



Propagasi Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) *Glomus* sp. dengan Kombinasi Pupuk NK, Hara Johnson, dan Kompos pada Inang Jagung Dalam Budidaya *Greenhouse*

Tasya Darpen^{*}, Made Sara Wijana, Made Susun Parwanayoni

Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan., Badung, Bali 80361, **Indonesia**

^{*}*Corresponding Author*: tasyadarpen0@gmail.com

ABSTRACT

Propagation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) *Glomus* sp. with the Combination of NK Fertilizer, Johnson Nutrients, and Compost on Maize Host in Greenhouse Cultivation. Indonesian farmers are now facing obstacles in obtaining fertile and productive land. Unfertile land can be improved by applying biofertilizers. The biofertilizer that can be utilized is Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF). This research effort was conducted by testing fertilizers that form the best combination for the propagation of AMF spores. This study aims to test and determine the combination of *Glomus* sp. Spores and several types of fertilizers can optimize the increase in spore quantity and identify the best fertilizer for enhancing colonization on maize roots (*Zea mays* L.). The research used a Randomized Block Design with four treatments on corn plants over 60 days, namely a positive control using 10 *Glomus* sp. spores without fertilizer combination (A); 10 *Glomus* sp. spores and 5 g of NK fertilizer (B); 10 *Glomus* sp. spores and 20 mL of Johnson's nutrient solution (C); and 10 *Glomus* sp. spores and 10 g of compost fertilizer (D). The observed parameters are root length; wet and dry weight of the roots; wet and dry weight of the shoots; the number of spores for each treatment; and the percentage of AMF colonization on the roots. Spores were obtained through the wet sieving method. The colonization calculation was performed using the slide method. Quantitative data analysis using ANOVA followed by Duncan's test. The research results show that combining fertilizer with *Glomus* sp. spores can optimize colonization and the number of mycorrhizal spores in the soil. The best degree of the host plant's root colonization is shown in combination with NK fertilizer, which is 84.56%. (very high).

Keywords: nutrient addition, wet sieving, spore count, AMF colonization, biofertilizer

PENDAHULUAN

Peningkatan aktivitas pembangunan dan jumlah penduduk telah mendorong peningkatan kebutuhan pangan, sehingga menuntut ketersediaan lahan pertanian yang memadai. Namun, konversi lahan subur untuk

pembangunan menyebabkan alih fungsi lahan yang signifikan, mengurangi pilihan untuk ekstensifikasi pertanian (Mulyani dan Agus, 2017). Kendala yang dihadapi petani Indonesia saat ini ialah semakin sulit dalam memperoleh lahan subur dan produktif. Semakin meningkatnya alih fungsi lahan

mempersempit pilihan lahan subur untuk berlangsungnya aktivitas pertanian produktif. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2020, menyatakan bahwa luas lahan kritis dan sangat kritis di Bali selama 5 tahun terakhir (2013-2018) meningkat sebanyak 898 Ha, dari 45.997 menjadi 46.895 Ha (BPS, 2020).

Lahan kritis merupakan salah satu bentuk dari lahan terdegradasi yang mengalami penurunan produktivitas lahan (Indrihastuti dkk., 2016). Lahan kritis yang semakin meningkat bisa dimanfaatkan dengan memulihkan produktivitas dan mengembalikan fungsi tanah untuk kegiatan pertanian. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan pemanfaatan dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan. Produktivitas lahan dapat dibenahi dengan upaya menerapkan penggunaan pupuk hayati oleh petani untuk meningkatkan kapasitas dan kualitas produksi petani (Krisdayani dkk., 2020).

Pupuk hayati (*Biofertilizer*) merupakan inokulan berbahan aktif organisme hidup yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas lahan. Salah satu mikroorganisme yang mampu dimanfaatkan sebagai pupuk hayati ialah cendawan mikoriza arbuskula (CMA) (Kumar et al., 2017). CMA yang umum dijumpai pada lahan kritis di Bali adalah *Glomus* sp. (Proborini et al., 2020). CMA membutuhkan tanaman inang untuk hidup (obligat) (Krisnarini et al., 2018). Tanaman inang terbaik untuk propagasi CMA adalah tanaman jagung (Trisnayanti dkk., 2021). Penelitian Nuridayati dan Siti (2019) menyatakan bahwa peningkatan propagasi jumlah spora *Glomus* sp. dan koloni CMA pada akar tanaman jagung lebih tinggi dibandingkan tanaman rumput odot dan kacang hijau.

Penelitian oleh Triarta dkk. (2019) menunjukkan bahwa pemberian CMA dan pupuk anorganik meningkatkan produktivitas tanaman kedelai, sementara Krisdayani dkk.

(2020), melaporkan bahwa kombinasi CMA dan pupuk kompos meningkatkan pertumbuhan bibit sengon. Temuan tersebut menegaskan bahwa suplai hara tambahan dapat memperkuat efektivitas CMA. Hal tersebut sejalan dengan Okiabe et al. (2015) yang melaporkan bahwa larutan nutrisi lengkap mampu meningkatkan kolonisasi CMA dan produksi spora pada tanaman melalui ketersediaan hara seimbang yang mendukung aktivitas akar dan hifa. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan pupuk NK sebagai sumber N dan K yang merangsang pertumbuhan akar muda, hara Johnson sebagai larutan nutrisi seimbang yang tidak menghambat kolonisasi CMA, serta pupuk kompos sebagai penyedia bahan organik yang memperbaiki kondisi fisik media. Kombinasi perlakuan ini diharapkan mampu mengoptimalkan kolonisasi dan sporulasi *Glomus* sp. pada tanaman jagung.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama dua bulan dari bulan September 2022 sampai dengan Februari 2023 di Laboratorium Taksonomi Tumbuhan dan *greenhouse* Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana.

Rancangan Penelitian dan Variabel

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) satu faktor dengan empat taraf perlakuan dan enam kali ulangan. Setiap ulangan terdiri dari 3 tanaman. Total unit percobaan adalah 72 unit. Taraf perlakuan penelitian merupakan perlakuan pupuk di pot yang terdiri dari perlakuan kontrol dengan 10 spora *Glomus* sp. tanpa pupuk tambahan (A); 10 spora *Glomus* sp. dan 5 g pupuk NK (B); 10 spora *Glomus* sp. dan 20 mL hara Johnson (C); dan 10 spora *Glomus*

sp. dan 20 g pupuk kompos (D). Penggunaan tiga tanaman pada pot yang berbeda dalam setiap ulangan bertujuan untuk mengurangi bias biologis serta meningkatkan validitas dan kekuatan analisis statistik yang diperoleh.

Pemupukan berupa pupuk NK, hara Johnson, dan pupuk kompos merupakan variabel bebas pada penelitian ini. Variabel terikat penelitian ini adalah parameter propagasi CMA dan biomassa tanaman yang meliputi jumlah spora, persentase kolonisasi pada akar, panjang akar, berat basah dan berat kering akar, dan berat basah dan kering brangkasan. Tanaman inang yang digunakan adalah jagung (*Zea mays* L.) varietas ZA 567.

Prosedur Penelitian

Inokulum dan media tanam

Spora CMA *Glomus* sp. diperoleh dari koleksi Laboratorium Taksonomi Tumbuhan. Isolasi dan perhitungan spora dilakukan dengan metode penyaringan basah bertingkat (saringan 200 µm, 100 µm, 63 µm dan 45 µm), dilanjutkan dengan perhitungan spora *viable* menggunakan mikroskop stereo. Media tanam yang digunakan adalah campuran tanah dan pasir tanpa disterilisasi (1:1), 5 kg per *polybag* (49x40x40 cm).

Tahapan propagasi

Benih jagung direndam 4 jam lalu disemai untuk memastikan bibit yang tumbuh sehat dan seragam. Bibit berumur 14 hari (2-3 daun) dipindahkan ke dalam *polybag*. Akar berumur 14 hari setelah semai lebih responsif terhadap kolonisasi CMA dibandingkan dengan akar dari biji yang baru berkecambah (Proborini dkk., 2020). Pemupukan (pupuk NK, hara Johnson, dan kompos) dan inokulasi CMA dilakukan dengan cara dibanamkan di

lubang tanam setelah tanaman dipindahkan ke *polybag*.

Tanaman dirawat selama 60 hari setelah perlakuan dengan penyiangan gulma secara manual dan penyiraman secara berkala (menjaga kelembapan media) untuk mendukung pertumbuhan dan sporulasi CMA. Propagasi CMA dalam penelitian ini tidak berbasis cekaman kekeringan, tetapi pada ketersediaan akar aktif dan suplai fotosintat. Bakal bunga dan buah dipotong untuk memprioritaskan alokasi fotosintat ke biomassa vegetatif. Pemotongan mencegah kompetisi fotosintat antara CMA dan pembentukan bunga atau buah sehingga mendukung pembentukan propagul CMA secara optimal (Proborini dkk., 2020).

Parameter Pengamatan

Pengamatan dilakukan pada akhir penelitian saat tanaman berumur 60 hari setelah diinokulasi. Pengambilan sampel dilakukan secara komposit dari rhizosfer untuk memperoleh sampel representatif dari tiga titik *polybag*, yaitu bagian atas, tengah, dan bawah zona perakaran. Biomassa tanaman dihitung menggunakan penggaris dan timbangan, yang meliputi panjang akar; berat basah dan kering akar; dan berat basah dan kering brangkasan. Propagasi CMA yang meliputi jumlah spora dihitung dengan metode penyaringan basah, persentase kolonisasi CMA pada akar dihitung menggunakan metode Kormanik dan Mc. Graw (1982), melalui tahap *clearing* (KOH 10%, HCl 1%), *staining* (metilen biru 0,05%), dan *destaining*. Perhitungan kolonisasi menggunakan metode *slide*:

$$\% \text{ kolonisasi mikoriza pada akar} = \frac{\text{jumlah akar terinfeksi}}{\text{jumlah akar yang diamati}} \times 100\% \quad (1)$$

Analisis Data

Data kuantitatif dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf signifikansi 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Propagasi CMA dan Morfologi Inokulum

Propagasi Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) pada tanaman inang jagung (*Zea mays*) meningkat setelah 60 hari perlakuan, dengan peningkatan yang lebih signifikan pada perlakuan yang diberikan penambahan nutrisi anorganik (Tabel 1). Jumlah spora yang diperoleh pada penelitian ini memiliki kisaran yang sama dengan penelitian isolasi CMA yang dilaporkan oleh Sukarno dkk. (2023) yaitu 6 – 144 spora/100 gram tanah. Persentase kolonisasi yang diperoleh memiliki persentase yang masih dalam rentang nilai yang dilaporkan oleh Sukiman (2015) yaitu 24 – 86%.

Spora hasil propagasi menunjukkan morfologi khas genus *Glomus* sp., yang digunakan sebagai inokulum utama. Berdasarkan pengamatan mikroskopis (Gambar 1), spora berbentuk bulat hingga hampir bulat (*globose-subglobose*), warna cokelat gelap sampai kehitaman, permukaan halus, dengan ukuran relatif seragam, dinding spora berlapis 2-3 tanpa reaksi terhadap pereaksi Melzer's. Hal ini membedakannya dengan genus lain seperti *Acaulospora*, yang cenderung memiliki warna lebih terang (kuning-oranye) (INVAM, 2023).

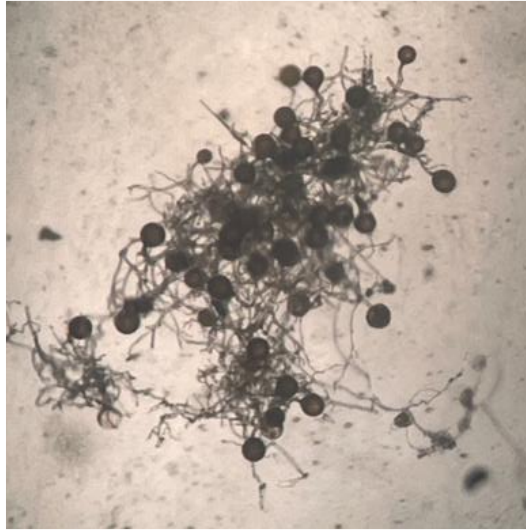
Keberhasilan simbiosis antara CMA dan tanaman inang dapat dinilai dari korelasi antara jumlah spora dan persentase kolonisasi akar. Jumlah spora mencerminkan potensi penyebaran dan viabilitas CMA di rizosfer, sedangkan persentase kolonisasi menunjukkan tingkat infiltrasi akar oleh CMA. Jumlah spora yang lebih tinggi di tanah berkorelasi positif dengan peluang keberhasilan kolonisasi yang lebih tinggi pada akar tanaman (Zhang *et al.*, 2024).

Tabel 1. Interaksi antara *Glomus* sp. dengan Pupuk NK, Hara Johnson, dan Pupuk Kompos terhadap Rata-rata Jumlah Spora CMA, Persentase dan Kriteria Kolonisasi CMA pada Akar

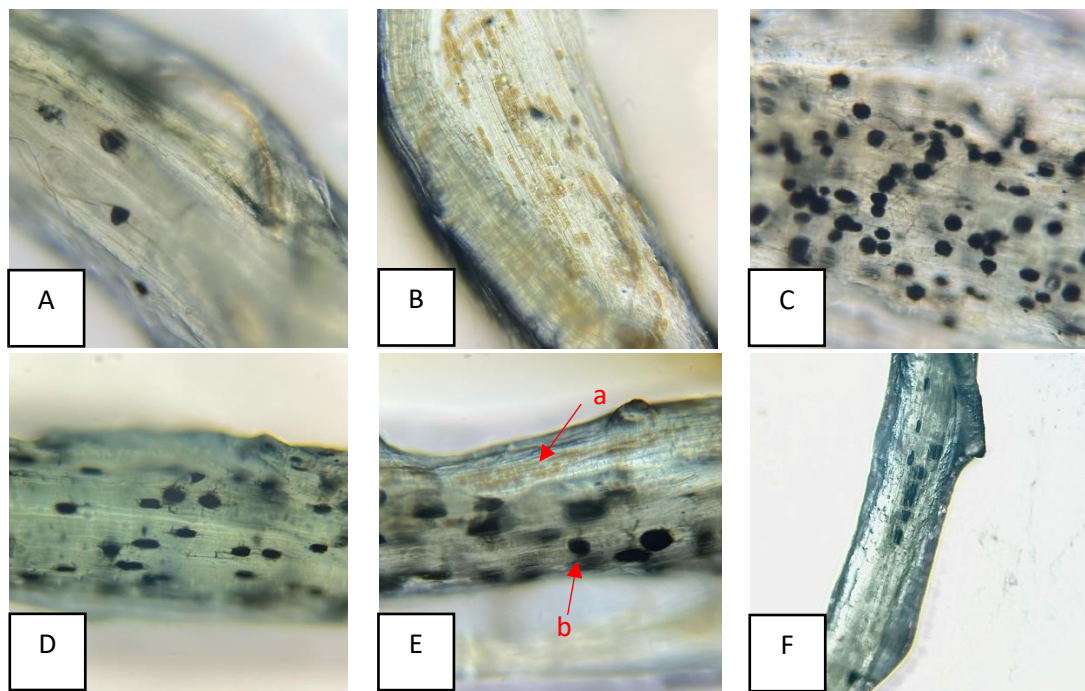
	Perlakuan	Jumlah Spora (Spora per 250 g tanah)	Persentase mikoriza pada Akar (%)
A	Spora <i>Glomus</i> sp.	30,56 ± 4,30 ^a	32,67 ± 4,43 ^a
B	Spora <i>Glomus</i> sp. + 5 g pupuk NK	79,72 ± 9,19 ^d	84,56 ± 4,13 ^d
C	Spora <i>Glomus</i> sp. + 20 mL hara Johnson	65,22 ± 4,33 ^c	68,78 ± 4,73 ^c
D	Spora <i>Glomus</i> sp. + 10 g pupuk kompos	40,61 ± 6,06 ^b	45,78 ± 4,40 ^b

Keterangan:

1. Notasi huruf yang berbeda di belakang angka menunjukkan perbedaan yang nyata antar kolom dan antar baris pada uji Duncan taraf 5% ($P < 0,05$)
2. Angka di belakang tanda ($\pm$) menunjukkan standar deviasi.
3. Kriteria kolonisasi CMA ditentukan berdasarkan klasifikasi Setiadi (1992): 0-5% = sangat rendah, 6-26% = rendah, 26-50% = sedang, 51-75% = tinggi, 75-100% = sangat tinggi.



Gambar 1. Pengamatan dan identifikasi spora (a) dan hifa (b) *Glomus* sp. (10x10) (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023).



Gambar 2. Hasil pengamatan mikroskopik kolonisasi spora pada akar (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023).

A. Mikoriza Vesikula pada Akar Perlakuan A (5x); B. Mikoriza Arbuskula pada Akar Perlakuan B (10x); C. Mikoriza Vesikula Akar Perlakuan B (10x); D. Mikoriza Vesikula pada Akar Perlakuan C (10x); E. Mikoriza Arbuskula (a) dan Vesikula (b) pada Akar Perlakuan C (10x); F. Mikoriza Vesikula pada Akar Perlakuan D (10x).

Keberhasilan kolonisasi pada akar merupakan indikator penting bagi keberlanjutan pertumbuhan dan propagasi Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) melalui hubungan simbiosis mutualisme dengan tanaman inang. Pertumbuhan optimal CMA sangat bergantung pada kondisi tanaman inangnya. Fase pertumbuhan CMA secara umum dibagi menjadi tiga fase yaitu pre-simbiotik, awal simbiotik (*early symbiotic*), dan pematangan (*mature symbiotic*) (Ibrahim dkk., 2022). Simbiosis optimal dapat diamati dari struktur CMA di korteks akar (Gambar 2). Pada akar dengan persentase kolonisasi terendah, hanya ditemukan vesikula tanpa adanya arbuskula. Keberadaan vesikula dalam kondisi ini mengindikasikan bahwa CMA berada dalam fase bertahan hidup atau melindungi diri (Hussain et al., 2021).

Simbiosis aktif Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) dengan tanaman inang ditandai dengan keberadaan dan kepadatan struktur internal pada korteks akar. Struktur utama yang ditemukan adalah vesikula dan arbuskula. Arbuskula berfungsi sebagai situs utama pertukaran nutrisi. CMA mentransfer unsur hara (P, N, dan hara mikro) kepada tanaman, sementara tanaman menyediakan karbon berupa gula atau lipid sebagai sumber energi bagi CMA. Kepadatan arbuskula yang melimpah (seperti pada perlakuan B dan C) membuktikan bahwa simbiosis sedang berlangsung aktif. Namun, arbuskula memiliki siklus hidup yang singkat (4-15 hari) dan cepat mengalami degenerasi setelah fungsi transfer hara selesai karena tingginya aktivitas metabolisme (Ibrahim dkk., 2022; Husna et al., 2022).

Vesikula berfungsi sebagai organ penyimpanan cadangan makanan yang disediakan oleh tanaman dan berperan dalam reproduksi dengan membentuk spora sebagai propagul. Vesikula pada korteks akar juga mengindikasikan bahwa pembentukan arbuskula pernah terjadi sebelumnya. Kehadiran vesikula tanpa arbuskula menunjukkan simbiosis sedang tidak terjadi

secara aktif, melainkan CMA berada dalam fase bertahan hidup (Ibrahim dkk., 2022).

Tingginya aktivitas metabolisme CMA dan pemeliharaan arbuskula berkelanjutan sangat bergantung pada ketersediaan unsur hara yang memadai dari tanaman inang. Penambahan nutrisi pada tanah berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman inang yang optimal dan berpengaruh bagi sumber energi untuk CMA. Kekurangan nutrisi berdampak bagi metabolisme yang menurun sehingga menghambat fotosintesis tanaman dan menyebabkan kegagalan dalam pembentukan serta pemeliharaan arbuskula yang berkelanjutan. Penambahan nutrisi mampu memengaruhi inisiasi hubungan simbiosis dan fluktuasi populasi CMA di rizosfer (Nopita dkk., 2022; Teutscherova et al., 2019; Xiao et al., 2019).

Pengaruh Nutrisi terhadap Asosisasi CMA dan Produktivitas Tanaman

Asosisasi Cendawan Mikoriza (CMA) berpotensi memberikan pertumbuhan tanaman yang optimal (Piliarova et al., 2019). Pada penelitian ini, kombinasi dengan pupuk NK 5 g menunjukkan hasil propagasi tertinggi dan menunjukkan adanya sinergi yang kuat antara *Glomus* sp. dengan pupuk anorganik NK. Pupuk NK bersifat anorganik atau sintetik (*fast-release fertilizer*) dengan kandungan hara makro (N dan K) yang langsung tersedia untuk menunjang metabolisme tanaman. Nutrisi N dan K mendukung pertumbuhan optimal tanaman dan meningkatkan produksi fotosintat (Tang et al., 2022).

Fotosintat yang memadai kemudian dialirkan ke CMA sebagai sumber energi yang pada gilirannya mendorong peningkatan propagasi (jumlah spora) dan kolonisasi CMA (persentase kolonisasi yang tinggi). CMA meningkatkan efisiensi nutrisi tanaman dengan memperluas jangkauan akar untuk menyerap N dan K secara lebih efisien dan mensekresi enzim fosfatase untuk memecah dan mengikat Fosfor (P) yang terikat di tanah, menjadikannya tersedia untuk ditransfer ke

inang. Ketersediaan P penting bagi pertumbuhan inang dan CMA, sehingga menciptakan ketergantungan mutualistik yang mendorong tanaman untuk terus berasosiasi dengan CMA (Mulyadi and L. Jiang, 2023; Yuan *et al.*, 2023). Studi yang dilakukan oleh Triarta dkk. (2019) juga menunjukkan kolonisasi akar tinggi (72,67 – 86,67%).

Kombinasi dengan hara Johnson yang mengandung unsur makro dan mikro juga menghasilkan persentase kolonisasi CMA yang tinggi, meskipun tidak setinggi pupuk NK. Kehadiran struktur arbuskula dan vesikula yang padat diamati, sejalan dengan laporan bahwa nutrisi lengkap dapat menginduksi peningkatan kolonisasi dan produksi CMA. Unsur makro dan mikro dalam hara Johnson penting untuk mendukung berbagai aktivitas metabolisme dan proses penting tanaman (Johnson & Mirza, 2020). Okiope *et al.* (2015) melaporkan bahwa pemanfaatan larutan

nutrisi yang lengkap bagi tanaman menginduksi peningkatan signifikan dalam kolonisasi CMA pada akar (5 hingga 36%) dan produksi spora CMA (12 hingga 23 spora/g tanah).

Pupuk kompos sebagai pupuk organik melepaskan unsur hara secara perlahan. Penggunaannya juga signifikan meningkatkan pertumbuhan CMA dan tanaman jagung, meskipun pengaruhnya cenderung lebih kecil dibandingkan pupuk NK dan hara Johnson. Penambahan kompos dan inokulasi dengan *Glomus* sp. juga dilakukan pada penelitian oleh Tadzki dkk. (2022), kombinasi CMA dan kompos dapat meningkatkan persentase kolonisasi CMA pada akar sebanyak 31,99-61,33%. Secara umum, kolonisasi CMA yang efektif meningkatkan fungsi tanaman yang mendukung pertumbuhan CMA, dan sebaliknya, CMA mendukung pertumbuhan tanaman (Bartucca *et al.*, 2022).

Pengaruh Perlakuan terhadap Pertumbuhan Akar dan Biomassa Brangkas Jagung

Tabel 2. Rata-rata Panjang Akar, Berat Basah Akar dan Berat Kering Akar.Jagung pada Berbagai Perlakuan

Perlakuan	Panjang Akar (cm)	Berat Basah Akar (g)	Berat Kering Akar (g)
A Spora <i>Glomus</i> sp.	64,43 ± 5,83 ^a	16,65 ± 0,83 ^a	1,82 ± 0,41 ^a
B Spora <i>Glomus</i> sp. + 5 g Pupuk NK	90,38 ± 8,57 ^c	33,36 ± 0,94 ^d	3,25 ± 0,61 ^c
C Spora <i>Glomus</i> sp. + 20 mL Hara Johnson	77,41 ± 4,08 ^b	27,02 ± 0,86 ^c	2,65 ± 0,45 ^b
D Spora <i>Glomus</i> sp. + 10 g Pupuk Kompos	68,36 ± 4,09 ^a	22,25 ± 0,75 ^b	1,93 ± 0,51 ^a

Keterangan:

1. Notasi huruf yang sama di belakang angka menunjukkan perbedaan yang tidak nyata antar kolom dan antar baris pada uji Duncan taraf 5% ($P > 0,05$).
2. Angka di belakang tanda ($\pm$) menunjukkan standar deviasi.

Tabel 3. Rata-rata Berat Basah dan Kering Brangkas Jagung pada Berbagai Perlakuan

Perlakuan	Berat Basah Brangkas (g)	Berat Kering Brangkas (g)
A Spora <i>Glomus</i> sp.	125,76 ± 1,53 ^a	29,95 ± 3,40 ^a
B Spora <i>Glomus</i> sp. + 5 g Pupuk NK	227,33 ± 1,50 ^d	44,63 ± 4,18 ^d
C Spora <i>Glomus</i> sp. + 20 mL Hara Johnson	200,30 ± 1,33 ^c	39,68 ± 6,52 ^c
D Spora <i>Glomus</i> sp. + 10 g Pupuk Kompos	170,70 ± 1,27 ^b	33,73 ± 3,73 ^b

Keterangan:

1. Notasi huruf yang sama di belakang angka menunjukkan perbedaan yang tidak nyata antar kolom dan antar baris pada uji Duncan taraf 5% ($P > 0,05$).
2. Angka di belakang tanda ($\pm$) menunjukkan standar deviasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman yang diukur melalui biomassa akar dan brangkasan berbanding lurus dengan pertumbuhan Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) (Tabel 2 dan 3). Terdapat pengaruh yang signifikan dari keberadaan kolonisasi CMA pada akar bagi peningkatan biomassa tanaman. Hal ini didasarkan pada peran CMA dalam ekosistem perakaran (Kurniawan dkk., 2021).

Peningkatan efisiensi penyerapan oleh CMA dengan mengambil alih peran rambut akar dan memperluas sistem akar tanaman, sehingga meningkatkan kapasitas dan area penyerapan air dan nutrisi. Peningkatan ini mendukung perkembangan akar dan pertumbuhan tanaman yang optimal (Wang *et al.*, 2022). Peningkatan signifikan biomassa akar dan brangkasan disebabkan oleh kemampuan CMA untuk meningkatkan efisiensi penyerapan mineral dan hara pada akar, yang merupakan hasil dari interaksi sinergis antara CMA dan unsur hara. Dampak pada biomassa tanaman berdasarkan komponen utama protoplasma, yaitu air yang menyumbang 80-90% dari berat tanaman, sehingga peningkatan berat tanaman menjadi indikasi metabolisme pertumbuhan yang produktif. Akar yang lebih berkembang mampu menyerap lebih banyak nutrisi, mendukung pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. (Piliarova *et al.*, 2019).

Hubungan ini membentuk siklus yang saling menguntungkan, pupuk menyediakan nutrisi, tanaman berfungsi sebagai inang, dan CMA sebagai mitra simbiosis, sehingga saling menjaga keseimbangan pertumbuhan, ketahanan tanaman, dan kelangsungan hidup CMA itu sendiri.

SIMPULAN

Pemupukan mampu meningkatkan jumlah spora dan kolonisasi CMA pada akar tanaman jagung secara signifikan. Peningkatan jumlah spora dan kolonisasi paling optimal ditemukan pada kombinasi

dengan pupuk NK dan hara Johnson. Hasil uji kombinasi CMA *Glomus* sp. dan nutrisi tambahan secara berurutan, yaitu 30,56 spora/250 g tanah dan 32,67% kolonisasi (B); 79,72 spora/250 g tanah dan 84,56% kolonisasi (B); 65,22 spora/250 g tanah dan 68,78% kolonisasi (B); dan 40,61 spora/250 g tanah dan 45,78% kolonisasi (D). Pupuk NK terbukti sebagai perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan kolonisasi CMA pada akar, dengan kriteria derajat kolonisasi sangat tinggi mencapai 84,56%. Perlakuan pupuk NK menghasilkan pertumbuhan akar terbaik, ditunjukkan oleh nilai rata-rata panjang akar 90,38 cm, berat basah akar 33,36 g, dan berat kering akar 3,25 g, yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para dosen pembimbing, penguji, dan Koordinator Program Studi Biologi FMIPA UNUD yang telah meluangkan waktu dan dengan tulus, sabar memberikan arahan, saran, bantuan, dan bimbingan kepada penulis. Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Almarhumah Ibu Prof. Dr. Dra. Meitini Wahyuni Proborini, M.Sc., St., atas arahan serta kesempatan sehingga penelitian dapat dilaksanakan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga, pasangan, dan sahabat atas segala dukungan dan motivasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (BPS). 2020. Luas dan Penyebaran Lahan Kritis Menurut Provinsi (Hektar), 2011-2018. Diakses pada 30 Agustus 2022.
- Bartucca, M.L., Cerri, M., Del Buono, D., and Forni, C. Use of biostimulants as a new approach for the improvement of phytoremediation performance: A Review. *Plants* 2022, 11, 1946.
- Hussain, H. A., Qingwen, Z., Hussain, S., Hongbo, L., Waqqas, A., & Li, Z.

- (2021). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Maize Growth, Root Colonization, and Root Exudates Varied with Inoculum and Application Method. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2, 1577–1590. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00463-7>
- Husna, Tuheteru FD, Albasri, Arif A, Basrudin, Nurdin WR, Arman E, Agustin DI, Saribadu J, Rahmat, Dermawansyah A, Daliana, Lody LP, Deri AS, Safitri I. 2022. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Kalappia celebica*: an endemic and endanger plant species in Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*. 23:5290-5297. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231038>
- Ibrahim, Husna, dan Halim. 2022. Respon Pertumbuhan dan Serapan Hara Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) terhadap Inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskula Lokal. *Journal Berkala Penelitian Agronomi*. 10 (1): 46 -57.
- Indrihastuti, D., K. Murtlaksono, dan B. Tjahjono. 2016. Analisis Lahan Kritis dan Arah Rehabilitasi Lahan dalam Pengembangan wilayah Kabupaten Kendal Jawa Tengah. *Tata Loka*. 18 (3): 142-157.
- Johnson, V. J., and Mirza, A. 2020. Role of Macro and Micronutrients in the Growth and Development of Plants. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 9(11): 576-587. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.071>
- Krisdayani, P.M., M.W. Proborinni, dan E. Kriswiyanti. 2020. Pengaruh Kombinasi Pupuk Hayati Endomikoriza, *Trichoderma* sp., dan Pupuk Kompos terhadap Pertumbuhan Bibit Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen). 8 (3): 400-410.
- Krisnarini, M.V. Rini, and P.B. Timotiwi. 2018. The Growth of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Seedlings with the Application of Different Arbuscular Mycorrhiza Fungi and Various Phosphorous Dosages. *Journal Tropical Soil*. 23 (3): 117-124.
- Kumar, R., Kumawat, N., and Sahu, Y.K. 2017. Role of Biofertilizers in Agriculture. *Popular Kheti*. 5 (4): 63-66.
- Kurniawan, D., Juniarsih, T., & Harahap, F. 2021. Inokulasi Mikoriza pada Media Tanam Campuran Kompos Kotoran Kambing Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*. <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v23i2.54992>.
- Mulyadi and L. Jiang. 2023. Combined Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Nitrogen Fertilizer Alters the Physicochemical Soil Properties, Nitrogen Uptake, and Rice Yield in a Polybag Experiment. *Agriculture*.13(1364): 1-16.
- Mulyani, A. dan F. Agus. 2017. Kebutuhan dan Ketersediaan Lahan Cadangan untuk Mewujudkan Cita-Cita Indonesia sebagai Lumbung Pangan Dunia Tahun 2045. *Analisis Kebijakan Pertanian*. 15 (1): 1-17.
- Nopita, S., Subaedah, S., & Aminah, A. 2023. Pengaruh Berbagai Jenis Media Tanam Terhadap Perkembangbiakan Fungi Mikoriza Arbuskular Dengan Penggunaan Tanaman Inang Kedelai (*Glycine max* L. Merrill). *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 3, 124–131. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v3i3.275>
- Nuridayati dan S. Siti. 2019. Perbanyakan Berbagai Spora Mikoriza Arbuskula Di Berbagai Jenis Tanaman Inang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 6(2): 1375-1385.
- Okiobé, S.T., M. A. Angue, B.P. Bougnom, B. Onana, D. Nwaga. 2015. Improvement of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum production by nutrient solution concentration and soil texture variation. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*. 6(5): 7-20.
- Piliarova, M., K. Ondreickova, M. Hudcovicova, D. Mihalik, and J. Kraic. 2019. Arbuscular Mycorrhizal Fungi –

- Their Life Function in Ecosystem. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. 65 (1): 3–15.
- Proborini, M.W., Darmayasa I.B.G., Yusup D.S., Subagio J. 2020. Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) *Gigaspora* sp. sebagai pupuk hayati pada pembibitan mete (*Anacardium occidentale* L.). *Jurnal Mikologi Indonesia* 4(2), 193-200. doi:10.46638/jmi.v4i2.97
- Setiadi, Y. 1992. *Pemanfaatan Mikoriza dan Kehutanan*. Pusat Antar Universitas Bioteknologi IPB. Bogor.
- Sukarno, N., Rahmawati, C., Listiyowati, S., Fadillah, W. N., & Novera, Y. 2023. Isolasi Cendawan Mikoriza Arbuskula dari Rizosfer Tanaman Berkayu Asal Pulau Bangka dan Karakteristik Struktur Kultur Mikorizanya. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, 2, 39–48. <https://doi.org/10.29244/jsdh.9.2.39-48>
- Sukiman H. 2015. Pemanfaatan mikoriza untuk meningkatkan kualitas bibit pohon dan produktivitas lahan kawasan perkotaan. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010829>
- Tadzki, H.A., M.W. Proborini, dan M.R. Defiani. 2022. Aplikasi Spora Endomikoriza, Kompos dan *Trichoderma* sp. Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Metamorfosa*. 9 (1): 49-59.
- Tang H, Hassan MU, Feng L, Nawaz M, Shah AN, Qari SH, Liu Y., and Miao J. 2022. The Critical Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Improve Drought Tolerance and Nitrogen Use Efficiency in Crops. *Frontiers Plant Science*. 13 (919166): 1-20.
- Teutscherova, N., Vazquez, E., Arango, J., Arevalo, A., Benito, M., Pulleman, M., 2019. Native arbuscular mycorrhizal fungi increase the abundance of ammonia-oxidizing bacteria but suppress nitrous oxide emissions shortly after urea application. *Geoderma*. 338: 493–501.
- The International Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). 2022. International Culture Collection of Vesikular Arbuskular Mycorrhizal Fungi *Acaulospora foveata* (reference accession BR 861.) <https://invam.ku.edu/foveata>
- Triarta, N.A., M.W. Proborini dan J. Hardini. 2019. Peranan FMA *Glomus* sp. Dan Pupuk Anorganik terhadap Produktivitas Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) var. Lokal Bali. *Jurnal Mikologi Indonesia*. 3 (2): 84-94.
- Trisnayanti, N.K., I.N. Rai, I.W. Wiraatmaja. 2021. Perbanyak Spora Endomikoriza Indigenus pada Perkebunan Kakao dengan Pemberian Media Tanam dan Kadar Air Tanah Berbeda. *Plumula*. 9 (2): 91-102.
- Wang L, Chen X, Du Y, Zhang D and Tang Z. 2022. Nutrients Regulate the Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Reproduction of Cherry Tomato. *Frontiers Microbiology*. 13 (843010): 1-13.
- Xiao, D., Che, R., Liu, X., Tan, Y., Yang, R., Zhang, W., He, X., Xu, Z., & Wang, K. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi abundance was sensitive to nitrogen addition but diversity was sensitive to phosphorus addition in karst ecosystems. *Biology and Fertility of Soils*, 5, 457–469.
- Yuan, J., Shi, K., Zhou, X., Wang, L., Xu, C., Zhang, H., Zhu, G., Si, C., Wang, J., and Zhang, Y. 2023. Interactive impact of potassium and arbuscular mycorrhizal fungi on the root morphology and nutrient uptake of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Frontiers in Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1075957>
- Zhang, S., Li, S., Meng, L., Liu, X., Zhang, Y., Zhao, S., & Zhao, H. (2024). Root exudation under maize/soybean intercropping system mediates the arbuscular mycorrhizal fungi diversity and improves the plant growth. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1375194>