-nya tinggi (Swift 2004). Perlakuan kompos serta kapur 5,79 g (A0B4) dan pemberian kompos serta kapur 10,58 g (A0B5) mampu menaikkan pH tanah dari sangat masam menjadi netral, meningkatkan nilai C-organik dan P-tersedia, serta menurunkan kadar Al tanah menjadi tidak terukur (Tabel 1–3). Perubahan kualitas tanah karena perlakuan kompos dan kapur kemungkinan disebabkan karena FMA mampu mengeluarkan enzim fosfatase dan asam-asam organik yang dapat membebaskan fosfat yang diikat oleh Al dan Fe (Kebrabadi *et al.* 2014; Sultana & Siddique 2015; Bini *et al.* 2017). Pemberian kompos dan kapur 5,79 g (A1B4) serta kompos dan kapur 10,58 g (A1B5)

menunjukkan perlakuan yang paling baik di antara perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi antara kompos dan kapur mampu meningkatkan kesuburan tanah yang berakibat pada menurunnya nilai ketergantungan tanaman dan respons pertumbuhan terhadap mikoriza (Gambar 1 dan 2). Ketersediaan unsur hara tertentu dapat mengubah ketergantungan mikoriza pada jenis tanaman yang berbeda, serta ketergantungan mikoriza juga akan menunjukkan tingkat yang berbeda pada beberapa kondisi tanah (Giri 2017). Selain itu, Tawaraya (2003) menyatakan bahwa ketergantungan mikoriza dapat berkurang dengan meningkatnya kandungan P-tersedia di dalam tanah, karena pada kondisi tersebut tanaman dapat menyerap P dengan sendirinya.

KESIMPULAN

Jabon, sengon merah, dan kaliandra mempunyai nilai ketergantungan terhadap mikoriza yang cukup tinggi dan nilai ketergantungannya menurun dengan semakin meningkatnya kandungan P tersedia dalam media tanam. Jabon mempunyai nilai ketergantungan terhadap mikoriza yang paling tinggi yaitu 76% pada pH media 6,02 dan kadar P tersedia sebesar 1,70 ppm, diikuti jenis sengon merah dengan nilai ketergantungan mikoriza sebesar 62% pada pH media 7,0 dan kadar P tersedia 1,59 ppm dan kaliandra dengan nilai ketergantungan terhadap mikoriza sebesar 59% pada pH media 7,3 dan P tersedia sebesar 1,7 ppm. Pemberian kapur dan kompos baik secara tunggal maupun kombinasi dapat mengubah nilai ketergantungan tiga jenis tanaman terhadap mikoriza.

Kombinasi perlakuan *Mycosilvi*, kompos 35 g dan kapur 5,79 g (A1B4) sangat berpengaruh dalam meningkatkan pH tanah dari sangat masam menjadi netral, menurunkan kadar Al di dalam tanah menjadi tidak terukur, serta mampu meningkatkan unsur C-organik, N-total, dan P-tersedia dari rendah menjadi sedang hingga tinggi pada media tanam jabon, sengon merah, dan kaliandra.

Pada tanah yang subur, jenis sengon merah mempunyai ketergantungan terhadap mikoriza yang lebih tinggi diikuti jenis kaliandra dan jabon. Pada tanah yang sangat tidak subur tidak dianjurkan untuk memberikan mikoriza tanpa diikuti pemberian bahan amelioran tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktur Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Perguruan Tinggi, Republik Indonesia yang telah mendanai Penelitian ini melalui Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi dengan kontrak Penelitian

No. 079/SP2H/LT/DPRM/11/2016. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Manajemen PT Holcim Indonesia Tbk. Sukabumi, Jawa Barat, yang telah mengizinkan mengambil sampel tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Barchia MF. 2009. *Agroekosistem Tanah Mineral Masam*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Bini D, Santos CA, Silva MCP, Bonfim JA, Cardoso EJB. 2017. Intercropping *Acacia mangium* stimulates AMF colonization and soil phosphatase activity in *Eucalyptus grandis*. *Scientia Agricola*. 75(2): 102–110 <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0337>
- Bonfante P, Genre A. 2010. Mechanism underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature communication*. <https://doi.org/10.1038/ncomms1046>
- Budi SW, Maharani P, Sukendro A, Wibowo C. 2020. The role of *Mycosilvi*, lime, and compost on the growth of Balsa (*Ochroma bicolor* Rowlee.) Seedling in Post Silica Sand Mine Media. *Journal of Sylva Indonesiana* (JSI). 3(1): 28–39
- Cakyayanti ID, Setiadi Y. 2014. Evaluasi hasil-hasil penelitian berbagai jenis pohon dalam rangka rehabilitasi lahan tambang mineral di Indonesia. *Jurnal Silviculture Tropika*. 5(2): 91–96
- Correa A, Strasser RJ, Martins-Laucado MA. 2006. Are mycorrhiza always beneficial?. *Plant and Soil* 279: 65–73. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-7460-1>
- Eviati, Sulaeman. 2009. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Bogor (ID): Balai Penelitian Tanah.
- Filho JAC, Lemos EEP, Santos TMC, Caetano LC, Nogueira MA. 2008. Mycorrhizal dependency of mangaba tree under increasing phosphorus levels. *Pesq.agropec.bras*. 43(7): 887–892. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X20080007 00013>
- Fini A, Ferrini F. 2011. Effect of mulching with compost on growth and physiology of *Acer campestre* L. and *Carpinus betulus* L. *Advance Horticulture Science*. 25(4): 232–238
- Gerdermann JW. 1975. *Vesicular-arbuscular mycorrhizae*. In: *The Development and Function of Roots*. (J. G. Torrey and D. T. Clarkson Eds.). New York (US): Academic Press
- Ghosh S, Verma NK. 2006. Growth and mycorrhizal dependency of *Acacia mangium* Willd. Inoculated with three vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in lateritic soil. *New Forests* 31: 75–81. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-4763-7>

- Giri B. 2017. Mycorrhizal dependency and growth response of *Gliricidia sepium* (Jacq) Kunth ex Walp. under saline condition. *Plant Science Today*. 4(4): 154–160. <https://doi.org/10.14719/pst.2017.4.4.348>
- Harth MH, Forsythe JA. 2012. Using arbuscular mycorrhizal fungi to improve the nutrient quality of crops; nutritional benefits in addition to phosphorus. *Scientia Horticulture*. 148(2012): 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.018>
- Hetrick BAD, Wilson WT, Cox TS. 1992. Mycorrhizal dependency of modern wheat varieties, landraces, and ancestors. *Canadian Journal of Botany*. 70: 2032–2040. <https://doi.org/10.1139/b92-253>
- Janting, Muin A, Burhanuddin. 2018. Pertumbuhan Bibit Aren (*Arenga pinnata* Merr) Pada Media Tanah Ultisol Dipersemaian. *Jurnal Tengawang*. 8(1): 1–5. <https://doi.org/10.26418/jt.v8i1.24121>
- Jha A, Kumar A, Saxena RK, Kamalvanshi M, Chakravarty N. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizal inoculations on seedling growth and biomass productivity of two bamboo species. *Indian Indian Journal of Microbiology*. 52(2): 281–285. <https://doi.org/10.1007/s12088-011-0213-3>
- Karti PDMH, Setiadi Y. 2011. Respons pertumbuhan, produksi dan kualitas rumput terhadap penambahan fungsi mikoriza arbuskula dan asam humat pada tanah masam dengan aluminium tinggi. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*. 16(2): 104–111
- Kebrabadi BZ, Matinizadeh M, Daryayi M, Salehi A. 2014. Changes in acid and alkaline phosphatase enzyme activity in rhizosphere ash *Fraxinus rotundifolia* and its correlation with soil and plant phosphorus. *Journal Biology and Environmental Science*. 4(5):233–238
- Khairuna, Syafruddin, Marlina. 2015. Pengaruh fungsi mikoriza arbuskular dan kompos pada tanaman kedelai terhadap sifat kimia tanah. *Journal Floratek*. (10): 1–9
- Menge JA, Johnson ELV, Platt RG. 1978. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. *New Phytol*. 1978(81): 553–559. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1978.tb01628.x>
- Miransari M. 2017. *Arbuscular Mycorrhizal and Stress Tolerance of Plants*. Qiang-Sheng Wu, Editor. Singapore (SG): Springer (E-book). https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0_7
- Mrabet SE, Ouahmane L, Mousadik AE. 2014. The effectiveness of arbuscular mycorrhizal inoculation and bio-compost addition for enhancing reforestation with *Argania spinosa* in Morocco. *Journal of Forestry*. 4(1): 14–23. <https://doi.org/10.4236/ojf.2014.41003>
- Munawar A. 2011. *Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman*. Bogor (ID): IPB Press
- Muryati S. 2016. Aplikasi *Desmodium ovalifolium* yang Diinokulasikan Fungi Mikoriza Arbuskula Pada *Octomeles sumatrana* Miq. di Tanah Pasca-tambang. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Notodarmojo S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air*. Bandung (ID): ITB.
- Plenchette C, Fortm JA, Furlan V. 1983. Growth response of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant Soil*. 70: 199–209. <https://doi.org/10.1007/BF02374780>
- Rout G, Samantaray S, Das P. 2001. Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie, EDP Sciences*. 21(1): 3–21. <https://doi.org/10.1155/2012/219462>
- Rumondang J. 2016. Uji Adaptabilitas *Paspalum conjugatum* Berg, *Setaria splendida* Stapf, dan *Vetiveria zizanoides* (L.) Nash Pada Toksisitas Aluminium [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Silva S. 2012. Aluminium toxicity targets in plants. *Hindawi Publishing Corp, Journal of Botany*. 2012: 1–8. <https://doi.org/10.1155/2012/219462>
- Smith SE, Read DJ. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Third edition. Academic press
- Smith SE, Smith FA. 2012. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. *Mycologia*. 104: 1–13. <https://doi.org/10.3852/11-229>
- Sopandie D. 2013. *Fisiologi Adaptasi Tanaman Terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika*. Bogor (ID): IPB Press.
- Sultana J, Siddique MNA. 2015. Quantifying the role of arbuscular mycorrhizal colonization and acid phosphatase activity in grass biomass production. *Journal of Molecular Studies and Medicine Research*. 1(1): 1–15. <https://doi.org/10.18801/jmsmr.010115.01>
- Swift CE. 2004. Mycorrhiza and soil phosphorus levels. Colorado State University. *Cooperation Extension*. 1–4
- Tamin RP. 2010. Pertumbuhan semai jabon (*Anthocephalus cadamba* Roxb Miq.) pada media pasca penambangan batubara yang diperkaya fungi mikoriza arbuskula, limbah batubara dan pupuk NPK [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Tawaraya K. 2003. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. *Soil Science and Plant Nutrition* 49(5): 655–668.

<https://doi.org/10.1080/00380768.2003.10410323>

- Widyati E. 2012. Pemanfaatan Sludge Industri Pulp dan Kertas Untuk Ameliorasi Tanah Tailing Tambang Emas. *Jurnal Selulosa*. 2(1): 28–38. <https://doi.org/10.25269/jsel.v2i01.30>
- Yao Q, Li XL, Feng G, Christie P. 2001. Influence of extramatrical hyphae on mycorrhizal dependency of wheat genotypes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32: 3307–3317.
- Yamamoto Y. 2019. Aluminum toxicity in plant cells: Mechanisms of cell death and inhibition of cell elongation. *Soil Science and Plant Nutrition*. 65: 41–55. <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1553484>