

Pengaruh Material Pembawa dalam Perbanyakkan Spora Fungi Mikoriza Arbuskula

The Effect of Carrier Material on Arbuscular Mycorrhizal Fungi Propagation

Siregar ZK, Fikrinda, Alvisyahrin T

Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala Darussalam, Banda Aceh

Siregar, Z. K., Fikrinda, & Alvisyahrin, T. (2020). Pengaruh Material Pembawa dalam Perbanyakkan Spora Fungi Mikoriza Arbuskula. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 4(1), 125–133. doi: 10.46638/jmi.v4i1.84

Abstrak

Fungi mikoriza arbuskula (FMA) memiliki simbiosis mutualisme dengan lebih dari 80% spesies tumbuhan terestrial. Material pembawa yang sering dilaporkan efektif digunakan sebagai bahan pembawa inokulan FMA adalah zeolit. Akan tetapi, zeolit harganya lebih mahal dibandingkan material pembawa lain seperti pasir dan arang sekam. Upaya yang dapat dilakukan untuk perbanyakkan spora dan mengurangi penggunaan zeolit yaitu mengombinasikan zeolit dengan material pembawa lain berbasis bahan baku lokal dan ekonomis. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri atas dua faktor (komposisi material pembawa dan jenis FMA) dengan pola 4×2 dan empat ulangan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa material zeolit + pasir (1:1) dan zeolit + tanah (1:1) sama efektifnya dengan zeolit 100% untuk perbanyakkan spora *Acaulospora tuberculata* dan *Gigaspora gigantea*. *A. tuberculata* menunjukkan tingkat kolonisasi akar (62.68%) lebih tinggi dibandingkan *G. gigantea* (50.80%) pada semua material pembawa. Tidak ada interaksi yang signifikan antara jenis material pembawa dan jenis spora FMA terhadap jumlah spora dan infeksi akar.

Kata kunci – material pembawa – mikoriza arbuskula – perbanyakkan – simbiosis

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) have mutualistic relationships with more than 80% of terrestrial plant species. The carrier material that is often and effectively used as an inoculant AMF carrier is zeolite. However, zeolite is more expensive than other carrier materials such as sand and burnt rice husk. To reduce the use of pure zeolite in the propagation of AMF spores, we combined zeolite with a cheaper and locally available carrier material such as sands, burnt rice husk, and soil. This study used a Randomized Complete Block Design consisting of two factors (the composition of the carrier material and AMF types) with four×two patterns and four replications. The results of this study indicated that zeolite + sand (1: 1) and zeolite + soil (1:1) are an alternative material that appears to be similarly effective as zeolite 100% for the propagation of *Acaulospora tuberculata* dan *Gigaspora gigantea*. *A. tuberculata* showed better root colonization (62.68%) than *G. gigantea* (50.80%) for all carrier materials. There is no significant interaction of carrier materials and the types of AMF on the number of spores and root colonization.

Keywords – *carrier material – mycorrhizal arbuscular – propagation – symbiosis*

Pendahuluan

Mikoriza merupakan istilah yang dikemukakan pertama kali oleh Albert Bernhard Frank pada 1885 (Trappe, 2005). Mikoriza menunjukkan suatu bentuk kerjasama yang bersifat simbiotik antara fungi dengan akar tanaman untuk membedakan dari fungi yang bersifat patogenik. Salah satu kelompok fungi yang sudah banyak dipelajari dan dikembangkan adalah fungi mikoriza arbuskula (FMA).

Keanekaragaman FMA di dunia tercatat sekitar 250 jenis yang berasosiasi dengan tumbuhan yang tersebar dari daerah tropik sampai subtropik bahkan kutub utara (Schüßler & Walker, 2010). Di Indonesia, *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora* adalah tiga marga yang paling sering dijumpai dan digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Masfufah *et al.*, 2016; Ginting *et al.*, 2018).

Material pembawa yang sering dan efektif digunakan sebagai bahan pembawa inokulan FMA adalah zeolit (Dewi *et al.*, 2017). Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat yang membentuk struktur dan berpori-pori yang saling tertaut membentuk saluran panjang dengan beragam ukuran tergantung pada mineralnya. Saluran-saluran ini memungkinkan pergerakan yang mudah dari ion ke struktur dan sebaliknya (Polat *et al.*, 2004). Zeolit bersifat stabil sehingga tidak mudah rusak akibat siraman air dan dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dan aktivitas mikroorganisme. Akan tetapi, harga zeolit lebih mahal dibandingkan kandidat material pembawa lain seperti pasir dan arang sekam. Untuk meningkatkan pemanfaatan sumberdaya lokal dan menciptakan biaya produksi yang lebih ekonomis, diperlukan suatu usaha untuk mencari solusi alternatif material pembawa yang kualitasnya sama atau lebih baik dari zeolit dan berbiaya murah. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menguji beberapa material alternatif untuk meningkatkan produksi inokulan spora FMA indigen dari lahan kering Aceh sebagai sumber inokulum.

Metoda Penelitian

Waktu dan tempat

Penelitian ini dilakukan di rumah kaca, Laboratorium Biologi Tanah dan Laboratorium Penelitian Tanah dan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala. Penelitian berlangsung pada bulan Agustus sampai Desember 2018.

Material pembawa

Material pembawa yang digunakan ada empat macam yaitu zeolit, pasir, arang sekam, dan tanah. Komposisi material pembawa yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit 100%, zeolit + pasir (1:1 v/v), zeolit + arang sekam (1:1 v/v), dan zeolit + tanah (1:1 v/v).

Jenis FMA

Inokulan spora FMA yang digunakan yaitu *A. tuberculata* Janos & Trappe dan *G. gigantea* (T.H. Nicolson & Gerd.), Gerd. & Trappe berasal dari Laboratorium Biologi Tanah, Universitas Syiah Kuala.

Persiapan material pembawa

Material pembawa pasir dan zeolit dicuci sampai bersih untuk menghilangkan debu yang melekat sedangkan tanah dan arang sekam tidak dicuci. Penyiapan material pembawa campuran dilakukan dengan mencampur bahan-bahan tersebut terlebih dahulu sebelum disterilisasi. Sterilisasi dilakukan menggunakan autoklaf pada suhu 120°C selama 15 menit.

Sterilisasi material pembawa campuran zeolit + tanah (1:1) dilakukan sebanyak tiga kali, sedangkan sterilisasi material material pembawa zeolit 100%, zeolit + arang sekam (1:1) dan zeolit + pasir (1:1) dilakukan satu kali.

Penyiapan benih jagung sebagai tanaman inang

Biji jagung yang digunakan sebagai tanaman inang disterilkan permukaannya dengan merendamnya dalam larutan NaOCl 3% selama 10 menit kemudian dibilas dengan air akuades steril sebanyak tiga kali, dan direndam dalam air akuades steril hangat selama 12 jam. Penyemaian benih dilakukan di medium pasir steril pada bak penyemaian di Laboratorium Biologi Tanah selama lima hari atau bibit telah memiliki dua helai daun.

Inokulasi spora FMA dan penanaman

Aplikasi FMA dilakukan pada saat memindahkan bibit jagung kedalam pot kultur berukuran 6.5 × 8.5 cm. Material pembawa yang telah dipersiapkan diisi ke dalam pot kultur sesuai perlakuan sebanyak sepertiga bagian (50 g) pada bagian dasarnya. Kemudian, sebanyak lima spora FMA sesuai perlakuan ditempelkan menggunakan pinset spora pada akar tanaman inang yang telah dipersiapkan. Setiap pot percobaan ditanami dua bibit jagung yang telah diinokulasikan spora FMA tersebut.

Pemeliharaan

Pemeliharaan kultur meliputi kegiatan penyiraman, pemberian hara dan pengendalian hama secara manual. Penyiraman tidak perlu dilakukan secara teratur namun cukup dengan menjaga kelembaban material pembawa. Larutan hara yang digunakan adalah pupuk NPK (25-5-20) dengan konsentrasi 1 g L⁻¹ sebanyak 20 mL setiap pot kultur. Pemberian larutan hara dilakukan seminggu sekali setelah tanaman berumur tujuh hari. Pemberian larutan hara dihentikan ketika tanaman memasuki masa pembungaan (generatif).

Stressing dan pemanenan spora

Setelah kultur berumur delapan minggu kegiatan penyiraman dihentikan untuk mengondisikan kultur pada keadaan stres kekeringan. Proses pengeringan ini berlangsung bertahap sehingga dapat merangsang pembentukan spora lebih banyak. Pada kondisi ini, dilakukan pemangkasan $\frac{3}{4}$ bagian atas tanaman. Periode pengeringan ini berlangsung selama dua minggu sebelum tanaman siap dibongkar dari material pembawanya untuk dilakukan isolasi spora.

Pengamatan

Sifat kimia media pembawa

Kriteria sifat kimia material pembawa disesuaikan dengan kriteria kesuburan tanah oleh Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (2017). Parameter sifat kimia yaitu pH H₂O (Elektrometrik), Kapasitas tukar kation (KTK) (1 N NH₄OAc pH 7), N-total (Kjeldahl), P-tersedia (Bray II) dan K dapat ditukar (K-dd) (1 N NH₄OAc pH 7).

Jumlah spora

Spora FMA diisolasi menggunakan teknik penyaringan basah dan dilanjutkan dengan teknik sentrifugasi (Brundrett *et al.*, 1996).

Kolonisasi FMA

Pewarnaan akar (*staining*) dilakukan dengan metode Vierheilig *et al.* (1998). Kolonisasi FMA akar tanaman dikategorikan dalam lima kelas menurut Rajapakse & Miller (1992).

Analisa data

Data pengamatan dianalisis dengan sidik ragam statistik ANOVA menggunakan Microsoft Office Excel, apabila berpengaruh diuji lanjut dengan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada probabilitas 5%.

Hasil**Sifat kimia material pembawa**

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh material pembawa bereaksi alkalis (pH > 8,5) dengan kisaran nilai pH H₂O 8.44 – 9.47. Kapasitas tukar kation (KTK) material pembawa tergolong sangat tinggi berkisar antara 58.8 – 98 cmol₍₊₎/kg. N-total pada material pembawa sangat rendah (0.03%). P-tersedia pada beberapa material pembawa zeolit 100%, zeolit + pasir (1:1), dan zeolit + arang sekam (1:1) tergolong sangat tinggi (>15 mg/kg) namun pada media zeolit + tanah (1:1) termasuk kriteria tinggi. Kadar K dapat ditukar (K-dd) pada semua material pembawa tergolong sangat tinggi dengan nilai tertinggi pada material pembawa zeolit + arang sekam (1:1) (5.02 cmol₍₊₎/kg) dan terendah dijumpai pada material campuran zeolit + tanah (1:1) (2.51 cmol₍₊₎/kg).

Tabel 1 Hasil analisis awal sifat kimia material pembawa

No	Aspek Analisis	Material Pembawa			
		Zeolit	Zeolit + Pasir	Zeolit + Arang Sekam	Zeolit + Tanah
1	pH-H ₂ O	8.86 (A)	9.47 (A)	9.34 (A)	8.44 (A)
2	KTK (cmol ₍₊₎ /kg)	98.00 (ST)	58.80 (ST)	87.20 (ST)	76.00 (ST)
3	N-total (%)	0.03 (SR)	0.03 (SR)	0.03 (SR)	0.03 (SR)
4	P-tersedia (mg /kg)	27.60 (ST)	32.90 (ST)	68.40 (ST)	14.80 (T)
5	K-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	4.68 (ST)	3.59 (ST)	5.02 (ST)	2.51 (ST)

Keterangan: A: Alkalis, ST: Sangat Tinggi, T: Tinggi, S: Sedang, SR: Sangat Rendah.

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium Penelitian Tanah dan Tanaman (2018)

Jumlah spora

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan komposisi material pembawa berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah spora FMA, sedangkan perlakuan jenis spora FMA dan interaksi antara komposisi material pembawa dan jenis spora FMA memberikan pengaruh tidak nyata terhadap jumlah spora FMA. Rata-rata jumlah spora akibat perlakuan komposisi material pembawa dan jenis spora FMA disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Rata-rata jumlah spora FMA akibat perlakuan komposisi material pembawa dan jenis spora FMA

Jenis FMA	Material Pembawa				Rata-rata
	Zeolit	Zeolit+ Pasir	Zeolit + Arang sekam	Zeolit + tanah	
<i>A. tuberculata</i>	30	19	6	25	20.08
<i>G. gigantea</i>	19	17	6	11	13.08
Rata-rata	25.33b	17.83b	5.83a	18.33b	

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata pada taraf 5 % (DMRT_{0.05}= 8.92; 9.38)

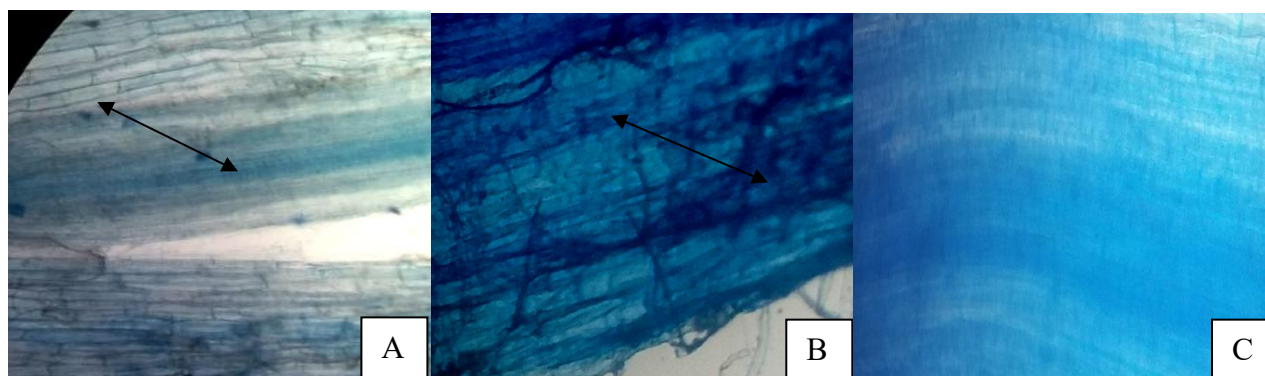
Kolonisasi FMA

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa jenis spora FMA berpengaruh sangat nyata terhadap kolonisasi akar, sedangkan perlakuan komposisi material pembawa dan interaksi antara komposisi material pembawa dan spora FMA memberikan pengaruh tidak nyata terhadap kolonisasi akar. Rata-rata kolonisasi akar pada tanaman inang jagung tertera pada Tabel 3. Hasil penelitian (Tabel 3) menunjukkan bahwa *A. tuberculata* memiliki pengaruh lebih baik dibandingkan *G. gigantea* dengan tingkat kolonisasi akar yang tergolong tinggi (51-75 %).

Tabel 3 Rata-rata kolonisasi akar (%) akibat perlakuan material pembawa dan jenis spora FMA

Jenis FMA	Material Pembawa				Rata-Rata
	Zeolit	Zeolit+ Pasir	Zeolit + Arang sekam	Zeolit + tanah	
<i>A. tuberculata</i>	57.38	70.80	61.13	61.40	62.68b
<i>G. gigantea</i>	48.48	54.38	56.68	43.68	50.80a
Rata-rata	52.93	62.59	58.90	52.54	

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata pada taraf 5 % DMRT_{0,05}= 6.33



Gambar 1 Penampang akar tanaman jagung varietas Bisi 2 yang terinfeksi *A. tuberculata* (A) vesikula, (B) hifa, (C) akar yang tidak terinfeksi FMA

Pembahasan

Menurut Bainard *et al.* (2014) bahwa jumlah spora dan kolonisasi akar dipengaruhi oleh sifat-sifat kimia material yang berbeda. Berdasarkan hasil analisis bahwa P-tersedia pada beberapa komposisi material pembawa zeolit 100%, zeolit + pasir (1:1), dan zeolit + arang sekam (1:1) tergolong sangat tinggi yaitu >15 mg/kg dan pada material zeolit + tanah (1:1) yang tergolong kriteria tinggi. Ketersediaan P-tersedia yang tinggi pada material dapat menurunkan aktivitas FMA (Cardoso *et al.*, 2017). Lebih lanjut dijelaskan bahwa saat tanaman berumur 120 hari, apabila konsentrasi P-tersedia sebesar 25 mg/kg akan terjadi kolonisasi akar hampir 50% oleh FMA yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi P-tersedia sebesar 200 mg/kg. Sedangkan apabila konsentrasi P-tersedia sebesar 1000 mg/kg, baru mulai terjadi kolonisasi pada akar tanaman (Nogueira & Cardoso, 2006).

Hasbi (2005) menyatakan bahwa jumlah spora tergolong rendah apabila ditemukan 1-6 spora dalam 50 g material. Berdasarkan pendapat tersebut hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya komposisi material zeolit + arang sekam (1:1) yang jumlah sporanya tergolong rendah yakni 6 spora per 50 g material. Hal ini diduga disebabkan drainase material tersebut yang lambat sehingga ketersediaan air tinggi pada material pembawa, apabila ketersediaan air

rendah di dalam material menyebabkan tanaman tersebut mengalami cekaman air, jika cekaman air pada tanaman berlangsung lama akan menyebabkan pertumbuhan tanaman inang terganggu dan pada akhirnya tanaman akan mati, hal inilah yang memacu FMA tersebut untuk memproduksi spora yang banyak. Faktor lain diduga karena memiliki kandungan P-tersedia yang tinggi sebesar 68.40 mg/kg dibandingkan material lainnya sehingga dapat menurunkan perkecambahan FMA. Menurut De Miranda & Harris (1994) bahwa pertumbuhan hifa FMA menurun secara signifikan saat P-tersedia di atas 37.5 mg/kg.

Penggunaan material zeolit 100% dapat meningkatkan hara yang diberikan teradsorpsi dan akan dilepaskan hara secara perlahan-lahan. Pelepasan hara secara perlahan akan menjamin terpenuhinya hara akar tanaman inang yang mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) tinggi sehingga sangat baik sebagai material pembawa untuk produksi spora fungi mikoriza arbuskula (Prasithiasari & Nurbaity, 2010). Nilai KTK berkaitan dengan tingkat kesuburan suatu material pembawa. Material pembawa dengan KTK yang tinggi mampu menyerap dan menyediakan unsur hara lebih baik dibandingkan dengan KTK rendah. Hasil ini sejalan dengan penelitian Karti *et al.* (2006) dan Prasetia *et al.* (2012) yang menunjukkan bahwa material zeolit adalah material terbaik untuk memproduksi spora FMA.

Jumlah spora *A. tuberculata* dan *G. gigantea* lebih banyak ditemukan pada material zeolit 100% (Tabel 2). Karti *et al.* (2006) melaporkan bahwa *Acaulospora* sp. ditemukan dalam jumlah banyak pada material zeolit dibandingkan material pasir dan tanah latosol. Material zeolit mampu meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi, terutama N dan K, mengabsorpsi gas sehingga dapat menghilangkan bau, pengabsorpsi air yang tinggi sehingga dapat melindungi akar dari kekeringan, meningkatkan pertukaran ion terutama kation dan melepaskannya secara perlahan (*slow released*), serta mampu memelihara aerasi kelembaban material pembawa dalam waktu lama (Polat *et al.*, 2004).

Rata-rata jumlah spora *A. tuberculata* lebih banyak namun tidak berbeda nyata dengan *G. gigantea*. Perbedaan ini terjadi karena perbedaan dalam pengembangan spora masing-masing spesies FMA. Spesies *Acaulospora* membutuhkan waktu lebih sedikit untuk menghasilkan spora daripada spesies *Gigaspora* di lingkungan yang sama. Selanjutnya, spesies *Gigaspora* biasanya membentuk miselium sebagai bentuk aktifnya dan lebih sedikit menghasilkan spora dibandingkan spesies *Acaulospora*. Perbedaan jumlah spora FMA ini juga ditunjukkan oleh Wang & Jiang (2015) yang melaporkan bahwa spesies *Acaulospora* membutuhkan waktu lebih sedikit untuk menghasilkan spora karena ukuran spora yang lebih kecil sehingga menghasilkan spora lebih banyak daripada spesies *Gigaspora* di lingkungan yang sama.

Jumlah spora yang diperoleh pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Chalimah *et al.* (2007) dan Prasetia *et al.* (2012). Hal ini diduga dipengaruhi oleh tingginya kadar P-tersedia pada material pembawa penelitian ini. Perkembangan FMA dibatasi oleh ketersediaan hara unsur P, sampai batas tertentu peningkatan kadar P dapat meningkatkan kolonisasi FMA, namun pada kadar yang semakin tinggi berpengaruh negatif. Menurut Silva *et al.* (2005) bahwa kadar P yang tinggi dapat mengurangi pertumbuhan hifa serta kolonisasi dan sporulasi FMA. Tingginya kadar P pada material pembawa dapat menurunkan permeabilitas sel membran untuk karbohidrat, sehingga penyediaan fosintat bagi FMA terganggu (Trisilawati *et al.*, 2001). Namun menurut Nouri *et al.* (2014) bahwa tanaman inang dapat bersimbiosis dengan FMA meskipun dibatasi salah satu unsur dari dua unsur utama yaitu P dan N.

Tabel 3 menunjukkan bahwa jenis material pembawa yang diuji memberikan pengaruh yang sama terhadap kolonisasi FMA dengan kategori tinggi namun material zeolit + pasir (1:1) memberikan pengaruh lebih tinggi (62.59%) namun tidak berbeda dengan material lainnya. Hal ini diduga karena kemampuan kapasitas tukar kation yang tinggi, material yang bertekstur kasar dan drainase yang baik cocok sebagai medium pertumbuhan tanaman inang

dan infeksi akar oleh FMA. Carrenho *et al.* (2007) menyatakan bahwa pH material, kadar hara, kadar bahan organik dan struktur media pembawa yang berbeda mempengaruhi perkembangan kolonisasi FMA pada akar tanaman.

Hasil ini sejalan dengan Prihantoro *et al.* (2015) yang menunjukkan bahwa *A. tuberculata* dapat menginfeksi akar tanaman *Centrosema pubescens* lebih baik daripada *G. margarita* dan *Glomus etunicatum*. Bahkan Sufaati *et al.* (2010) menunjukkan bahwa *Acaulospora* sp mampu menginfeksi akar tanaman hampir 98% pada tanaman pertanian non-legum. Jenis inokulum FMA yang berbeda mempengaruhi pertumbuhan tanaman inang, kolonisasi dan sporulasi berbeda pula (Lee *et al.*, 2013).

Persentase kolonisasi akar tertinggi akibat perlakuan *A. tuberculata* dijumpai pada material zeolit + pasir (1:1) yaitu 70.80% dengan kategori tinggi, sedangkan kolonisasi *G. gigantea* tertinggi pada material zeolit + arang sekam (1:1) yaitu 56.68 % dengan kategori yang tinggi. Menurut Gaur & Adholeya (2000) rata-rata persentase infeksi FMA lebih tinggi pada material padat yang relatif ringan, berpori, drainase baik, memungkinkan terjadi suplai oksigen dan pertumbuhan akar yang baik. Media tersebut dapat berupa pasir sungai dan pasir kuarsa.

Meskipun jumlah spora hasil isolasi langsung pada material pembawa zeolit 100% tertinggi namun berbeda tidak nyata dengan material zeolit + pasir (1:1) yang memiliki kolonisasi FMA tertinggi. Hasil ini menunjukkan jumlah spora yang banyak tidak selalu diikuti oleh kolonisasi FMA yang tinggi. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh penelitian Khaekhum *et al.* (2017) dan He *et al.* (2002) bahwa tingginya jumlah spora tidak diikuti dengan tingkat kolonisasi akar yang tinggi, apabila kondisi material cocok untuk perkecambahan spora, kolonisasi FMA meningkat dan jumlah spora menurun. Hasil ini juga menunjukkan bahwa penggunaan material zeolit 100% dapat digantikan dengan material zeolit + pasir (1:1) untuk kolonisasi FMA.

Pustaka

- Bainard, L.D., Bainard, J.D., Hamel, C. & Gan, Y. (2014). Spatial and temporal structuring of arbuscular mycorrhizal communities is differentially influenced by abiotic factors and host crop in a semi-arid prairie agroecosystem. *FEMS Microbiology Ecology*, 88, 333–344.
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. & Malajczuk, N., (Eds.). (1995). *Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR).
- Cardoso, E.J.B.N., Nogueira, M.A. & Zangaro, W. (2017). *Importance of mycorrhizae in tropical soils*. In: de Azevedo JL, Quecine MC (Eds.). Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics. Springer.
- Carrenho, R., Trufem, S.F.B., Bononi, V.L.R. & Silva, E.S. (2007). The effect of different soil properties on arbuscular mycorrhizal colonization of peanuts, sorghum and maize. *Acta Botanica Brasilica*, 21(3), 723-730.
- Chalimah, S., Muhadiono., Aznam, L., Haran, S. & Toruan-Mathius, N. (2007). Perbanyakkan *Gigaspora* sp. dan *Acaulospora* sp. dengan kultur pot di rumah kaca. *Biodiversitas*, 7(4), 12-19.
- De Miranda, J.C.C. & Harris, P.J. (1994). Effects of soil phosphorus on spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 128(1), 103-108.
- Dewi, T.M., Nurbaity, A., Suryatmana, P. & Sofyan, E.T. (2017) Efek sterilisasi dan komposisi media produksi inokulan fungi mikoriza arbuskula terhadap kolonisasi akar, panjang akar dan bobot kering akar sorgum. *Jurnal Agro*, 4(1), 24-31.
- Gaur, A. & Adholeya, A. (2000). Effects of the particle size of soil-less substrates upon AM fungus inoculum production. *Mycorrhiza*, 10(1), 43-48.

- Ginting, I.F., Yusnaini. S., Dermiyati. & Rini, M.V. (2018). Pengaruh inokulasi fungi mikoriza arbuskular dan penambahan bahan organik pada tanah pasca penambangan galian C terhadap pertumbuhan dan serapan hara P tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*, 6(2), 110-118.
- Hasbi, R. (2005). Studi diversitas cendawan mikoriza arbuskula (CMA) pada berbagai tanaman budidaya di lahan gambut Pontianak. *Jurnal Agrosains*, 2(1), 46-51.
- He, X., Mouratov, S. & Steinberger, Y. (2002). Temporal and spatial dynamics of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi under the canopy of *Zygophyllum dumosum* Boiss. in the Negev Desert. *Journal of Arid Environments*, 52, 379–387.
- Karti, P.D.M.H., Setiana, M.A., Ariyanti, G.J. & Kusumawati, R. (2006). Penggunaan zeolit, pasir dan tanah sebagai media tumbuh dan rumput serta legum pakan sebagai tanaman inang untuk produksi massal inokulum cendawan mikoriza arbuskula. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 5(1), 33-36.
- Khaekhum, S., Lumyong, S., Kuyper, T.W. & Boonlue, S. (2017). Species richness and composition of arbuscular mycorrhizal fungi occurring on eucalypt trees (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) in rainy and dry season. *Current Research in Environmental and Applied Mycology*, 7(4), 282-292.
- Lee, E.H., Eo, J.K., Ka, K.H. & Eom, A.H. (2013). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. *Mycobiology*, 41(3), 121-125.
- Masfufah, R., Proborini, M.W. & Kawuri, R. (2016). Uji kemampuan spora cendawan mikoriza arbuskula (CMA) lokal bali pada pertumbuhan tanaman kedelai (*Glycine max* L.). *Simbiosis*, 4, 26-30.
- Nogueira, M.A. & Cardoso, E.J.B.N. (2006). Plant growth and phosphorus uptake in mycorrhizal rang purlime seedlings under different levels of phosphorus. *Pesq. Agropec. bras*, 41(1), 93–99.
- Nouri, E., Breuillin-Sessoms, F., Feller, U. & Reinhardt, D. (2014). Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in *Petunia hybrida*. *PloS One*, 9(6), e90841.
- Prafithriasari, M. & Nurbaity, A. (2010). Infektivitas inokulan *Glomus* sp. dan *Gigaspora* sp. pada berbagai komposisi media zeolit-arang sekam dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan sorgum (*Sorghum bicolor*). *Jurnal Agrikultura*, 21(1), 39-45.
- Praselia, D., Haryani, T.S. & Trisilawati, O. (2012). Efektivitas media dan tanaman inang untuk perbanyak fungi mikoriza arbuskular (FMA). Balitro. Bogor.
- Prihantoro, A.F., Rachim., Aryanto, A.T. & Karti, P.D.M.H. (2015). Efektivitas perbanyak Kultur tunggal cendawan mikoriza arbuskula (*Gigaspora margarita*, *Glomus etunicatum*, *Acaulospora tuberculata*) pada inang *Centrosema pubescens*. Prosiding Seminar Nasional IV HITPI, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto. Pp. 190-193. Disampaikan pada seminar Strategi pengembangan hijauan pakan lokal berkualitas untuk peningkatan mutu ternak, Purwokerto, 18-20 Oktober 2015.
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H. & Onus, A.N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal Fruit Ornamental Plant Research. Plant Res. Special ed*, 12, 183-189.
- Rajapakse, S. & Miller, J.C Jr. (1992). *Methods for studying vesicular arbuscular mycorrhizal root colonization and related root physical properties*. In: Norris JR, Read DJ, Varma AK (Eds.). *Methods in Microbiology* 24, *Techniques for the Study of Mycorrhizae*. Academic Press.
- Schüßler, A. & Walker, C. (2010). *The Glomeromycota: A species list of with new families and new genera*. http://www.amf-phylogeny.com/species_infos/highertaxa-funneliformisclaroideoglomus_rhizophagus_redecker.pdf (Diakses tanggal 14 Februari 2019).

- Silva, F.S.B., Yano-Melo, A.M., Brandão, J.A.C. & Maia, L.A.C. (2005). Sporulation of arbuscular mycorrhizal fungi using Tris-CHI buffer in addition to nutrient solutions. *Brazilian Journal Microbiology*, 36(4), 327-332.
- Sufaati, S., Suharno. & Bone, I.H. (2011). Endomikoriza yang berasosiasi dengan tanaman pertanian non-legum di lahan pertanian daerah transmigrasi Koya Barat, Kota Jayapura. *Jurnal Biologi Papua*, 3(1), 1-8.
- Trappe, M. (2005). A.B. Frank and mycorrhizae: The challenge to evolutionary and ecologic theory. *Mycorrhiza*, 15(4), 277-281.
- Trisilawati, O., Titin, S. & Ida, I. (2001). Pengaruh mikoriza arbuskular dan pupuk fosfat terhadap pertumbuhan jambu mente pada tanah podsolik merah kuning. *Jurnal Biologi Indonesia*, 3(2), 91-98.
- Vierheilig, H., Coughlan, A.P., Wyss, U. & Piché, Y. (1998). Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied Environmental microbiology*, 64(12), 5004-5007.
- Wang, M. & Jiang, P. (2015). Colonization and diversity of AM Fungi by morphological analysis on medicinal plants in Shoutheast China. *The Scientific World Journal* (article 753842): 1-7.