

Efektivitas Aplikasi Pupuk Hayati Mikoriza Dengan Beberapa Kondisi Cekaman Kekeringan Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.)

Muhammad Akbar Gunawan¹, Nisa Budi Arifiana²

¹Program Studi Budidaya Tanaman Perkebunan, Jurusan Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

Email : akbargunawan842@gmail.com

Received: 26 September 2025

Accepted: 29 Oktober 2025

Available online: 30 Desember 2025

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is one of Indonesia's leading export commodities that contributes significantly to national foreign exchange earnings. However, cocoa production experienced a decline during the period 2018–2022, primarily due to the impact of drought conditions. One effort to overcome this problem is by improving cocoa cultivation techniques, particularly at the nursery stage, through the application of mycorrhizal biofertilizers. This study aimed to evaluate the effectiveness of mycorrhizal biofertilizer application under different drought stress conditions on the growth of cocoa seedlings. The research was conducted from June to October 2025 at the Greenhouse of the Plant Laboratory, Politeknik Negeri Jember. The experiment employed a factorial Randomized Block Design (RBD) consisting of two factors. The first factor was the dosage of mycorrhizal biofertilizer, namely M0 (control, without mycorrhiza), M1 (4 g/polybag), and M2 (8 g/polybag). The second factor was watering interval, consisting of C0 (control), C1 (watering every three days), and C2 (watering every five days). There were nine treatment combinations with three replications. Experimental data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by the Honestly Significant Difference (HSD) test at the 5% significance level. The results showed that the application of mycorrhizal biofertilizer had a significant effect on root volume, with the highest value obtained at a dosage of 8 g/polybag (4.41 cm³). Meanwhile, drought stress treatments based on watering intervals did not significantly affect the growth of cocoa seedlings for all observed parameters. The interaction between mycorrhizal biofertilizer application and drought stress indicated that the combination of 4 g/polybag mycorrhiza with daily watering significantly increased the number of leaves, reaching an average of 14.53 leaves.

Keywords : Nursery, cocoa, Mycorrhiza, Stress

I. PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan komoditas perkebunan bernilai strategis yang memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian nasional. Peran komoditas ini tidak hanya sebagai sumber penghasilan bagi petani, tetapi juga sebagai penyerap tenaga kerja serta komoditas ekspor yang menghasilkan devisa negara selain sektor minyak dan karet. Dalam skala internasional, Indonesia tercatat berada pada posisi ketiga sebagai negara produsen kakao terbesar, dengan capaian produksi sebesar 732.256 ton pada tahun 2022 (Direktorat Jenderal Perkebunan Kemenpan RI, 2022). Meskipun demikian, pada rentang tahun 2018 hingga 2022 terjadi penurunan luas lahan perkebunan kakao dari 1.611.014 hektare menjadi 1.476.776 hektare, atau mengalami pengurangan sekitar 8,33%.

Penurunan luas lahan tersebut diikuti oleh penurunan produksi nasional sebesar 4,56%, dari sebelumnya 767.280 ton menjadi 732.256 ton. Salah satu

daerah yang berperan penting sebagai sentra produksi kakao nasional adalah Provinsi Sulawesi Selatan. Akan tetapi, beberapa wilayah di provinsi ini mengalami penurunan produksi yang signifikan, salah satunya Kabupaten Luwu Utara, khususnya Kecamatan Mappedeceng, Desa Ujung Mattajang. Menurut Muhammad Amin selaku pembina koperasi multijasa petani di Kabupaten Luwu Utara, penurunan produksi kakao disebabkan oleh kondisi iklim yang tidak menentu. Pada kondisi normal, petani mampu menghasilkan panen hingga 4 ton dari lahan seluas ±750 m², namun akibat perubahan iklim produksi menurun drastis menjadi sekitar 600–800 kg atau turun sebesar 19,9% (Falahi, 2024).

Penurunan produktivitas kakao tersebut erat kaitannya dengan fenomena pemanasan global yang memicu perubahan iklim ekstrem, salah satunya fenomena El Niño. Fenomena ini menyebabkan musim kemarau berlangsung lebih panjang dan curah hujan menurun,

sehingga lingkungan tumbuh tanaman kakao menjadi tidak ideal (Sutomo dkk., 2018). Kekeringan yang berkepanjangan mengakibatkan pertumbuhan tanaman kakao terhambat, daun mengalami kekeringan, ukuran buah mengecil, peningkatan penyakit layu cherelle, serta penurunan hasil panen (Iswanto dkk., 2021; Lahive dkk., 2019). Selain itu, kondisi kekeringan menyebabkan penurunan jumlah daun, terhambatnya pertumbuhan daun baru (*flush*), serta terganggunya proses fotosintesis akibat penutupan stomata dan peningkatan stres oksidatif (Gateau et al., 2018; Cahyo dkk., 2020).

Peningkatan produktivitas tanaman kakao pada kondisi kekurangan air perlu diupayakan sejak tahap awal pertumbuhan, terutama pada fase pembibitan. Bibit yang menunjukkan pertumbuhan awal optimal serta memiliki sistem perakaran yang berkembang dengan baik cenderung memiliki kemampuan adaptasi yang lebih tinggi terhadap kondisi lingkungan yang kurang mendukung di lapangan. Salah satu pendekatan budidaya yang dinilai berpotensi meningkatkan ketahanan bibit kakao terhadap stres kekeringan adalah pemanfaatan pupuk hayati berbasis mikoriza.

Mikoriza merupakan kelompok fungi tanah yang membentuk hubungan simbiosis mutualisme dengan akar tanaman. Keberadaan mikoriza dapat meningkatkan penyerapan unsur hara makro, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta membantu tanaman dalam memanfaatkan air tanah secara lebih efisien (Basri, 2018; Halid, 2017). Struktur hifa mikoriza mampu menembus pori-pori tanah berukuran mikro yang tidak dapat dijangkau oleh akar, sehingga tanaman tetap memperoleh suplai air dan unsur hara meskipun berada pada kondisi kadar air tanah yang rendah (Hapsani dan Basri, 2018). Selain itu, mikoriza juga berkontribusi dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan, memperbaiki kondisi fisik tanah, serta melindungi sistem perakaran dari serangan patogen dan paparan unsur toksik (Idhan, 2016).

Sejumlah penelitian terdahulu melaporkan bahwa penggunaan mikoriza memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bibit kakao. Aplikasi mikoriza dengan dosis 5–10 g per polibag dilaporkan mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, serta ketersediaan fosfor dalam media tanam (Halid, 2017; Rokhmah dkk., 2020). Selain itu, penggunaan mikoriza juga diketahui dapat mengurangi kebutuhan pupuk anorganik, dengan kemampuan menggantikan hingga 50% pupuk fosfor, 40% nitrogen, dan 25% kalium, sehingga mendukung sistem budidaya yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Kurniawan, 2020).

Berdasarkan adanya penurunan produktivitas kakao yang dipicu oleh kondisi cekaman kekeringan serta besarnya potensi pupuk hayati mikoriza dalam meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman, maka diperlukan penelitian untuk mengkaji efektivitas aplikasi pupuk hayati mikoriza pada berbagai tingkat cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). Hasil penelitian ini diharapkan dapat

memberikan landasan ilmiah dalam pengembangan teknologi pembibitan kakao yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim.

II. Metode Penelitian

Penelitian berjudul “Efektivitas Aplikasi Pupuk Hayati Mikoriza dengan Beberapa Kondisi Cekaman Kekeringan terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.)” dilaksanakan pada bulan Juni hingga Oktober 2025. Penelitian ini dilakukan di Green House Laboratorium Tanaman Politeknik Negeri Jember. Lokasi penelitian dipilih karena memiliki fasilitas pembibitan yang memungkinkan pengendalian kondisi lingkungan, terutama pengaturan penyiraman untuk mensimulasikan cekaman kekeringan secara terkontrol (Puslitkoka, 2024).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi cangkul, gembor, meteran, penggaris, jangka sorong digital, gelas ukur bervolume 100 ml, timbangan digital, spidol permanen, bak persemaian, gunting, bambu, paku, palu, serta alat tulis. Bahan yang digunakan terdiri atas benih kakao varietas ICCRI 08H, media tanam berupa tanah topsoil, pupuk kandang, pasir, pupuk hayati mikoriza, polybag berukuran 15 × 20 cm, insektisida, tali rafia, dan air. Varietas ICCRI 08H dipilih karena memiliki potensi pertumbuhan yang baik pada fase pembibitan (Susilo et al., 2023).

Penelitian ini dirancang menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan pola faktorial yang melibatkan dua faktor perlakuan. Faktor pertama berupa dosis pupuk hayati mikoriza yang terdiri atas tiga tingkat perlakuan, yaitu tanpa pemberian mikoriza (M0), pemberian mikoriza sebanyak 4 g per polibag (M1), dan pemberian mikoriza sebanyak 8 g per polibag (M2). Faktor kedua adalah perlakuan cekaman kekeringan yang diterapkan melalui perbedaan interval penyiraman, meliputi penyiraman setiap satu hari sebagai kontrol (C0), penyiraman setiap tiga hari (C1), serta penyiraman setiap lima hari (C2). Interaksi antara kedua faktor tersebut menghasilkan sembilan kombinasi perlakuan yang masing-masing diulang sebanyak tiga kali, sehingga total terdapat 27 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdiri dari lima tanaman, dengan tiga tanaman digunakan sebagai sampel pengamatan dan dua tanaman sebagai tanaman cadangan. Dengan demikian, jumlah keseluruhan tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah 135 tanaman.

Data yang diperoleh dari hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (Analysis of Variance/ANOVA) berdasarkan model matematis RAK $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$. Apabila hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antarperlakuan, maka pengujian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf kepercayaan 5% untuk mengetahui perbedaan antar kombinasi perlakuan (Gomez dan Gomez, 2010).

Pelaksanaan penelitian diawali dengan persiapan media persemaian berupa pasir yang dicampur dengan fungisida dan furadan masing-masing sebanyak 5 g, kemudian diaduk hingga homogen. Media disiram hingga lembap dan disimpan di tempat teduh selama 24 jam sebelum digunakan untuk menjaga kelembapan serta menekan pertumbuhan patogen (Kementan, 2017). Benih kakao varietas ICCRI 08H disemai pada bak persemaian dengan jarak tanam $4 \times 2,5$ cm dan kedalaman $\frac{2}{3}$ bagian biji, dengan posisi radikula menghadap ke bawah. Media persemaian ditutup menggunakan mulsa daun kering untuk menjaga kelembapan. Proses perkecambahan berlangsung selama ± 14 hari (Mulato, 2024).

Pemindahan bibit (transplanting) dilakukan pada umur 14 hari setelah semai, dengan kriteria bibit memiliki kotiledon yang telah terangkat ke atas permukaan media, panjang radikula 1–2 cm, serta daun muda telah muncul. Bibit ditanam pada polybag berukuran 15×20 cm dengan kedalaman tanam sekitar 2 cm, dengan posisi akar tegak dan tidak terlipat untuk mendukung pertumbuhan optimal (Nayli, 2022).

Aplikasi pupuk hayati mikoriza dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu pada saat tanam, pada umur bibit 1 bulan setelah tanam (BST), dan 2 BST. Mikoriza diaplikasikan dengan cara ditanamkan ke dalam media tanam sesuai dengan dosis perlakuan. Metode aplikasi ini bertujuan untuk memastikan kontak langsung antara propagul mikoriza dan sistem perakaran tanaman, sehingga dapat meningkatkan efisiensi serapan air dan unsur hara (Halid, 2017; Basri, 2018).

Pemeliharaan bibit meliputi penyiangan, pengendalian hama, dan penyiraman sesuai dengan perlakuan cekaman kekeringan. Penyiangan dilakukan secara manual apabila terdapat gulma di sekitar bibit kakao. Pengendalian hama dilakukan menggunakan insektisida dengan konsentrasi 2 ml per liter air yang diaplikasikan pada sore hari apabila terdapat gejala serangan hama berupa daun berlubang atau rusak (Kementan, 2017).

Parameter yang diamati dalam penelitian ini mencakup tinggi bibit, diameter batang, serta jumlah daun yang dilakukan pada umur 1, 2, dan 3 BST. Pengukuran tinggi bibit dilakukan dengan cara mengukur jarak dari pangkal batang hingga titik tertinggi daun. Diameter batang diukur pada bagian batang yang berjarak 3 cm dari pangkal menggunakan alat ukur jangka sorong, sedangkan jumlah daun ditentukan dengan menghitung daun yang telah berkembang dan membuka secara sempurna.

Selain itu, pengamatan terhadap volume akar, bobot basah tanaman, dan bobot kering tanaman dilakukan pada akhir masa penelitian, yaitu pada umur 3 BST. Volume akar diukur menggunakan metode perpindahan volume air. Sementara itu, bobot kering tanaman diperoleh setelah tanaman dikeringkan melalui proses pengovenan selama 48 jam pada suhu 80°C hingga mencapai berat konstan (Tahir dan Rahim, 2022).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil dari penelitian Efektivitas Aplikasi Pupuk Hayati Mikoriza Pada Beberapa Kondisi Cekaman Kekeringan Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.) didapatkan hasil sebagai berikut :

Parameter	Umur (BS)	Mikoriza (M)	Cekaman (C)	M × C	KK (%)
Tinggi Bibit (cm)	1	ns	ns	n	9,36
	2	ns	ns	n	8,95
	3	ns	**	n	8,32
Diameter Batang (cm)	1	ns	ns	n	6,69
	2	ns	**	n	6,71
	3	ns	ns	n	6,15
Jumlah Daun (helai)	1	*	ns	n	15,40
	2	ns	**	n	11,34
	3	ns	**	*	7,33
Volume Akar (cm^3)	3	*	**	n	9,06
Berat Basah Tanaman (g)	3	ns	**	n	3,39
Berat Kering Tanaman (g)	3	ns	**	n	12,84

Keterangan:

BST	: Bulan Setelah Tanam
ns	: Non Signifikan (Berbeda Tidak Nyata)
*	: Berbeda Nyata
**	: Berbeda Sangat Nyata
M	: Mikoriza
C	: Cekaman Kekeringan
MXC	: Interaksi Antara Mikoriza Dan Cekaman Kekeringan
KK	: Koefisien Keragaman

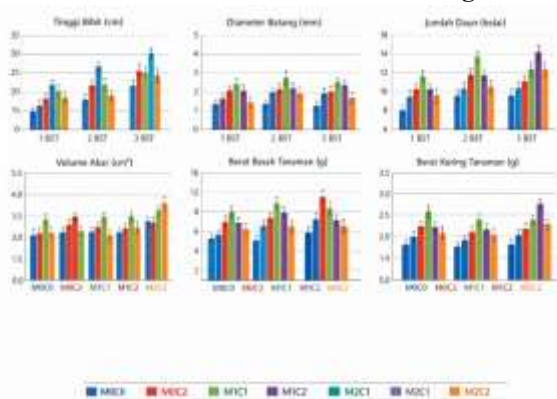
Berdasarkan hasil analisis data yang disajikan pada Tabel 1, diketahui bahwa perlakuan pupuk hayati mikoriza (M) terhadap pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao*

L.) klon ICCRI 08H menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada beberapa parameter pengamatan. Perlakuan mikoriza memberikan perbedaan signifikan pada parameter jumlah daun pada umur 1 BST serta volume akar pada umur 3 BST. Sebaliknya, pada parameter tinggi bibit, diameter batang, jumlah daun pada umur 2 dan 3 BST, bobot basah tanaman, serta bobot kering tanaman, perlakuan mikoriza menunjukkan pengaruh yang tidak berbeda nyata.

Perlakuan cekaman kekeringan (C) menunjukkan pengaruh yang sangat nyata terhadap sejumlah parameter pertumbuhan, yaitu tinggi bibit pada umur 3 BST, diameter batang pada umur 2 BST, jumlah daun pada umur 2 dan 3 BST, volume akar, bobot basah tanaman, serta bobot kering tanaman. Namun demikian, perlakuan ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi bibit pada umur 1 dan 2 BST, diameter batang pada umur 1 dan 3 BST, serta jumlah daun pada umur 1 BST. Sementara itu, hasil interaksi antara pupuk hayati mikoriza dan cekaman kekeringan (M×C) hanya menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada parameter jumlah daun pada umur 3 BST.

Pembahasan

Gambar 1. Keseluruhan Diagram Batang Rerata Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.) pada Berbagai Perlakuan Aplikasi Pupuk Hayati Mikoriza dan Cekaman Kekeringan



Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) dan visualisasi diagram batang, diketahui bahwa aplikasi pupuk hayati mikoriza tidak memberikan pengaruh nyata terhadap parameter tinggi bibit kakao pada umur 1, 2, dan 3 bulan setelah tanam (BST). Diagram batang menunjukkan bahwa perlakuan tanpa aplikasi mikoriza dengan penyiraman 1 hari sekali (M0C0) cenderung menghasilkan tinggi bibit tertinggi pada seluruh umur pengamatan.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada fase awal pertumbuhan, bibit kakao lebih responsif terhadap ketersediaan air dibandingkan dengan aplikasi mikoriza. Menurut Begum et al. (2019), manfaat mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman umumnya belum terlihat secara nyata pada fase awal karena proses kolonisasi jamur mikoriza pada akar tanaman masih berlangsung. Okiobe et al. (2022) juga menyatakan bahwa kolonisasi mikoriza memerlukan waktu tertentu sebelum mampu meningkatkan penyerapan air dan unsur hara secara optimal.

Perlakuan cekaman kekeringan menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap tinggi bibit kakao pada umur 3 BST, sebagaimana ditunjukkan pada diagram batang dan hasil ANOVA. Penyiraman 1 hari sekali menghasilkan tinggi bibit tertinggi dibandingkan penyiraman 3 dan 5 hari sekali. Hal ini menunjukkan bahwa kekurangan air mulai memberikan dampak signifikan terhadap pertumbuhan tanaman pada fase pertumbuhan lanjut.

Hidayat et al. (2013) dalam Yeni et al. (2022) menjelaskan bahwa air berperan penting dalam proses fisiologis tanaman, seperti fotosintesis, pembelahan sel, dan pemanjangan jaringan, sehingga keterbatasan air dapat menghambat pertumbuhan tanaman secara keseluruhan.

Pada parameter diameter batang, hasil analisis menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati mikoriza tidak memberikan pengaruh nyata pada seluruh umur pengamatan. Diagram batang memperlihatkan bahwa diameter batang tertinggi umumnya diperoleh pada perlakuan dengan penyiraman 1 hari sekali, baik dengan maupun tanpa aplikasi mikoriza. Perlakuan cekaman kekeringan memberikan pengaruh sangat nyata pada umur 2 BST, di mana penurunan frekuensi penyiraman menyebabkan penurunan diameter batang. Sukmawan dan Riniarti (2020) menyatakan bahwa ketersediaan air yang cukup akan mendukung aktivitas fotosintesis dan translokasi hasil asimilasi ke jaringan batang, sehingga pembesaran diameter batang dapat berlangsung secara optimal.

Sebaliknya, keterbatasan ketersediaan air dapat mengganggu proses pembentukan jaringan tanaman serta memperlambat laju pertumbuhan batang (Dos Santos et al., 2016). Parameter jumlah daun merupakan indikator yang paling peka terhadap perlakuan yang diterapkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati mikoriza berpengaruh nyata terhadap jumlah daun pada umur 1 BST, sementara interaksi antara mikoriza dan cekaman kekeringan menunjukkan pengaruh signifikan pada umur 3 BST. Berdasarkan diagram batang, kombinasi perlakuan mikoriza dosis 4 gram dengan interval penyiraman satu hari sekali (M1C0) menghasilkan jumlah daun tertinggi pada pengamatan umur 3 BST.

Temuan ini mengindikasikan bahwa pada fase pertumbuhan yang lebih lanjut, mikoriza mulai berperan aktif dalam meningkatkan penyerapan unsur hara, khususnya fosfor, yang berperan penting dalam proses pembentukan daun. Gill et al. (2025) menyatakan bahwa

mikoriza mampu meningkatkan kapasitas fotosintesis tanaman melalui peningkatan penyerapan hara dan air oleh sistem perakaran. Sejalan dengan itu, Basri (2018) menjelaskan bahwa hifa mikoriza dapat menjangkau pori-pori tanah yang tidak mampu dijangkau oleh akar tanaman, sehingga efisiensi serapan unsur hara menjadi lebih optimal.

Hasil pengamatan terhadap volume akar menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati mikoriza memberikan pengaruh nyata terhadap volume akar bibit kakao pada umur 3 BST. Diagram batang memperlihatkan bahwa perlakuan mikoriza dengan dosis 8 gram menghasilkan volume akar tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa mikoriza mampu mendorong perkembangan sistem perakaran melalui pembentukan hifa eksternal yang berfungsi sebagai perpanjangan akar. Vaishnav et al. (2025) mengemukakan bahwa simbiosis mikoriza dapat memperluas bidang serapan akar serta merangsang pembentukan akar lateral.

Perlakuan cekaman kekeringan juga memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap volume akar, di mana perlakuan penyiraman satu hari sekali menghasilkan volume akar paling besar. Menurut Nurhayati et al. (2022), ketersediaan air yang mencukupi sangat diperlukan untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan sistem perakaran tanaman.

Pada parameter bobot basah tanaman, hasil analisis menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati mikoriza tidak memberikan pengaruh yang signifikan, sedangkan perlakuan cekaman kekeringan menunjukkan pengaruh yang sangat nyata. Diagram batang memperlihatkan bahwa bobot basah tanaman tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan interval penyiraman satu hari sekali. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketersediaan air berpengaruh langsung terhadap kandungan air dalam jaringan tanaman serta laju pertumbuhan vegetatif. Sulastri et al. (2023) menyatakan bahwa air berperan penting dalam mempertahankan turgor sel dan mendukung aktivitas metabolisme tanaman, sehingga berpengaruh terhadap bobot basah tanaman.

Parameter bobot kering tanaman menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan bobot basah tanaman. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa cekaman kekeringan memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap bobot kering tanaman, sedangkan perlakuan mikoriza maupun interaksi antarperlakuan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Diagram batang menunjukkan bahwa perlakuan penyiraman satu hari sekali menghasilkan bobot kering tanaman tertinggi.

Menurut Salmeron-Santiago et al. (2022), akumulasi biomassa kering tanaman sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air yang memengaruhi laju fotosintesis dan pembentukan bahan kering. Selain itu, hubungan simbiosis mikoriza bersifat *carbon costly*, sehingga manfaatnya terhadap peningkatan biomassa kering

tanaman umumnya baru terlihat setelah kolonisasi berlangsung stabil (Enebe & Erasmus, 2023).

Secara keseluruhan, diagram batang pada Pembahasan dan Diagram batang di atas menunjukkan bahwa cekaman kekeringan merupakan faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan bibit kakao pada fase pembibitan, sedangkan aplikasi pupuk hayati mikoriza memberikan pengaruh yang lebih spesifik dan bertahap, terutama pada parameter jumlah daun dan volume akar pada umur pengamatan akhir. Temuan ini menunjukkan bahwa efektivitas mikoriza sangat dipengaruhi oleh waktu kolonisasi, dosis aplikasi, serta ketersediaan air di media tanam, sebagaimana dinyatakan oleh Singh et al. (2024).

IV. KESIMPULAN

Terdiri Berdasarkan hasil kegiatan penelitian yang berjudul Efektivitas Aplikasi Pupuk Hayati Mikoriza Dengan Beberapa Kondisi Cekaman Kekeringan Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.) dapat disimpulkan bahwa :

1. Perlakuan aplikasi pupuk hayati mikoriza (M) menunjukkan bahwa perlakuan M2 (dosis pemberian pupuk hayati mikoriza 8 gram/polybag) memberikan hasil terbaik pada volume akar (4,41 cm³ pada umur 3 bulan setelah tanam).
2. Perlakuan tanpa cekaman kekeringan (C0) sebagai kontrol menunjukkan respon pertumbuhan bibit kakao yang paling optimal dibandingkan dengan perlakuan lainnya pada seluruh parameter yang diamati.
3. Terdapat interaksi antara pemberian pupuk hayati mikoriza dan kondisi cekaman kekeringan terhadap parameter jumlah daun pada umur 3 bulan setelah tanam, di mana kombinasi perlakuan M1C0 (aplikasi pupuk hayati mikoriza dosis 4 gram per polibag dengan interval penyiraman satu hari sekali) menghasilkan jumlah daun tertinggi, yaitu sebesar 14,52 helai.

REFERENSI

- Basri, M. (2018). Peranan mikoriza dalam meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara dan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 20(2), 85–94.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>

- Cahyo, A. N., Prasetyo, B., & Widodo, R. H. (2020). Respons fisiologis tanaman kakao terhadap cekaman kekeringan. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 48(1), 45–53.
- Deliani, F. F., & Wirawan, M. (2021). Analisis insiden alat angkut material pada area hauling dengan metode bowtie di tambang batubara. *National Journal of Occupational Health and Safety*, 2(2), 1–12. <https://doi.org/10.59230/njohs.v2i2.5832>
- Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2022). *Statistik perkebunan kakao Indonesia 2022*. Kementerian Pertanian RI.
- Dos Santos, R. F., Carlesso, R., Petry, M. T., & Reimann, C. (2016). Growth and development of plants under water stress. *Agricultural Water Management*, 163, 1–10.
- Enebe, M. C., & Erasmus, A. (2023). Carbon cost of arbuscular mycorrhizal symbiosis under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 300–308.
- Falahi, A. (2024). Dampak perubahan iklim terhadap produktivitas kakao rakyat di Kabupaten Luwu Utara. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 9(1), 15–24.
- Gateau, A., Clément, C., & Lambot, C. (2018). Drought tolerance of cocoa tree (*Theobroma cacao* L.): Physiological mechanisms and implications for breeding. *Agricultural Water Management*, 206, 1–14.
- Gill, R. A., Zang, L., Ali, B., Farooq, M. A., Cui, P., Yang, S., & Zhou, W. (2025). Mycorrhizal symbiosis improves plant growth and photosynthesis under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 198, 120–130.
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (2010). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Halid, A. (2017). Pengaruh dosis mikoriza terhadap pertumbuhan bibit kakao pada fase pembibitan. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 6(2), 89–97.
- Hapsani, R., & Basri, M. (2018). Peran mikoriza dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1), 33–41.
- Hidayat, R., Suryanto, A., & Santoso, B. (2013). Peran air dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. *Jurnal Agronomi*, 7(2), 101–108.
- Idhan, A. (2016). Peran fungi mikoriza arbuskula dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres lingkungan. *Jurnal Biologi Indonesia*, 12(1), 25–34.
- Iswanto, I., Rahmawati, D., & Prasetyo, B. (2021). Dampak cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan produksi kakao. *Jurnal Perkebunan Indonesia*, 10(2), 67–76.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2019). *Keselamatan kerja sektor pertambangan mineral dan batubara*. Kementerian ESDM RI.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2017). *Pedoman teknis pembibitan tanaman perkebunan*. Kementerian Pertanian RI.
- Kurniawan, D. (2020). Efisiensi pemupukan fosfor melalui aplikasi mikoriza pada tanaman perkebunan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(3), 210–218.
- Lahive, F., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2019). The impact of elevated temperature and drought on cocoa (*Theobroma cacao* L.) physiology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 268, 109–118.
- Mulato, S. (2024). *Teknologi pembibitan kakao unggul*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.
- Nayli, F. (2022). Teknik transplanting bibit kakao untuk meningkatkan daya tumbuh. *Jurnal Agroteknologi*, 15(1), 55–62.
- Nurhayati, N., Suryani, E., & Pranoto, Y. (2022). Pengaruh ketersediaan air terhadap pertumbuhan akar tanaman perkebunan. *Jurnal Tanah dan Air*, 19(2), 87–95.
- Okiobe, S. T., Mensah, A., & Boateng, E. (2022). Time-dependent colonization of arbuscular mycorrhizal fungi and its effect on crop growth. *Journal of Plant Nutrition*, 45(7), 987–998.
- Puslitkoka. (2024). *Panduan pembibitan kakao adaptif terhadap perubahan iklim*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.
- Salmeron-Santiago, J., Martínez-Trinidad, T., & López-López, M. A. (2022). Biomass accumulation of plants under water stress. *Scientia Horticulturae*, 295, 110856.
- Singh, R., Kumar, S., & Verma, A. (2024). Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 45–58.
- Sukmawan, R., & Riniarti, M. (2020). Hubungan ketersediaan air dan pertumbuhan diameter batang tanaman. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 11(2), 78–85.
- Susilo, A. W., Indahwati, & Prastowo, B. (2023). Karakteristik pertumbuhan klon kakao ICCRI 08H pada fase pembibitan. *Jurnal Perkebunan*, 7(1), 23–31.
- Sutomo, I., Prabowo, H., & Nugroho, A. (2018). Dampak El Niño terhadap produksi kakao di Indonesia. *Jurnal Iklim dan Pertanian*, 4(2), 101–110.
- Tahir, M., & Rahim, A. (2022). Teknik pengukuran biomassa tanaman pada penelitian agronomi. *Jurnal Metodologi Penelitian Pertanian*, 5(1), 1–10.
- Vaishnav, A., Singh, J., & Prasad, R. (2025). Arbuscular mycorrhiza-mediated root architecture modification under drought stress. *Plant Soil*, 496, 321–335.
- Yeni, F., Hidayat, R., & Lestari, D. (2022). Respons tanaman terhadap cekaman kekeringan pada fase vegetatif. *Jurnal Agronomi Nusantara*, 3(2), 66–74.