JURNAL ILMIAH INOVASI

Vol. 26, No. 2,Agustus 2026
E-ISSN : 2527-6220 | P-ISSN : 1411-5549
DOI : 10.25047/jii.v26i02.7543

Efektivitas Mikoriza Arbuskular terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi Liberika (*Coffea liberica*) pada Berbagai Interval Penyiraman

Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of Liberica Coffee Seedling (Coffe liberica) under Different Watering Interval

Elly Daru Ika Wilujeng[1*], Jumiatun [1], Muhammad Evan Nurrahmawan [2], Putri Septian Anugrah Wardani[1]

[1] Department of Agricultural Production, Politeknik Negeri Jember
[2] Target Agrifood Biotechnology Institute, Jakarta
* elly.daru@polije.ac.id

ABSTRAK

Ketersediaan air merupakan salah satu faktor yang memengaruhi pertumbuhan bibit kopi, terutama selama periode pembibitan. Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) berpotensi meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui peningkatan eksplorasi akar dan penyerapan air serta unsur hara. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh dosis FMA dan interval penyiraman terhadap pertumbuhan bibit kopi Liberika (*Coffea liberica*). Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu dosis FMA 0, 10, 20, dan 30 g tanaman^{-1} serta interval penyiraman 3, 5, dan 7 hari. Parameter yang diamati meliputi pertambahan tinggi tanaman, diameter batang, panjang dan lebar daun, panjang akar, serta kolonisasi FMA. Hasil menunjukkan bahwa dosis FMA berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif dan kolonisasi akar, dengan dosis 30 g tanaman^{-1} memberikan respons tertinggi. Interval penyiraman 3 hari menghasilkan pertumbuhan vegetatif terbaik, sedangkan interval 7 hari cenderung menghasilkan pertumbuhan terendah. FMA menyebabkan kolonisasi akar hingga 50,00%. Tidak terdapat interaksi nyata antara dosis FMA dan interval penyiraman pada seluruh parameter yang diamati. Dosis FMA 30 g tanaman^{-1} dan interval penyiraman 3 hari merupakan perlakuan yang paling mendukung pertumbuhan bibit kopi Liberika pada kondisi penelitian ini

Kata kunci — Interval penyiraman, Kolonisasi akar, Kopi liberika, Mikoriza arbuscular

ABSTRACT

Water availability is an important factor affecting coffee seedling growth, particularly during the nursery stage. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) have the potential to enhance plant growth by increasing root exploration and improving water and nutrient acquisition. This study aimed to evaluate the effects of AMF doses and watering intervals on the growth of Liberica coffee (Coffea liberica) seedlings. The experiment used a factorial Completely Randomized Design with two factors: AMF doses of 0, 10, 20, and 30 g plant^{-1} and watering intervals of 3, 5, and 7 days. The observed parameters included increases in plant height, stem diameter, leaf length and width, root length, and AMF root colonization. The results showed that AMF dose affected vegetative growth and root colonization, with 30 g plant^{-1} producing the highest responses. A 3-day watering interval resulted in the best vegetative growth, whereas the 7-day interval generally produced the lowest growth. AMF application also increased root colonization, reaching 50.00% at the 30 g plant^{-1} dose. No significant interaction between AMF dose and watering interval was observed for any of the measured parameters. The application of AMF at 30 g plant^{-1} combined with a 3-day watering interval provided the most favorable growth response of Liberica coffee seedlings under the conditions of this study.

Keywords — *Arbuscular Mycorrhizal Fungi , Liberica coffee, Root colonization, Watering interval*

OPEN ACCESS
© 2026. Elly Daru Ika Wilujeng, Jumiatun , Muhammad Evan Nurrahmawan, Putri Septian Anugrah Wardani
Creative Commons
Attribution 4.0 International License

1. Pendahuluan

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki nilai ekonomi penting dan menjadi sumber pendapatan bagi masyarakat di berbagai wilayah tropis. Selain *Coffea arabica* dan *Coffea canephora*, kopi Liberika (*Coffea liberica*) merupakan salah satu spesies kopi yang diperdagangkan dan memiliki potensi pengembangan di Indonesia. Kopi Liberika memiliki karakter morfologi dan agroekologi yang berbeda dibandingkan Arabika dan Robusta, termasuk kemampuan tumbuh pada lingkungan dataran rendah dan lahan dengan karakteristik yang kurang sesuai bagi sebagian varietas kopi lainnya [1]. Di Indonesia, pengembangan Liberika telah banyak dikaitkan dengan pemanfaatan lahan gambut dan lahan suboptimal, terutama di wilayah Jambi [2]. Namun, peningkatan potensi pengembangan tersebut tetap memerlukan dukungan teknologi budidaya, terutama dalam penyediaan bahan tanam yang memiliki pertumbuhan dan kualitas fisiologis baik sejak fase pembibitan.

Pengembangan kopi Liberika tidak terlepas dari perubahan kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman, salah satunya adalah ketidakpastian ketersediaan air. Ketersediaan air merupakan salah satu faktor lingkungan yang menentukan pertumbuhan dan produktivitas tanaman kopi, terutama ketika terjadi periode kekeringan yang berkepanjangan. Defisit air dapat mengganggu status air tanaman, mengurangi konduktansi stomata dan fotosintesis, serta pada akhirnya menekan pertumbuhan tanaman. [3] . Meskipun kopi Liberika memiliki sumber genetik yang berpotensi memberikan toleransi terhadap kekeringan, tingkat toleransi dapat berbeda antar genotipe; genotipe IPR 100 yang membawa karakter *C. liberica*, misalnya, termasuk kelompok yang menunjukkan toleransi relatif tinggi terhadap pembatasan air pada fase bibit. [4] . Oleh karena itu, pengelolaan ketersediaan air selama pembibitan tetap diperlukan untuk mempertahankan pertumbuhan bibit Liberika, terutama pada kondisi interval penyiraman yang berbeda.

Fase pembibitan merupakan tahap kritis dalam budidaya kopi karena perkembangan akar dan tajuk pada periode ini menentukan vigor tanaman setelah ditanam di lapangan. Keterbatasan air dapat menekan pertumbuhan bibit melalui gangguan status air, fotosintesis, perkembangan tajuk dan akar, serta pembentukan biomassa; respons tersebut juga dapat berbeda antar genotipe kopi. Pada kopi Lberika, penelitian terbaru [4] menunjukkan bahwa peningkatan cekaman kekeringan dapat membatasi pertumbuhan dan penyerapan hara bibit, sedangkan inokulasi FMA mampu meningkatkan pertumbuhan dan penyerapan hara pada kondisi ketersediaan air terbatas. [5] Oleh karena itu, pengaturan interval penyiraman selama pembibitan penting untuk mengevaluasi respons pertumbuhan Liberika terhadap tingkat ketersediaan air.

Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) merupakan salah satu pendekatan biologis yang berpotensi mendukung pertumbuhan tanaman pada kondisi lingkungan terbatas melalui pembentukan simbiosis dengan akar dan jaringan hifa eksternal yang memperluas daerah eksplorasi akar. Perluasan tersebut dapat meningkatkan efisiensi penyerapan air dan unsur hara, terutama fosfor, serta membantu tanaman menghadapi cekaman lingkungan. Pada bibit kopi Liberika, inokulasi FMA telah dilaporkan meningkatkan pertumbuhan bibit, biomassa akar dan tajuk, serapan N dan P, serta kolonisasi akar pada media suboptimal, termasuk tanah gambut [6]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa FMA berpotensi menjadi salah satu komponen teknologi pembibitan untuk meningkatkan pertumbuhan dan kemampuan adaptasi bibit kopi Liberika pada kondisi lingkungan yang kurang optimal.

Efektivitas FMA dalam mendukung pertumbuhan tanaman dapat menjadi lebih penting pada kondisi ketersediaan air terbatas karena hifa eksternalnya memperluas daerah eksplorasi akar dan membantu penyerapan air serta unsur hara. Namun, respons terhadap FMA dipengaruhi oleh kondisi tanaman, media, sumber inokulum, dan tingkat cekaman. Pada bibit kopi Liberika di tanah gambut, penelitian [5] menunjukkan bahwa inokulasi FMA, meningkatkan pertumbuhan dan penyerapan hara hingga tingkat ketersediaan air 40% kapasitas lapang, tetapi efektivitasnya menurun pada cekaman yang lebih berat. Temuan tersebut menunjukkan bahwa efektivitas FMA terhadap cekaman kekeringan bersifat kontekstual

sehingga perlu diuji pada dosis, media, dan pola pemberian air yang berbeda.

Penelitian mengenai pemanfaatan FMA pada bibit kopi Liberika telah dilakukan pada berbagai kondisi media dan ketersediaan air. Pada tanah gambut [6] menunjukkan bahwa inokulasi beberapa jenis FMA dapat meningkatkan pertumbuhan dan serapan hara bibit Liberika, sedangkan penelitian [5] menunjukkan bahwa kombinasi FMA tertentu mampu mempertahankan pertumbuhan dan penyerapan hara hingga tingkat ketersediaan air 40% kapasitas lapang, dengan efektivitas yang menurun pada cekaman lebih berat. Penelitian lain pada bibit Liberika telah membandingkan inokulasi dan tanpa inokulasi mikoriza pada beberapa jenis media suboptimal, seperti tanah gambut, Ultisol, dan tanah bekas tambang batubara **[7]**, sementara penelitian dengan beberapa dosis FMA pada media gambut menunjukkan adanya respons pertumbuhan yang berbeda antar dosis [8]. Namun, informasi mengenai respons bibit kopi Liberika terhadap peningkatan dosis FMA yang dikombinasikan dengan interval penyiraman berbeda masih terbatas. Pendekatan tersebut penting untuk mengetahui apakah peningkatan dosis FMA dapat mempertahankan pertumbuhan dan kolonisasi akar ketika periode antar penyiraman diperpanjang.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi respons bibit kopi Liberika (*Coffea liberica*) terhadap kombinasi dosis FMA dan interval penyiraman selama fase pembibitan. Kebaruan penelitian terletak pada pengujian empat tingkat dosis FMA (0, 10, 20, dan 30 g tanaman^{-1}) yang dikombinasikan dengan tiga interval penyiraman (3, 5, dan 7 hari) sebagai pendekatan untuk menghasilkan tingkat ketersediaan air yang berbeda pada media pembibitan. Pendekatan tersebut memungkinkan evaluasi pengaruh masing-masing faktor maupun interaksinya terhadap pertumbuhan vegetative dan kolonisasi FMA pada bibit kopi Liberika. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya informasi mengenai pemanfaatan FMA dalam teknologi pembibitan kopi Liberika, khususnya dalam menghadapi keterbatasan ketersediaan air. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh dosis FMA dan interval penyiraman terhadap pertumbuhan serta kolonisasi akar bibit kopi Liberika (*Coffea liberica*) dan mengidentifikasi perlakuan yang memberikan respons pertumbuhan terbaik.

2. Metodologi

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret–Desember 2025 di Laboratorium Tanah dan Kebun Percobaan Teknik Produksi Benih, Jurusan Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember.

Bahan utama yang digunakan berupa bibit kopi Liberika (Coffea liberica) berumur tiga bulan. Inokulum fungi mikoriza arbuskular (FMA) yang digunakan adalah Mycovir dengan kandungan 63 MPN g^{-1}, 55 × 10^{2} CFU g^{-1}, Glomus 60 spora g^{-1}, Enterospora 55 g^{-1}, dan Gigaspora 28 g^{-1}. Media tanam terdiri atas topsoil dan kompos dengan perbandingan 5:1. Kompos memiliki N total 3,07%, C-organik 22%, P_2O_5 1,30%, bahan organik 32%, K_2O 1,35%, MgO 2,20%, C/N 22,36%, dan pH 7,03. Peralatan utama meliputi polybag, jangka sorong, timbangan digital, oven, mikroskop binokuler, luxmeter, dan higrometer.

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah dosis FMA, yaitu 0 (M0), 10 (M1), 20 (M2), dan 30 g tanaman^{-1} (M3). Faktor kedua adalah interval penyiraman, yaitu setiap 3 hari (K1), 5 hari (K2), dan 7 hari (K3). Terdapat 12 kombinasi perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Setiap penyiraman diberikan sebanyak 150 mL tanaman^{-1}. Perbedaan interval penyiraman digunakan untuk memberikan kondisi ketersediaan air yang berbeda.

Pelaksanaan Penelitian

Bibit diaklimatisasi selama dua minggu dengan penyiraman seragam. Selanjutnya, bibit dipindahkan ke polybag berukuran 20 × 20 cm yang berisi 3 kg media campuran topsoil dan kompos (5:1). Inokulum FMA diaplikasikan pada saat persiapan media sesuai dosis perlakuan dan dicampurkan secara merata. Tanaman dipelihara melalui perawatan dan pengendalian organisme pengganggu menggunakan insektisida Decis serta fungisida Antracol dan Dithane setiap dua minggu. Naungan plastik transparan ketebalan 0,3 mm digunakan untuk mengurangi paparan sinar matahari langsung dan masuknya air hujan.

Sebelum perlakuan, dilakukan pengukuran kadar air kering udara dan kapasitas lapang ditentukan secara gravimetri. Kapasitas lapang ditentukan menggunakan media topsoil dan zeolit (8:2), kemudian media dijenuhkan secara perlahan dan dibiarkan selama 24 jam. Sampel diambil secara duplo dari bagian tengah media tanah untuk menentukan kadar air kapasitas lapang.

Parameter Pengamatan dan Analisis Data

Parameter yang diamati meliputi pertambahan tinggi tanaman, diameter batang, panjang dan lebar daun, serta persentase kolonisasi FMA. Pengukuran tinggi tanaman, diameter batang, panjang dan lebar daun dimulai pada minggu ke-8 hingga minggu ke-12 setelah inokulasi FMA.

Kolonisasi FMA diamati melalui pewarnaan akar. Potongan akar berukuran 1 cm direndam dalam KOH 10% pada 95 °C selama 60 menit, dijernihkan menggunakan H_2O_2, diasamkan dengan HCl, kemudian diwarnai menggunakan lactophenol trypan blue pada 85 °C selama 30 menit. Preparat diamati menggunakan mikroskop untuk mengidentifikasi arbuskula atau vesikel. Persentase kolonisasi dihitung dari jumlah potongan akar terkolonisasi terhadap 10 potongan akar yang diamati.

Data dianalisis menggunakan ANOVA. Apabila terdapat pengaruh nyata atau sangat nyata, pengujian dilanjutkan dengan Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5% (α = 0,05).

3. Hasil dan Pembahasan

Kondisi Awal dan Kadar air Media

Pengujian awal menunjukkan kadar air kering udara sebesar 3,08% dan kapasitas lapang sebesar 33,36%. Pada perlakuan interval penyiraman, kadar air media sebelum penyiraman masing-masing sebesar 17,46%, 15,41%, dan 13,03% untuk interval 3, 5, dan 7 hari, sedangkan setelah penyiraman meningkat menjadi 48,04%, 41,64%, dan 36,91%. Pola ini menunjukkan bahwa semakin panjang interval penyiraman, semakin rendah kadar air media sebelum penyiraman. Kadar air sebelum penyiraman menunjukkan nilai dibawah kapasitas lapang (33,36%), hal ini mengindikasikan bahwa dengan perlakuan interval penyiraman telah dapat menyebabkan cekaman kekeringan dibawah kapasitas lapang.

Infeksi Mikoriza

Persentase kolonisasi akar pada kondisi awal hanya mencapai 3% dengan kepadatan spora pada media tanah top soil sejumlah 2 spora per 50 gram tanah. Kedua parameter tersebut menunjukkan bahwa propagul FMA indigenous yang tersedia pada media tanah top soil berada pada tingkat yang sangat rendah. Kepadatan spora pada kisaran tersebut sejalan dengan laporan pada tanah marginal dan lahan terganggu yang umumnya hanya mengandung sekitar 4-11 spora per 100 gram tanah [9].

Respon Pertumbuhan Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk menilai respon pertumbuhan vegetatif bibit kopi liberika terhadap perlakuan yang diberikan. Parameter ini mencerminkan aktivitas pembelahan dan pemanjangan sel yang dipengaruhi oleh ketersediaan air, hara, serta kondisi fisiologis tanaman [10]. Pada penelitian ini, tinggi tanaman diamati secara berkala pada umur 8, 10, dan 12 minggu setelah perlakuan (MSP) untuk mengetahui pola pertambahan tinggi tanaman akibat aplikasi mikoriza arbuskular pada berbagai frekuensi penyiraman. Pengamatan berulang tersebut memungkinkan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap dinamika pertumbuhan tinggi tanaman selama periode penelitian.

Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) secara tunggal menunjukkan bahwa perlakuan dosis mikoriza arbuskular (M) memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap pertambahan tinggi tanaman umur 8 MSP, 10 MSP dan 12 MSP. Perlakuan frekuensi penyiraman (K) secara tunggal juga memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap pertambahan tinggi tanaman umur 8 MSP dan 12 MSP, serta pengaruh berbeda nyata terhadap pertambahan tinggi tanaman umur 10 MSP. Sementara itu, interaksi antara dosis mikoriza arbuskular dan frekuensi penyiraman (M × K) memberikan pengaruh berbeda tidak nyata terhadap tinggi tanaman pada seluruh waktu pengamatan. Oleh karena itu, untuk mengetahui perbedaan antar taraf perlakuan secara lebih

rinci, analisis dilanjutkan dengan uji DMRT taraf 5%, yang hasilnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengaruh Dosis MFA dan frekuensi penyiraman terhadap Pertambahan Tinggi Tan

Aplikasi Mikoriza Arbuskular	Pertambahan Tinggi Tanaman (cm)		
	8 MSP	10 MSP	12 MSP
M_0 (0 g/tanaman)	12,72 a	12,54 a	13,14 a
M_1 (10 g/tanaman)	12,90 a	14,29 b	15,70 b
M_2 (20 g/tanaman)	12,97 ab	14,57 b	16,17 b
M_3 (30 g/tanaman)	13,22 b	16,20 c	19,36 c
Frekuensi Penyiraman			
K_3 (7 hari sekali)	12,78 a	13,84 a	15,18 a
K_2 (5 hari sekali)	12,92 a	14,35 ab	16,04 a
K_1 (3 hari sekali)	13,16 b	15,02 b	17,06 b

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkanuji lanjut DMRT taraf 5%.

Aplikasi FMA dan interval penyiraman memberikan pengaruh terhadap pertambahan tinggi bibit kopi Liberika pada beberapa waktu pengamatan, sedangkan interaksi kedua faktor tidak menunjukkan pengaruh nyata. Berdasarkan Tabel 1, aplikasi FMA berpengaruh terhadap pertambahan tinggi tanaman pada 8, 10, dan 12 MSP. Pada 8 MSP, perlakuan M3 (30 g tanaman^{-1}) menghasilkan pertambahan tinggi tertinggi sebesar 13,22 cm, tetapi tidak berbeda nyata dengan M2 (20 g tanaman^{-1}) sebesar 12,97 cm. M3 berbeda nyata dibandingkan M0 (12,72 cm) dan M1 (12,90 cm). Pada 10 dan 12 MSP, M3 secara konsisten menghasilkan nilai tertinggi, masing-masing 16,20 dan 19,36 cm, serta berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan pertambahan tinggi seiring dengan meningkatnya dosis FMA.

Peningkatan pertumbuhan pada bibit yang diinokulasi FMA diduga berkaitan dengan kemampuan hifa eksternal mikoriza dalam memperluas daerah eksplorasi akar sehingga meningkatkan akses tanaman terhadap air dan unsur hara. Asosiasi FMA juga dapat meningkatkan ketersediaan dan penyerapan fosfor yang berperan dalam proses metabolisme serta pembentukan jaringan tanaman. Kondisi tersebut mendukung proses pertumbuhan vegetatif dan tercermin pada pertambahan tinggi tanaman yang lebih besar pada dosis FMA yang lebih tinggi. Hasil ini sejalan dengan [11] yang melaporkan bahwa asosiasi mikoriza dapat mendukung pertumbuhan tanaman melalui peningkatan kemampuan tanaman dalam memperoleh sumber daya dari media tumbuh.

Interval penyiraman juga memengaruhi pertambahan tinggi bibit kopi Liberika (Tabel 1). Penyiraman setiap 3 hari (K1) menghasilkan pertambahan tinggi tertinggi pada 8, 10, dan 12 MSP, masing-masing sebesar 13,16; 15,02; dan 17,06 cm. Pada 8 dan 12 MSP, K1 berbeda nyata dibandingkan K2 dan K3, sedangkan pada 10 MSP K1 tidak berbeda nyata dengan K2, tetapi berbeda nyata dengan K3. Sebaliknya, interval penyiraman 7 hari (K3) menghasilkan pertambahan tinggi terendah pada seluruh waktu pengamatan, yaitu 12,78; 13,84; dan 15,18 cm.Respons tersebut menunjukkan bahwa interval penyiraman yang lebih panjang cenderung membatasi pertumbuhan vegetatif bibit. Ketersediaan air yang lebih tinggi pada interval penyiraman 3 hari memungkinkan tanaman mempertahankan kondisi hidrasi dan tekanan turgor yang diperlukan dalam proses ekspansi sel. Air juga berperan dalam mempertahankan aktivitas fisiologis, termasuk fotosintesis dan translokasi asimilat untuk pembentukan jaringan baru. Sebaliknya, semakin panjang interval penyiraman, semakin lama tanaman berada pada kondisi ketersediaan air yang rendah sehingga pertumbuhan tinggi cenderung menurun. Arunyanark [12] melaporkan bahwa keterbatasan air pada fase pembibitan kopi dapat menekan pertumbuhan vegetatif, sedangkan Vu [13] menunjukkan bahwa defisit air dapat mengurangi aktivitas

fisiologis tanaman melalui pengaturan stomata dan penurunan fotosintesis.

Secara keseluruhan, perlakuan M3 (30 g tanaman^{-1}) dan K1 (penyiraman setiap 3 hari) menghasilkan pertambahan tinggi tanaman tertinggi. Namun, tidak adanya interaksi nyata antara FMA dan interval penyiraman menunjukkan bahwa peningkatan dosis FMA tidak secara statistik bergantung pada interval penyiraman yang diberikan. Dengan demikian, pengaruh kedua faktor terhadap pertambahan tinggi bibit kopi Liberika lebih menunjukkan efek utama masing-masing daripada efek sinergis.

Diameter Batang

Dosis FMA dan interval penyiraman berpengaruh terhadap pertambahan diameter batang bibit kopi Liberika pada beberapa waktu pengamatan, sedangkan interaksi kedua faktor tidak menunjukkan pengaruh nyata. Berdasarkan Tabel 2, dosis FMA berpengaruh sangat nyata terhadap pertambahan diameter batang pada 8, 10, dan 12 MSP. Perlakuan M3 (30 g tanaman^{-1}) menghasilkan diameter tertinggi pada seluruh waktu pengamatan, masing-masing sebesar 0,95; 1,02; dan 1,08 cm. Nilai tersebut secara konsisten lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan M0, M1, dan M2. Peningkatan respons tersebut menunjukkan bahwa pemberian FMA dengan dosis yang lebih tinggi mendukung perkembangan batang bibit kopi Liberika selama periode pengamatan.

Peningkatan diameter batang pada tanaman yang diinokulasi FMA diduga berkaitan dengan meningkatnya kemampuan sistem perakaran dalam memperoleh air dan unsur hara. Hifa eksternal FMA dapat memperluas area eksplorasi akar sehingga meningkatkan akses tanaman terhadap sumber daya yang tersedia di dalam media. Kondisi tersebut terutama penting untuk mendukung ketersediaan unsur hara yang berperan dalam pembentukan jaringan dan pertumbuhan vegetatif. Peningkatan kolonisasi akar pada dosis FMA yang lebih tinggi dalam penelitian ini juga memperkuat dugaan bahwa terbentuknya asosiasi mikoriza berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan bibit. Temuan tersebut sejalan dengan Lizawati et al [7] yang melaporkan adanya respons positif pertumbuhan bibit kopi Liberika terhadap inokulasi mikoriza.

Interval penyiraman juga memengaruhi pertambahan diameter batang (Tabel 2). Penyiraman setiap 3 hari (K1) menghasilkan diameter tertinggi pada 8, 10, dan 12 MSP, masing-masing sebesar 0,70; 0,77; dan 0,82 cm. Pada 8 dan 10 MSP, K1 tidak berbeda nyata dengan K2 (penyiraman setiap 5 hari), tetapi berbeda nyata dengan K3 (setiap 7 hari). Pada 12 MSP, K1 menghasilkan diameter 0,82 cm dan berbeda nyata dengan K2 dan K3. Perlakuan K3 secara konsisten memberikan nilai terendah, yaitu 0,59; 0,64; dan 0,66 cm pada 8, 10, dan 12 minggu setelah perlakuan (MSP).

Respons tersebut menunjukkan bahwa semakin panjang interval penyiraman, semakin besar keterbatasan ketersediaan air yang dapat membatasi pertumbuhan batang. Penyiraman setiap 3 hari diduga mampu mempertahankan kondisi kelembapan media yang lebih mendukung sehingga proses fisiologis dan pembentukan jaringan batang dapat berlangsung lebih optimal. Ketersediaan air berperan dalam mempertahankan turgor sel yang diperlukan untuk ekspansi sel, sementara air yang tersedia secara memadai juga mendukung keberlangsungan proses fotosintesis dan distribusi asimilat ke organ pertumbuhan. Hasil ini sejalan dengan Kartika [10] yang menunjukkan pentingnya ketersediaan air dalam mempertahankan pertumbuhan tanaman kopi pada kondisi dengan keterbatasan air.

Sebaliknya, interval penyiraman 7 hari menghasilkan pertambahan diameter batang terendah pada seluruh waktu pengamatan. Interval penyiraman yang lebih panjang dapat menyebabkan media mengalami periode kekurangan air yang lebih lama, sehingga mempertahankan status air tanaman menjadi lebih sulit. Kondisi tersebut dapat menurunkan tekanan turgor dan membatasi aktivitas pertumbuhan jaringan, sementara respons stomata terhadap keterbatasan air juga dapat mengurangi pertukaran gas dan aktivitas fotosintesis. Penurunan fotosintesis selanjutnya berpotensi mengurangi ketersediaan asimilat untuk pembentukan jaringan baru [14]. Dengan demikian, rendahnya pertambahan diameter pada K3 mengindikasikan bahwa interval penyiraman tersebut merupakan kondisi yang paling

membatasi pertumbuhan vegetatif bibit dalam penelitian ini.

Tabel 2 Pengaruh Dosis MFA dan frekuensi penyiraman terhadap pertambahan diameter batang

Aplikasi Mikoriza Arbuskular	Pertambahan Diameter Batang (cm)		
	8 MSP	10 MSP	12 MSP
M_0 (0 g/tanaman)	0,40 a	0,44 a	0,46 a
M_1 (10 g/tanaman)	0,45 b	0,58 b	0,61 b
M_2 (20 g/tanaman)	0,67 c	0,73 c	0,77 c
M_3 (30 g/tanaman)	0,95 d	1,02 d	1,08 d
Frekuensi Penyiraman			
K_3 (7 hari sekali)	0,59 a	0,64 a	0,66 a
K_2 (5 hari sekali)	0,62 ab	0,68 ab	0,71 a
K_1 (3 hari sekali)	0,70 b	0,77 b	0,82 b

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut DMRT taraf 5%

Secara keseluruhan, FMA 30 g tanaman^{-1} dan interval penyiraman setiap 3 hari menghasilkan pertambahan diameter batang tertinggi, sedangkan interaksi kedua faktor tidak nyata. Hal ini menunjukkan bahwa respons diameter batang lebih dipengaruhi oleh efek utama masing-masing faktor daripada kombinasi keduanya. Dengan demikian, peningkatan dosis FMA dan pengaturan interval penyiraman merupakan dua faktor yang secara terpisah berkontribusi terhadap pertumbuhan diameter batang bibit kopi Liberika pada kondisi penelitian ini.

Pertambahan Panjang Daun

Dosis FMA dan interval penyiraman berpengaruh terhadap pertambahan panjang daun bibit kopi Liberika, sedangkan interaksi kedua faktor tidak menunjukkan pengaruh nyata. Berdasarkan hasil analisis ragam, dosis FMA berpengaruh sangat nyata terhadap pertambahan panjang daun pada 6, 8, 10, dan 12 MSP. Respons yang konsisten juga ditunjukkan oleh faktor interval penyiraman, yang berpengaruh sangat nyata pada seluruh waktu pengamatan tersebut. Pola ini menunjukkan bahwa perkembangan panjang daun bibit kopi Liberika dipengaruhi oleh ketersediaan FMA dan kondisi ketersediaan air selama pertumbuhan.

Aplikasi FMA meningkatkan pertambahan panjang daun secara konsisten seiring peningkatan dosis (Tabel 3). Perlakuan M3 (30 g tanaman^{-1}) menghasilkan nilai tertinggi pada 6, 8, 10, dan 12 MSP, masing-masing sebesar 7,15; 9,59; 11,73; dan 13,98 cm. Pada seluruh waktu pengamatan tersebut, M3 berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya. Sebaliknya, M0 menghasilkan nilai terendah, yaitu 5,80; 6,60; 7,69; dan 8,49 cm. Pola tersebut menunjukkan bahwa peningkatan dosis FMA berkaitan dengan peningkatan pertambahan panjang daun, dengan respons yang semakin jelas pada pengamatan berikutnya.

Peningkatan pertumbuhan daun pada perlakuan FMA diduga berkaitan dengan peningkatan kemampuan tanaman dalam memperoleh air dan unsur hara melalui perluasan daerah eksplorasi akar oleh hifa eksternal. Ketersediaan unsur hara, terutama fosfor dan nitrogen, mendukung proses metabolisme serta pembentukan jaringan baru, termasuk perkembangan organ daun. Kondisi nutrisi yang lebih baik juga dapat mendukung pembentukan klorofil dan aktivitas fotosintesis sehingga hasil asimilasi dapat digunakan untuk pertumbuhan vegetatif. Ali [15] melaporkan bahwa asosiasi mikoriza dapat mendukung pertumbuhan tanaman melalui peningkatan pemanfaatan sumber daya dan perkembangan organ vegetatif.

Tabel 3 Pengaruh Dosis MFA dan frekuensi penyiraman terhadap Pertambahan panjang daun

Aplikasi Mikoriza Arbuskular	Pertambahan Panjang Daun (cm)			
	6 MSP	8 MSP	10 MSP	12 MSP
M_0 (0 g/tanaman)	5,80 a	6,60 a	7,69 a	8,49 a
M_1 (10 g/tanaman)	6,09 b	7,51 b	8,93 b	10,15 b
M_2 (20 g/tanaman)	6,46 c	8,50 c	10,23 c	11,96 c
M_3 (30 g/tanaman)	7,15 d	9,59 d	11,73 d	13,98 d
Frekuensi Penyiraman				
K_3 (7 hari sekali)	6,21 a	7,83 a	9,37 a	10,82 a
K_2 (5 hari sekali)	6,34 a	8,01 a	9,60 a	11,09 a
K_1 (3 hari sekali)	6,57 b	8,31 b	9,97 b	11,53 b

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut DMRT taraf 5%

Selain melalui peningkatan serapan hara, FMA berpotensi mendukung perkembangan daun melalui perbaikan status air tanaman. Hifa mikoriza yang berkembang di luar jaringan akar dapat memperluas volume media yang dapat dieksplorasi oleh sistem simbiosis, sehingga membantu tanaman memperoleh air pada kondisi ketersediaan air yang terbatas. Status air yang lebih baik memungkinkan tekanan turgor sel dipertahankan dan mendukung ekspansi sel daun. Dengan demikian, kombinasi antara ketersediaan air dan hara yang lebih baik dapat menjelaskan tingginya pertambahan panjang daun pada perlakuan M3. Hasil tersebut sejalan dengan Ismail et al. [16] yang menunjukkan bahwa asosiasi mikoriza dapat berkontribusi terhadap peningkatan kondisi pertumbuhan tanaman melalui perbaikan penyerapan sumber daya.

Interval penyiraman juga memberikan pengaruh yang konsisten terhadap pertambahan panjang daun (Tabel 3). Penyiraman setiap 3 hari (K1) menghasilkan nilai tertinggi pada seluruh waktu pengamatan, yaitu 6,57 cm pada 6 MSP, 8,31 cm pada 8 MSP, 9,97 cm pada 10 MSP, dan 11,53 cm pada 12 MSP. Pada seluruh waktu pengamatan, K1 berbeda nyata dibandingkan K2 dan K3. Perlakuan K3 dengan interval penyiraman 7 hari menghasilkan pertambahan panjang daun terendah, masing-masing sebesar 6,21; 7,83; 9,37; dan 10,82 cm. Dengan demikian, semakin panjang interval penyiraman, pertambahan panjang daun cenderung semakin rendah.

Respons tersebut menunjukkan pentingnya ketersediaan air dalam mempertahankan pertumbuhan dan ekspansi daun bibit kopi Liberika. Interval penyiraman yang lebih pendek memungkinkan kelembapan media lebih terjaga sehingga tanaman dapat mempertahankan status air dan tekanan turgor yang diperlukan dalam proses ekspansi sel. Kondisi air yang memadai juga mendukung keberlangsungan fotosintesis dan pembentukan asimilat yang diperlukan untuk perkembangan organ vegetatif. Hasil penelitian ini sejalan dengan Charloq [17] yang menunjukkan bahwa ketersediaan air berperan penting dalam mempertahankan pertumbuhan vegetatif tanaman.

Sebaliknya, interval penyiraman yang lebih panjang meningkatkan periode keterbatasan air sehingga pertumbuhan daun menjadi lebih rendah. Defisit air dapat menurunkan tekanan turgor dan menyebabkan tanaman membatasi ekspansi daun sebagai salah satu mekanisme untuk mengurangi kehilangan air. Selain itu, keterbatasan air dapat memicu penutupan stomata yang membatasi pertukaran CO_2 dan selanjutnya menekan laju fotosintesis. Kondisi tersebut dapat mengurangi ketersediaan asimilat untuk pembentukan jaringan baru sehingga pertumbuhan panjang daun menjadi lebih lambat. Ismaya et al. [18] juga menunjukkan bahwa ketersediaan air merupakan salah satu faktor penting yang menentukan pertumbuhan bibit kopi pada fase pembibitan.

Nilai terendah pada perlakuan K3 menunjukkan bahwa interval penyiraman 7 hari merupakan kondisi yang paling membatasi pertambahan panjang daun dalam rentang perlakuan penelitian ini. Namun, hasil tersebut lebih tepat diinterpretasikan sebagai respons

terhadap interval penyiraman yang lebih panjang daripada langsung dikategorikan sebagai tingkat cekaman kekeringan tertentu, karena penelitian ini menggunakan interval penyiraman sebagai perlakuan dan tidak secara langsung mengukur indikator fisiologis cekaman kekeringan.

Secara keseluruhan, FMA 30 g tanaman^{-1} dan interval penyiraman setiap 3 hari menghasilkan pertambahan panjang daun tertinggi, sedangkan interaksi kedua faktor tidak nyata. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh FMA dan interval penyiraman terhadap perkembangan panjang daun terutama berasal dari efek masing-masing faktor secara independen. Respons yang konsisten pada seluruh waktu pengamatan juga menunjukkan bahwa pengelolaan inokulasi FMA dan ketersediaan air merupakan komponen penting dalam mendukung perkembangan organ vegetatif bibit kopi Liberika.

Lebar Daun

Dosis FMA dan interval penyiraman berpengaruh terhadap pertambahan lebar daun bibit kopi Liberika pada beberapa waktu pengamatan, sedangkan interaksi kedua faktor tidak menunjukkan pengaruh nyata. Dosis FMA berpengaruh sangat nyata pada 12 MSP dan berpengaruh nyata pada 8 dan 10 MSP. Interval penyiraman menunjukkan pola yang sama, yaitu berpengaruh sangat nyata pada 12 MSP dan nyata pada 8 dan 10 MSP. Respons tersebut menunjukkan bahwa perkembangan lebar daun dipengaruhi oleh tingkat inokulasi FMA dan ketersediaan air selama fase pertumbuhan bibit.

Aplikasi FMA meningkatkan pertambahan lebar daun seiring dengan peningkatan dosis (Tabel 4). Pada 8 MSP, perlakuan M3 (30 g tanaman^{-1}) menghasilkan nilai tertinggi sebesar 0,59 cm dan tidak berbeda nyata dengan M2 (20 g tanaman^{-1}) sebesar 0,57 cm, tetapi berbeda nyata dengan M0 dan M1. Pada 10 MSP, M3 menghasilkan nilai 0,94 cm dan tidak berbeda nyata dengan M2 (0,86 cm), tetapi berbeda nyata dengan M0 (0,74 cm) dan M1 (0,77 cm). Pada 12 MSP, M3 menghasilkan nilai tertinggi sebesar 1,51 cm dan berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya. Secara umum, peningkatan dosis FMA menghasilkan pertambahan lebar daun yang semakin besar, dengan perbedaan respons semakin jelas pada akhir pengamatan.

Peningkatan pertumbuhan lebar daun pada perlakuan FMA diduga berkaitan dengan meningkatnya kemampuan tanaman dalam memperoleh air dan unsur hara melalui asosiasi mikoriza. Perluasan daerah eksplorasi akar oleh hifa eksternal memungkinkan tanaman memperoleh sumber daya yang lebih luas dari media tumbuh. Ketersediaan fosfor dan nitrogen yang lebih baik dapat mendukung pembelahan, diferensiasi, dan pembentukan jaringan fotosintetik daun. Kondisi tersebut memungkinkan perkembangan daun berlangsung lebih optimal sehingga tidak hanya meningkatkan panjang, tetapi juga lebar daun. Kartika et al. [10] melaporkan bahwa inokulasi mikoriza pada tanaman kopi dapat mendukung pertumbuhan melalui peningkatan pemanfaatan sumber daya dan status nutrisi tanaman.

Tabel 4 Pengaruh Dosis MFA dan frekuensi penyiraman terhadap pertambahan lebar daun

Aplikasi Mikoriza Arbuskular	Pertambahan Lebar Daun (cm)		
	8 MSP	10 MSP	12 MSP
M_0 (0 g/tanaman)	0,46 a	0,74 a	1,01 a
M_1 (10 g/tanaman)	0,50 ab	0,77 ab	1,18 b
M_2 (20 g/tanaman)	0,57 b	0,86 bc	1,34 b
M_3 (30 g/tanaman)	0,59 b	0,94 c	1,51 c
Frekuensi Penyiraman			
K_3 (7 hari sekali)	0,48 a	0,77 a	1,17 a
K_2 (5 hari sekali)	0,51 ab	0,81 ab	1,22 a
K_1 (3 hari sekali)	0,59 b	0,91 b	1,39 b

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut DMRT taraf 5%

Perkembangan lebar daun yang lebih tinggi pada dosis FMA 30 g tanaman^{-1} juga dapat dikaitkan dengan kemampuan tanaman mempertahankan status air jaringan. Asosiasi mikoriza berpotensi memperluas akses akar terhadap air sehingga mendukung pemeliharaan turgor yang diperlukan untuk ekspansi sel daun. Dengan kondisi air dan hara yang lebih mendukung, hasil asimilasi dapat dialokasikan secara lebih efektif untuk perkembangan organ fotosintetik. Broeckhoven et al. [19] menunjukkan bahwa keberadaan FMA berkaitan dengan perkembangan sistem perakaran dan hubungan tanaman dengan sumber daya di media tumbuh.

Interval penyiraman juga memengaruhi pertambahan lebar daun secara konsisten (Tabel 4). Penyiraman setiap 3 hari (K1) menghasilkan nilai tertinggi pada 8, 10, dan 12 MSP, masing-masing sebesar 0,59; 0,91; dan 1,39 cm. Pada 8 dan 10 MSP, K1 tidak berbeda nyata dengan K2 (masing-masing 0,51 dan 0,81 cm), tetapi berbeda nyata dengan K3 (0,48 dan 0,77 cm). Pada 12 MSP, K1 berbeda nyata dengan K2 dan K3. Perlakuan K3 dengan interval penyiraman 7 hari menghasilkan nilai terendah pada seluruh waktu pengamatan, yaitu 0,48; 0,77; dan 1,17 cm.

Pola tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan air yang lebih teratur mendukung perkembangan lebar daun bibit kopi Liberika. Interval penyiraman yang lebih pendek memungkinkan kelembapan media relatif lebih terjaga sehingga tekanan turgor sel dapat dipertahankan dan proses ekspansi sel berlangsung lebih baik. Kondisi tersebut penting karena perkembangan lebar daun terutama ditentukan oleh pembesaran dan ekspansi sel. Ismoyojati dan Devi [20] menunjukkan bahwa interval penyiraman merupakan salah satu faktor yang memengaruhi pertumbuhan vegetatif bibit kopi.

Sebaliknya, interval penyiraman yang lebih panjang dapat meningkatkan periode keterbatasan air sehingga menghambat ekspansi sel daun. Penurunan tekanan turgor menyebabkan proses pembesaran sel berlangsung lebih lambat, sementara respons fisiologis terhadap keterbatasan air dapat membatasi perkembangan organ daun. Pembatasan pertumbuhan daun juga merupakan salah satu respons tanaman dalam mengurangi luas permukaan transpirasi dan kehilangan air. Kondisi tersebut dapat menjelaskan rendahnya pertambahan lebar daun pada K3 dibandingkan interval penyiraman yang lebih pendek.

Secara keseluruhan, FMA 30 g tanaman^{-1} dan interval penyiraman setiap 3 hari menghasilkan pertambahan lebar daun tertinggi, sedangkan interaksi kedua faktor tidak nyata. Dengan demikian, respons lebar daun bibit kopi Liberika pada penelitian ini terutama ditentukan oleh pengaruh masing-masing faktor, bukan oleh interaksi keduanya. Hasil ini juga menunjukkan bahwa pemberian FMA dosis tinggi dan ketersediaan air yang lebih teratur dapat mendukung perkembangan organ fotosintetik selama fase pembibitan.

Panjang Akar

Dosis FMA berpengaruh sangat nyata terhadap panjang akar bibit kopi Liberika, sedangkan interval penyiraman dan interaksi antara kedua faktor tidak menunjukkan pengaruh nyata. Hasil uji DMRT 5% menunjukkan bahwa perlakuan M3 (30 g tanaman^{-1}) menghasilkan panjang akar tertinggi, yaitu 29,11 cm, dan berbeda nyata dibandingkan M0, M1, dan M2 yang masing-masing menghasilkan panjang akar sebesar 22,83; 24,44; dan 25,78 cm (Tabel 5). Dengan demikian, peningkatan dosis FMA hingga 30 g tanaman^{-1} memberikan respons positif terhadap perkembangan panjang akar bibit kopi Liberika.

Peningkatan panjang akar pada perlakuan FMA diduga berkaitan dengan terbentuknya asosiasi simbiotik antara FMA dan sistem perakaran tanaman. Selain akar utama, hifa eksternal FMA dapat memperluas daerah eksplorasi media sehingga meningkatkan akses tanaman terhadap air dan unsur hara. Perluasan sistem eksplorasi tersebut memungkinkan tanaman memperoleh sumber daya yang lebih besar untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan akar. Huda et al. [21] melaporkan bahwa inokulasi mikoriza pada bibit kopi Liberika dapat mendukung perkembangan tanaman melalui peningkatan fungsi sistem perakaran dan pemanfaatan sumber daya pada media tumbuh.

Tabel 4 Pengaruh Dosis MFA terhadap pertambahan panjang akar bibit kopi liberika

Aplikasi Mikoriza Arbuskular	Panjang Akar (cm)
M_0 (0 g/tanaman)	22,83 a
M_1 (10 g/tanaman)	24,44 a
M_2 (20 g/tanaman)	25,78 a
M_3 (30 g/tanaman)	29,11 b

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut DMRT taraf 5%

Respons positif pada dosis FMA 30 g tanaman^{-1} juga berkaitan dengan peningkatan kolonisasi akar yang ditemukan pada perlakuan tersebut. Kolonisasi yang lebih tinggi menunjukkan terbentuknya asosiasi mikoriza yang lebih intensif sehingga berpotensi meningkatkan hubungan fungsional antara akar dan media tumbuh. Selain membantu penyerapan air, FMA dapat meningkatkan akses tanaman terhadap unsur hara yang relatif kurang mobil, terutama fosfor. Ketersediaan fosfor yang lebih baik mendukung proses metabolisme dan perkembangan jaringan akar, sehingga pertumbuhan akar dapat berlangsung lebih optimal [10].

Berbeda dengan FMA, interval penyiraman tidak berpengaruh nyata terhadap panjang akar. Tidak adanya perbedaan yang nyata menunjukkan bahwa perbedaan interval penyiraman 3, 5, dan 7 hari belum menghasilkan respons panjang akar yang berbeda secara statistik pada kondisi penelitian ini. Respons tersebut berbeda dengan beberapa parameter pertumbuhan tajuk yang menunjukkan penurunan pada interval penyiraman yang lebih panjang. Hal ini mengindikasikan bahwa perkembangan akar relatif lebih dipengaruhi oleh keberadaan FMA dibandingkan perbedaan interval penyiraman yang diterapkan.

Tidak adanya interaksi FMA × interval penyiraman juga menunjukkan bahwa respons panjang akar terhadap inokulasi FMA relatif konsisten pada seluruh interval penyiraman yang diuji. Dengan demikian, peningkatan dosis FMA hingga 30 g tanaman^{-1} menjadi faktor yang lebih dominan dalam meningkatkan panjang akar dibandingkan interval penyiraman. Temuan ini memperkuat hasil bahwa FMA berperan dalam mendukung perkembangan sistem perakaran

bibit kopi Liberika, meskipun respons tersebut tidak menunjukkan ketergantungan yang nyata terhadap interval penyiraman.

Persentasi Koloni Akar

Dosis FMA berpengaruh sangat nyata terhadap persentase kolonisasi akar bibit kopi Liberika, sedangkan interval penyiraman dan interaksi kedua faktor tidak menunjukkan pengaruh nyata. Hasil uji DMRT 5% menunjukkan bahwa kolonisasi tertinggi diperoleh pada perlakuan M3 (30 g tanaman^{-1}), yaitu sebesar 50,00%, dan berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya (Tabel 6). Perlakuan M1 dan M2 menghasilkan kolonisasi masing-masing sebesar 38,15% dan 42,59%, sedangkan perlakuan tanpa inokulasi FMA (M0) hanya menghasilkan 8,89%. Peningkatan persentase kolonisasi tersebut menunjukkan bahwa penambahan inokulum FMA meningkatkan keberhasilan pembentukan asosiasi mikoriza pada akar bibit kopi Liberika.

Peningkatan kolonisasi seiring dengan dosis inokulum menunjukkan bahwa jumlah propagul FMA yang tersedia dalam media berperan dalam menentukan peluang terbentuknya asosiasi dengan akar. Dosis inokulum yang lebih tinggi menyediakan lebih banyak propagul yang berpotensi berkontak dengan sistem perakaran, sehingga peluang terbentuknya kolonisasi menjadi lebih besar. Kolonisasi ditandai dengan keberadaan struktur FMA di dalam jaringan akar, seperti arbuskula dan vesikula. Vallejos-Torres et al. [22] menunjukkan bahwa keberadaan dan perkembangan struktur mikoriza pada akar berkaitan dengan terbentuknya asosiasi simbiotik yang dapat mendukung fungsi penyerapan sumber daya oleh tanaman.

Tingginya kolonisasi pada M3 juga sejalan dengan respons pertumbuhan akar yang menunjukkan bahwa perlakuan 30 g FMA tanaman^{-1} menghasilkan panjang akar tertinggi.

Hubungan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan kolonisasi FMA berpotensi berkontribusi terhadap perkembangan sistem perakaran bibit kopi Liberika. Hifa eksternal FMA dapat memperluas daerah eksplorasi di luar zona perakaran sehingga meningkatkan akses tanaman terhadap air dan unsur hara. Namun demikian, hubungan antara kolonisasi dan peningkatan pertumbuhan dalam penelitian ini sebaiknya dipahami sebagai keterkaitan biologis, karena penelitian tidak secara langsung mengukur laju serapan air atau unsur hara.

Tabel 8 Pengaruh Aplikasi MFA terhadap Persentase kolonisasi akar

Aplikasi Mikoriza Arbuskular	Persentase Infeksi Koloni (%)
M_0 (0 g/tanaman)	8,89 a
M_1 (10 g/tanaman)	38,15 b
M_2 (20 g/tanaman)	42,59 b
M_3 (30 g/tanaman)	50,00 c

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut DMRT taraf 5%

Berbeda dengan dosis FMA, interval penyiraman tidak memberikan pengaruh nyata terhadap persentase kolonisasi. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan interval penyiraman 3, 5, dan 7 hari belum menghasilkan perubahan kolonisasi yang terdeteksi secara statistik pada kondisi penelitian. Tidak adanya pengaruh interval penyiraman juga menunjukkan bahwa keberhasilan kolonisasi pada penelitian ini lebih kuat dipengaruhi oleh jumlah inokulum yang diberikan daripada perbedaan interval pemberian air.

Tidak ditemukannya interaksi FMA dan interval penyiraman, menunjukkan bahwa peningkatan kolonisasi akibat aplikasi FMA berlangsung relatif konsisten pada interval penyiraman yang diuji. Dengan demikian, dosis FMA 30 g tanaman^{-1} merupakan perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan kolonisasi akar bibit kopi Liberika, dengan tingkat kolonisasi mencapai 50,00%.

4. Kesimpulan

Aplikasi FMA berpengaruh positif terhadap pertumbuhan bibit kopi Liberika (*Coffea liberica*), dengan dosis 30 g tanaman^{-1} memberikan pertumbuhan dan kolonisasi akar tertinggi. Interval penyiraman 3 hari sekali menghasilkan pertumbuhan vegetatif terbaik dibandingkan interval 5 dan 7 hari. Tidak terdapat interaksi nyata antara dosis FMA dan interval penyiraman, sehingga kedua faktor memberikan pengaruh secara independen. Dengan demikian, aplikasi FMA 30 g tanaman^{-1} dan interval penyiraman 3 hari sekali merupakan perlakuan yang paling mendukung pertumbuhan bibit kopi Liberika pada kondisi penelitian ini.

5. Daftar Pustaka

[1] I. M. Wild, A. P. Davis, K. W. T. Lee, and J. Moat, "Climate requirements for cultivated Liberica coffee (*Coffea liberica*) and consequences for its use and development as a crop species," *Plants People Planet*, pp. 1–14, 2026, doi: 10.1002/PPP3.70183;JOURNAL:JOURNAL:25722611;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:25722611;WGROUP:STRING:PUBLICATION.

[2] B. Hafif *et al.*, "Liberica coffee as an alternative cropping system for sustainable farming on Indonesian Peatlands," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 180–188, 2024, doi: 10.25165/J.IJABE.20241701.7896.

[3] A. F. León-Burgos, C. Unigarro, and H. E. Balaguera-López, "Can prolonged conditions of water deficit alter photosynthetic performance and water relations of coffee plants in central-west Colombia?," *South African Journal of Botany*, vol. 149, pp. 366–375, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.SAJB.2022.06.034.

[4] F. G. Carvalho *et al.*, "Drought tolerance in seedlings of coffee genotypes carrying genes of different species," *Coffee Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 156–163, Jun. 2017, Accessed: Aug. 18, 2026. [Online]. Available: https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1175

[5] E. Kartika, M. D. Duaja, and Gusniwati, "Respon bibit kopi Liberika bermikoriza terhadap cekaman kekeringan di media tanah gambut," *Jurnal AGRO*, vol. 12, no. 1, pp. 24–39, 2025, Accessed: Aug. 18, 2026. [Online]. Available:

https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/ja/article/view/45169/14900
[6] E. Kartika, M. D. Duaja, G. Gusniwati, and Z. Zulkarnain, "Interaction between arbuscular mycorrhizal and antagonistic rhizosphere fungi in peat soil enhancing growth of *Coffea liberica* seedlings," *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, vol. 45, no. 3, pp. 531–544, Sep. 2023, doi: 10.17503/AGRIVITA.V45I3.4025.
[7] Lizawati, E. Kartika, M. D. Duaja, and Gusniawati, "Pertumbuhan bibit kopi Liberika terhadap inokulasi mikoriza pada media tanam lahan marginal dalam polybag," *Proceedings Academic Universitas Jambi*, vol. 1, no. 1, pp. 147–153, 2025, Accessed: Aug. 18, 2026. [Online]. Available: https://online-journal.unja.ac.id/PROCA/article/view/49405
[8] R. E. Manurung, I. Sasli, and Radian, "Respons bibit kopi Liberika terhadap fungi mikoriza arbuskula, cocopeat, dan pupuk NPK pada tanah ultisol," *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, vol. 14, no. 1, pp. 77–88, Mar. 2026, doi: 10.25181/JAIP.V14I1.4651.
[9] D. T. Olguera, V. B. Asio, and J. L. R. Labides, "Soil Physicochemical Characteristics and Spore Density of Indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Different Vegetation Patches of a Marginal Upland in Central Philippines," *Mindanao Journal of Science and Technology*, vol. 21, no. 2, pp. 46–72, Dec. 2023, doi: 10.61310/MJST.V21I2.1712.
[10] E. Kartika, Lizawati, and Hamzah, "Respons tanaman jarak pagar terhadap mikoriza indigenous dan pupuk P di lahan bekas tambang batu bara," *Biospecies: Jurnal Ilmiah Biologi*, vol. 11, no. 1, pp. 10–18, May 2018, doi: 10.22437/biospecies.v11i1.4993.
[11] D. Sun *et al.*, "Unraveling the diversity of hyphal explorative traits among *Rhizophagus irregularis* genotypes," *Mycorrhiza*, vol. 34, no. 4, pp. 303–316, Jun. 2024, doi: 10.1007/S00572-024-01154-8.
[12] A. Arunyanark, P. Roonprapant, W. Sridokchan, T. Pakoktom, and C. Chutteang, "Effect of water deficit and propagation methods on physiological responses of Robusta coffee (*Coffea canephora*) varieties," *Agriculture and Natural Resources*, vol. 56, pp. 1123–1134, 2022, doi: 10.34044/j.anres.2022.56.6.07.
[13] N.-T. Vu, J.-M. Park, I.-S. Kim, A.-T. Tran, and D.-C. Jang, "Effect of abscisic acid on growth and physiology of Arabica coffee seedlings under water deficit condition," *Sains Malays.*, vol. 49, no. 7, pp. 1499–1508, 2020, Accessed: Aug. 18, 2026. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2020-4907-03
[14] M. Jannah, R. Syafar, and Ratih, "Pengaruh komposisi media dan interval waktu penyiraman terhadap pertumbuhan bibit tanaman kakao," *Journal Agroecotech Indonesia (JAI)* , vol. 3, no. 01, pp. 53–62, Jan. 2024, doi: 10.59638/JAI.V3I01.88.
[15] F. Y. Ali, "Formulasi media tanam berbasis bahan lokal dan inokulasi mikoriza untuk peningkatan pertumbuhan awal bibit *Coffea arabica*," *Hidroponik : Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*, vol. 2, no. 3, pp. 66–75, Nov. 2025, doi: 10.62951/HIDROPONIK.V2I2.414.
[16] A. A. Ismail, F. Pa'ee, M. N. F. Abd Rani, A. A. Mohd Nor, M. Z. Arif Radhi, and K. Ismail, "Effect of different growing media on growth performance of Liberica coffee rootstock," *Journal of Sustainable Natural Resources*, vol. 4, no. 2, pp. 1–8, Dec. 2023, doi: 10.30880/JSUNR.2023.04.02.001.
[17] Charloq, "Analysis of cocoa seedling growth (*Theobroma cacao* L.) in applications foliar fertilizer and frequency of watering," *JURNAL AGROPLASMA*, vol. 11, no. 1, pp. 35–47, May 2024, doi: 10.36987/AGROPLASMA.V11I1.5707.
[18] D. F. Ismaya, A. Ikhwan, D. Indratmi, and N. P. Erdiansyah, "The growth enhancement in three Arabica coffee clones by frequent watering in seedling stage," *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, vol. 39, no. 1, pp. 11–20, Apr. 2023, doi: 10.22302/ICCRI.JUR.PELITAPERKEBUNAN.V39I1.513.
[19] I. Broeckhoven, A. Devriese, O. Honnay, R. Merckx, and V. Bruno, "Impact of agricultural systems on arbuscular mycorrhizal fungi community composition in robusta coffee roots in the Democratic Republic of congo," *Mycorrhiza*, vol. 35, no. 2, pp. 30-, Apr. 2025, doi: 10.1007/S00572-025-01204-9.
[20] R. Ismoyojati and D. Devi, "Pengaruh komposisi media tanam dan interval penyiraman terhadap laju pertumbuhan bibit kopi Robusta," *Agrisintech (Journal of Agribusiness and Agrotechnology)*, vol. 5, no. 2, pp. 65–74, Dec. 2024, doi: 10.31938/AGRISINTECH.V5I2.744.
[21] N. Huda, A. T. Mariyani, E. Eliyanti, and B. N. Pasla, "Effect of cadmium (Cd) on the quality of Liberica coffee (*Coffea liberica* Bull ex Hiern) seedlings grown with mycorrhizal jatropha (*Jatropha curcas*) as a hyperaccumulator," *Jurnal Prajaiswara*, vol. 6, no. 2, pp. 518–526, Nov. 2025, doi: 10.55351/prajaiswara.v6i2.223.
[22] G. Vallejos-Torres *et al.*, "Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, poultry manure compost, and cadmium on plant growth and nutrient absorption of *Oryza sativa*," *Chil. J. Agric. Res.*, vol. 83, no. 6, pp. 656–665, Dec. 2023, doi: 10.4067/S0718-58392023000600656.