

PRODUKSI TANAMAN KOPI LIBERIKA HASIL PENYAMBUNGAN INTRA- DAN INTER-SPEKIFIK PADA APLIKASI MIKORIZA DAN PUPUK ANORGANIK DI LAHAN GAMBUT

PRODUCTION OF INTRA- AND INTER-SPECIFIC GRAFTED LIBERICA COFFEE PLANT ON MYCORRHIZA AND INORGANIC FERTILIZERS APPLICATION IN PEAT LAND

Elis Kartika^{1,2*}, Made Deviani Duaja², Gusniwati Gusniwati²

¹ Peneliti Pusat Unggulan Ipteks (PUI) Kopi Liberika

² Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi
Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM 15, Mendalo Indah, Jambi, Indonesia 36611

*Korespondensi : elisk63@unja.ac.id

Diterima: 08 Maret 2024 / Direvisi: 04 April 2024 / Disetujui: 24 Juni 2024

ABSTRAK

Peningkatan produksi tanaman kopi Liberika di lahan gambut dapat dilakukan melalui aplikasi mikoriza dan penggunaan tanaman unggul hasil sambung intra- dan inter- spesifik. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan interaksi antara tanaman kopi liberika hasil sambung intra- dan inter- spesifik dengan kombinasi mikoriza dan pupuk anorganik di lahan gambut. Percobaan dilakukan selama 6 bulan pada tanaman kopi berumur 2 tahun menggunakan Rancangan Petak Terbagi faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu faktor pertama (petak utama), perlakuan jenis tanaman kopi hasil penyambungan terdiri dari dua taraf, yaitu tanaman kopi Liberika hasil penyambungan dengan kopi Liberika (intra-spesifik) dan tanaman kopi Liberika hasil penyambungan dengan kopi Robusta (inter-spesifik). Faktor kedua (anak petak) adalah perlakuan kombinasi mikoriza (isolat *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c) dan pupuk an-organik yang terdiri atas enam taraf yaitu tanpa mikoriza + 100% pupuk an-organik, mikoriza + tanpa pupuk an-organik, mikoriza + 25% pupuk an-organik, mikoriza + 50% pupuk an-organik, mikoriza + 75% pupuk an-organik serta mikoriza + 100% pupuk an-organik sesuai rekomendasi. Hasil penelitian menunjukkan terdapat interaksi antara jenis tanaman kopi Liberika hasil sambung dengan kombinasi mikoriza dan pupuk anorganik terhadap produksi tanaman kopi Liberika. Kombinasi mikoriza dan 50% pupuk anorganik merupakan kombinasi terbaik untuk produksi tanaman kopi Liberika hasil sambung intra- dan inter-spesifik di lahan gambut.

Kata kunci : FMA, *Glomus* sp., *Grafting*, Hifa mikoriza, Kopi robusta

ABSTRACT

Increasing the production of Liberica coffee plants in peatlands can be achieved by applying mycorrhiza and using superior plants resulting from intra- and inter-specific grafting. This research aimed to determine the interactions between intra- and inter-specific grafted Liberica coffee plant with combination of mycorrhiza and inorganic fertilizers in peatlands. The

experiment was conducted for 6 months on 2-year-old coffee plants used a Split-Plot Design with two treatment factors. The first factor (main plot) consisted of two levels, namely the Liberica coffee plant grafted with Liberica coffee (intra-specific) and Liberica coffee plants grafted with Robusta coffee (inter-specific). The second factor (sub-plot) was the treatment combination of mycorrhiza (*Glomus* sp-1a and *Glomus* sp-3c isolate) and inorganic fertilizer, which consisted of six levels: without mycorrhiza + 100% inorganic fertilizer, mycorrhiza + without inorganic fertilizer, mycorrhiza + 25% inorganic fertilizer, mycorrhiza + 50% inorganic fertilizer, mycorrhiza + 75% inorganic fertilizer, and mycorrhiza + 100% inorganic fertilizer according to recommendations. The results showed that there was an interaction between grafted Liberica coffee plants and a combination of mycorrhiza and inorganic fertilizers on the production of Liberica coffee plants. Combining mycorrhiza and 50% inorganic fertilizer was the best combination for producing intra- and inter-specific grafted of Liberica coffee plant in peat land.

Keywords : AMF, *Glomus* sp., *Grafting*, Mycorrhizal hyphae, Robusta coffee

PENDAHULUAN

Salah satu jenis kopi yang dikembangkan di Provinsi Jambi adalah kopi Liberika (*Coffea liberica*) yang sentranya terletak di Kabupaten Tanjung Jabung Barat (Tanjabbar) dan tanaman tersebut mampu beradaptasi di lahan gambut. Lahan gambut dikenal sebagai lahan marjinal karena memiliki sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologi yang rendah. Hasil analisis Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Universitas Jambi pada tahun 2022 menunjukkan bahwa tanah gambut di Kelurahan Mekar Jaya Kabupaten Tanjabbar memiliki pH 3,44 (sangat masam), kandungan C 12,23% (sangat tinggi), N (0,59% (tinggi), C/N rasio 21, P₂O₅ 10,53 ppm (rendah), dan K 0,158 me 100 g⁻¹ (sangat rendah). Dengan demikian, agar pertumbuhan, perkembangan dan produksi tanaman kopi Liberika di lahan gambut dapat dioptimalkan, diperlukan suatu upaya melalui pemupukan.

Pupuk anorganik merupakan salah satu pupuk yang mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi di lahan gambut. Hanya saja, pupuk anorganik yang digunakan secara kontinyu tanpa disertai

dengan dosis yang tepat, akan merusak tanah dan lingkungan lainnya. Menurut Blanco-Canqui & Schlegel (2013), penggunaan pupuk anorganik secara kontinyu dalam jangka panjang dapat menyebabkan tanah terdegradasi, stabilitas agregat tanah menurun, dan menyebabkan pencemaran lingkungan, sehingga produktivitas tanaman akan menurun. Salah satu strategi yang mampu mengurangi penggunaan pupuk anorganik adalah penggunaan mikoriza indigenous yang berasal dari lahan gambut yaitu berupa Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA).

Beberapa penelitian membuktikan bahwa FMA memiliki kemampuan untuk meningkatkan penyerapan hara, terutama fosfat (Kartika *et al.*, 2018; Kartika & Gusniwati, 2019; Araújo *et al.*, 2020; Ngo *et al.*, 2021; Rui *et al.*, 2022), meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik (Cheng *et al.*, 2020; Chandrasekaran *et al.*, 2021; Malhi *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2022), meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman logam berat (Atakan *et al.*, 2018; Gong & Tian, 2019; Dhalaria *et al.*, 2020), dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik

(Dowarah *et al.*, 2022; Aguilera *et al.*, 2022; Novelia & Yuliani, 2022).

Selain masalah lahan gambut yang memiliki kesuburan rendah, kopi Liberika di Kabupaten Tanjabbar juga memiliki perakaran yang tidak tahan terhadap serangan jamur akar, sehingga mengakibatkan tanaman kopi banyak yang mati dan mempengaruhi terhadap produksi. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut di samping dengan aplikasi mikoriza juga perlu dibarengi dengan penggunaan bibit kopi yang unggul. Bibit kopi yang unggul diantaranya dapat diperoleh melalui perbanyakan vegetatif dengan metode sambung pucuk. Bibit hasil sambung pucuk memiliki beberapa kelebihan diantaranya sifatnya yang serupa dengan pohon induknya, cepat berbuah, produktivitas lebih tinggi, serta ketahanan terhadap serangan hama dan penyakit.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas bibit kopi hasil sambung adalah kondisi batang bawah yang bisa diperoleh dari jenis yang sama atau berbeda dengan batang atas. Oleh sebab itu, penyambungan dapat dilakukan secara intra-spesifik (penyambungan dengan jenis yang sama) atau inter-spesifik (penyambungan dengan jenis yang berbeda). Penyambungan intra- dan inter-spesifik bertujuan untuk menggabungkan karakteristik unggul yang dimiliki oleh setiap jenis, seperti kekuatan perakaran, kekokohan batang, dan sifat unggul lainnya (Wojtusik & Felker, 1993; Juairiah & Rahman, 2014).

Berdasarkan survey lapangan ternyata selain kopi Liberika, ada kopi jenis lain yang mampu tumbuh di lahan gambut di Kabupaten Tanjabbar yaitu kopi Robusta. Kopi Robusta yang tumbuh di daerah tersebut ternyata memiliki daya tumbuh

yang sangat tinggi, tidak terserang penyakit akar, tetapi produksi dan kualitas kopinya kurang bagus. Kopi Robusta ini sudah seperti gulma, ketika diberantas atau ditebang malahan tumbuh subur dan tidak ada yang terserang penyakit maupun hama. Sementara itu, kopi Liberika memiliki kualitas yang bernilai ekonomis tinggi tetapi tanamannya mudah terserang hama dan penyakit. Oleh karena itu, kopi Robusta di daerah Tanjabbar bisa dimanfaatkan sebagai batang bawah yang akan disambungkan dengan jenis kopi Liberika. Penelitian tentang perbanyakan bibit kopi melalui metode sambung pucuk dengan berbagai perlakuan sudah banyak dilakukan (Budi *et al.*, 2016; Kartika & Gusniwati, 2019; Khumaira *et al.*, 2020; Kartika *et al.*, 2021)., tetapi pengujian bibit hasil sambung pucuk tersebut terhadap produksi di lapangan masih sangat terbatas terutama kopi Liberika di lahan gambut.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan interaksi antara kopi Liberika hasil sambung intra- dan inter- spesifik dengan kombinasi mikoriza dan pupuk anorganik di lahan gambut serta untuk mendapatkan kombinasi mikoriza dan pupuk anorganik terbaik pada tanaman kopi Liberika hasil sambung intra- dan inter-spesifik.

BAHAN DAN METODE

Percobaan ini dilaksanakan di lahan gambut dengan ketebalan gambut berkisar antara 0,3 m – 1 m, yang terletak di Kelurahan Mekar Jaya, Kecamatan Betara, Kabupaten Tanjabbar dari bulan Mei sampai November 2022. Percobaan ini merupakan percobaan Rancangan Petak Terbagi faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu faktor pertama (petak utama) adalah

perlakuan jenis tanaman kopi hasil penyambungan terdiri dari dua taraf, yaitu tanaman kopi Liberika hasil penyambungan dengan kopi Liberika (intra-spesifik) serta tanaman kopi Liberika hasil penyambungan dengan kopi Robusta (inter-spesifik). Faktor kedua (anak petak) adalah perlakuan kombinasi FMA (isolat *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c) dan pupuk anorganik yang terdiri atas enam taraf, yaitu tanpa FMA + 100% pupuk an-organik, FMA + tanpa pupuk an-organik, FMA + 25% pupuk an-organik, FMA + 50% pupuk an-organik, FMA + 75% pupuk an-organik serta FMA + 100% pupuk an-organik. Dosis FMA yang diberikan sebesar 10 g *polybag*⁻¹, sedangkan dosis pupuk an-organik yang digunakan sesuai rekomendasi untuk pemupukan tanaman kopi berumur 2-3 tahun yaitu Urea 75 g tan⁻¹, SP-36 50 g tanaman⁻¹, KCl 50 g tanaman⁻¹ dan Kisserit 25 g tanaman⁻¹ (Puslitkoka, 2006).

Konsolidasi Tanaman Kopi Liberika

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan, di mana kondisi tanaman kopi Liberika hasil *grafting* intra-spesifik (Liberika-Liberika) dan inter-spesifik (Robusta-Liberika) yang diteliti sudah berumur 2 tahun dan memasuki umur 3 tahun yang sudah ditanam di antara tanaman pinang di lahan gambut dengan lubang tanam berukuran 40 x 40 x 30 cm³, dengan jarak tanam 3 x 3 m². Setiap satuan percobaan terdiri dari 4 tanaman, dan yang dijadikan sampel adalah 2 tanaman yang dipilih secara acak.

Inokulasi Mikoriza

Inokulum mikoriza yang digunakan berupa isolat FMA indigenous yang diperoleh dari lahan gambut dari rizosfer tanaman kopi Liberika di Kabupaten

Tanjabbar yang merupakan koleksi Kartika *et al.* (2019). Isolat yang dipakai adalah isolat *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c, Isolat FMA diberikan pada saat bibit dipindahkan dari *polybag* kecil ke *polybag* yang lebih besar dengan cara menabur FMA ke dekat perakaran bibit kopi sebanyak 10 g *polybag*⁻¹ pada tahun 2019. Bibit dipelihara selama satu tahun di pembibitan.

Aplikasi Pupuk Anorganik

Pemupukan an-organik berupa pupuk urea, SP-36, KCl dan Kiserrit diberikan dengan dosis sesuai perlakuan, dosis 100% rekomendasi yaitu Urea 75 g tan⁻¹, SP-36 50 g tanaman⁻¹, KCl 50 g tan⁻¹ dan Kisserit 25 g tanaman⁻¹ (Puslitkoka, 2006). Pemupukan untuk kopi diberikan dua kali dalam setahun, dan pada percobaan ini baru diberikan satu kali pemupukan untuk periode 6 bulan.

Pemeliharaan

Pemeliharaan meliputi pembersihan tanaman pengganggu di sekitar piringan tanaman kopi Liberika yang sudah ditanam serta pengendalian organisme pengganggu tanaman.

Pemanenan

Pemanenan dilakukan setiap 2 minggu sekali, sebanyak 12 kali panen pada 2 tanaman sampel yang sudah dipilih secara acak. Buah kopi yang dipanen adalah buah yang sudah siap panen dengan ciri-ciri buah berwarna merah.

Pengamatan

Pengamatan dilakukan pada 2 tanaman sampel terhadap peubah infeksi akar, jumlah buah per tanaman, bobot buah segar per tanaman, bobot kering biji per tanaman, rendemen biji kopi, dan bobot

kering 100 biji. Peubah infeksi akar tanaman contoh diamati dengan teknik pewarnaan akar (*staining* akar) dari Kormanik & McGraw (1982). Pengukuran bobot kering biji dilakukan pada biji kopi Liberika pada kadar air biji 10%.

Analisis Data

Peubah yang diamati dianalisis secara statistik menggunakan analisis varians (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan pada taraf $\alpha = 5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terjadi interaksi antara tanaman kopi liberika hasil sambung intra- dan inter-spesifik dengan perlakuan pemberian kombinasi mikoriza dan pupuk anorganik terhadap peubah infeksi akar tanaman kopi Liberika (Tabel 1), tetapi terjadi interaksi terhadap peubah jumlah buah kopi per tanaman (Tabel 2), bobot buah kopi per tanaman (Tabel 3), bobot kering biji (Tabel 4), rendemen biji kopi (Tabel 5), dan bobot kering 100 butir kering (Tabel 6).

Infeksi Akar Tanaman Kopi

Tidak terjadi interaksi antara perlakuan jenis sambungan dengan kombinasi FMA dan pupuk anorganik terhadap infeksi akar (Tabel 1). Infeksi akar oleh mikoriza berkisar antara 88,33% sampai 91,67% untuk semua perlakuan yang diinokulasi mikoriza. Hal ini menunjukkan bahwa mikoriza sudah menginfeksi akar tanaman kopi liberika baik pada tanaman intra- maupun inter-spesifik secara baik. Tingkat infeksi mikoriza mengindikasikan jumlah mikoriza yang dapat membentuk simbiosis dengan tanaman inangnya. Hal ini berarti mikoriza sudah bekerja dengan baik dan bersimbiosis dengan tanaman kopi liberika baik yang intra-spesifik maupun inter-spesifik. Tanaman kopi tanpa perlakuan mikoriza juga mengalami sedikit infeksi mikoriza (8,83%), yang menunjukkan bahwa di lokasi penelitian sebelumnya sudah ada mikoriza yang berasosiasi dengan tanah tersebut (Gambar 1). Kartika *et al.* (2019) menunjukkan bahwa secara alami terdapat mikoriza *indigenous* tertentu di rizosfer tanaman kopi, yang mampu menginfeksi tanaman tersebut di lapangan.

Tabel 1. Infeksi akar tanaman kopi Liberika intra- dan inter-spesifik pada pengaruh mandiri aplikasi kombinasi FMA dan pupuk anorganik di lahan gambutPerlakuan

Jenis Tanaman Hasil Penyambungan	Infeksi Akar (%)
Tanaman Intra spesifik	75,33±1,83 a
Tanaman Interspesifik	74,00±1,33 a
Kombinasi FMA dan pupuk anorganik	
Tanpa FMA + 100% pupuk an-organik	8,83±1,67 b
FMA + tanpa pupuk an-organik	91,67±1,67 a
FMA + 25% pupuk an-organik	90,00±3,33 a
FMA + 50% pupuk an-organik	91,67±1,67 a
FMA + 75% pupuk an-organik	88,33±1,67 a
FMA + 100% pupuk an-organik	88,33±5,00 a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf kecil yang sama, berbeda tidak nyata pada taraf 5 % uji Duncan (DMNRT)



Gambar 1 . Infeksi mikoriza pada akar tanaman kopi Liberika

Jumlah Buah Kopi per Tanaman

Jumlah buah kopi per tanaman selama 6 bulan tertinggi diperoleh pada perlakuan FMA + 50% pupuk anorganik baik pada tanaman intra- maupun inter-spesifik (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa ketika ada mikoriza maka dosis pupuk anorganik yang dibutuhkan cukup dengan dosis 50%. Pada dosis pupuk 25% walaupun ada mikoriza tetapi dosis tersebut belum mampu memenuhi dosis pupuk yang dibutuhkan tanaman. Jadi mikoriza mampu menghemat pemakaian pupuk anorganik sebesar 50%, karena hifa mikoriza mampu memperpanjang dan memperluas jangkauan perakaran tanaman kopi sehingga terjadi peningkatan serapan unsur hara oleh tanaman. Basri (2018) mengemukakan bahwa jaringan hifa eksternal dari mikoriza akan memperluas bidang serapan air dan hara serta ukuran hifanya yang lebih halus mampu menyusup ke pori-pori tanah yang lebih kecil sehingga dapat menyerap air pada kondisi air tanah yang sangat rendah.

Pada dosis pupuk 75% dan 100%, jumlah buah kopi bermikoriza menurun kembali baik pada tanaman kopi intra maupun inter spesifik, karena diduga terjadi kelebihan unsur hara sehingga pada kondisi ini fungsi mikoriza menurun ditunjukkan dengan persen infeksi akar yang lebih rendah walaupun nilainya berbeda tidak nyata

(Tabel 1). Hal itu menyebabkan ketersediaan unsur hara terutama P menjadi berkurang yang akibatnya jumlah buah kopi menurun. Sasli dan Ruliyansyah (2012) menunjukkan bahwa persentase infeksi akar oleh mikoriza dapat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi di dalam tanah. Tanaman yang tumbuh di tanah dengan kandungan unsur hara tinggi cenderung memiliki infeksi akar yang lebih sedikit, sedangkan tanaman yang tumbuh di tanah dengan kandungan nutrisi rendah akan memiliki tingkat infeksi akar yang tinggi. Hal tersebut menyebabkan terganggunya kerja mikoriza dalam membantu meningkatkan ketersediaan unsur hara. Menurut Basri (2018) kerja FMA lebih baik pada tanaman yang dipupuk dengan pupuk P yang kurang tersedia daripada yang dipupuk dengan pupuk P yang mudah tersedia bagi tanaman.

Mikoriza juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui kontribusinya dalam menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin dan giberelin bagi tanaman inangnya (Basri, 2018). Menurut Basri (2018), auksin berperan dalam mencegah penuaan akar, memungkinkan akar untuk tetap aktif lebih lama dan meningkatkan penyerapan unsur hara. Unsur hara yang diserap dapat dipindahkan ke titik pertumbuhan tanaman, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik. Sementara itu, giberelin berfungsi untuk menginduksi pembesaran dan pembelahan sel, khususnya dalam menginduksi pertumbuhan primer. Hifa mikoriza dapat memperluas jangkauan akar dan meningkatkan penyerapan unsur hara, terutama fosfor dan unsur-unsur hara lainnya yang sangat dibutuhkan untuk tumbuh dan berkembangnya tanaman kopi.

Mikoriza juga dapat memberikan perlindungan terhadap penyakit tanaman, sehingga membantu tanaman kopi tumbuh dengan lebih sehat, serta dapat meningkatkan agregasi tanah dan stabilitas struktur tanah, sehingga mampu meningkatkan retensi air dan aerasi tanah, di mana kondisi ini sangat diperlukan untuk pertumbuhan tanaman kopi. Dijelaskan oleh Basri (2018) bahwa mikoriza mampu melindungi tanaman dari patogen akar melalui hifanya yang dapat berfungsi sebagai penghalang masuknya patogen, menciptakan lingkungan yang tidak sesuai untuk patogen dengan cara menghabiskan hampir semua kelebihan eksudat, menghasilkan antibiotik yang bisa mematikan patogen, serta akar yang sudah diinfeksi mikoriza tidak dapat diinfeksi lagi oleh patogen. Selanjutnya Wahab *et al.* (2023) menyatakan bahwa interaksi simbiosis akar tanaman dan mikoriza mampu meningkatkan penyerapan unsur hara dan produksi tanaman, selain itu mikoriza dapat melepaskan zat kimia yang memiliki efek antibakteri dan anti fungi serta memperluas luas permukaan penyerapan mineral.

Sementara itu, pupuk anorganik adalah sumber unsur hara yang cepat tersedia bagi tanaman. Pupuk anorganik dapat memberikan unsur hara seperti N, P, dan K dalam jumlah yang tepat dan cepat tersedia bagi tanaman. Dengan memberikan nutrisi yang cukup, pupuk anorganik dapat merangsang pertumbuhan tanaman dan produksi buah kopi yang lebih tinggi. Fosfor dalam pupuk dapat membantu perkembangan akar dan pembentukan bunga yang penting untuk produksi buah, hanya saja ketersediaan P di lahan gambut sangat rendah walaupun diberi pupuk anorganik tambahan karena terikat dengan

senyawa organik atau besi dan aluminium oksida, yang membuatnya kurang tersedia bagi tanaman, selain itu P bersifat slow release. Ketersediaan P tersebut bisa ditingkatkan oleh mikoriza karena hifa mikoriza mampu mengeluarkan enzim fosfatase yang mampu melepaskan P dari ikatan-ikatan spesifik, sehingga tersedia bagi tanaman (Basri, 2018). Dengan demikian dengan adanya mikoriza akan meningkatkan jumlah buah kopi. Mikoriza mampu meningkatkan jumlah buah kopi dari tanaman intra-spesifik pada pembeirian pupuk anorganik 100% sebesar 26,72%, sedangkan pada tanaman inter-spesifik sebesar 7,94%. Hasil penelitian Kartika *et al.* (2018) membuktikan bahwa mikoriza mampu menghemat pemakaian pupuk anorganik sampai 50% pada tanaman jarak pagar.

Selanjutnya pada Tabel 2 terlihat bahwa jumlah buah kopi per tanaman selama 6 bulan menunjukkan perbedaan yang nyata antara tanaman intra- dan inter-spesifik pada berbagai perlakuan kombinasi mikoriza dan pupuk anorganik, kecuali pada perlakuan FMA + 100% pupuk anorganik. Tanaman inter-spesifik memiliki jumlah buah yang lebih tinggi daripada tanaman intra-spesifik pada aplikasi kombinasi tanpa FMA + 100% serta perlakuan FMA + 25% pupuk anorganik dibandingkan tanaman intra-spesifik yang berarti tanaman inter-spesifik mampu menyerap unsur hara yang lebih tinggi karena diduga tanaman ini memiliki perakaran yang lebih baik sehingga mampu menghemat pemakaian pupuk anorganik sebesar 75%. Menurut Rusli *et al.* (2015) asupan unsur hara yang cukup diperlukan untuk akumulasi cadangan makanan di dalam biji kopi yang merupakan tahap lanjut yang sangat berpengaruh dan penting dalam pembentukan buah kopi.

Pada tanaman inter-spesifik dapat menghemat pupuk anorganik sebesar 75%. Hal ini menunjukkan bahwa kopi robusta di lokasi penelitian yang digunakan untuk batang bawah mempunyai ketahanan terhadap penyakit akar dan kondisi lahan

marginal sehingga mampu tumbuh dengan baik. Pham *et al.* (2020) menyatakan bahwa tanaman kopi hasil *grafting* Robusta/Liberika yang bermikoriza lebih mampu mengendalikan nematoda di lahan *replanting* tanaman kopi.

Tabel 2. Jumlah buah kopi Liberika intra- dan inter-spesifik per tanaman per 6 bulan pada aplikasi kombinasi FMA dan pupuk anorganik di lahan gambut

Perlakuan	Dosis Pupuk anorganik (% rekomendasi)					
	Tanpa FMA+ 100% PA	FMA + Tanpa PA	FMA+ 25% PA	FMA+ 50% PA	FMA+ 75% PA	FMA+ 100% PA
Tanaman Intra spesifik	232±17,5 d B	125±12,5 e A	170±12,5 e B	501±31,5 a A	398±3,0 b A	294±15,0 c A
Tanaman Interspesifik	277±27,5 c A	270±2,5 c B	224±12,5 d A	415±1,0 a B	330±25,0 b B	299±8,5 bc A

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil yang sama menurut baris dan huruf besar yang sama menurut kolom yang sama, berbeda tidak nyata pada taraf $\alpha = 5\%$ uji Duncan (DMNRT)
PA = Pupuk Anorganik FMA = Fungi Mikoriza Arbuskular

Bobot Buah Kopi per Tanaman (g)

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa bobot buah kopi tertinggi diperoleh pada perlakuan FMA + 50% pupuk anorganik, baik pada tanaman intra maupun interspesifik, yang menunjukkan bahwa baik tanaman kopi intra- maupun inter-spesifik mampu menghemat penggunaan pupuk anorganik sebesar 50%. Hal ini disebabkan mikoriza mampu membantu meningkatkan ketersediaan unsur hara tanaman, terutama unsur hara fosfor (P), yang biasanya terdapat dalam tanah dalam bentuk terikat dan sulit diakses oleh akar tanaman. Selain meningkatkan ketersediaan fosfor, mikoriza juga membantu meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman, mengurangi risiko serangan penyakit dan stres lingkungan, serta meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan dan keasaman tanah. Dengan demikian, tanaman bermikoriza memiliki akses lebih besar ke unsur hara yang diperlukan untuk tumbuh dan berproduksi optimal, sehingga

hasil jumlah buahnya lebih banyak dibandingkan dengan tanaman tanpa mikoriza, seperti yang dilaporkan oleh Kiuk *et al.* (2022) bahwa FMA mampu meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan nutrisi, termasuk fosfor (P), sehingga mampu mencukupi kebutuhan tanaman untuk melakukan proses fisiologisnya, terutama dalam proses pembentukan dan pengisian biji. Selanjutnya hasil penelitian El-Sherbeny *et al.* (2022) juga menunjukkan bahwa FMA mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara terutama unsur P sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Pada perlakuan tanpa FMA + 100% pupuk anorganik, FMA + tanpa pupuk anorganik serta FMA + 25% pupuk anorganik terlihat bahwa tanaman hasil sambung inter-spesifik memiliki bobot buah kopi per tanaman lebih tinggi berturut-turut 19,4%, 31,76% dan 1,7% dibandingkan tanaman intra-spesifik. Tanaman kopi hasil sambung inter-spesifik memiliki batang

bawah jenis kopi robusta yang di lahan gambut di lokasi penelitian itu mampu tumbuh lebih baik dibandingkan tanaman kopi yang batang bawahnya jenis kopi Liberika. Menurut hasil penelitian Santosa, *et al.* (2016), kopi robusta merupakan jenis kopi yang lebih toleran terhadap cekaman aluminium, sehingga mampu menyerap berbagai unsur hara seperti fosfor dan magnesium yang diperlukan untuk pertumbuhan dan produksi buah yang optimal. Fosfor adalah nutrisi kunci dalam perkembangan akar dan perkembangan buah. Tanaman kopi yang toleran terhadap

aluminium cenderung memiliki sistem akar yang lebih sehat dan lebih kuat. Ini memungkinkan tanaman untuk mengeksplorasi lebih banyak area tanah dan menyerap lebih banyak unsur hara dan air. Dengan akar yang kuat, tanaman mampu tumbuh dengan lebih baik dan menghasilkan buah yang lebih banyak. Dengan mengatasi cekaman aluminium dan memiliki akses yang lebih baik ke unsur hara yang diperlukan, tanaman kopi yang toleran terhadap aluminium memiliki potensi untuk menghasilkan buah yang lebih banyak dan berkualitas lebih baik.

Tabel 3. Bobot buah kopi Liberika intra- dan inter-spesifik per tanaman per 6 bulan (g) pada aplikasi kombinasi FMA dan pupuk anorganik di lahan gambut

Perlakuan	Dosis Pupuk anorganik (% rekomendasi)					
	Tanpa FMA+ 100% PA	FMA + Tanpa PA	FMA+ 25% PA	FMA+ 50% PA	FMA+ 75% PA	FMA+ 100% PA
Tanaman Intra spesifik	1344,9±5,7 c B	617,8±2,4 d B	839,7±5,0 d B	3005,0±7,7 a A	2390,4±5,0 b A	1472,0±0,2 c A
Tanaman Interspesifik	1609,0±6,5 c A	1352,0±3,4 cd A	1297,6±5,1 d A	2490,5±15,0 a B	1981,2±7,7 b B	1553,1±21,1 cd A

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil yang sama menurut baris dan huruf besar yang sama menurut kolom yang sama, berbeda tidak nyata pada taraf $\alpha = 5\%$ uji Duncan (DMNRT) (PA = Pupuk Anorganik FMA = Fungi Mikoriza Arbuskular)

Selanjutnya pada perlakuan FMA + 50% pupuk anorganik dan FMA + 75% pupuk anorganik, bobot buah kopi tanaman intra-spesifik selama 6 bulan lebih tinggi dibandingkan tanaman inter-spesifik. Ini berarti tanaman kopi hasil sambung intra-spesifik mampu memiliki bobot buah kopi yang lebih tinggi pada kondisi diberi FMA disertai 50 % dan 75% pupuk anorganik. Sementara tanaman inter-spesifik mampu menghasilkan bobot buah kopi lebih tinggi baik pada perlakuan tanpa FMA + 100% pupuk anorganik dan ketika ada FMA cukup dengan ditambahkan 25% pupuk anorganik. Pada perlakuan FMA + 100% pupuk anorganik, bobot buah kopi tidak berbeda

nyata antara tanaman intra dan inter-spesifik, yang menunjukkan bahwa pada kondisi seperti itu, kedua jenis tanaman mampu menghasilkan bobot buah kopi yang sama.

Bobot Kering Biji Kopi (g)

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa bobot kering biji kopi tertinggi baik pada tanaman intra- dan inter-spesifik diperoleh pada perlakuan FMA + 50% pupuk anorganik. Mikoriza membentuk hubungan simbiotik dengan akar tanaman kopi sehingga meningkatkan kapasitas tanaman untuk menyerap unsur hara. Dengan adanya mikoriza, tanaman kopi dapat lebih

efisien dalam menyerap unsur hara dari tanah, bahkan dengan dosis pupuk anorganik yang lebih rendah. Menurut Nasution *et al.*, (2014), keberadaan mikoriza di akar tanaman memberikan manfaat berupa peningkatan penyerapan fosfat. Ini disebabkan oleh kemampuan mikoriza yang menginfeksi akar tanaman untuk menghasilkan enzim fosfatase dan asam organik, yang memungkinkan fosfat tersedia di dalam tanah yang memiliki kandungan fosfat rendah. Dengan meningkatnya aktivitas fosfatase di sekitar permukaan akar akibat infeksi mikoriza, fosfat dapat dilepaskan dari senyawa fosfat organik di sekitar permukaan sel, sehingga dapat diserap oleh tanaman melalui mekanisme penyerapan nutrisi.

Seperti halnya pada peubah bobot buah kopi panen, tanaman intra-spesifik mampu menghasilkan bobot kering biji kopi lebih tinggi dibandingkan interspesifik pada perlakuan FMA yang dikombinasikan dengan 50% dan 75% pupuk anorganik. Sedangkan tanaman kopi interspesifik mampu menghasilkan bobot kering biji kopi pada perlakuan pada perlakuan tanpa FMA + 100% pupuk anorganik, FMA + tanpa pupuk anorganik serta FMA + 25%. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman kopi interspesifik memiliki perakaran yang lebih kuat sehingga mampu tumbuh dan berproduksi lebih tinggi pada kondisi yang tanah yang kurang baik dibandingkan tanaman kopi intra-spesifik.

Tabel 4. Bobot biji kopi kering kopi Liberika intra- dan inter-spesifik per tanaman per 6 bulan (g) pada aplikasi kombinasi FMA dan pupuk anorganik di lahan gambut

Perlakuan	Dosis Pupuk anorganik (% rekomendasi)					
	Tanpa FMA+ 100% PA	FMA + Tanpa PA	FMA+ 25% PA	FMA+ 50% PA	FMA+ 75% PA	FMA+ 100% PA
Tanaman						
Intra spesifik	133,9±0,6 c B	55,6±10,9 e B	92,4±0,3 d B	375,6± 27,1 a A	262,4±1,3 b A	147,2±8,6 c A
Interspesifik	177,0±8,3 c A	135,2±1,3 d A	116,8±5,6 d A	298,8±1,7 a B	237,3±4,1 b B	163,1±12,3 cd A

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil yang sama menurut baris dan huruf besar yang sama menurut kolom yang sama, berbeda tidak nyata pada taraf $\alpha = 5\%$ uji Duncan (DMNRT) (PA = Pupuk Anorganik FMA = Fungi Mikoriza Arbuskular)

Rendemen Biji Kopi (%)

Rendemen rata-rata biji kering tertinggi diperoleh pada perlakuan FMA + 50% pupuk anorganik yang tidak berbeda nyata dengan FMA + 75% baik pada tanaman intra-spesifik maupun inter-spesifik (Tabel 5). Rendemen rata-rata kopi Liberika yang diperoleh berkisar antara 9 sampai 12,5%. Menurut Sulityorini *et al.*, (2018). rendemen rata-rata biji kopi Liberika adalah 9,03%. Tanaman bermikoriza lebih efisien dalam menyerap unsur hara dari pupuk anorganik, mampu mengurangi ketergantungan pada

pupuk tersebut, dan mampu membantu menjaga keseimbangan unsur hara dalam tanah. Oleh sebab itu, dengan adanya simbiosis tanaman dengan mikoriza maka dapat menghemat pemakaian pupuk anorganik. Pupuk anorganik dengan dosis 50% memiliki rendemen yang lebih baik walaupun tidak berbeda nyata dengan dosis 75% tetapi untuk penghematan maka dosis 50% yang lebih baik. Trisilawati *et al.* (2012) membuktikan bahwa pengurangan dosis pemupukan NPK hingga 50% dari dosis yang direkomendasikan, yang disertai dengan

penggunaan mikoriza, tidak memengaruhi atau mengurangi pertumbuhan dan produksi jambu mete varietas BO2 hasil *grafting*. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan mikoriza mampu menghemat pemakaian pupuk anorganik juga mampu membantu penyerapan unsur hara oleh tanaman.

Rendemen biji kopi Liberika berbeda tidak nyata antara tanaman intra- dan inter-spesifik pada semua perlakuan kombinasi FMA dan pupuk anorganik (Tabel 6). Hal ini menunjukkan bahwa kedua jenis tanaman tersebut mampu tumbuh dan berproduksi dengan baik di lahan gambut, sehingga menghasilkan rendemen biji kopi yang tidak berbeda nyata.

Tabel 5. Rendemen biji kopi Liberika intra- dan inter-spesifik (%) pada aplikasi kombinasi FMA dan pupuk anorganik di lahan gambut

Perlakuan	Dosis Pupuk anorganik (% rekomendasi)					
	Tanpa FMA+ 100% PA	FMA + Tanpa PA	FMA+ 25% PA	FMA+ 50% PA	FMA+ 75% PA	FMA+ 100% PA
Tanaman Intra spesifik	9,95±0,00 b A	9,03±1,73 b A	9,43±0,08 b A	12,50±0,00 a A	11,00±0,08 ab A	9,99±0,59 b A
Tanaman Interspesifik	11,01±0,56 ab A	10,00±0,12 ab A	9,00±0,39 b A	12,00±0,14 a A	12,01±0,25 a A	10,50±0,67ab A

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil yang sama menurut baris dan huruf besar yang sama menurut kolom yang sama, berbeda tidak nyata pada taraf $\alpha = 5\%$ uji Duncan (DMNRT) (PA = Pupuk Anorganik FMA = Fungi Mikoriza Arbuskular)

Bobot Kering 100 biji Kopi (g)

Bobot kering 100 biji kopi Liberika tertinggi pada tanaman intra-spesifik diperoleh pada perlakuan FMA + 50% pupuk anorganik yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan FMA + 75% pupuk anorganik, sedangkan pada tanaman inter-spesifik diperoleh pada perlakuan FMA + 50% pupuk anorganik yang berbeda dengan perlakuan lainnya (Tabel 6). Hal ini menunjukkan bahwa FMA dapat menghemat 50% pemakaian pupuk untuk mencapai bobot kering 100 biji baik pada tanaman intra maupun inter-spesifik. Pemberian mikoriza dengan dosis pupuk anorganik 50% dan 75% mampu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara. Dosis ini merupakan dosis yang paling tepat karena akan membantu menjaga keseimbangan unsur hara di dalam tanah.

Tanaman kopi memerlukan unsur hara yang tepat dalam jumlah yang seimbang untuk menghasilkan biji kopi yang berkualitas. Dosis yang terlalu rendah (25%) mungkin tidak memberikan cukup nutrisi, sementara dosis yang terlalu tinggi (100%) dapat mengganggu keseimbangan nutrisi. Kehadiran unsur fosfor memiliki peran yang sangat penting dalam pertumbuhan tanaman terutama untuk perkembangan organ-organ reproduksi tanaman. Menurut Setyobudi & Sari (2015), unsur fosfor memiliki peran dalam merangsang pertumbuhan akar, meningkatkan terbentuknya bunga, buah dan biji, mempercepat kematangan tanaman, peningkatan mutu hasil panen, dan peningkatan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Abo-El-Ghait *et al.* (2022) bahwa mikoriza mampu menghemat

pemakaian pupuk anorganik pada bibit *Casuarina equisetifolia*.

Peningkatan serapan unsur hara terutama P pada tanaman yang diberi mikoriza menyebabkan peningkatan pertumbuhan sel dan menyebabkan peningkatan persentase karbohidrat yang pada akhirnya terjadi peningkatan ukuran diameter tanaman seperti yang disimpulkan oleh Abo-El-Ghait *et al.* (2022) pada *Swietenia mahagoni* bahwa tanaman bermikoriza mampu meningkatkan kandungan karbohidrat dalam tanaman. Menurut Handayanto *et al.* (2017) pertumbuhan tanaman yang optimal dapat dicapai dengan pasokan nutrisi nitrogen, fosfor, dan kalium yang mencukupi.

Menurut Trisilawati *et al.* (2012), pertumbuhan tanaman yang optimal pada tanaman yang memiliki hubungan simbiotik dengan mikoriza disebabkan oleh kemampuan mikoriza dalam memperluas jangkauan perakaran tanaman di dalam tanah. Dengan demikian, nutrisi yang tersedia bagi tanaman menjadi lebih banyak. Selanjutnya Adetya *et al.* (2018) menyatakan bahwa lebih dari separuh kebutuhan nitrogen tanaman dapat dipenuhi melalui asosiasi dengan mikoriza, hifa dari cendawan mikoriza arbuskular mampu secara efisien menggunakan nitrogen dan fosfor anorganik dan mengalirkannya ke dalam tanah dalam jarak sekitar 10 hingga 30 cm.

Tabel 6. Bobot kering 100 biji kopi Liberika intra- dan inter-spesifik per tanaman per 6 bulan (g) pada aplikasi kombinasi FMA dan pupuk anorganik di lahan gambut

Perlakuan	Dosis Pupuk Anorganik (% rekomendasi)					
	Tanpa FMA+ 100% PA	FMA + Tanpa PA	FMA+ 25% PA	FMA+ 50% PA	FMA+ 75% PA	FMA+ 100% PA
Tanaman Intra spesifik	60,84±3,56 bc B	60,00±4,00 c B	59,95±0,32 c A	84,82±0,95 a B	80,00±1,50 a A	70,00±10,00 b A
Tanaman Interspesifik	78,66±0,99 b A	67,60±2,15 c A	45,80±8,80 d B	89,75±1,00 a A	69,18±4,74 bc B	70,50±0,24 bc A

Keterangan : - Angka yang diikuti huruf kecil yang sama menurut baris dan huruf besar yang sama menurut kolom yang sama, berbeda tidak nyata pada taraf $\alpha = 5\%$ uji Duncan (DMNRT) (PA = Pupuk Anorganik FMA = Fungi Mikoriza Arbuskular)

Pada perlakuan tanpa FMA + 100% pupuk anorganik, FMA + tanpa pupuk anorganik serta FMA + 50% pupuk anorganik, tanaman inter-spesifik mempunyai bobot kering 100 biji yang lebih tinggi dibandingkan tanaman intra-spesifik, tetapi pada perlakuan FMA +100% pupuk anorganik tidak ada perbedaan bobot kering 100 biji antara kedua jenis tanaman hasil sambung tersebut. Hal ini diduga karena pada tanaman inter-spesifik yang menjadi batang bawah adalah jenis kopi robusta yang memiliki perakaran yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap organisme pengganggu tanaman, dengan demikian penyerapan unsur hara lebih tinggi. Selain itu keberadaan mikoriza menyebabkan peningkatan ketersediaan unsur hara seperti N, K dan S yang diakibatkan terjadinya peningkatan serapan air oleh tanaman. Peningkatan serapan air oleh tanaman bermikoriza tersebut menyebabkan terbawanya unsur-unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran massa (Basri, 2018).

SIMPULAN

Terjadi interaksi antara tanaman kopi Liberika hasil sambung intra- dan inter-spesifik dengan kombinasi mikoriza dan pupuk anorganik terhadap produksi dan rendemen biji kopi pada tanaman kopi Liberika di lahan gambut, tetapi tidak terjadi interaksi pada derajat infeksi akar. Kombinasi mikoriza dan 50% pupuk anorganik merupakan kombinasi terbaik terhadap produksi tanaman kopi Liberika hasil sambung intra- dan inter-spesifik di lahan gambut. Mikoriza dapat mengurangi kebutuhan pupuk anorganik hingga 50%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian

kepada Masyarakat Universitas Jambi melalui Penelitian LPPM yaitu “Penelitian Terapan Unggulan Fakultas” dengan Nomor Kontrak : 364/UN21.11/PT.01.05/SPK/2022 Tanggal 17 Mei 2022 yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo-El-Ghait, E., Ghatas, Y., Ali, M., & MA El-Wafa. (2022). Impact of biofertilizers and chemical fertilizers on some chemical characteristics of *Casuarina equisetifolia* seedlings and sandy soil macronutrient's content. *Journal of Plant Production*, 13(6), 195–203. <https://doi.org/10.21608/jpp.2022.141660.1119>
- Adetya, V., Nurhatika, & Muhibuddin, A. (2018). Pengaruh pupuk mikoriza terhadap pertumbuhan cabai rawit (*Capsicum frutescens*) di Tanah Pasir. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 7(2), 75-79.
- Aguilera, P., Ortiz, N., Becerra, N., Turrini, A., Gaínza-Cortés, F., Silva-Flores, P., Aguilar-Paredes, A., Romero, J.K., Jorquera-Fontena, E., de La Luz Mora, M., & Borie, F. (2022). Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in vineyards: water and biotic stress under a climate change scenario: new challenge for chilean grapevine crop. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.826571>
- Araújo, F.H.V., de S Cruz, R., 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>
- Atakan, A., Özgönen Özkaya, H., & Erdoğan,

- O. (2018). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on heavy metal and salt stress. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(11), 1569. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i11.1569-1574.1992>
- 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>
- Budi, P.I.S., Aziez, A.F., & Dewi, T.S.K. (2016). Pengaruh lama perendaman zat pada beberapa model Sambung pucuk terhadap Pertumbuhan bibit kopi (*Coffea* spp). *Agrineca*, 16(2), 63-72.
- Chandrasekaran, M., Boopathi, T., & Manivannan, P. (2021). Comprehensive assessment of ameliorative effects of amf in alleviating abiotic stress in tomato plants. *Journal of Fungi*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/jof7040303>
- Cheng, H.Q., Ding, Y.E., Shu, B., Zou, Y.N., Wu, Q.S., & Kuca, K. (2020). Plant aquaporin responses to mycorrhizal symbiosis under abiotic stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 23(4), 1–9. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1353>
- Dhalaria, R., Kumar, D., Kumar, H., Nepovimova, E., Kuca, K., Islam, M.T., & Verma, R. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungi as potential agents in ameliorating heavy metal stress in plants. *Agronomy*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy10060815>
- Dowarah, B., Gill, S.S., & Agarwala, N. (2022). Arbuscular Mycorrhizal Fungi in conferring tolerance to biotic stresses in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(4), 1429–1444. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10392-5>
- El-Sherbeny, T.M.S., Mousa, A.M., & El-Sayed, E.S.R. (2022). Use of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization to improve the yield of onion (*Allium cepa* L.) plant. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(1), 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.094>
- Gong, X. & Tian, D.Q. (2019). Study on the effect mechanism of arbuscular mycorrhiza on the absorption of heavy metal elements in soil by plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 267(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/267/5/052064>
- Handayanto, E., Muddarisna, N., & Fiqri, A. (2017), *Pengelolaan Kesuburan Tanah*, Malang: UB Press
- Juairiah, L., & Rahman, W. (2014). Evaluasi anatomi daerah sambungan pada tiga teknik penyambungan terhadap keberhasilan penyambungan interspesifik pada *Vireya rhododendron*. *Jurnal Biologi Indonesia* 10(1), 145–148.
- 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.v>

- 12i2.6185
- Kartika, E., Duaja, M.D., & Gusniwati, G. (2019). Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi from Liberica Tungkal Jambi coffee plant rhizosphere on peatland. *Proceed. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* **391** : 012058. doi:10.1088/1755-1315/391/1/012058
- Kartika, E., Gusniwati & Duaja, D. M. (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, H. (2018). Respons tanaman jarak pagar terhadap mikoriza indigenous dan pupuk P di lahan bekas tambang batu bara. *Biospecies* 11(1): 10–18.
- Khumaira, Yustendi, D., Puspita, D.E. (2020). Mikoriza dan pertumbuhan bibit kopi setek sambung. Serambi Saintia. *Jurnal Sains dan Aplikasi*. VIII(2), 79-85.
- Kiuk, Y., Bako, P.O., & Ishaq, L.F. (2022). Aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula indigeneous dan pupuk fosfor anorganik dalam upaya peningkatan serapan fosfor dan hasil tanaman jagung di lahan berkapur Pulau Timor. *Agrikultura*, 33(1), 25-34. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v33i1.35881>
- Kormanik, P.P., & Mc, Graw, A.C. (1982), Quantification of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae in plant root, In NC Schenck, (ed.), *Methods and Principles of Mycorrhizae Research*, *The American Phytop, Soc*, 46, 37-45.
- Malhi, G.S., Kaur, M., Kaushik, P, Alyemeni, M.N., Alsahli, A.A., & Ahmad, P. (2021). Arbuscular mycorrhiza in combating abiotic stresses in vegetables: An eco-friendly approach. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(2), 1465–1476. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.001>
- Nasution, R.M., Sabrina, T., & Fauzi. (2014). Pemanfaatan jamur pelarut fosfat dan mikoriza untuk meningkatkan ketersediaan dan serapan fosfat tanaman jagung pada tanah alkalin. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2(3), 1003-1010.
- Ngo, H.T.T., Watts-Williams, S.J., & Cavagnaro, T.R. (2021). Mycorrhizal growth and phosphorus responses of tomato differ with source but not application rate of phosphorus fertilisers. *Applied Soil Ecology*, 166: 104089. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104089>
- Novelia, A. & Yuliani, Y. (2022). Biokontrol Mikoriza Vesikular Arbuskular Terhadap pertumbuhan dan produktivitas kacang merah (*Phaseolus vulgaris*) terinfeksi hawar daun. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 226–237. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p226-237>
- Pham, T.T., Giang, B.L., Nguyen, N.H., Yen, P.N.D., Hoang, V.D.M., Ha, B.T.L. & Le, N.T.T. (2020). Combination of ycorrhizal symbiosis and root grafting eectively controls nematode in replanted coee soil. *Plants* 9(5). doi:10.3390/plants9050555
- Pusat Penelitian Kopi dan Kakao. (2006). *Pedoman Teknis Tanaman Kopi*. hal 96. Jember
- Rui, W., Mao, Z., & Li, Z. (2022). The roles of phosphorus and nitrogen nutrient

- transporters in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19). <https://doi.org/10.3390/ijms231911027>
- Rusli, Sakiroh, & Wardiana, E. (2015). Pengaruh pemupukan terhadap pertumbuhan, hasil dan kualitas biji empat klon kopi robusta di tanah podsolik merah kuning, lampung Utara. *J. TIDP* 2(2), 107-112.
- Santosa, H.R., Suherman C. & Rosniawaty, S. (2016). Respons pertumbuhan tanaman kopi Robusta (*Coffea robusta* L.) tercekam aluminium di lahan reklamasi bekas tambang batubara bervegetasi sengon (periode el nino). *Jurnal Agrikultura*. 27 (3): 124-131.
- Sasli, I., Ruliyansyah, A., (2012): Pemanfaatan jamur mikoriza vesikula arbuskular spesifik lokasi untuk efisiensi pemupukan pada tanaman jagung di lahan gambut tropis. *Jurnal Agrovigor*, 5: 65-75.
- Setyobudi, H. & Sari, S, (2015). Ilmu dan Implementasi Kesuburan Tanah. Universitas Muhamadyah Malang. UMM Press. Malang
- Singh, M., Bisht, S., Singh, S., & Sharma, J.G. (2022). Implications of abiotic stress tolerance in arbuscular mycorrhiza colonized plants: Importance in plant growth and regulation. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 10(6), 1–11. <https://doi.org/10.7324/JABB.2022.100601>
- Sulityorini, H., Abinemo, A.P. & Asmoro, H.P. (2018). Buku Saku Kopi Penanganan Pascapanen Kopi Secara Baik dan Benar. Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian.
- 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.
- Wahab, A. , Muhammad M., Munir A., Abdi G., Zaman W., Ayaz A., Khizar C., Reddy, S.P.P. (2023). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. *Plants* 12(17), 3102. <https://doi.org/10.3390/plants12173102>
- Wojtusik, T. & Felker, P.(1993). Interspecific graft incompatibility in Prosopis. *Forest Ecology and Management*, 59(3–4), 329–340. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90011-B](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90011-B)