

RESPONS TANAMAN KOPI LIBERIKA BERMIKORIZA DI LAHAN GAMBUT TERHADAP APLIKASI PUPUK ANORGANIK

RESPONSES OF MYCORRHIZAL LIBERICA COFFEE PLANTS IN PEATLANDS TO THE INORGANIC FERTILIZERS APPLICATION

Elis Kartika*, Made Deviani Duaja, Gusniwati Gusniwati

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi,
Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM 15, Mendalo Indah, Jambi, Indonesia

*Korespondensi: elisk63@unja.ac.id

Diterima: 27 November 2022 / Disetujui: 19 Desember 2022

ABSTRAK

Aplikasi pupuk anorganik secara kontinyu dengan dosis tinggi berdampak negatif terhadap kerusakan tanah dan lingkungan lainnya. Pemakaian pupuk hayati mikoriza merupakan salah satu upaya untuk mengatasi dampak negatif tersebut. Penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan dosis pupuk anorganik terbaik dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi liberika bermikoriza di lahan gambut, dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok satu faktor 6 perlakuan, yaitu tanpa pupuk hayati mikoriza + pupuk anorganik 100%, pupuk hayati mikoriza + tanpa pupuk anorganik, pupuk hayati mikoriza + 25% pupuk anorganik, pupuk hayati mikoriza + 50% pupuk anorganik, pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik, serta pupuk hayati mikoriza + 100% pupuk anorganik dengan dosis rekomendasi yaitu 50 g Urea, 40 g SP-36, 40 g KCl dan 15 g Kisserit per tanaman. Isolat mikoriza yang digunakan berupa isolat gabungan *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c sebanyak 10 g per tanaman. Peubah yang diamati adalah pertambahan tinggi tanaman, pertambahan diameter batang, pertambahan jumlah daun dan pertambahan jumlah cabang serta kolonisasi mikoriza. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati mikoriza 10 g per tanaman dan 50% pupuk anorganik merupakan kombinasi terbaik dalam meningkatkan pertumbuhan kopi liberika di lahan gambut. Pupuk hayati mikoriza mampu menggantikan dan menghemat pemakaian pupuk anorganik sebesar 50%.

Kata Kunci: *Glomus* sp-1a, *Glomus* sp-3c, Isolat Mikoriza, Pupuk Hayati

ABSTRACT

Continuous application of inorganic fertilizers in high doses can harm the soil and causes other environmental damage. Using mycorrhizal biofertilizers is one of the efforts to overcome the adverse effects of these inorganic fertilizers. The study aimed to obtain the best dose of inorganic fertilizer in increasing the growth of mycorrhizal liberika coffee plants on peatlands and was designed in a randomized block experiment. The treatment was the application of mycorrhizal biofertilizers and inorganic fertilizers according to recommendations i.e: without mycorrhizal biofertilizers +100% inorganic fertilizers; mycorrhizal biofertilizers+ no inorganic fertilizers; mycorrhizal biofertilizer+25% inorganic fertilizer; mycorrhizal biofertilizer + 50%

inorganic fertilizer; mycorrhizal biofertilizer + 75% inorganic fertilizer; mycorrhizal biofertilizer + 100% inorganic fertilizer (as recommended doses of 50 g Urea, 40 g SP-36, 40 g KCl and 15 g Kisserit per plant). The mycorrhizal isolates used were a combination of *Glomus* sp-1a and *Glomus* sp-3c of 10 g per plant. The variables observed were the increase in plant height, stem diameter, number of leaves, number of branches, and mycorrhizal colonization. The results showed that applying 10 g per plant of mycorrhizal biofertilizer and 50% of inorganic fertilizer was the best combination for increasing the growth of Liberica coffee in peatlands. Mycorrhizal biofertilizers can replace and reduce the use of inorganic fertilizers by 50%.

Key words: Biofertilizers, *Glomus* sp-1a, *Glomus* sp-3c, Mycorrhizal isolates

PENDAHULUAN

Tanaman kopi (*Coffea* sp.) merupakan salah satu komoditi perkebunan yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai penggerak ekonomi daerah di Indonesia, mempunyai nilai ekonomis yang cukup tinggi dan berperan penting sebagai sumber devisa Negara. Di provinsi Jambi tanaman kopi merupakan salah satu komoditi perkebunan andalan. Salah satu jenis kopi yang merupakan andalan Provinsi Jambi adalah kopi liberika yang merupakan kopi spesifik lokasi Jambi yang mampu tumbuh di lahan gambut, yang berlokasi di Kabupaten Tanjung Jabung Barat.

Kopi liberika mampu beradaptasi di lahan gambut. Lahan gambut merupakan lahan marjinal yang memiliki sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologi yang rendah. Menurut Noor *et al.* (2014) lahan gambut merupakan lahan yang bersifat mudah mengalami kering tak balik (irreversible drying), mudah ambles (subsidence), rendahnya daya dukung (bearing capacity) lahan terhadap tekanan, rendahnya kandungan hara kimia dan kesuburannya (nutrient), dan terbatasnya jumlah mikroorganisme.

Salah satu usaha untuk meningkatkan kesuburan lahan gambut adalah melalui aplikasi pupuk anorganik yang mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi

tanaman. Namun, penggunaan pupuk anorganik secara terus menerus dengan dosis yang tinggi berdampak negatif terhadap kerusakan tanah dan lingkungan lainnya. Menurut Kasryno & Haryono (2012), bahwa penggunaan pupuk anorganik secara intensif akan menyebabkan degradasi tanah, pencemaran lingkungan dan menurunkan produktivitas tanaman. Selanjutnya Blanco-Canqui & Schlegel (2013) menyatakan juga bahwa pupuk anorganik jika digunakan dalam jangka panjang dapat mengeraskan tanah dan menurunkan stabilitas agregat tanah. Oleh sebab itu, salah satu solusi untuk mengatasi pengaruh negatif pupuk anorganik adalah dengan mengurangi penggunaan pupuk anorganik tersebut melalui pemakaian pupuk hayati sebagai substitusi pupuk anorganik. Pupuk hayati yang juga sering disebut sebagai pupuk mikroba, merupakan mikroba hidup yang diberikan ke dalam tanah sebagai inokulan untuk membantu tanaman menyediakan unsur hara tertentu bagi pertumbuhannya (Simanungkalit, 2001).

Mikoriza merupakan salah satu yang termasuk pupuk hayati yang dapat membantu tanaman dalam penyerapan unsur hara dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai cekaman lingkungan. Penelitian sebelumnya sudah banyak membuktikan bahwa mikoriza

mampu memperbaiki penyerapan hara khususnya fosfat (Taffouo *et al.*, 2014; Kartika *et al.*, 2018; Rojas *et al.*, 2019; Júnior *et al.*, 2019; Kartika & Gusniwati, 2019; Jaitieng *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2020; Tawaraya, 2022; Dobo, 2022), meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik (Haque & Matsubara, 2018; Evelin *et al.*, 2019; Begum *et al.*, 2019). meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman logam berat (Bano & Ashfaq, 2013; Emamverdian *et al.*, 2015; Gong & Tian, 2019; Putra *et al.*, 2022; Jia *et al.*, 2022) dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik (Alban *et al.*, 2013; Math *et al.*, 2019), serta mampu meningkatkan daya saing tanaman kopi terhadap gangguan gulma (França & de Freitas., 2016).

Damayanti *et al.* (2015) melaporkan hasil penelitiannya bahwa terdapat interaksi antara aplikasi jenis Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan tanaman kelapa sawit, di mana dosis NPK optimum diperoleh pada dosis 100% untuk setiap jenis FMA. Alawathugoda & Dahanayake (2015) juga menunjukkan hasil penelitiannya bahwa mikoriza mampu mensubstitusi setengah dosis pupuk anorganik dalam meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas mikroba tanah pada tanaman tomat dan kedelai. Selanjutnya Trejo *et al.* (2021) melaporkan bahwa mikoriza mampu mengurangi pemakaian pupuk anorganik sebesar 50% pada tanaman nenas. Berdasarkan uraian di atas sudah banyak penelitian tentang peranan FMA dan pupuk anorganik terhadap pertumbuhan beberapa jenis tanaman, namun peranan mikoriza sebagai pupuk hayati yang diaplikasikan bersama pupuk anorganik pada tanaman kopi liberika sampai saat ini belum ada

dilaporkan, oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk mengamati sejauh mana peranan mikoriza di dalam mengurangi pemakaian pupuk anorganik terhadap pertumbuhan tanaman kopi di lahan gambut.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dosis pupuk anorganik terbaik yang dapat disubstitusikan dengan pupuk hayati mikoriza yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi liberika di lahan gambut.

BAHAN DAN METODE

Percobaan ini dilaksanakan di lahan gambut Kelurahan Mekar Jaya Kecamatan Betara Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi yang sudah dilaksanakan mulai bulan Mei sampai Oktober 2021.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok, dengan 6 perlakuan, yaitu Tanpa pupuk hayati mikoriza + pupuk anorganik 100% (sesuai rekomendasi), pupuk hayati mikoriza + tanpa pupuk anorganik, pupuk hayati mikoriza + 25% pupuk anorganik (sesuai rekomendasi), pupuk hayati mikoriza + 50% pupuk anorganik (sesuai rekomendasi), pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik (sesuai rekomendasi), serta pupuk hayati mikoriza + 100% pupuk anorganik (sesuai rekomendasi). Setiap perlakuan diulang 3 kali, sehingga terdapat 18 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan terdiri dari 4 tanaman, sehingga tanaman yang diperlukan berjumlah 72 tanaman.

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan, di mana kondisi tanaman kopi liberika hasil grafting intra spesifik yang diteliti sudah berumur 1 tahun yang sudah ditanam di lahan gambut dengan lubang

tanam berukuran 40 x 40 x 30 cm, dengan jarak tanam 3 x 3 m. Lahan yang sudah ditanami kopi berumur 1 tahun tersebut dibersihkan dari gulma.

Pupuk hayati yang digunakan berupa inokulum isolat mikoriza *indigenous* yang berasal dari lahan gambut dari rizosfer tanaman kopi liberika di Kelurahan Mekar Jaya Kecamatan Betara Kabupaten Tanjung Jabung Barat yang merupakan koleksi Kartika *et al.* (2017). Isolat yang digunakan berupa isolat gabungan *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c. Isolat mikoriza sebanyak 10 g per polybag diberikan pada saat memindahkan bibit dari polybag kecil ke polybag yang lebih besar dengan cara menabur mikoriza ke dekat perakaran bibit kopi. Isolat mikoriza diberikan pada saat pembibitan sebelum penanaman di lapangan yaitu pada tahun 2019.

Pemupukan an-organik berupa pupuk Urea, SP-36, KCl dan Kiserrit diberikan dengan dosis sesuai perlakuan, menggunakan dengan dosis 100% rekomendasi 20 g Urea/tanaman, 25 g SP-36/tanaman, 15 g KCl/tanaman, dan 10 g Kiserrit/tanaman. Cara pemberian pupuk pupuk diletakkan secara alur melingkar 75 cm dari batang pokok, dengan kedalaman 2-5 cm.

Pemeliharaan meliputi pembersihan pakis, gulma atau rumput di sekitar piringan pohon kopi liberika yang sudah ditanam, serta pengendalian hama dan penyakit tanaman. Peubah yang diamati meliputi pertambahan tinggi tanaman, pertambahan diameter tanaman, pertambahan jumlah daun, pertambahan jumlah cabang, serta kolonisasi mikoriza. Kolonisasi mikoriza pada akar tanaman kopi liberika diamati melalui teknik pewarnaan akar (staining akar) menggunakan metode dari Kormanik & McGraw (1982). Data hasil pengamatan

dianalisis secara statistik menggunakan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan pada taraf $\alpha = 5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertambahan Tinggi Tanaman

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada bulan pertama Setelah Aplikasi Pupuk Anorganik (SAPA), pemberian pupuk hayati mikoriza dan pupuk anorganik belum memperlihatkan perbedaan yang nyata, tetapi mulai bulan kedua sampai bulan kelima SAPA terlihat bahwa aplikasi pupuk hayati mikoriza dan pupuk anorganik sudah mulai memperlihatkan perbedaan yang nyata terhadap pertambahan tinggi tanaman kopi liberika di lahan gambut (Tabel 1). Pada bulan pertama SAPA belum terlihat perbedaan yang nyata di antara semua perlakuan, disebabkan pada saat itu pupuk anorganik yang diberikan belum dapat diserap semua oleh tanaman, dan mikoriza belum berperan sempurna di dalam membantu menyediakan unsur hara untuk tanaman.

Selanjutnya pada Tabel 1. juga terlihat bahwa pada bulan kedua sampai bulan keempat SAPA, perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik menunjukkan pertambahan tinggi tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan pupuk hayati mikoriza + 50% pupuk anorganik. Oleh karena kedua perlakuan tersebut tidak berbeda nyata, maka perlakuan pupuk hayati mikoriza + 50% pupuk anorganik merupakan perlakuan yang lebih baik karena lebih efisien dibandingkan perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik. Perlakuan pupuk hayati mikoriza + tanpa pupuk anorganik menunjukkan pertambahan tinggi terendah dibandingkan

perlakuan lainnya. Pada perlakuan pupuk hayati mikoriza + 100% pupuk anorganik, pertambahan tinggi tanaman menurun kembali. Dalam hal ini berarti pupuk hayati mikoriza sudah mampu menggantikan sebagian peran dari pupuk anorganik yaitu mampu mensubstitusi sebesar 25% sampai 50% pupuk anorganik. Dengan adanya mikoriza di rizosfer perakaran kopi liberika, maka unsur hara yang diberikan dibantu ketersediaannya oleh mikoriza. Hal ini disebabkan adanya mikoriza di rizosfer tanaman kopi liberika menyebabkan bertambah luasnya permukaan akar yang dapat meningkatkan serapan hara dan air, seperti yang dijelaskan oleh Basri (2018) bahwa jaringan hifa eksternal mikoriza memiliki ukuran lebih halus dibandingkan bulu-bulu akar tanaman yang memungkinkan hifa tersebut mampu menyusup ke pori-pori tanah yang lebih kecil sehingga walaupun kondisi kadar air tanah sangat rendah, tetapi hifa mikoriza

masih mampu menyerap air dan unsur hara. Selain itu, keberadaan hifa eksternal mikoriza akan memperluas bidang penyerapan air dan unsur hara. Peningkatan unsur hara terutama P yang tinggi juga disebabkan adanya hifa mikoriza yang mampu memproduksi enzim fosfatase untuk melepaskan P dari ikatan-ikatan spesifik sehingga tersedia bagi tanaman. Hasil penelitian Marwani *et al.* (2013) menunjukkan bahwa mikoriza mampu meningkatkan tinggi tanaman jarak secara nyata dibandingkan tanaman yang tidak bermikoriza. Hasil penelitian Sasli (2012) dan Sasli & Ruliansyah (2013) menunjukkan bahwa mikoriza mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung dan kedelai di lahan gambut. Hal tersebut menunjukkan bahwa mikoriza terutama mikoriza spesifik lokasi mampu berkembang dengan baik di lahan gambut dan mampu membantu tanaman dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasilnya.

Tabel 1. Pertambahan tinggi tanaman (cm) kopi liberika umur 13-17 bulan di lahan gambut pada perlakuan pemberian pupuk hayati mikoriza dan pupuk anorganik

Perlakuan	1 bulan SAPA	2 bulan SAPA	3 bulan SAPA	4 bulan SAPA	5 bulan SAPA
Tanpa mikoriza + pupuk anorganik 100%	3,33 a	15,47 ab	20,93 ab	27,33 bc	34,83 c
Mikoriza + tanpa pupuk anorganik	3,58 a	13,17 a	16,13 ab	20,33 a	22,00 a
Mikoriza + 25% pupuk anorganik	3,08 a	16,17 ab	19,52 ab	25,67 ab	26,33 b
Mikoriza + 50% pupuk anorganik	3,58 a	18,48 bc	29,03 cd	31,89 cd	43,67 d
Mikoriza + 75% pupuk anorganik	3,33 a	20,33 c	32,10 d	35,90 d	42,83 d
Mikoriza + 100% pupuk anorganik	4,08 a	16,50 ab	23,62 bc	25,60 ab	35,50 c

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil menurut kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMNRT

- SAPA = Setelah Aplikasi Pupuk Anorganik

Menurut Sastrahidayat (2011) meningkatnya tinggi tanaman juga disebabkan karena mikoriza juga mampu merangsang pembentukan hormon-hormon pertumbuhan tanaman seperti sitokinin dan auksin, dimana kedua hormon tersebut berfungsi dalam pembelahan dan pemanjangan sel sehingga terjadi peningkatan tinggi tanaman. Selanjutnya dijelaskan bahwa tanaman yang bermikoriza mempunyai kandungan auksin yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tidak bermikoriza. Penelitian Miransari *et al.* (2012), Zhang *et al.* (2018), Liu *et al.* (2018), dan Wang *et al.* (2021) juga menunjukkan bahwa mikoriza mampu menginduksi pembentukan hormon-hormon pertumbuhan terutama auksin (IAA).

Pertambahan Diameter Batang

Pemberian perlakuan pupuk hayati mikoriza dan pupuk anorganik terhadap

pertambahan diameter batang tanaman kopi liberika di lahan gambut, sudah memperlihatkan perbedaan sejak bulan kesatu sampai bulan kelima SAPA. Pada bulan pertama sampai bulan ketiga SAPA belum dapat dipastikan perlakuan yang memberikan pertambahan diameter batang tertinggi secara nyata, tetapi pada bulan keempat terlihat bahwa pertambahan diameter batang tertinggi diperoleh pada perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Pada bulan kelima SAPA terlihat bahwa pertambahan diameter batang tertinggi diperoleh pada perlakuan pupuk hayati mikoriza + 50% pupuk anorganik serta pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya kecuali dengan perlakuan pupuk hayati mikoriza + 100% pupuk anorganik (Tabel 2.).

Tabel 2. Pertambahan diameter batang (mm) tanaman kopi liberika umur 13-17 bulan di lahan gambut pada perlakuan pemberian pupuk hayati mikoriza dan pupuk anorganik

Perlakuan	1 bulan SAPA	2 bulan SAPA	3 bulan SAPA	4 bulan SAPA	5 bulan SAPA
Tanpa mikoriza + pupuk anorganik 100%	3,62 ab	5,65 ab	9,08 b	14,82 c	18,08 b
Mikoriza + tanpa pupuk anorganik	3,98 ab	4,72 a	7,18 a	8,40 a	11,31 a
Mikoriza + 25% pupuk anorganik	3,43 ab	5,95 ab	8,52 ab	10,05 ab	13,67 a
Mikoriza + 50% pupuk anorganik	4,97 b	6,93 bc	9,78 b	14,22 b	22,60 c
Mikoriza + 75% pupuk anorganik	3,38 ab	9,73 c	10,28 b	17,27 c	22,17 c
Mikoriza + 100% pupuk anorganik	2,88 a	5,70 ab	9,32 b	13,33 b	19,38 bc

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil menurut kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMNRT
 - SAPA = Setelah Aplikasi Pupuk Anorganik

Pupuk hayati mikoriza mampu mensubstitusi 25-50% pupuk organik pada tanaman kopi liberika, terlihat dari pertambahan diameternya yang lebih besar daripada yang tanpa mikoriza. Hal ini disebabkan adanya perluasan bidang penyerapan akar akibat kolonisasi mikoriza yang membentuk jaringan hifa eksternal yang tumbuh dan berkembang melalui bulu-bulu akar. Hifa-hifa tersebut akan membantu tanaman untuk menyerap unsur hara dan air dari zona rizosfer pada tanaman kopi tersebut, sehingga memacu pertumbuhan diameternya. Plassard & Dell (2010) serta Smith & Smith (2012) menyatakan bahwa penyerapan unsur hara terutama P oleh tanaman dapat ditingkatkan dengan adanya hifa-hifa eksternal mikoriza sehingga pertumbuhan tinggi dan diameter batang tanaman juga menjadi meningkat. Hasil penelitian Ferry & Rusli (2014) menunjukkan bahwa pupuk hayati mikoriza + 40% NPK mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi kopi robusta di bawah tegakan kelapa sawit.

Pertambahan Jumlah Daun

Pada Tabel 3. menunjukkan bahwa pada bulan pertama SAPA semua perlakuan aplikasi pupuk hayati mikoriza dan pupuk organik belum memperlihatkan perbedaan yang nyata terhadap jumlah daun tanaman kopi liberika. Dengan bertambahnya umur tanaman kopi liberika terlihat bahwa perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik menunjukkan pertambahan jumlah daun tertinggi tetapi belum berbeda nyata dengan perlakuan pupuk hayati mikoriza + 100% pupuk anorganik. Pada bulan ketiga dan keempat SAPA, perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik menunjukkan pertambahan jumlah daun tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Selanjutnya pada bulan kelima, pertambahan jumlah daun tertinggi diperoleh pada perlakuan pupuk hayati mikoriza + 50% pupuk anorganik dan perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75 % pupuk anorganik.

Tabel 3. Pertambahan jumlah daun tanaman kopi liberika umur 13-17 bulan di lahan gambut pada perlakuan pemberian pupuk hayati mikoriza dan pupuk anorganik

Perlakuan	1 bulan SAPA	2 bulan SAPA	3 bulan SAPA	4 bulan SAPA	5 bulan SAPA
Tanpa mikoriza + pupuk anorganik 100%	16,09 a	41,67 a	89,33 a	101,33 ab	153,33 bc
Mikoriza + tanpa pupuk anorganik	11,00 a	30,33 a	54,17 a	66,50 a	92,00 a
Mikoriza + 25% pupuk anorganik	15,83 a	33,33 a	62,67 a	79,83 a	130,67 b
Mikoriza + 50% pupuk anorganik	17,50 a	42,83 a	108,67 b	136,00 b	216,00 d
Mikoriza + 75% pupuk anorganik	16,00 a	61,50 b	153,17 c	186,50 c	188,33 cd
Mikoriza + 100% pupuk anorganik	15,83 a	46,67 ab	82,00 a	100,00 a	180,50 c

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil menurut kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMNRT

- SAPA=Setelah Aplikasi Pupuk Anorganik

Mikoriza mampu mensubstitusi secara nyata sebesar 50% pupuk anorganik dalam meningkatkan jumlah daun tanaman kopi liberika di lahan gambut, yang berarti dengan adanya pupuk hayati mikoriza maka pupuk anorganik dapat dihemat sebesar 50%. Hal ini disebabkan mikoriza mampu membantu tanaman kopi untuk penyerapan unsur hara dan air akibat terbentuknya hifa eksternal yang dapat memperluas bidang penyerapan, juga mikoriza bisa meningkatkan lingkungan mikrorisosfer yang dapat merubah komposisi dan aktivitas mikroba tanah. Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Trisilawati *et al.* (2012) pada tanaman jambu mete BO2

hasil grafting yaitu pemberian mikoriza mampu menggantikan pupuk NPK sebesar 50% dari dosis rekomendasi. Hasil penelitian Wulandari *et al.* (2016) juga menunjukkan bahwa mikoriza mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sengan, yang ditunjukkan dengan peubah diameter, berat kering pucuk, kandungan N dan P jaringan, serta daya hidup sengan di lapangan 7 bulan setelah tanam. Selanjutnya Kartika *et al.* (2018) juga menunjukkan bahwa tanaman jarak pagar yang diinokulasi dengan mikoriza dapat menghemat pemakaian pupuk P sampai 50% dari dosis rekomendasi.

Tabel 4. Pertambahan jumlah cabang tanaman kopi liberika umur 13-17 bulan di lahan gambut pada perlakuan pemberian pupuk hayati (mikoriza) dan pupuk anorganik

Perlakuan	1 bulan	2 bulan	3 bulan	4 bulan	5 bulan
	SAPA	SAPA	SAPA	SAPA	SAPA
Tanpa mikoriza + pupuk anorganik 100%	4,83 a	6,00 a	7,50 a	8,33 ab	13,00 b
Mikoriza + tanpa pupuk anorganik	4,50 a	5,33 a	5,67 a	7,67 a	8,00 a
Mikoriza + 25% pupuk anorganik	4,00 a	5,17 a	7,16 a	7,83 a	12,83 b
Mikoriza + 50% pupuk anorganik	4,33 a	6,00 a	8,33 a	11,83 bc	18,83 c
Mikoriza + 75% pupuk anorganik	3,67 a	9,67 b	11,83 b	13,83 c	15,17 b
Mikoriza + 100% pupuk anorganik	3,50 a	8,33 b	8,50 a	8,17 a	13,00 b

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil menurut kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMNRT
- SAPA = Setelah Aplikasi Pupuk Anorganik

Pertambahan Jumlah Cabang

Berdasarkan Tabel 4. terlihat bahwa perlakuan aplikasi pupuk hayati dan pupuk anorganik memberikan perbedaan yang nyata terhadap pertambahan jumlah cabang tanaman kopi liberika umur 13 bulan dimulai sejak bulan kedua sampai bulan keempat SAPA. Pada bulan kedua SAPA pertambahan jumlah cabang tertinggi

diperoleh pada perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan pupuk hayati mikoriza + 100% pupuk anorganik. Selanjutnya pada bulan ketiga SAPA, pertambahan jumlah cabang tertinggi dicapai pada perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya,

sedangkan pada bulan keempat SAPA yang tertinggi tetap perlakuan pupuk hayati mikoriza + 75% pupuk anorganik yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan pupuk hayati mikoriza + 50% pupuk anorganik tetapi berbeda nyata dengan perlakuan yang lainnya. Pada bulan kelima, terlihat bahwa jumlah cabang tertinggi diperoleh pada perlakuan pupuk hayati mikoriza + 50 % pupuk anorganik. Dengan demikian mikoriza mampu menggantikan aplikasi pupuk anorganik sebesar 50%.

Pengurangan penggunaan pupuk anorganik tersebut diakibatkan peran dari mikoriza yang mampu memperluas bidang perakaran dan membantu menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman kopi liberika. Menurut Gardner *et al.* (1991), mikoriza mampu membantu akar tanaman untuk menyerap unsur hara melalui hifa-hifa eksternalnya yang berperan membantu sistem perakaran tanaman, sehingga memacu proses fotosintesis, yang selanjutnya hasil fotosintesis akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Smith&Smith (2012) menjelaskan bahwa tanaman yang bersimbiosis dengan mikoriza mampu meningkatkan serapan hara dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap stress kekeringan dan hama penyakit sehingga pertumbuhannya meningkat. Selanjutnya menurut Prasasti *et al.* (2013), pertumbuhan dan hasil tanaman bermikoriza meningkat karena meningkatnya serapan air dan unsur hara sehingga proses metabolisme dan fotosintesis meningkat juga, selain itu proses metabolisme tanaman seperti transportasi dan alokasi fotosintat berlangsung lebih baik. Selanjutnya dijelaskan bahwa tanaman yang kandungan fosfatnya cukup akan memiliki perakaran

yang luas dan mampu membantu tanaman menjangkau sumber unsur hara yang lebih jauh sehingga terjadi peningkatan pertumbuhan. Hermawan *et al.* (2015) menambahkan bahwa hifa mikoriza yang terbentuk akibat simbiosis antara tanaman dengan mikoriza mampu menjangkau matriks tanah yang tidak terjangkau oleh akar tanaman sehingga penyerapan unsur hara dan air meningkat.

Hasil penelitian ini juga sesuai dengan hasil penelitian Daras *et al.* (2015) yang menunjukkan bahwa mikoriza mampu mensubstitusi 50% pupuk NPKMg di dalam meningkatkan pertambahan tinggi tanaman, diameter tanaman dan juga jumlah cabang tanaman kopi arabika. Hal ini membuktikan bahwa pupuk hayati mikoriza dapat mengefisienkan pemakaian pupuk anorganik.

Kolonisasi Mikoriza

Berdasarkan Tabel 5. terlihat bahwa tanaman yang tidak diberi pupuk hayati mikoriza, ternyata memperlihatkan kolonisasi mikoriza sebesar 8,33%, hal ini disebabkan karena tanaman terinfeksi secara alami oleh mikoriza yang mungkin sudah ada di lahan tersebut. Kartika *et al.* (2017) melaporkan bahwa secara alami pada perakaran kopi liberika di lahan gambut ditemukan 7, 9 dan 6 jenis mikoriza yang diperoleh berturut-turut dari Desa Parit Pudir, Desa Senyerang dan Desa Serdang Jaya Kabupaten Tanjung Jabung Barat. Walaupun ada ditemukan mikoriza secara alami, tetapi pada umumnya mikoriza indigenous ini sering tidak efektif pada tanaman yang dibudidayakan disebabkan ketidakcukupan populasi, rendahnya kualitas propagul atau faktor ekologi yang kompleks antara tanaman dan mikoriza (Verbruggen *et al.*, 2013).

Tabel 5. menunjukkan bahwa kolonisasi mikoriza untuk tanaman yang diberi pupuk hayati mikoriza sudah terinfeksi antara 90-93,33%. Kolonisasi mikoriza yang sangat tinggi pada tanaman kopi liberika tersebut menunjukkan bahwa mikoriza sudah bekerja secara baik di dalam simbiosis tersebut. Terjadinya kolonisasi antara mikoriza dan akar menunjukkan bahwa mikoriza yang diberikan ke tanaman kopi liberika sudah mampu menghasilkan jalinan hifa sehingga tanaman kopi tersebut akan mampu meningkatkan penyerapan unsur hara. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Daras *et al.* (2015) bahwa mikoriza yang diinokulasikan pada tanaman kopi arabika memperlihatkan persen infeksi akar >70% dan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika. Selanjutnya hasil penelitian Kartika, *et al.* (2021) menunjukkan bahwa bibit kopi liberika

yang diinokulasi dengan mikoriza menunjukkan adanya persen infeksi yang sangat tinggi yaitu 86,70% sampai 93,33%. Basri (2018) menjelaskan bahwa kolonisasi akar oleh mikoriza diawali dengan adanya proses infeksi mikroriza melalui apresorium pada permukaan akar yang menembus sel-sel epidermis tanaman, yang selanjutnya sesudah proses penetrasi, hifa tumbuh baik secara intraselular maupun ekstraselular. Dengan adanya hifa di rhizosfer akan terjadi peningkatan luas permukaan yang bersinggungan dengan tanah sehingga meningkatkan penyerapan unsur hara terutama P dari dalam tanah. Menurut Pulungan (2018), mikoriza bersimbiosis dengan tanaman di dalam akar tanaman dengan cara mengkolonisasi apoplast dan sel korteks untuk memperoleh karbon yang berasal dari hasil fotosintesis dari tanaman.

Tabel 5. Kolonisasi mikoriza pada perlakuan pemberian pupuk hayati (mikoriza) dan pupuk anorganik

Perlakuan	Persen Kolonisasi Mikoriza
Tanpa mikoriza + pupuk anorganik 100%	8,33 a
Mikoriza + tanpa pupuk anorganik	90,00 b
Mikoriza + 25% pupuk anorganik	90,00 b
Mikoriza + 50% pupuk anorganik	93,33 b
Mikoriza + 75% pupuk anorganik	93,33 b
Mikoriza + 100% pupuk anorganik	90,00 b

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil menurut kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMNRT

- SAPA = Setelah Aplikasi Pupuk Anorganik

SIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa aplikasi pupuk hayati mikoriza dan pupuk anorganik mampu meningkatkan pertumbuhan kopi liberika di lahan gambut. Aplikasi pupuk hayati mikoriza 10 g per tanaman dan 50% pupuk

anorganik merupakan kombinasi terbaik dalam meningkatkan pertumbuhan kopi liberika di lahan gambut. Pupuk hayati mikoriza 10 g per tanaman mampu menggantikan dan menghemat pemakaian pupuk anorganik sebesar 50%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Jambi melalui Penelitian LPPM yaitu “Penelitian Terapan Unggulan Universitas” dengan Nomor Kontrak : 175/UN21.11/PT.01.05/SPK/2021, tanggal 07 Mei 2021 yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawathugoda, C. J. & Dahanayake, N. (2015). Effects of mycorrhizae as a substitute for inorganic fertilizer on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and soybean (*Glycine max* L), and soil microbial activity, *Tropical Agricultural Research, and Extension*, 16(4), 108. <https://doi.org/10.4038/tare.v16i4.5285>
- Alban, R., Guerrero, R. & Toro, M. (2013). Interactions between a root knot nematode (*Meloidogyne exigua*) and arbuscular mycorrhizae in coffee plant development (*Coffea arabica*). *American Journal of Plant Sciences*, 04(07), 19–23. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.47a2003>
- Araújo, F.H.V., Cruz, R.S., Porto, D.W.B., Machado, C.M.M. & França, A.C. (2020). Effects of mycorrhizal association and phosphate fertilization on the initial growth of coffee plants. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 50, 1–7. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5058646>
- Bano, S. A. and Ashfaq, D. (2013.) Role of mycorrhiza to reduce heavy metal stress, *Natural Science*, 05(12), 16–20. <https://doi.org/10.4236/ns.2013.512a003>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10(September), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Basri, A.H.H. (2018). Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Agrica Ekstensia*, 12(2), 74-78
- Blanco-Canqui, H. & Schlegel, A. J. (2013). Implications of inorganic fertilization of irrigated corn on soil properties: lessons learned after 50 years. *Journal of Environmental Quality*, 42(3), 861–871. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0451>
- Damayanti, N. D., Rini, M. V. and Evizal, R. (2015). Respon pertumbuhan kelapa sawit bibit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap jenis fungi mikoriza arbuskula pada dua tingkat pemupukan NPK. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 15(1), 33–40
- Daras, U., I. Sobari, O. Trisilawati, dan J. Towaha. (2015). Pengaruh mikoriza dan pupuk NPKMg terhadap pertumbuhan dan produksi kopi arabika. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 2(2), 91–98
- Dobo, B. (2022). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and rhizobium inoculation on growth and yield of *Glycine max* L. Varieties. *International Journal of Agronomy*, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/9520091>
- Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F. & Xie, Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *The Scientific World Journal* : 1-19. <https://doi.org/10.1155/2015/756120>

- Evelin, H., Devi, T. S., Gupta, S. & Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470>
- Ferry, Y. & Rusli. (2014). Pengaruh dosis mikoriza dan pemupukan NPK terhadap pertumbuhan dan produksi kopi robusta di bawah tegakan kelapa produktif. *Jurnal Litri* 20(1): 27-34
- França. A.C. & de Freitas, A.F. (2016). Mycorrhizal fungi increase coffee plants competitiveness against *Bidens pilosa* interference. *Pesq. Agropec. Trop. Goiânia*, 46(2), 132-139. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4639485>
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchael. (1991). Fisiologi Tanaman Budidaya. Universitas Indonesia: Jakarta.
- Gong, X. & Tian, D. Q. (2019). Study on the effect mechanism of arbuscular mycorrhiza on the absorption of heavy metal elements in soil by plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 267(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/267/5/052064>
- Haque, S. I. & Matsubara, Y. (2018). Salinity tolerance and sodium localization in mycorrhizal strawberry plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(22), 2782–2792. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1538376>
- Hermawan, H., Muin, A., & Wulandari, R.C. (2015). Kelimpahan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) pada tegakan ekaliptus (*Eucalyptus pellita*) berdasarkan tingkat kedalaman di lahan gambut. *Jurnal Hutan Lestari* 3 (1): 124 – 132
- Jaitieng, S., Sinma, K. , Rungcharoenthong, P. & Amkha, S. (2020). Arbuscular mycorrhiza fungi applications and rock phosphate fertilizers enhance available phosphorus in soil and promote plant immunity in robusta coffee. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(1), 97–101. <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1848343>
- Jia, T., Wang, Y., Liang, X. & Guo, T. (2022). Effect of AM fungi inoculation on litter bacterial community characteristics under heavy metal stress. *Microorganisms* 10(2), 206. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020206>
- Junior, P.P., Moreira, B.C., Soares da Silva, M.C., Veloso, T.G.R., Sturmer, S.L., Fernandes, R.B.A., Mendonca, E.S., & Kasuya, M.C.M. (2019). Agroecological coffee management increases arbuscular mycorrhizal fungi diversity. *PLoS ONE*, 14(1), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209093>
- Kartika, E., Duaja, M.D., Gusniwati, & Wilia, W. (2017). Identifikasi fungi mikoriza arbuskular dari rizosfer tanaman kopi liberika Tungkal Jambi di Desa Bram Itam Kanan dan Bunga Tanjung, Tanjung Jabung Barat. Prosiding Seminar Nasional BKS PTN Wilayah Barat Bidang Pertanian (hal. 487–494), 20-21 Juli 2017, Bangka Belitung
- Kartika, E. & Gusniwati. (2019). Tingkat keberhasilan sambungan dan pertumbuhan bibit kopi robusta (*Coffea Robusta* L.) hasil grafting pada pemberian berbagai jenis mikoriza dan ketinggian batang bawah. *Biospecies*, 12(2), 9–19. <https://doi.org/10.22437/biospecies.v12i2.6185>
- Kartika, E., Gusniwati & Duaja, M.D. (2021). Respons bibit kopi liberika hasil sambung pucuk dengan kopi robusta pada berbagai panjang entres dan

- inokulasi mikoriza. *Jurnal Agro*, 8(2), 164-177.
<https://doi.org/10.15575/12747>
- Kartika, E., Lizawati, L. & Hamzah. (2018). Respons tanaman jarak pagar terhadap mikoriza indigenous dan pupuk P di lahan bekas tambang batu bara. *Biospecies* 11(1), 10–18
- Kasryno, F. & H. Soeparno. (2012). Dryland agriculture as a solution to achieve future food independence (in Indonesian). In: Prospects of dryland agriculture to support food security. Jakarta: Indonesian Agency for Agricultural Research and Development. pp. 11-34
- Kormanik, P.P., & Mc Graw, AC. (1982). Quantification of Vesicular Arbuscular Mycorrhizae in Plant roots. *in* Schenck, NC (ed.). *Methods and Principles of Mycorrhizal research*. American Phytopathological Society, St Paul Minnesota, USA. pp. 37-45
- Liu, C.Y., Zhang, F., De-Jian Zhang, D.J., Srivastava, A.K., Qiang-Sheng Wu, Q.S. & Ying-Ning Zou, Y.N. 2018. Mycorrhiza stimulates root-hair growth and IAA synthesis and transport in trifoliolate orange under drought stress. *Scientific Reports*, 8:1-9.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-20456-4>
- Marwani, E., Suryatmana, P., Kerana, I.W., Puspanikan, D.L., Setiawati, M.R, Manurung, R. (2013). Peran mikoriza vesikular arbuskular dalam penyerapan nutrisi, pertumbuhan, dan kadar minyak jarak (*Jatropha curcas* L.). *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*, 1(15), 1-7.
- Math, S., Arya, S., Sonawane, H., Patil, V. & Chaskar, M. (2019). Arbuscular mycorrhizal (*Glomus fasciculatum*) fungi as a plant immunity booster against fungal pathogen. *Current Agriculture Research Journal*, 7(1), 99–107.
<https://doi.org/10.12944/carj.7.1.12>
- Miransari, M., Abrishamchi, A., Khoshbakht, K. & Niknam, V. (2012). Plant hormones as signals in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Critical Reviews in Biotechnology*,
<https://doi.org/10.3109/07388551.2012.731684>
- Noor, M., Masganti & Agus, F. (2014). Pembentukan dan karakteristik gambut tropika Indonesia. In F. Agus, M. Anda. A. Jamil & Masganti (Eds.). *Lahan Gambut Indonesia : Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan* (Edisi Revisi). pp. 7-32. IAARD Press. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Plassard, C. & Dell, B. (2010). Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. *Tree Physiology*, 30(9), 1129–1139.
<https://doi.org/10.1093/treephys/tpq063>
- Prasasti, O.H., Purwani, K.I., & Nurhatika, S. (2013). Pengaruh mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman kacang tanah yang terinfeksi patogen *Sclerotium rolfsii*. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), E74-E78
- Pulungan, A.S.S. (2018). Tinjauan ekologi fungi mikoriza arbuskular. *Jurnal Biosains* 4(1): 17-22.
<https://doi.org/10.24114/jbio.v4i1.9389>
- Putra, B., Warly, L., Evitayani & utama, B.P. (2022). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metals and their effect on the growth of *Pennisetum purpureum* cv. Mott on gold mine tailings in Muara Bungo, Jambi, Indonesia. *Biodiversitas*,

- 23(1), 478–485. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230151>
- Rojas, Y.C.P. del C. Arias, R.M., Ortis, R.M., Aguilar, D.T., Heredia, G. & Yon, Y.R. (2019). Effects of native arbuscular mycorrhizal and phosphate-solubilizing fungi on coffee plants. *Agroforestry Systems*, 93(3), 961–972. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0190-1>
- Sasli, I. (2013). Respon tanaman kedelai terhadap pupuk hayati mikoriza arbuskula hasil rekayasa spesifik gambut. *Jurnal Agrovigor*, 6(1), 73–80
- Sasli, I. & Ruliansyah, A. (2012). Pemanfaatan mikoriza arbuskula spesifik lokasi untuk efisiensi pemupukan pada tanaman jagung di lahan gambut tropis. *Agrovigor*, 5(2), 65–74
- Sastrahidayat, I. R. (2011). Rekayasa Pupuk Hayati Mikoriza Dalam Meningkatkan Produksi Pertanian. Universitas Brawijaya Press, Malang.
- Simanungkalit, R. D. M. (2001). Aplikasi pupuk hayati dan pupuk kimia: suatu pendekatan terpadu. *Bul. Agrobio*. 4(2):56-61
- Smith, S. E. & Smith, F. A. (2012). Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. *Mycologia*, 104(1), 1–13. <https://doi.org/10.3852/11-229>
- Taffouo, V. D. Ngwene, B., Akoa, A. & Franken, P. (2014). Influence of phosphorus application and arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, foliar nitrogen mobilization, and phosphorus partitioning in cowpea plants. *Mycorrhiza*, 24(5), 361–368. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0544-5>
- Tawaraya, K. (2022). Response of mycorrhizal symbiosis to phosphorus and its application for sustainable crop production and remediation of environment. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1–5. <https://doi.org/10.1080/00380768.2022.2032335>
- Trejo, D., Sangabriel-Conde, W., Gavito-Pardo, M.E., & Banuelos, J. (2021). Mycorrhizal inoculation and chemical fertilizer interactions in pineapple under field conditions. *Agriculture (Switzerland)*, 11(10), 1–8. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100934>
- Trisilawati, O., Towaha, J. & Daras, U. (2012). Pengaruh mikoriza dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan produksi jambu mete muda. *Buletin RISTRI*, 3(1) : 91-98
- Verbruggen, E., van der Heijden, M. G. A., Rillig, M. C., & Kiers, E. T. (2013). Mycorrhizal fungal establishment in agricultural soils: Factors determining inoculation success. *New Phytologist*, 197: 1104–1109
- Wang, Y., Zhang, W., Liu, W., Ahammed, G.J., Wen, W., Guo, S., Shu, S. & Jin Sun J. (2021). Auxin is involved in arbuscular mycorrhizal fungi-promoted tomato growth and NADP malic enzymes expression in continuous cropping substrates. *BMC Plant Biology* 21:48. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02817-2>
- Wulandari, D., Saridi, Cheng, W. & Tawaraya, K. (2016). Arbuscular Mycorrhizal Fungal inoculation improves *Albizia saman* and *Paraserianthes falcataria* growth in postopen cast coal mine field in East Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 376: 67–73.

Zhang, F. Wang, P., Zou, Y.N., Wu, Q.S., & Kuča, K. (2018). Effects of mycorrhizal fungi on root-hair growth and hormone levels of taproot and lateral roots in trifoliate orange under drought stress. Archives of Agronomy and Soil Science s, Archives of Agronomy and Soil Science, <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1563780>