

RESPONS BIBIT KOPI LIBERIKA BERMIKORIZA TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN DI MEDIA TANAH GAMBUT

RESPONSE OF MYCORRHIZA-INOCULATED LIBERICA COFFEE SEEDLINGS TO DROUGHT STRESS IN PEAT SOIL MEDIA

Elis Kartika^{1,2*}, Made Deviani Duaja¹, Gusniwati¹

¹Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi,

²Peneliti Pusat Unggulan Ipteks (PUI) E2KOLIM

Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM 15, Mendalo Indah, Jambi, Indonesia

*Korespondensi: elisk63@unja.ac.id

ABSTRAK

Cekaman kekeringan merupakan salah satu faktor pembatas utama dalam pertumbuhan dan penyerapan hara bibit kopi liberika pada media tanah gambut. Oleh karena itu diperlukan suatu teknologi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut, diantaranya melalui aplikasi agen hayati berupa mikoriza. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji respons bibit kopi liberika bermikoriza terhadap cekaman kekeringan di media tanah gambut. Percobaan dilakukan menggunakan Rancangan Petak Terbagi faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu cekaman kekeringan yang terdiri dari 5 taraf: 100%, 80%, 60%, 40% dan 20% air kapasitas lapang sebagai petak utama, dan berbagai jenis mikoriza yang terdiri dari 4 taraf perlakuan: tanpa inokulasi mikoriza, *Glomus* sp-1a, *Glomus* sp-3c, serta kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c sebagai anak petak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi mikoriza, khususnya kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c, dapat meningkatkan pertumbuhan dan penyerapan hara bibit kopi Liberika pada media tanah gambut di bawah kondisi cekaman kekeringan. Kombinasi mikoriza *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c memberikan peningkatan pertumbuhan dan penyerapan hara yang optimal hingga tingkat cekaman 40%, sementara pada tingkat cekaman yang lebih tinggi efektivitas kombinasi mikoriza cenderung menurun. Temuan ini mengindikasikan bahwa mikoriza berperan dalam meningkatkan ketahanan bibit kopi Liberika terhadap cekaman kekeringan di media tanah gambut.

Kata kunci: Adaptasi, Kolonisasi, Nutrisi, Simbiosis

ABSTRACT

Drought stress is one of the main limiting factors affecting the growth and nutrient uptake of Liberica coffee seedlings in peat soil media. Therefore, appropriate technologies are needed to address this issue, one of which is the application of biological agents such as mycorrhiza. This study aims to evaluate the response of mycorrhiza-inoculated Liberica coffee seedlings to drought stress in peat soil media. The experiment was conducted using a factorial Split-Plot Design with two treatment factors. The first factor (Main Plot) was drought stress, consisting of five levels: 100%, 80%, 60%, 40%, and 20% of field capacity water availability. The second factor (Sub-Plot) was different mycorrhizal treatments, consisting of four levels: no mycorrhiza inoculation, *Glomus* sp-1a, *Glomus* sp-3c, and a combination of *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c.

The results showed that mycorrhiza inoculation, particularly the combination of *Glomus* sp-1a and *Glomus* sp-3c, significantly improved the growth and nutrient uptake of Liberica coffee seedlings in peat soil under drought stress conditions. The combination of *Glomus* sp-1a and *Glomus* sp-3c provided optimal growth and nutrient uptake up to a drought stress level of 40%, while its effectiveness tended to decline at higher stress levels. These findings indicate that mycorrhizae play a crucial role in enhancing the drought tolerance of Liberica coffee seedlings in peat soil media.

Key words: Adaptation, colonization, nutrition, symbiosis

PENDAHULUAN

Kopi Liberika (*Coffea liberica*) memiliki potensi untuk dikembangkan di lahan marjinal seperti lahan gambut. Namun, karakteristik fisik, kimia, dan biologi lahan gambut yang terbatas dapat menghambat pertumbuhan bibit, terutama saat terjadi cekaman kekeringan. Meskipun memiliki adaptasi tinggi terhadap lahan gambut, perbaikan kondisi lingkungan tetap perlu dilakukan untuk mendukung peningkatan pertumbuhan dan kualitas bibit kopi Liberika. Tanaman kopi memiliki sistem perakaran dangkal meskipun berakar tunggang, dengan akar utama sepanjang 45-50 cm dan akar lateral yang menyebar secara horizontal hingga 1-2 m pada kedalaman sekitar 30 cm. Sekitar 90% sistem perakaran kopi berada pada lapisan tanah atas (30–50 cm) (Vicente *et al.*, 2017), sehingga bibit kopi sangat rentan terhadap cekaman kekeringan.

Cekaman kekeringan merupakan salah satu faktor abiotik yang dapat membatasi pertumbuhan dan perkembangan bibit tanaman. Menurunnya ketersediaan air dalam media tanam dapat menghambat penyerapan nutrisi, mengganggu proses fotosintesis, serta menyebabkan stres fisiologis pada bibit kopi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa cekaman kekeringan dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tajuk dan akar sehingga terjadi perubahan rasio tajuk akar

(Kartika *et al.*, 2018; Miranda *et al.*, 2021; Bhat *et al.*, 2021), berkurangnya luas permukaan transpirasi (Ahluwalia *et al.*, 2021; Seleiman *et al.*, 2021), serta memicu adaptasi metabolik, regulasi osmotik, dan hormonal (Bhat *et al.*, 2021; Cao *et al.*, 2024).

Cekaman kekeringan tidak hanya menghambat proses perkecambahan, tetapi juga berdampak jangka panjang terhadap pertumbuhan, perkembangan, dan hasil tanaman kopi (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019). Dampak cekaman kekeringan berlangsung dari tingkat seluler hingga seluruh sistem tanaman pada fase pembibitan hingga tanaman dewasa (Varshney *et al.*, 2021; Xiong *et al.*, 2022). Ketersediaan air yang tidak seimbang pada tanah gambut dapat menghambat pertumbuhan bibit kopi, sehingga diperlukan strategi adaptasi yang efektif untuk meningkatkan ketahanannya terhadap cekaman kekeringan.

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan ketahanan bibit kopi terhadap cekaman kekeringan di tanah gambut adalah melalui pemanfaatan mikoriza. Mikoriza mampu meningkatkan penyerapan hara dan air melalui perpanjangan hifa yang memperluas jangkauan akar, sehingga membantu tanaman beradaptasi terhadap kekurangan air (Basri, 2018).

Banyak penelitian telah membuktikan bahwa mikoriza mampu meningkatkan

pertumbuhan bibit/tanaman pada kondisi kekeringan, seperti ditunjukkan oleh Moreira *et al.* (2018) pada tanaman kopi Arabika, Kartika (2012) pada bibit kelapa sawit, serta Kwashie *et al.* (2023) pada bibit kakao.

Selain meningkatkan pertumbuhan tanaman di bawah cekaman kekeringan, mikoriza juga terbukti memperbaiki penyerapan hara, terutama fosfat (Kartika & Gusniwati, 2019; González-Osorio *et al.*, 2022), serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik (Haque & Matsubara, 2018; Evelin *et al.*, 2019), cekaman logam berat (Emamverdian *et al.*, 2015 ; Gong & Tian, 2019), dan cekaman biotik (França *et al.*, 2016).

Jenis mikoriza yang digunakan sangat memengaruhi efektivitas simbiosisnya dengan tanaman, karena setiap jenis memiliki karakteristik berbeda dalam membentuk asosiasi dan meningkatkan ketahanan terhadap cekaman kekeringan (Xiao *et al.*, 2022; Marzukah *et al.*, 2023).

Efektivitas mikoriza dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan dipengaruhi oleh tingkat keparahan cekaman. Mikoriza dapat mendukung pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan efisiensi penggunaan air pada cekaman ringan hingga sedang (Ruiz-Lozano *et al.*, 2015), namun efektivitasnya menurun pada cekaman berat akibat gangguan aktivitas mikroba dan metabolisme tanaman (Rapparini & Peñuelas, 2014). Mengingat interaksi mikoriza dan tanaman dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, penelitian terhadap respons bibit kopi Liberika bermikoriza di tanah gambut penting dilakukan untuk mengevaluasi peran mikoriza dan batas toleransi cekaman yang dapat diatasi melalui simbiosis ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji respons bibit kopi Liberika yang diinokulasi dengan berbagai jenis mikoriza terhadap cekaman kekeringan pada media tanah gambut.

BAHAN DAN METODE

Percobaan ini menggunakan Rancangan Petak Terbagi faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu faktor pertama (Petak Utama) adalah cekaman kekeringan terdiri dari 5 taraf yaitu 100%, 80%, 60%, 40% dan 20% air kapasitas lapang. Faktor kedua (Anak Petak) adalah perlakuan berbagai jenis mikoriza yang terdiri dari 4 taraf perlakuan, yaitu tanpa inokulasi mikoriza, *Glomus* sp-1a, *Glomus* sp-3c. serta kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c. Dengan demikian, diperoleh 20 kombinasi perlakuan. Setiap kombinasi perlakuan diulang 3 kali sehingga terdapat 60 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan terdiri dari 4 tanaman, sehingga bibit yang diperlukan berjumlah 240 bibit. Tanaman sampel diambil sebanyak 2 tanaman pada setiap satuan percobaan, yang ditentukan secara acak.

Persiapan Naungan

Penelitian ini dilakukan di rumah kaca. Paranet dengan intensitas cahaya 60% digunakan sebagai naungan untuk melindungi bibit dari sinar matahari secara langsung.

Persiapan Bibit Kopi Liberika

Bibit yang digunakan dalam penelitian ini adalah bibit kopi Liberika Tunggal Jambi berumur 3 bulan yang diambil dari Kelurahan Mekar Jaya, Kecamatan Betara, Kabupaten Tanjung Jabung Barat. Kriteria bibit yang digunakan adalah daunnya berwarna hijau,

jumlah daunnya lebih kurang 4 helai yang sudah membuka sempurna.

Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan berupa tanah gambut yang telah dikeringkan (kering angin), diayak menggunakan ayakan 10 mesh, kemudian disterilisasi untuk mematikan semua organisme dalam tanah, sehingga hanya isolat mikoriza yang diinokulasi yang berkembang. Sterilisasi dilakukan secara manual melalui pengukusan dalam drum selama ± 6 jam sebanyak satu kali. Tanah yang telah steril kemudian dimasukkan ke dalam polybag berukuran 15 x 30 cm.

Penentuan Air Tersedia dan Perlakuan Cekaman Kekeringan

Cekaman kekeringan diberikan pada bibit berumur 3,5 bulan atau 2 minggu setelah tanam setelah sebelumnya disiram setiap hari. Pemberian air untuk setiap perlakuan didasarkan pada kadar air kapasitas lapang, yang ditentukan menggunakan metode gravimetri dengan mengukur penurunan berat tanah. Contoh tanah dimasukkan ke dalam wadah berpipa kecil di bagian bawah, lalu dialiri air secara merata. Setelah 24 jam, tanah diambil secara komposit sebanyak 10 gram, kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu 105°C selama 24 jam. Kadar air kapasitas lapang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas lapang} = \frac{BB - BK}{BK} \times 100\%$$

Keterangan: BB = bobot tanah basah

BK = bobot tanah kering oven

Penyesuaian kadar air tanah setiap perlakuan dilakukan setiap hari dengan menimbang bobot basah tanah dan tanaman dalam polybag. Koreksi terhadap

pertambahan bobot tanaman dilakukan setiap 4 minggu sekali dengan mencabut dan menimbang tanaman contoh tak tetap yang disediakan khusus untuk keperluan koreksi bobot basah tanaman.

Inokulasi Mikoriza dan Penanaman Bibit

Inokulum mikoriza yang digunakan merupakan isolat FMA dari rizosfer tanaman kopi Liberika Tungkal Jambi di lahan gambut Kabupaten Tanjung Jabung Barat, koleksi Kartika *et al.* (2017). Isolat yang digunakan terdiri atas *Glomus* sp-1a, *Glomus* sp-3c, dan kombinasi keduanya. Aplikasi mikoriza dilakukan saat pemindahan bibit ke polybag besar dengan menaburkan 10 g inokulum (kepadatan ± 50 spora/10 g) di sekitar perakaran.

Penanaman bibit dilakukan dengan melepas polybag asal secara perlahan, kemudian menanamnya ke dalam lubang tanam berukuran ± 15 cm yang telah disiapkan dalam polybag baru berisi tanah gambut.

Pemupukan

Pemupukan an-organik berupa pupuk Urea, SP-36, dan KCl diberikan sebesar 50% dari dosis rekomendasi, yaitu masing-masing 3,64 g Urea, 2,29 g SP-36, dan 1,78 g KCl per bibit, yang diaplikasikan secara bertahap selama 5 bulan.

Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman meliputi penyiangan, penyiraman, dan pengendalian hama penyakit. Penyiraman disesuaikan dengan tingkat cekaman kekeringan, sedangkan penyiangan dilakukan secara manual dengan mencabut gulma di sekitar polybag. Pengendalian hama dilakukan manual dengan mengambil hama secara langsung. Pengendalian penyakit dilakukan

dengan menyemprotkan dithane M-45 pada tanaman dengan konsentrasi 2 mg L⁻¹.

Pengamatan

Pengamatan dilakukan terhadap peubah kolonisasi mikoriza, pertambahan tinggi, diameter batang, jumlah daun, bobot kering tajuk, bobot kering akar, rasio tajuk akar, serta serapan N, P, dan K yang diperoleh dari hasil perkalian kadar hara (N: Kjeldahl, P: Deniges, K: AAS) dengan bobot kering tanaman). Kolonisasi mikoriza pada akar tanaman contoh diamati menggunakan teknik pewarnaan akar (staining akar) berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Kormanik & McGraw (1982).

Analisis Data

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap variabel yang diamati, data hasil pengamatan dianalisis secara statistik dengan menggunakan sidik ragam dan uji lanjut Duncan pada taraf $\alpha = 5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kolonisasi Mikoriza

Kolonisasi mikoriza pada bibit kopi Liberika (Tabel 1) meningkat seiring meningkatnya cekaman kekeringan hingga kadar air 40%, namun menurun pada kadar

air 20%. Tanaman bermikoriza mampu beradaptasi dengan meningkatkan serapan air dan hara pada cekaman moderat (40%), sehingga kolonisasi lebih tinggi. Han *et al.* (2022) menyatakan bahwa kolonisasi mikoriza pada kondisi cekaman kekeringan secara nyata lebih tinggi dibandingkan kondisi cukup air, karena hifa eksternal mikoriza dapat menjangkau P dan air dari pori tanah yang tidak terjangkau akar. Namun, pada kekeringan ekstrem (20%), lingkungan tidak mendukung aktivitas mikoriza, menyebabkan dehidrasi hifa, penurunan kolonisasi, dan berkurangnya eksudat akar yang diperlukan untuk infeksi mikoriza (Bahadur *et al.*, 2019).

Kolonisasi mikoriza pada bibit kopi yang diinokulasi dengan kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c lebih tinggi dibandingkan dengan inokulasi tunggal. Kombinasi keduanya meningkatkan infeksi akar karena adanya efek sinergis dalam memperkuat kolonisasi, penyerapan hara, ketahanan terhadap cekaman lingkungan, dan optimalisasi ekosistem tanah. Hasil ini sejalan dengan temuan Kartika & Gusniwati (2019), serta Kartika *et al.* (2023) yang menunjukkan bahwa aplikasi mikoriza kombinasi lebih efektif dibandingkan inokulasi tunggal.

Tabel 1. Persentase kolonisasi mikoriza pada akar bibit kopi Liberika di berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	1,67±0,89 a C	1,67±0,89 a D	1,67±0,89 a D	3,33±2,89 a C	3,33± 2,89a D
<i>Glomus</i> sp-1a	38,33±2,89 d B	45,00± 5,00 c B	55,00 ±5,00 b C	73,33±2,89 a B	46,67± 2,89c B
<i>Glomus</i> sp-3c	40,00±5,00 c B	41,67±2,89 c C	60,00±5,00 b B	71,67±2,89 a B	43,33±2,89 c C
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	50,00±5,00c A	50,00± 5,00c A	65,00±5,00 b A	80,00±0,00 a A	53,33±2,89 c A

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

Bibit kopi tanpa inokulasi mikoriza tetap menunjukkan adanya kolonisasi mikoriza, karena diduga berasal dari propagul alami yang masih terdapat dalam media tanam, khususnya akibat sisa tanah yang terbawa saat pemindahan bibit dari polybag kecil ke polybag besar.

b. Pertambahan Tinggi Bibit

Pertambahan tinggi bibit kopi Liberika menurun seiring meningkatnya cekaman kekeringan, kecuali pada bibit yang diinokulasi kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c yang mampu mempertahankan pertumbuhan hingga kadar air 40% kapasitas lapang (Tabel 2). Kombinasi mikoriza ini lebih efektif dalam mendukung pertumbuhan di bawah cekaman berat melalui hifa eksternal yang mampu menyerap air dan hara hingga ke pori-pori tanah berukuran mikro. Menurut Basri (2018), hifa mikoriza tetap aktif

meskipun akar rusak, sehingga mempercepat pemulihan dan meningkatkan ketahanan tanaman.

Peran berbagai jenis mikoriza pada kadar air 100% dan 80% kapasitas lapang tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun, pada cekaman 40 hingga 20% kapasitas lapang, *Glomus* sp-3c dan kombinasi *Glomus* sp-1a dan sp-3c memberikan pertambahan tinggi bibit lebih baik, yang menunjukkan efektivitas mikoriza meningkat pada kadar air rendah. Peningkatan ini terjadi karena berkurangnya ketersediaan air memicu peran aktif hifa mikoriza sebagai perpanjangan akar dalam menyerap air dan hara, serta merangsang akumulasi senyawa osmoprotektan dan antioksidan yang mendukung adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan (Basri, 2018). Halid (2016) menyatakan bahwa kandungan air tanah 40–80% merupakan kisaran optimal bagi perkembangan mikoriza.

Tabel 2. Pertambahan tinggi bibit kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	26,80±0,08 a B	23,70±0,05 b B	20,33± 0,03 c B	18,59± 0,06 d B	16,21± 0,14 e B
<i>Glomus</i> sp-1a	27,23±0,32 a B	24,30±0,26 b B	23,21± 0,16 c B	19,98±0,03 d B	18,62±0,15 e B
<i>Glomus</i> sp-3c	27,00±0,13 a B	24,94±0,18 b A	23,81± 0,05 c B	22,03±0,17 d B	20,95±0,19 e B
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	27,90±0,10 a A	25,05±0,06 b A	25,03±0,06 b A	24,96±0,15 b A	22,19±0,09 c A

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

c. Pertambahan Diameter Batang

Berdasarkan Tabel 3, pertambahan diameter batang bibit kopi Liberika tanpa mikoriza maupun yang diinokulasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c menurun seiring meningkatnya cekaman kekeringan akibat

terbatasnya penyerapan air dan hara. Hifa mikoriza memungkinkan penyerapan air dan hara lebih luas, meskipun efektivitasnya tergantung jenis dan lingkungan. Basri (2018) menyatakan akar

cepat pulih pasca kekeringan karena hifa tetap menyerap air saat akar tidak optimal.

Bibit kopi Liberika yang diinokulasi kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c menunjukkan pertambahan diameter

batang tertinggi pada kadar air 60%, 40%, dan 20% kapasitas lapang. Sinergi kedua mikoriza tersebut diduga meningkatkan efisiensi penyerapan air dan hara, serta efektivitas kolonisasi.

Tabel 3. Pertambahan diameter (mm) bibit kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	3,38±0,25 a B	3,30±0,28 a A	2,80±0,00 b B	2,35±0,35 c C	2,23±0,28 c B
<i>Glomus</i> sp-1a	3,42±0,26 a AB	3,45±0,28 a A	2,90±0,23 b B	2,96±0,16 b B	2,48±0,06 c AB
<i>Glomus</i> sp-3c	3,62±0,06 a AB	3,37±0,30 a A	3,03±0,06 b B	3,03±0,16 b B	2,37±0,64 c B
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	3,65±0,23 a A	3,49±0,25 b A	3,34±0,29 b A	3,62±0,30 ab A	2,72±0,41 c A

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

d. Pertambahan Jumlah Daun

Tabel 4 menunjukkan bahwa pertambahan jumlah daun bibit kopi Liberika menurun seiring peningkatan cekaman kekeringan, kecuali pada perlakuan *Glomus* sp-3c yang menunjukkan penurunan nyata pada 20% kadar air

kapasitas lapang. Mikoriza berpotensi meningkatkan toleransi terhadap kekeringan dengan meningkatkan penyerapan air dan fosfor, merangsang akumulasi osmolit, serta mengaktifkan sistem antioksidan (Han *et al.*, 2022).

Tabel 4. Pertambahan Jumlah daun bibit kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	5,00±0,00 a A	4,00±0,10 b A	3,33±0,18 b B	3,00±0,00 bc B	2,00±0,18 c B
<i>Glomus</i> sp-1a	5,33±0,18 a A	5,00±1,00 a A	4,00±1,00 bc AB	4,00±0,00 bc AB	3,00±0,00 c AB
<i>Glomus</i> sp-3c	5,00±0,87 a A	5,00±0,73 a A	4,33±0,14 a AB	4,00±0,00 ab AB	3,00±1,00 b AB
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	5,00±1,00 a A	4,67±0,33 b A	4,67±0,58 b A	4,67±0,58 b A	3,33±0,21 c A

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

Kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* 3c menghasilkan pertambahan jumlah daun

tertinggi pada kadar air 60%–20%, berbeda nyata dibandingkan tanpa mikoriza.

Sedangkan pada cekaman kekeringan 100 dan 80% tidak menunjukkan perbedaan. Mikoriza mendukung pertumbuhan di bawah cekaman melalui perluasan penyerapan air dan hara serta peningkatan regulasi osmotik, termasuk akumulasi prolin dan gula larut. Han *et al.* (2022) menyatakan mikoriza membantu tanaman menghadapi kekeringan melalui aktivasi sistem antioksidan dan osmotik.

e. Bobot Kering Tajuk

Berdasarkan Tabel 5, bobot kering tajuk bibit kopi Liberika tanpa mikoriza maupun dengan *Glomus* sp-1a atau sp-3c menurun mulai kadar air 80%, sedangkan pada kombinasi *Glomus* sp-1a dan sp-3c penurunan terjadi pada kadar air 60%. Bibit bermikoriza menunjukkan pertumbuhan dan kondisi fisiologis lebih baik di bawah cekaman, seperti peningkatan fotosintesis, konduktansi stomata, dan efisiensi penggunaan air (Xie *et al.*, 2018), yang

didukung oleh mekanisme seperti peningkatan asam absisat dan regulasi gen terkait stres (Chitarra *et al.*, 2016; Ruiz-Lozano *et al.*, 2015)

Nilai bobot kering tajuk bibit kopi Liberika tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan pada kadar air 100% dan 80%. Namun, pada kadar air 40% dan 20%, bibit tanpa mikoriza menunjukkan penurunan bobot kering tajuk yang nyata. Penurunan ini disebabkan oleh terbatasnya penyerapan air dan hara akibat rendahnya kadar lengas tanah. Keberadaan mikoriza mendukung tanaman sehingga dapat bertahan dalam kondisi cekaman air dengan meningkatkan penyerapan air dan hara melalui hifa eksternal, juga memodulasi hormon stres seperti ABA untuk mengurangi transpirasi dan meningkatkan aktivitas antioksidan, sehingga menjaga fungsi fisiologis tanaman saat kekeringan (Lisar *et al.*, 2012; Bahadur *et al.*, 2019).

Tabel 5. Bobot kering tajuk (g) bibit kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	18,57±0,30 a A	14,63±0,56 b A	10,27±0,13 c B	9,40± 0,09 c D	7,97±0,55 d B
<i>Glomus</i> sp-1a	19,17±0,31 a A	14,51±0,95 b A	13,11± 0,88 bc A	11,67±1,03 c C	7,20±0,61 c BC
<i>Glomus</i> sp-3c	18,56±1,75 a A	15,87±1,72 b A	13,75±0,61 b A	15,08± 0,46 b B	6,87±0,36 c C
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	18,42±1,31 a A	16,31±0,91 a A	11,85±0,46 b B	17,46±0,99 b A	11,98±0,28 c A

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

f. Bobot Kering Akar

Tabel 6 menunjukkan bahwa pertambahan bobot kering akar bibit kopi Liberika, baik tanpa mikoriza maupun yang diinokulasi mikoriza, mengalami penurunan

yang nyata pada setiap tingkat cekaman kekeringan. Namun, penurunan tersebut lebih kecil pada bibit yang bermikoriza dibandingkan dengan yang tanpa mikoriza.

Selanjutnya, pada kadar air kapasitas lapang 100% hingga 60%, bobot kering akar bibit kopi Liberika antara bibit tanpa mikoriza dan yang bermikoriza tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Namun, seiring meningkatnya cekaman kekeringan pada kadar air kapasitas lapang 40% dan 20%, bibit tanpa mikoriza memiliki bobot kering akar paling rendah dibandingkan dengan bibit yang bermikoriza.

Bibit kopi Liberika bermikoriza dan tidak bermikoriza pada kadar air 100 hingga 60% menunjukkan bobot kering akar yang tidak berbeda nyata. Namun, pada kadar air 40 dan 20%, penurunan bobot kering akar lebih drastis pada bibit tanpa mikoriza

akibat keterbatasan air dan hara. Mikoriza membantu tanaman mempertahankan pertumbuhan akar dengan meningkatkan penyerapan air dan hara melalui hifa eksternal, yang juga memperbaiki konduktivitas hidraulik akar dan mengatur respons fisiologis serta biokimia tanaman, seperti peningkatan kadar ABA, prolin, gula terlarut, dan aktivitas enzim antioksidan (Chitarra *et al.*, 2016; Xie *et al.*, 2018; Ruiz-Lozano *et al.*, 2015). Mikoriza juga menghasilkan enzim fosfatase yang melarutkan fosfor tanah dan meningkatkan perakaran halus, sehingga memperluas penyerapan air dan unsur hara (Basri, 2018).

Tabel 6. Bobot kering akar bibit kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	4,52±0,30 a A	3,50±0,56 b B	2,97±0,13 c B	2,50±0,09 d C	2,03±0,15 e C
<i>Glomus</i> sp-1a	4,30 ±0,31a A	3,81±0,95 b AB	3,78±0,88 b A	3,48±0,13 b A	2,43±0,61 c B
<i>Glomus</i> sp-3c	4,36±0,75 a A	3,73±0,72b AB	3,29±0,61 c B	3,21±0,46 c AB	2,80±0,36 d A
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	4,33±0,31 a A	3,90±0,19 b A	3,77±0,16 b B	2,91±0,19 c B	2,91±0,18 d A

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

g. Rasio Tajuk Akar

Berdasarkan Tabel 6, semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan, rasio tajuk-akar pada bibit bermikoriza mengalami penurunan yang nyata. Sementara itu, pada bibit tanpa mikoriza, penurunan rasio tajuk-akar cenderung lebih kecil. Tanaman bermikoriza memiliki sistem perakaran yang lebih berkembang dan merata dibandingkan dengan tanaman tanpa mikoriza (Moreira *et al.*, 2018), sehingga rasio tajuk akar bibit bermikoriza semakin menurun.

Rasio tajuk-akar bibit kopi Liberika pada kadar air 100 dan 80% kapasitas lapang tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan. Namun, pada kadar air 60 dan 40%, inokulasi *Glomus* sp-3c menghasilkan rasio tajuk-akar lebih tinggi, menandakan pertumbuhan tajuk tetap terjaga. Sebaliknya, pada kadar air 20%, rasio tertinggi justru ditemukan pada bibit tanpa mikoriza, menunjukkan pertumbuhan akar lebih terhambat. Dalam kondisi kekeringan, tanaman cenderung menekan pertumbuhan tajuk dan

mengalokasikan sumber daya untuk memperpanjang akar, guna mengoptimalkan penyerapan air dan hara.

Hifa mikoriza turut memperluas jangkauan serapan melalui pori tanah mikro (Basri, 2018).

Tabel 7. Rasio tajuk akar kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	4,21±0,30 a A	4,19±0,50a A	3,38±0,87 b B	3,85±0,77 ab B	3,93± 0,35 ab A
<i>Glomus</i> sp-1a	4,46±0,88 a A	3,81±0,71 b A	3,48±0,37 bc B	3,35±0,31 bc BC	2,96±0,24 c BC
<i>Glomus</i> sp-3c	4,38±0,46 a A	4,27±0,66 a A	4,19±0,88 a A	4,70± 0,39a A	2,44±0,41 b C
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	4,27±0,55 a A	4,18±0,21 a A	3,14±0,16 b B	3,15±0,24 b C	3,06±0,19 b B

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

h. Serapan N

Tabel 8 menunjukkan bahwa serapan nitrogen (N) menurun secara nyata seiring meningkatnya cekaman kekeringan, baik pada bibit tanpa maupun yang diinokulasi mikoriza. Namun, bibit yang diinokulasi dengan kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c menunjukkan serapan N tertinggi pada semua tingkat cekaman. Penurunan serapan N terjadi karena kekeringan menghambat pergerakan air dalam tanah, yang memengaruhi mobilitas dan difusi ion N menuju akar (Zhong *et al.*, 2017; Guserike *et al.*, 2024). Meskipun

mikoriza dapat membantu penyerapan N melalui hifa eksternal, efektivitasnya menurun pada kekeringan berat akibat penurunan kolonisasi akar dan aktivitas enzimatis (Chandrasekaran *et al.*, 2021; (Chandrasekaran, 2022). Kekeringan juga menurunkan aktivitas fotosintesis dan enzim seperti nitrat reduktase yang penting dalam asimilasi N (Lisar *et al.*, 2012). Namun demikian, mikoriza tetap berkontribusi dalam meningkatkan serapan N melalui perluasan area eksplorasi akar dan peningkatan aktivitas enzim yang mendukung asimilasi N (Hazra *et al.*, 2019).

Tabel 8. Serapan N (mg/bibit) kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	62,51±0,69 a B	47,86±1,74 b B	40,97±1,98 c D	33,56±1,24 d D	23,69±1,62 e D
<i>Glomus</i> sp-1a	60,56±2,31 a C	49,07±0,9 b AB	47,13±2,01 b C	40,29±2,73 c C	29,78±1,47 d C
<i>Glomus</i> sp-3c	60,28±2,85 a C	55,46±4,43 b A	49,57±4,14 c B	45,61±1,27 c B	27,36±4,11 d B
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	64,43±2,97 a A	55,78± 2,57 b A	56,83±2,72 b A	48,04±0,96 c A	41,11±0,69 d A

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

i. Serapan P

Berdasarkan Tabel 9, serapan fosfor (P) menurun seiring meningkatnya cekaman kekeringan pada semua perlakuan. Penurunan ini disebabkan oleh terbatasnya mobilitas P, pertumbuhan akar, dan efisiensi penyerapan hara di tanah kering. Meski mikoriza dapat membantu serapan P melalui hifa dan eksudat pelarut fosfor, kolonisasi dan aktivitasnya tetap terhambat di bawah kekeringan berat (Chandrasekaran, 2022).

Bibit yang diinokulasi kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c umumnya memiliki

serapan P lebih tinggi pada sebagian besar tingkat cekaman, kecuali pada kadar air 100% dan 60%. Serapan P tertinggi ditunjukkan oleh bibit tanpa mikoriza pada kadar air 100%, hal ini dapat terjadi karena akar mampu menyerap P secara langsung saat kelembapan optimal dan kolonisasi mikoriza rendah. Serapan P pada kadar air 60% tidak menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan, serapan P masih relatif seimbang antara tanaman bermikoriza dan tanpa mikoriza.

Tabel 9. Serapan P (mg/bibit) kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	4,38±0,62 a A	3,05±0,26 b C	2,57±0,90 c A	2,08±0,07 d C	1,71±0,09 e B
<i>Glomus</i> sp-1a	3,66±0,98 a B	2,95±0,64 b BC	2,60±0,11 bc A	2,14±0,14 c C	1,49±0,10 d B
<i>Glomus</i> sp-3c	3,65±0,17 a B	3,29±0,26 ab B	2,71±0,40 bc A	2,89±0,24 c B	1,54±0,23 d B
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	3,62±0,17 a B	3,84±0,18 ab A	2,73±0,08 b A	3,26±0,16 c A	2,61±0,04 c A

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

j. Serapan K

Berdasarkan Tabel 10, serapan kalium (K) menurun secara nyata seiring dengan meningkatnya cekaman kekeringan, baik pada bibit tanpa mikoriza maupun yang bermikoriza. Penurunan ini disebabkan oleh terbatasnya mobilitas K dalam tanah kering, yang menghambat pergerakan melalui aliran massa dan difusi (Waraich *et al.*, 2011). Efektivitas mikoriza dalam membantu penyerapan K juga menurun pada kekeringan berat akibat berkurangnya

kolonisasi akar dan aktivitas enzimatis dalam jaringan hifa. Namun, pada semua tingkat cekaman, bibit yang diinokulasi dengan kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c menunjukkan serapan K lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Kombinasi dua jenis mikoriza ini memperluas jangkauan hifa, meningkatkan efisiensi penyerapan K, dan mendukung konduktivitas hidraulik akar (El-Mesbahi *et al.*, 2012).

Tabel 10. Serapan K (mg/bibit) kopi Liberika bermikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan selama 5 bulan

Perlakuan	Cekaman Kekeringan (% Kadar Air Kapasitas Lapang)				
	100	80	60	40	20
Tanpa FMA	57,94±0,34 a B	44,76±0,39 b C	36,09±0,49 c C	29,87±1,00 d D	23,70± 0,66 e B
<i>Glomus</i> sp-1a	58,28±0,87 a B	44,86±1,08 b C	36,10±1,26 b C	35,98±1,54 c C	24,00±0,93 d B
<i>Glomus</i> sp-3c	58,36± 0,88 a AB	47,10±0,25 b B	42,40±1,26 c B	38,14± 1,07d B	24,17±0,90 e B
Kombinasi <i>Glomus</i> sp-1a dan sp-3c	59,07±0,52 a A	52,69±0,99 b A	48,34±0,22c A	41,34±0,53 d A	33,96±0,57 e A

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

SIMPULAN

1. Mikoriza berperan dalam meningkatkan pertumbuhan dan penyerapan hara bibit kopi Liberika pada kondisi cekaman kekeringan di tanah gambut.
2. Bibit kopi Liberika yang diinokulasi dengan kombinasi *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c memberikan respons terbaik terhadap cekaman kekeringan, ditunjukkan dengan peningkatan pertumbuhan dan serapan hara yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.
3. Kombinasi mikoriza *Glomus* sp-1a dan *Glomus* sp-3c mampu mendukung pertumbuhan bibit kopi Liberika hingga cekaman kekeringan 40%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Jambi melalui Penelitian LPPM yaitu "Penelitian Terapan Fakultas" dengan Nomor Kontrak: 326/UN21.11/PT.01.05/SPK/2023 Tanggal 17 April 2023 yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahluwalia, O., Singh, P. C., & Bhatia, R. (2021). A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. In *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 1-13.
- Basri, A. H. H. (2018). Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Agrica Ekstensi*, 12(2), 74–78.
- Bahadur, A., Batool, A., Nasir, F., Jiang, S., Mingsen, Q., Zhang, Q., Pan, J., Liu, Y., & Feng, H. (2019). Mechanistic insights into arbuscular mycorrhizal fungi-mediated drought stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(17), 4199. <https://doi.org/10.3390/ijms20174199>
- Bhat, M. A., Mir, R. A., Kumar, V., Shah, A. A., Zargar, S. M., Rahman, S., & Jan, A. T. (2021). Mechanistic insights of CRISPR/Cas-mediated genome editing towards enhancing abiotic stress tolerance in plants. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 1255–1268. <https://doi.org/10.1111/ppl.13359>
- Cao, Y., Yang, W., Ma, J., Cheng, Z., Zhang, X., Liu, X., Wu, X., & Zhang, J. (2024). An Integrated Framework for Drought

- Stress in Plants. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 25, Issue 17). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms25179347>
- Chandrasekaran, M. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: a meta-analysis. *Journal of Fungi*, 8(7), 1–12. <https://doi.org/10.3390/jof8070660>
- 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), 1–21. <https://doi.org/10.3390/jof7040303>
- Chitarra, W., Pagliarani, C., Maserti, B., Lumini, E., Siciliano, I., Cascone, P., Schubert, A., Gambino, G., Balestrini, R., & Guerrieri, E. (2016). Insights on the impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on tomato tolerance to water stress. *Plant Physiology Preview*, 171(2), 1009–1023. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00307>
- El-Mesbahi, M. N., Azcón, R., Ruiz-Lozano, J. M., & Aroca, R. (2012). Plant potassium content modifies the effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis on root hydraulic properties in maize plants. *Mycorrhiza*, 22(7), 555–564.
- Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F. and Xie, Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *Tropical Agriculture Research*, 25(4), 27–54.
- Evelin, H., Devi, T. S., Gupta, S., & Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470>
- França, A. C., De Freitas, A. F., Dos Santos, E. A., Graziotti, P. H., & de Andrade Júnior, V. C. (2016). Mycorrhizal fungi increase coffee plants competitiveness against *Bidens pilosa* interference. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(2), 132–139. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4639485>
- 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>
- González-Osorio, H., Botero, C. E. G., Padilla, S. P. J., & Osorio, W. (2022). Plant growth and phosphorus uptake of coffee seedlings through mycorrhizal inoculation. *Agronomia Colombiana*, 40(1), 53–60. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n1.98599>
- Guserike, S. O., Kartika, A., Dyah, U., Sari, P., Siregar, A., Riza, J., Saida, S., Bohari, A. Y., Yamin, M., Luh, N., Dewa, K., Suparwata, O., Rahmawati, D., Mulyani, S., (2024). *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Cv Hei Publishing Indonesia.
- Halid, E. (2016). Uji efektivitas pemberian Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) terhadap cekaman kekeringan bibit kakao klon lokal. *Agrokompleks*, 16(1), 33–37.
- Han, Y., Zhang, W., Xu, T., & Tang, M. (2022). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on drought-induced oxidative stress and 14-3-3 proteins gene expression of *Populus cathayana*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.934964>
- Haque, S. I., & Matsubara, Y. ichi. (2018).

- Salinity tolerance and sodium localization in mycorrhizal strawberry plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(22), 2782–2792.
<https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1538376>
- Hazra, F., Gusmaini, G., & Wijayanti, D. (2019). Aplikasi Bakteri Endofit dan Mikoriza Terhadap Kandungan Unsur N, P dan K pada Pembibitan Tanaman Lada. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 21(1), 42–50.
<https://doi.org/10.29244/jitl.21.1.42-50>
- Kartika, E. (2012). Peranan Cendawan Mikoriza Arbuskular dalam meningkatkan daya adaptasi bibit kelapa sawit terhadap cekaman kekeringan pada media tanah gambut. *Bioplantae*, 1(2), 52–63.
- Kartika, E., Duaja, M. D., Gusniwati, G., & Wilia, W. (2017). Identifikasi Fungi Mikoriza Arbuskular dari rizosfer tanaman kopi Liberika Tungkal Jambi di Desa Bram Itam Kanan dan Bunga Tanjung, Tanjung Jabung Barat. *Semirata BKS-PTN Wilayah Barat, Bidang Pertanian 20-21 Juli 2017*, 487–494.
- Kartika, E., Duaja, M. D., Gusniwati, G., & Zulkarnain, Z. (2023). Interaction between arbuscular mycorrhizal and antagonistic rhizosphere fungi in peat soil enhancing growth of coffea liberica seedlings. *Agrivita*, 45(3), 531–544.
<https://doi.org/10.17503/agrivita.v45i3.4025>
- Kartika, E. & Gusniwati, G. (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.
- 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.
- Kormanik PP, Mc. Graw AC. (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.
- Kwashie, G. K. S., Kaba, J. S., Appiah-Kubi, Z., Abunyewa, A. A., Asare, A. Y., Agyei, E. K., & Muhammed, H. (2023). Synergic effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and potassium fertilizer improves biomass-related characteristics of cocoa seedlings to enhance their drought resilience and field survival. *Open Agriculture*, 8(1), 1–13.
- Lisar, S. Y. S., Motafakkerazad, R., M., M., & M. Rahm, I. M. (2012). Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. In *Water Stress*. InTech.
<https://doi.org/10.5772/39363>
- Marzukah, Manuhara Karti, P. D., & Prihantoro, I. (2023). Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskula yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrisi berbeda terhadap produktivitas stylosanthes guianensis pada cekaman kekeringan. *Jurnal Ilmu Nutrisi Dan Teknologi Pakan*, 21(2), 107–115.
<https://doi.org/10.29244/jintp.21.2.107-115>
- Miranda, M. T., Da Silva, S. F., Silveira, N. M., Pereira, L., Machado, E. C., & Ribeiro, R. V. (2021). Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus rootstocks under water deficit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1), 11–19.
- Moreira, S. D., França, A. C., Rocha, W. W., Tibães, E. S. R., & Neiva Júnior, E. (2018). Inoculation with mycorrhizal fungi on the growth and tolerance to

- water deficit of coffee plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(11), 747–752. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n11p747-752>
- Pour-Aboughadareh, A., Omid, M., Naghavi, M. R., Etminan, A., Mehrabi, A. A., Pocai, P., & Bayat, H. (2019). Effect of water deficit stress on seedling biomass and physio-chemical characteristics in different species of wheat possessing the D genome. *Agronomy*, 9(522), 1–20. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090522>
- Rapparini, F., & Peñuelas, J. (2014). Mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on plant growth. In *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*, 1, 21–42. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9466-9_2
- Ruiz-Lozano, J. M., Aroca, R., Zamarreño, Á. M., Molina, S., Andreo-Jiménez, B., Porcel, R., García-Mina, J. M., Ruyter-Spira, C., & López-Ráez, J. A. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant Cell and Environment*, 39(2), 441–452.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Haleem Abdul-Wajid, H., & Leonardo Battaglia, M. (2021). Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects Mahmoud. *Plants*, 10(259), 1–25. <https://doi.org/10.3390/plants>
- Varshney, R. K., Barmukh, R., Roorkiwal, M., Qi, Y., Kholova, J., Tuberosa, R., Reynolds, M. P., Tardieu, F., & Siddique, K. H. M. (2021). Breeding custom-designed crops for improved drought adaptation. *Advanced Genetics*, 1–15. <https://doi.org/10.1002/ggn2.202100017>
- Vicente, M. R., Mantovani, E. C., Fernandes, A. L. T., Neves, J. C. L., Figueredo, E. M., & Delazari, F. T. (2017). Spacial distribution of fertigated coffee root system. *Ciencia e Agrotecnologia*, 41(1), 72–80. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016411021316>
- Waraich, E. A., Ahmad, R., Yaseen Ashraf, M., Saifullah, S., & Ahmad, M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 61(4), 291–304. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.491954>
- Xiao, X., Chen, J., Liao, X., Yan, Q., Liang, G., Liu, J., Wang, D., & Guan, R. (2022). Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi established by two inoculation methods improve growth and drought resistance of *Cinnamomum migao* seedlings differently. *Biology*, 11(220), 1–19. <https://doi.org/10.3390/biology11020220>
- Xie, W., Hao, Z., Zhou, X., Jiang, X., Xu, L., Wu, S., Zhao, A., Zhang, X., & Chen, B. (2018). Arbuscular mycorrhiza facilitates the accumulation of glycyrrhizin and liquiritin in *Glycyrrhiza uralensis* under drought stress. *Mycorrhiza*, 28(3), 285–300. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0827-y>
- Xiong, S., Wang, Y., Chen, Y., Gao, M., Zhao, Y., & Wu, L. (2022). Effects of Drought Stress and Rehydration on Physiological and Biochemical Properties of Four Oak Species in China. *Plants*, 11(679), 1–17. <https://doi.org/10.3390/plants11050679>
- Zhong, C., Cao, X., Hu, J., Zhu, L., Zhang, J., Huang, J., & Jin, Q. (2017). Nitrogen metabolism in adaptation of

photosynthesis to water stress in rice grown under different nitrogen levels. *Frontiers in Plant Science*, 8(1079), 1–

15.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01079>