

PENGARUH APLIKASI MIKORIZA TERHADAP PERTUMBUHAN SERTA KONSENTRASI HARA MAKRO DAN MIKRO PADA BIBIT KELAPA SAWIT

Fatimah Nur Istiqomah^{1*}, Praditya Rizqi Novanto¹, Sahru Ananda Ramadhan¹, Fahrizal Hazra²,
Marlon Sitanggang³, Rafiko Ferilino³, dan Siswanto³

Abstrak - Mikoriza merupakan pupuk hayati berbasis fungi yang mampu meningkatkan pertumbuhan serta penyerapan unsur hara. Studi ini bertujuan untuk membandingkan keefektifan dua jenis inokulum mikoriza yang berperan dalam memperbaiki pertumbuhan tanaman dan penyerapan nutrisi, serta mengukur jumlah spora dan kolonisasi akar di pembibitan kelapa sawit dengan skala besar. Penelitian ini menerapkan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terbagi ke dalam 3 perlakuan, yaitu: kontrol, mikoriza A dosis 50 g, dan mikoriza B dosis 50 g. Setiap perlakuan diulang dan diacak dalam 3 plot yang terdiri dari 180 bibit, sehingga total terdapat 1.620 bibit. Aplikasi mikoriza dilaksanakan pada saat bibit dipindahkan dari fase *pre nursery* ke fase *main nursery*, kemudian bibit dipelihara hingga umur 12 BST. Tinggi bibit, diameter bonggol, dan jumlah pelepah hijau diukur setiap 3 BST, sedangkan jumlah spora, kolonisasi akar mikoriza, dan konsentrasi hara diamati pada saat bibit umur 12 BST. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa mikoriza A dosis 50 g adalah perlakuan paling baik dalam meningkatkan tinggi bibit, diameter bonggol, jumlah spora, dan kolonisasi mikoriza pada bibit kelapa sawit yang berumur 12 BST. Perlakuan mikoriza A dan B dengan dosis 50 g menunjukkan pengaruh yang signifikan dalam meningkatkan kandungan unsur P pada bibit kelapa sawit berusia 12 BST. Namun, kandungan unsur N, K, Ca, Cu, Mg, dan B tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada seluruh perlakuan.

Kata kunci: kolonisasi akar, jumlah spora, nutrisi, pembibitan, vegetatif

PENDAHULUAN

Pupuk adalah salah satu unsur esensial yang sangat penting dalam upaya memaksimalkan produktivitas kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Pupuk hayati mikoriza terdiri dari mikroorganisme hidup (fungi) dan dapat mendukung budidaya kelapa sawit yang berkelanjutan karena sifatnya yang ramah lingkungan. Meningkatkan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan serapan unsur hara pada bibit kelapa sawit adalah dua manfaat mikoriza. Menurut Istiqomah et al., (2025), dibandingkan dengan kelompok kontrol, 30 gram mikoriza dapat meningkatkan tinggi bibit kelapa sawit dalam fase *pre nursery* sebesar 73,75%.

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Fatimah Nur Istiqomah^{1*} (✉)
PT Anugerah Sarana Hayati
Email: fatimahnuristiqomah2@gmail.com

¹ PT Anugerah Sarana Hayati, Divisi TIC Saraswanti Group, Bogor

² Fakultas Pertanian, IPB University, Bogor

³ PT Graha Cakra Mulia, USTP Group, Kalimantan Tengah

Di sisi lain, penggunaan 40 gram mikoriza bersama dengan pupuk NPK 75% dapat meningkatkan tinggi bibit kelapa sawit sebesar 71,97% dan diameter batang sebesar 54,26%. Berdasarkan penelitian Rini et al., (2021) penggunaan mikoriza dapat meningkatkan penyerapan unsur seperti N, P, K, Ca, Mg, dan B pada bibit yang berusia 9 BST.

Saat ini, tersedia beberapa jenis pupuk hayati mikoriza komersial di pasaran, sehingga diperlukan uji efikasi untuk menilai efektivitasnya terhadap tanaman kelapa sawit di tingkat pembibitan yang luas. Penelitian yang telah dilakukan masih terbatas pada percobaan di *green house* dengan jumlah unit yang kecil. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan efektivitas dua jenis pupuk hayati mikoriza komersial dalam meningkatkan pertumbuhan dan konsentrasi hara pada pembibitan kelapa sawit skala luas di Kalimantan Tengah.

BAHAN DAN METODE

Pelaksanaan percobaan dilakukan di bulan

Agustus 2023 hingga Mei 2024 pada areal pembibitan kelapa sawit Kalimantan Tengah. Alat yang dipakai selama percobaan meliputi cangkul, polybag 30 x 40 cm, cat, kuas, meteran, kaliper, ayakan dengan skala 45 µm, 125 µm, dan 250 µm, cawan petri, pinset, kaca preparat, mikroskop euromax stereoblue dan mikroskop olympus CX-25. Bahan yang dipakai meliputi bibit kelapa sawit umur 3 BST di *pre nursery*, pupuk hayati mikoriza merk A (Endomikoriza dengan media pembawa/carrier zeolit, kerapatan spora 250 spora/10 g, jenis mikoriza *Glomus* spp. dan *Acaulospora* spp.), pupuk hayati mikoriza merk B (Endomikoriza dengan media pembawa/carrier vermiculite dan pasir, kerapatan spora 200 spora/10 g, jenis mikoriza *Glomus* spp., *Gigaspora* spp. dan *Acaulospora* spp, pupuk rock phosphate, serta bahan pewarna akar berupa KOH 10%, asam laktat, gliserin, dan *trypan blue* Hi-cert Himedia.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK), yang terdiri dari tiga perlakuan, yaitu : kontrol, mikoriza A dosis 50 g, dan mikoriza B dosis 50 g. Perlakuan diulang dan diacak dalam 3 plot yang terdiri dari 180 bibit, sehingga total terdapat 1.620 bibit. Apikasi mikoriza dilaksanakan pada saat bibit dipindahkan pada fase *pre nursery* ke fase *main nursery*. Polybag *main nursery* diisi tanah kemudian dibuat lubang tanam yang diberi pupuk *Rock phosphate* 40 g, kemudian diaplikasikan mikoriza sesuai dosis perlakuan, bibit kelapa sawit selanjutnya dipindahkan ke lubang tanam tersebut dan ditutup kembali dengan tanah. Bibit kelapa sawit dipelihara hingga umur 12 bulan dengan penyiraman rutin setiap pagi dan sore, penyiangan gulma, serta pemupukan di *pre nursery* meliputi; 20 g rock phosphate di awal tanam + pupuk NPK 15/15/6/4 dosis 8-16 g/5 liter/minggu dan di *main nursery* meliputi; 40 g *rock phosphate* saat transplanting + NPK 15/15/6/4 dosis 4 g/pokok hingga minggu ke-18 + 10-20 g/pokok Kieserite pada minggu ke-23, 31,39, 47 + NPK 12/12/17/2 dosis 10-35 g/pokok hingga minggu ke-49 Parameter tinggi,

diameter bonggol, dan jumlah pelepah hijau diukur pada umur 6, 9, dan 12 BST. Pengukuran tinggi bibit kelapa sawit diukur dari pangkal batang hingga daun tertinggi, diameter bonggol dinilai menggunakan kaliper dari arah utara – selatan dan barat – timur, kemudian hasilnya dibuat rata-rata, dan jumlah pelepah hijau diukur dengan cara mendata jumlah pelepah hijau. Jumlah spora, jenis spora, kolonisasi akar mikoriza, serta kandungan unsur hara makro dan mikro diukur pada bulan ke-12.

Pengamatan hara daun dilakukan dengan mengambil 7 helai sampel daun pada pelepah ke-3, selanjutnya sampel dibawa ke laboratorium Verdant Bioscience untuk melihat kadar hara pada daun. Pengamatan jumlah spora dan kolonisasi akar dilakukan dengan mengambil sampel tanah pada polybag sebanyak 100 gram dan sampel akar muda kurang lebih 100 cm. Pengamatan jumlah spora mikoriza menggunakan teknik Brundrett et al., (1996) yaitu tanah sampel ditimbang 10 g, kemudian disaring menggunakan alat sieving berukuran 250 µm, 125 µm dan 63 µm. Identifikasi spora mengacu pada buku Nusantara et al., (2012) yaitu identifikasi morfologi berdasarkan warna, ukuran, bentuk dan ciri khusus. Pengamatan kolonisasi akar mengikuti metode Clapp et al., (1996), akar kelapa sawit direndam dalam larutan KOH 10% untuk meluruhkan seluruh organel sel, kemudian dilanjutkan direndam pada larutan H₂O₂ hingga akar berwarna transparan. Akar selanjutnya dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan sisa KOH dan dicelupkan pada larutan HCl 2% supaya menjadi netral. Akar selanjutnya direndam dengan pewarna *trypan blue* selama 6-12 jam hingga terlihat biru di mikroskop. Akar kemudian dipotong dengan ukuran 1 cm sebanyak 10 helai dan diletakan di atas preparat. Selanjutnya ditutup dengan *cover glass* dengan cara menekan *cover glass* di atas kain supaya akar menjadi rata sehingga memudahkan saat identifikasi di mikroskop. Untuk menghitung kolonisasi akar, digunakan rumus berikut :

$$\% \text{ kolonisasi akar} = \frac{\sum \text{bidang pandang yang terkoloni}}{\sum \text{keseluruhan bidang pandang (10 helai)}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Bibit, Diameter Bonggol, dan Jumlah Pelepah Hijau Bibit Kelapa Sawit

Berdasarkan hasil yang terdapat pada Tabel 1,

perlakuan menggunakan mikoriza A dengan dosis 50 g menunjukkan hasil sangat optimal dalam menaikkan tinggi bibit pada usia 12 BST jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan mikoriza B pada dosis yang sama. Mikoriza A dengan dosis 50 g menunjukkan

peningkatan yang signifikan pada diameter bonggol bibit kelapa sawit berumur 12 BST jika dibandingkan dengan kelompok kontrol, tetapi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap perlakuan mikoriza B pada dosis yang sama. Jumlah pelepah hijau pada bibit kelapa sawit juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada usia 9 dan 12 BST pada semua

perlakuan. Hasil studi ini selaras dengan penelitian sebelumnya oleh Lubis & Azhari (2019) yang menyatakan bahwa mikoriza seberat 37.5 g/polybag dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi dan diameter bibit kelapa sawit masing-masing sebesar 10.87% dan 11.05% dibandingkan dengan kontrol, sedangkan jumlah pelepah hijau menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan.

Tabel 1. Tinggi bibit, diameter bonggol, dan jumlah pelepah hijau pada bibit kelapa sawit umur 6, 9, dan 12 bulan setelah tanam (BST).

Perlakuan	Tinggi bibit (cm)			Diameter bonggol (cm)			Jumlah pelepah hijau		
	6 BST	9 BST	12 BST	6 BST	9 BST	12 BST	6 BST	9 BST	12 BST
Kontrol	51.1a	91.5a	157.7b	2.7a	4.2a	7.5b	10.4a	13.6a	17.3a
Mikoriza A dosis 50 g	49.7b	92.3a	169.6a	2.8a	5.0a	8.3a	10ab	13.9a	18.1a
Mikoriza B dosis 50 g	47.5c	89.9b	156.9b	2.3a	5.2a	8.0ab	9.3b	13.6a	18.0a

Keterangan = Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan menurut Uji Rentang Ganda Duncan pada tingkat signifikansi 0,05%. BST = Bulan setelah tanam.

Ketika mikoriza berhasil mengkolonisasi akar tanaman maka pertumbuhan dan daya tahan terhadap penyakit akar akan relatif lebih unggul dibanding tanaman tidak bermikoriza (Waruwu et al., 2024). Dampak ini disebabkan oleh akar yang telah dihuni atau terkolonisasi oleh mikoriza yang tertutupi oleh hifa eksternal (Gambar 2). Hifa eksternal ini berperan dalam meningkatkan penyerapan air dan nutrisi. Jaringan hifa luar mikoriza mampu memperluas ruang untuk menyerap air dan nutrisi penting (Rahmatika &

Kharomah, 2021). Ukuran hifa yang lebih besar dibandingkan dengan rambut akar memungkinkan hifa untuk masuk ke dalam rongga tanah yang sangat kecil. Unsur hara yang sulit dijangkau oleh akar dapat diakses melalui hifa eksternal mikoriza. Hasil serapan hara yang lebih maksimal akan mempengaruhi kualitas pertumbuhan tanaman yang terinfeksi mikoriza (Sapitu et al., 2025). Efek yang ditimbulkan dari terinfeksi akar oleh mikoriza berimplikasi langsung terhadap meningkatnya parameter pertumbuhan (Pohan, 2025).

Konsentrasi Hara Makro dan Mikro Pada Bibit Kelapa Sawit

Tabel 2. Serapan hara makro dan mikro pada bibit kelapa sawit umur 12 BST.

Perlakuan	Unsur hara makro (%)					Unsur hara mikro (ppm)	
	N	P	K	Mg	Ca	Cu	B
Kontrol	2.55 a	0.13 b	1.50 a	0.31 a	0.34 a	3.47 a	15.24 a
Mikoriza A dosis 50 g	2.64 a	0.15 a	1.63 a	0.33 a	0.35 a	4.16 a	15.23 a
Mikoriza B dosis 50 g	2.71 a	0.15 a	1.60 a	0.30 a	0.35 a	3.60 a	15.47 a

Keterangan = Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan menurut Uji Rentang Ganda Duncan pada tingkat signifikansi 0,05%.

Berdasarkan hasil Tabel 2, mikoriza A dan B dosis 50 g secara signifikan mampu meningkatkan konsentrasi unsur hara fosfor (P) dibandingkan perlakuan kontrol pada bibit kelapa sawit usia 12 BST, sedangkan konsentrasi hara N, K, Ca, Cu, Mg, dan B menunjukkan dampak yang tidak signifikan pada semua perlakuan yang diterapkan. Tingkat konsentrasi hara (N), (K), (Ca), dan (Cu) pada perlakuan mikoriza A dan B dosis 50 g menunjukkan kecenderungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kontrol, meskipun perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik. Selain aplikasi mikoriza, penambahan pupuk organik seperti kompos dan pupuk kandang sangat diperlukan guna meningkatkan konsentrasi hara. Menurut Suryanto & Panjaitan (2021), perlakuan kombinasi kompos kotoran sapi 50 kg dan mikoriza 500 g mampu meningkatkan kadar hara (N) 0.26%, kadar hara (P) sebesar 0.03%, dan kadar hara (K) 0.62 % pada tanaman kelapa sawit menghasilkan. Menurut Wahyuni et al. (2020), aplikasi mikoriza 40 g dan kompos 1.2 kg/ bibit mampu meningkatkan kadar hara P pada bibit kelapa sawit.

Kandungan kadar hara daun berkorelasi dengan serapan hara pada bibit. Rini et al. (2021) menyatakan bahwa aplikasi mikoriza baik spesies tunggal maupun campuran spesies, secara statistik mampu meningkatkan penyerapan hara (N), (P), dan (K) lebih baik dibandingkan tanpa mikoriza pada bibit kelapa sawit berumur 9 BST. Selain itu, mikoriza *Glomus* sp. mampu meningkatkan penyerapan nutrisi

(Ca), (Mg), dan (B) secara signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol dan perlakuan mikoriza lainnya. Menurut Hazra et al. (2024), mikoriza dapat meningkatkan penyerapan hara dengan menyediakan dan melepaskan fosfor yang terikat sehingga dapat diserap oleh tanaman. Mikoriza dapat meningkatkan ketersediaan fosfor di tanah Ultisol hingga 38.57%. (Rajmi et al., 2018), pada tanah Latosol sebesar 34.2% (Fahmi et al., 2020), dan tanah Regosol Dramaga sebesar 4.29% (Hazra et al., 2024) dibandingkan dengan kontrol. Menurut Rini et al. (2021), mikoriza dapat memproduksi enzim fosfatase dan menurut Ekowati et al. (2022) enzim tersebut mampu mengkatalis suatu reaksi mineralisasi hidrolitik dengan proses enzimatik melalui pelepasan fosfat, sehingga fosfat tersebut dapat larut sehingga mudah diserap oleh tanaman.

Menurut Kiuk et al. (2024), unsur hara fosfor (P) berperan untuk meningkatkan produksi dan pertumbuhan tanaman. Fosfor juga memiliki pengaruh besar pada pengembangan jaringan meristem, proses pembelahan sel, stimulasi perkembangan akar pada anakan, serta mengendalikan proses pembungaan dan pengolahan buah serta biji. Fosfor memiliki peran penting dalam sirkulasi energi pada tanaman, yang diperoleh dari proses fotosintesis, respirasi, dan metabolisme karbohidrat yang berlangsung dalam bentuk ATP dan ADP. Fosfor juga memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan tanah dan mudah berikatan dengan senyawa lain seperti aluminium dan besi.

Jumlah Spora, Jenis Spora, dan Kolonisasi akar Mikoriza

Tabel 3. Jumlah spora, jenis spora dan kolonisasi akar mikoriza pada bibit kelapa sawit umur 12 BST.

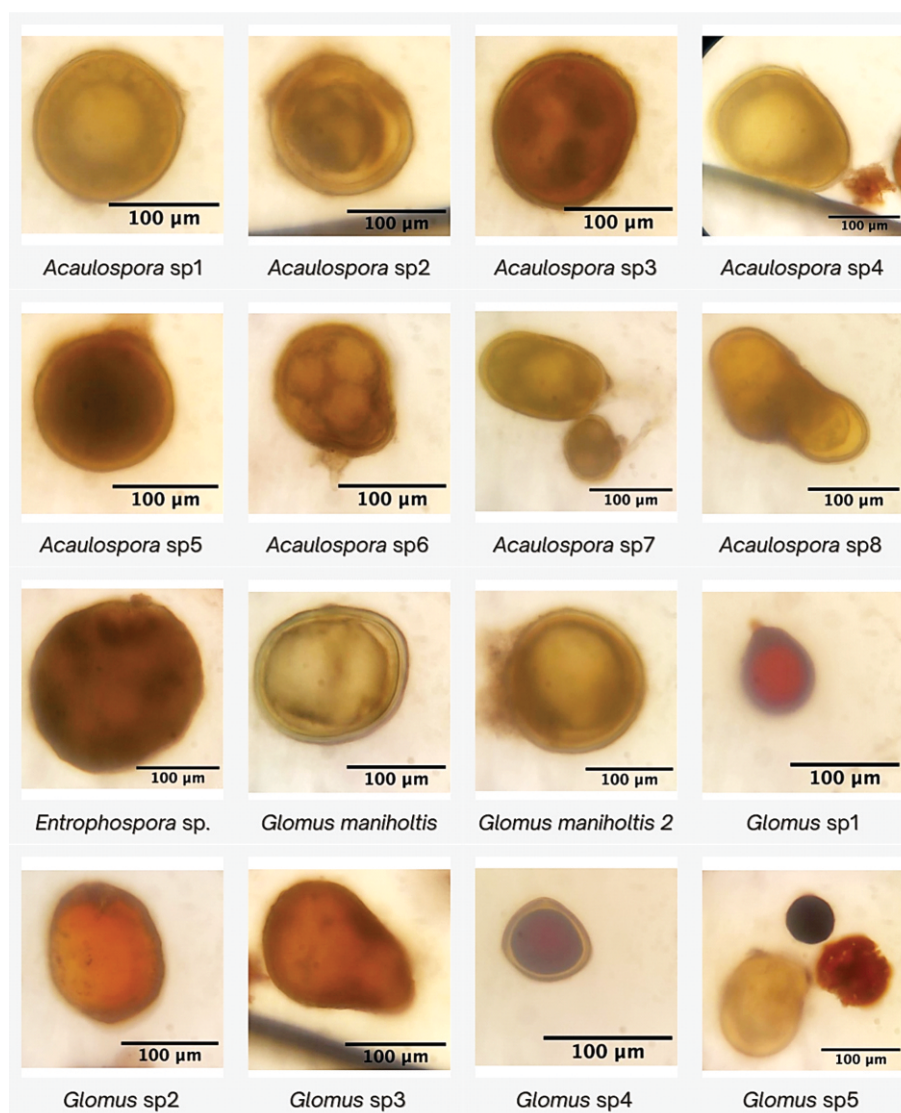
Perlakuan	Jumlah spora/10 g	Jenis spora	Kolonisasi akar mikoriza (%)
Kontrol	83 b	<i>Glomus</i> sp 1, <i>Glomus</i> sp 2, <i>Glomus</i> sp 6.	0 b
Mikoriza A dosis 50 g	864 a	<i>Glomus maniholtis</i> , <i>Glomus</i> sp 1, <i>Glomus</i> sp 2, <i>Glomus</i> sp 3, <i>Acaulospora</i> sp 1, <i>Acaulospora</i> sp 2, <i>Acaulospora</i> sp 3, <i>Acaulospora</i> sp 4, <i>Acaulospora</i> sp 5, <i>Acaulospora</i> sp 6, <i>Acaulospora</i> sp 7, <i>Acaulospora</i> sp 8, <i>Enterospora</i> sp 1	40 a
Mikoriza B dosis 50 g	92 b	<i>Glomus</i> sp 4, <i>Glomus</i> sp 5, <i>Glomus maniholtis</i> , <i>Acaulospora</i> sp 1, <i>Acaulospora</i> sp 2	30 a

Keterangan = Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan menurut Uji Rentang Ganda Duncan pada tingkat signifikansi 0,05%.

Tabel 3 adalah jenis spora endomikoriza pada bibit kelapa sawit umur 12 BST. Mikoriza A dosis 50 g terdapat 864 spora/10 g yang terdiri dari 13 jenis spora, sangat berbeda nyata dengan perlakuan kontrol yaitu 83 spora/10 g dan mikoriza B dosis 50 g yaitu 92 spora/10 g. Pada penelitian ini, perlakuan kontrol juga ditemukan spora mikoriza, hal ini diduga terdapat spora *indigenous* pada tanah yang digunakan karena tanah tersebut tidak dilakukan sterilisasi tanah. Spora *indigenous* merupakan spora asli yang sudah hidup pada ekosistem tanah yang digunakan. Menurut Wijayani et. al (2021), terdapat 42 – 161 spora *indigenous* dari genus *Glomus*, *Gigaspora*, dan *Acaulospora* pada beberapa titik lokasi di kebun

kelapa sawit rakyat.

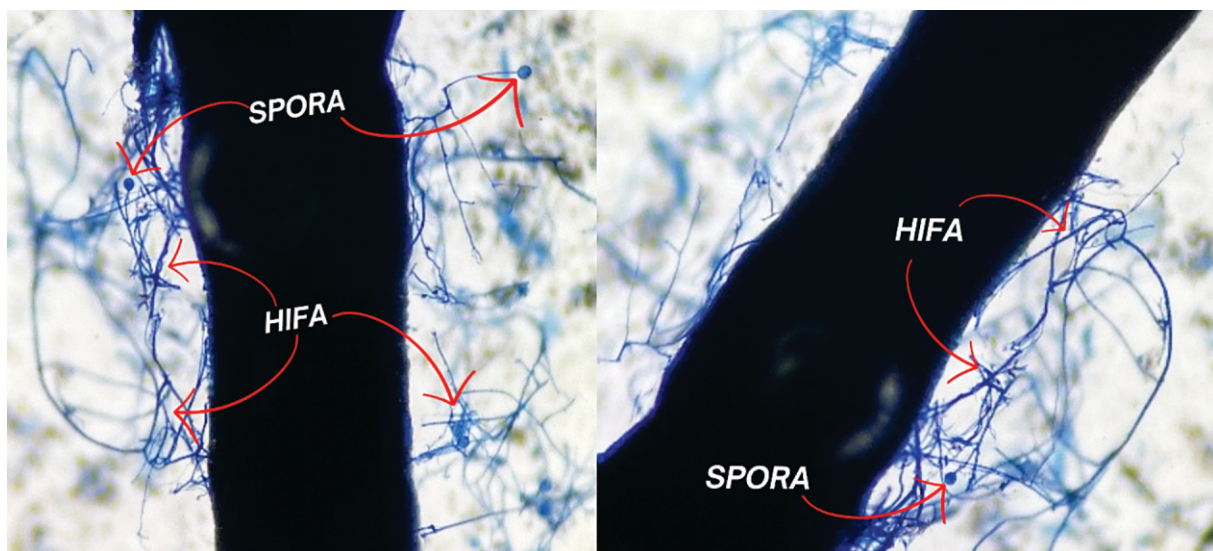
Kolonisasi akar mikoriza A dan mikoriza B dosis 50 g tidak berbeda nyata, keduanya memiliki kolonisasi akar 40% dan 30% yang tergolong sedang dan lebih tinggi nilai kolonisasi akarnya dibandingkan dengan kontrol. Menurut Istiqomah et al., (2025), kolonisasi mikoriza pada bibit kelapa sawit berumur 12 BST setelah aplikasi mikoriza dengan dosis 20 g di kebun pembibitan dan 30 g di kebun utama mencapai 100% dengan total 436 spora/10 g. Sementara itu, kolonisasi akar mikoriza pada tanaman kelapa sawit (TM 1) setelah 12 BST setelah aplikasi mikoriza dengan dosis 200 g per pohon mencapai 63% dengan total 364 spora/10 g.



Gambar 1. Jenis spora mikoriza pada bibit kelapa sawit umur 12 BST Perbesaran 100x

Gambar 1 merupakan foto spora mikoriza pada media tanah dalam bibit kelapa sawit umur 12 BST, genus spora yang dideteksi adalah *Glomus*, *Entrophospora*, dan *Acaulospora*. Menurut Nusantara et al., (2012), ukuran spora *Glomus* rata-rata 50-100 μm , spora berbentuk bulat dan jumlahnya banyak, spora dominan bening, transparan dan berwarna putih/kuning/cokelat, dinding spora berlapis dan tidak bereaksi dengan

larutan Melzer's. Genus *Acaulospora* berukuran 100-200 μm , lapisan dinding bagian dalam bereaksi dengan larutan Melzer's (berubah warna menjadi gelap), warna spora dominan merah atau cokelat, serta terdapat satu cytatix sebagai tanda. Genus *Entrophospora* memiliki ukuran 100-200 μm , bereaksi dengan larutan Melzer's pada lapisan tengah, warna dominan kuning cokelat, dan memiliki dua cytatix sebagai tanda.



Gambar 2. Kolonisasi akar mikoriza pada bibit kelapa sawit umur 12 BST Perbesaran 100 x.

Gambar 2 menunjukkan hifa mikoriza yang mengkolonisasi akar kelapa sawit. Hifa mikoriza memiliki ciri seperti benang halus yang menyelubungi permukaan (hifa eksternal) serta masuk ke dalam bagian endodermis akar (hifa internal). Menurut Khastini et al. (2024), hifa eksternal berperan dalam memperbesar penyerapan air dan nutrisi yang terdapat dalam tanah. Ukuran hifa lebih halus dari rambut akar, hal tersebut mempermudah hifa menembus pori tanah, sehingga unsur hara dan air dapat terserap dengan maksimal. Terdapat struktur mikoriza lain yang tidak ditemukan dalam penelitian ini yaitu vaskula dan arbuskula. Menurut Anggiani et al., (2021), vaskula berfungsi sebagai tempat penyimpanan makanan cadangan di dalam akar, sedangkan arbuskula digunakan sebagai tempat pertukaran unsur hara dan hasil fotosintesis.

KESIMPULAN

Pupuk hayati mikoriza A dengan dosis 50 g lebih efektif dalam meningkatkan tinggi, diameter bonggol, jumlah spora mikoriza, serta kolonisasi akar mikoriza pada bibit kelapa sawit berumur 12 BST, jika dibandingkan dengan kontrol dan mikoriza B pada dosis 50 g. Pupuk hayati mikoriza A dan B dengan dosis 50 g memiliki efektivitas yang setara dalam meningkatkan konsentrasi unsur hara (P) pada bibit kelapa sawit yang berusia 12 BST jika dibandingkan dengan kontrol. Di sisi lain, konsentrasi unsur hara N, K, Ca, Cu, Mg, dan B tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada semua perlakuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggiani, A. A. Y., Proborini, M. W., Muksin, I. K., & Narayani, I. (2021). Aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula Glomus sp. and Trichoderma sp. Sebagai Pupuk Hayati dan Biostimulator of Tmatoes Growth (*Solanum Lycopersicum* L.). *Jurnal Biologi Udayana*, 25(2), 117.
- Brundrett, M. C., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., & Malajczuk, N. (1996). *Working with Mycorrhizal in Forestry and Agriculture*. Canberra (AU): Pirie Printers.
- Clapp, J. P., Sanders, I. R., & Wiemken, A. (1996). The genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural ecosystems—a key to understanding the ecology and functioning of the mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 133(1), 123–134.
- Ekowati, C. N., Shintia, R., Suratman, & Irawan, B. (2022). The Potential of Soil Bacterial Isolates from Liwa Botanical Gardens, West Lampung as Phosphate Solubilizing Bacteria. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman*, 9(1), 83-89, doi: 10.23960/jbekh.v9i1/203.
- Fahmi, N. R., Anas, I., Setiadi, Y., Azis, I., & Citraresmini, A. (2020). Uji kemampuan mikoriza dalam meningkatkan serapan P, efisiensi pupuk dan hasil tanaman sorgum pada anah Latosol menggunakan teknik isotop ³²P. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 16(1), 47-57.
- Hazra, F., Istiqomah, F. N., Fadilla, A. N., & Firdaus, I. D. (2024). Uji infektivitas dan efektivitas fungi mikoriza arbuskula dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara P dan total mikroba pada bibit akasia (*Acacia mangium*). *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 6, 206–214.
- Hazra, F., Istiqomah, F.N, Novanto, P. R, & Fadilla, A. N. (2024). Infectiveness and effectiveness tests of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in increasing the availability of nutrient P, total microbes, and soil respiration in palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) seeds. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 32(2), 71–82. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v32i2.238>
- Istiqomah, F. N., Novanto, P. R., & Janati, R. N. (2025). The Effect of Application of Mycorhyza and Inorganic Fertilizers on The Growth of Palm Seedlings in Pre and Main Nursery. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 33(1), 33–40. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v33i1.273>
- Istiqomah, F. N., Novanto, P. R., & Ramadhan, S. A. (2025). Monitoring kolonisasi akar dan jumlah spora mikoriza pada bibit dan tanaman kelapa sawit menghasilkan (TM) di Sumatera Utara. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 30(2), 98-107.
- Khastini, R. O., Avilia, A., Salsabila, N., Febrianty, R. E., Aisy, R., & Frandista, S. C. (2024). Literature review: peranan acaulospora terhadap penyerapan fosfor pada akar tanaman singkong. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 11(2), 301-308. <https://orcid.org/0000-0002-1007-0059>
- Kiuk, Y., Bako, P. O., & Ishaq, L. F. (2022). Aplikasi fungi mikoriza arbuskula indigeneous dan pupuk fosfor anorganik dalam upaya peningkatan serapan fosfor dan hasil tanaman jagung di lahan berkapur Pulau Timor. *Agrikultura*, 33(1), 25-34.
- Lubis, Y. H., & Azhari, E. L. P. (2019). Pengaruh pemberian pupuk kandang dan mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di pembibitan pre-nursery. *Agrotekma Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 3(2), 85–98.
- Maulidan, K., & Putra, B. K. (2024). Pentingnya unsur hara fosfor untuk pertumbuhan tanaman padi. *Journal of Biopesticides and Agriculture Technology*, 1(2), 47-54.
- Nusantara, A. D., Bertham, Y. H., & Mansur, I. (2012). *Bekerja dengan fungi mikoriza arbuskula*. Bogor: Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology.
- Pohan, V.A. (2025). Pemanfaatan mikoriza dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kakao. *Circle Archive*, 1(7).
- Rahmatika, W., & Kharomah, S. (2021). Efektivitas waktu aplikasi dan dosis mikoriza pada pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis (*Zea mays* L. Saccharata). *Buana Sains*, 21(2), 89-96.

- Rajmi, S. L., Margareta, & Refliati. (2018). Peningkatan ketersediaan P ultisol dengan pemberian fungi mikoriza arbuskular. *Jurnal Agroecotania: Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*, 1(2), 42-48.
- Rini, M. V., Suharjo, R., Wibowo, L., & Irvanto, D. (2021). Seleksi empat jenis fungi mikoriza arbuskular pada bibit kelapa sawit yang ditanam pada tanah histosol. *Menara Perkebunan*, 89(1), 8-16.
- Sapitu, F., Delyani, R., Mutaqin, Z., & Padidi, N. (2025). Respons pertumbuhan bibit tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap pemberian biochar sekam padi dan mikoriza pada tanah Ultisol. *AGRORADIX: Jurnal Ilmu Pertanian*, 8(2), 101-111.
- Suryanto, T., & Panjaitan, H. Q. (2021). Pengaruh kombinasi fungi mikoriza arbuskular dengan kompos kotoran sapi terhadap pertumbuhan dan kadar N, P, K kelapa sawit menghasilkan. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 13(3), 267–272.
- Wahyuni, M., Maharany, R., & Dlm, A. C. H. (2020). Pengaruh aplikasi kompos hijauan *Mucuna bracteata* dan mikoriza terhadap kadar hara P dan pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). *Jurnal Agrium*, 17(2).
- Waruwu, A.B.S., Mendrofa, P.K.T., & Lase, N.K. (2024). Kajian literatur: jamur mikoriza sebagai mitra mikroorganisme yang meningkatkan serapan nutrisi tanaman. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 1(2), 170-176.
- Wijayani, S., Wirianata, H. (2021). Keanekaragaman fungi mikoriza arbuskula pada perkebunan kelapa sawit rakyat. *Agrin: Jurnal Penelitian Pertanian*, 25 (2), 165-177.