

Tingkat infeksi endomikoriza pada perakaran tanaman murbei (*Morus alba* L.)

Nurul Melinda¹, Hafsan^{1*}, Retno Prayudyaningsih²

¹Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

²Balai Penelitian Kehutanan Makassar

*Corresponding author: Jl. HM. Yasin Limpo 36 Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. 92113
E-mail addresses: hafsan.bio@uin-alauddin.ac.id

Kata kunci

Endomikoriza
Glomus
Metode *wet sieving*
Mikoriza
Murbei (*Morus alba* L.)

Keywords

Endomycorrhiza
Glomus
Mulberry (*Morus alba* L.)
Mycorrhiza
Wet sieving method

Diajukan: 5 Juli 2022
Ditinjau: 7 Maret 2023
Diterima: 23 Desember 2023
Diterbitkan: 30 Desember 2023

Cara Sitasi:
N. Melinda, H. Hafsan, R. Prayudyaningsih, "Tingkat infeksi endomikoriza pada perakaran tanaman murbei (*Morus alba* L.)", *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, vol. 3, no. 3, pp. 127-135, 2023.

Abstrak

Murbei (*Morus alba* L.) dikelompokkan ke dalam suku Moraceae dan umumnya digunakan secara meluas pada ragam manfaat. Keberadaan endomikoriza atau jamur yang berasosiasi dengan akar dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman, termasuk murbei. Tujuan dari mini riset ini yaitu untuk mengisolasi mikoriza dan mengetahui kekayaan mikoriza perakaran serta tingkat infeksi mikoriza pada tanaman murbei. Keberadaan mikoriza dideteksi dan diidentifikasi melalui proses isolasi dari tanah perakaran dengan metode *wet sieving* serta pewarnaan akar murbei untuk melihat visualisasi mikoriza yang berada di dalam akar, termasuk keberadaan hifa, arbuskular, spora dan vesikel. Hasil isolasi menunjukkan bahwa pada sampel tanah perakaran murbei terdapat kekayaan spora endomikoriza jenis *Glomus* dan infeksi endomikoriza pada akar murbei mencapai kisaran 83,3-100%. Tanaman dengan tingkat infeksi endomikoriza yang tinggi mengindikasikan adanya hubungan simbiotik yang kuat antara tanaman dan mikoriza. Hal ini memberikan manfaat bagi tanaman, seperti penyerapan nutrisi yang lebih baik, perlindungan terhadap patogen, toleransi terhadap kondisi lingkungan yang buruk, dan pertumbuhan yang lebih baik.

Abstract

Mulberry (*Morus alba* L.) is grouped into the Moraceae family and is generally used widely for a variety of benefits. The presence of endomycorrhiza or fungi associated with roots can help increase plant growth, including mulberry. The aim of this mini research is to isolate mycorrhizae and determine the richness of root mycorrhizae and the level of mycorrhizal infection in mulberry plants. The presence of mycorrhizae is detected and identified through the isolation process from root soil using the wet sieving method and staining mulberry roots to visualize the mycorrhizae within the roots, including the presence of hyphae, arbusculars, spores and vesicles. The isolation results showed that in the mulberry root soil samples there was a richness of *Glomus* type endomycorrhizal spores and endomycorrhizal infection in mulberry roots reached the range of 83.3-100%. Plants with high levels of endomycorrhizal infection indicate a strong symbiotic relationship between plants and mycorrhizae. This provides benefits to plants, such as better nutrient absorption, protection against pathogens, tolerance of adverse environmental conditions, and better growth.

Copyright © 2023. The authors. This is an open access article under the CC BY-SA license

1. Pendahuluan

Murbei (*Morus alba* L.) merupakan tanaman berbunga dari suku Moraceae yang populer dimanfaatkan untuk berbagai kegunaan, baik dalam bidang kesehatan maupun industri pangan selain digunakan sebagai pakan ternak ulat sutra dan tanaman hias. Murbei

sebagai bahan obat-obatan tradisional umumnya digunakan untuk mengobati flu, malaria, hipertensi, asma, diabetes, insomnia, vertigo, anemia, hepatitis dan luka [1]. Pemanfaatan murbei sebagai obat ditunjang oleh kandungan senyawa metabolit yang beragam diantaranya polifenol, flavonoid, antosianin, lektin, oligosakarida, glikosida dan asam lemak tak jenuh pada daun, batang, buah dan akar [2]. Murbei termasuk tanaman yang dapat ditemukan di berbagai belahan dunia yang beriklim sedang hingga subtropis, termasuk di Indonesia dan termasuk tanaman yang mudah beradaptasi dengan pertumbuhan hingga mencapai tinggi 9-10 m [3].

Popularitas *Morus alba* L. yang telah lama digunakan dalam berbagai keperluan, menuntut adanya upaya untuk meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tanaman tersebut. Hubungan simbiotik yang mungkin terbentuk antara tanaman dengan mikroorganisme tanah seperti endomikoriza merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan tanaman, termasuk murbei. Endomikoriza, seperti Fungi Arbuskular Mikoriza (FAM) yang mampu bersimbiosis dengan 80% spesies tanaman [4], [5] telah terbukti memiliki peran penting dalam meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman [6]. Simbiosis antara tanaman dan endomikoriza melibatkan pertukaran mutualistik, di mana tanaman menyediakan karbohidrat hasil fotosintesis untuk fungi, sedangkan fungi meningkatkan akses tanaman terhadap unsur hara dan air yang terdapat di dalam tanah. Selain itu, endomikoriza juga dapat memberikan perlindungan terhadap patogen dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres lingkungan [7] - [14].

Eksplorasi endomikoriza telah banyak diteliti pada berbagai jenis tanaman, seperti pada jagung [15] [16], kacang tanah [17], bambu [18] [19], kakao [20], bawang merah [21], mete [14], cabai [22], dan kedelai [23], namun studi tentang isolasi fungi endomikoriza pada perakaran tanaman murbei masih terbatas. Oleh karena itu, mini riset ini, yang memiliki signifikansi penting memahami hubungan simbiotik antara tanaman murbei dan endomikoriza dilakukan. Hal ini akan membantu dalam memahami aspek fisiologi dan ekologi tanaman ini, selain dapat memberikan informasi awal untuk memperkuat wawasan tentang potensi penggunaan endomikoriza sebagai agen biokontrol untuk melawan patogen yang menginfeksi tanaman murbei, sehingga teknik budidaya tanaman Murbei dapat ditingkatkan untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen [24]. Hasil studi ini juga dapat memberikan informasi yang berharga dalam pengembangan teknik pemuliaan dan manajemen tanaman murbei yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Mini riset ini dilakukan selama bulan Februari 2022 di laboratorium Balai Penerapan Standar Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar. Proses pengambilan sampel tanah dan akar dilakukan di sekitar area perakaran tanaman Murbei yang dibudidayakan pada laboratorium.

Instrumentasi. Alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan sampel tanah dan akar adalah skop, kantong plastik, gunting, spidol dan kamera. Alat yang digunakan di laboratorium adalah gelas ukur, sentrifus, tabung sentrifus, timbangan analitik, saringan spora (40 μm , 50 μm dan 325 μm), cawan petri, pipet tetes, pinset, pengaduk, kaca objek, kaca penutup, mikroskop primostar trinokular, label dan alat tulis menulis. Sedangkan bahan yang digunakan antara lain alkohol 50%, air 1000 ml, tanah rizosfer murbei dan akar murbei, larutan glukosa 60%, KOH 10%, HCl 2%.

Sampling dan preparasi sampel tanah rizosfer dan akar murbei. Sampling diawali dengan penentuan lima titik pengambilan sampel tanah dan akar di area perakaran masing-masing dari tiga tanaman murbei. Tanah diambil dengan kedalaman 10, 15 dan 20

cm pada jarak $\frac{3}{4}$ dari pangkal tajuk yang kemudian dilakukan komposit. Sampel tanah dan akar masing-masing tanaman murbei dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label sesuai kode sampel. Sampel yang diperiksa adalah tiga sampel tanah dari lokasi perakaran tanaman murbei yang berbeda yang masing-masing terdiri atas lima titik sampling yang mengelilingi tanaman tersebut, dan lima sampel organ akar dari ketiga tanaman murbei.

Isolasi mikoriza pada rizosfer murbei. Isolasi mikoriza dari masing-masing sampel tanah perakaran dilakukan dengan menimbang sebanyak 5 gram dan dilarutkan ke dalam 500 ml air, dihomogenkan lalu didiamkan selama 30 detik. Selanjutnya dilakukan penyaringan dengan filter berukuran ($40\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m}$ dan $325\ \mu\text{m}$) secara berurutan dari atas ke bawah. Hasil saringan yang lolos di penyaringan terakhir diambil dan dimasukkan ke tabung sentrifus untuk dilakukan disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 15 menit. Supernatan yang diperoleh dari hasil sentrifus diambil dan ditambahkan dengan larutan glukosa 60% sebanyak 25 ml kemudian disentrifugasi kembali dengan kecepatan 1200 rpm selama 2 menit. Hasil yang diperoleh kemudian dituang ke cawan petri dan diamati serta dilakukan penghitungan jumlah spora [25].

Penentuan persentase kolonisasi mikoriza pada akar murbei. Pengamatan tingkat kolonisasi mikoriza pada akar dilakukan dengan metode pengukuran panjang akar yang terinfeksi. Akar-akar halus yang segar dipilih dan dicuci hingga bersih dan dipotong-potong dengan panjang 3-5 cm, lalu dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan diberi larutan alkohol 70% sebanyak 3 ml selama 24 jam. Selanjutnya alkohol dibuang dan digantikan dengan larutan KOH 10% sebanyak 3 ml lalu dimasukkan ke dalam oven selama 10 menit dengan suhu 100°C diamkan lalu dicuci akar sampai bersih, kemudian direndam kembali dengan larutan HCL 2% selama 10 menit. Akar diberi pewarna tripan blue dan dioven selama 30 menit dengan suhu 100°C . Setelah itu akar dipotong-potong dengan ukuran 1 cm dan susun dalam kaca preparat, setiap bidang pandang diamati berupa hifa, vasikular, dan arbuskular [19][26]. Persentase kolonisasi mikoriza dikategorisasikan sebagai berikut: **Tanpa Infeksi** (0%), artinya pada akar tidak menunjukkan adanya infeksi mikoriza karena tidak ada koloni mikoriza yang terlihat pada akar tanaman murbei; **rendah** (1-10%), diindikasikan hanya sedikit koloni mikoriza yang terlihat pada akar tanaman; **Sedang** (11-50%), sejumlah koloni mikoriza terdapat pada akar tanaman, mencakup lebih dari 10% hingga 50% dari jumlah total akar yang diamati; **Tinggi** (51-90%), sebagian besar akar tanaman terinfeksi oleh koloni mikoriza, mencakup lebih dari 50% hingga 90% dari jumlah total akar yang diamati; dan **Sangat Tinggi** (91-100%), hampir semua akar tanaman terinfeksi oleh koloni Mikoriza, mencakup lebih dari 90% hingga 100% dari jumlah total akar yang diamati [27]–[29].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

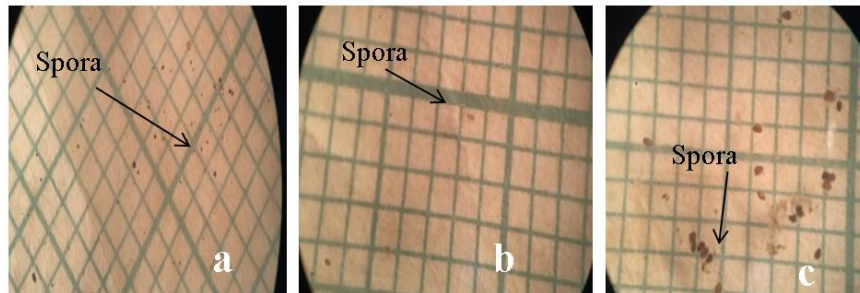
Investigasi keberadaan endomikoriza yang bersimbiosis dengan tanaman murbei (*Morus alba* L.) dilakukan sebagai upaya untuk mengetahui ketersediaan dan kepadatan mikroba menguntungkan tersebut dalam ekosistem akar tanaman murbei. Adapun hasil isolasi endomikoriza dari tanah rizosfer Murbei dan tingkat infeksinya pada akar Murbei diuraikan sebagai berikut:

a. Kekayaan mikoriza dari tanah rizosfer murbei

Kekayaan mikoriza merujuk pada jumlah dan keragaman mikoriza yang ada dalam tanah rizosfer murbei. Untuk mengevaluasi kekayaan mikoriza, dapat dilakukan pengambilan sampel tanah dan isolasi Mikoriza menggunakan metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Jumlah koloni mikoriza yang berhasil diisolasi dan jenis mikoriza yang

diidentifikasi dapat memberikan indikasi tentang kekayaan mikoriza dalam tanah rizosfer murbei. Adapun hasil yang ditemukan pada sampel tanah disajikan pada Tabel 1.

Keberadaan spora FMA pada tanah area rizosfer dideteksi dengan metode *wet sieving* atau penyaringan basah yang bertujuan untuk memisahkan mikoriza dari sampel tanah dengan bantuan air. Hasil pengamatan spora ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spora mikoriza dari tanah rizosfer tanaman murbei (*Morus alba* L.)

Tabel 1. Kekayaan mikoriza pada tanah rizosfer tanaman murbei (*Morus alba* L.)

No Sampel	Bentuk, Ukuran, dan Warna Spora	Jumlah Spora
1	Bulat, Hitam, Kecil (BHK)	57
	Bulat, Coklat, Kecil (BCK)	20
	Bulat, Coklat, Besar (BCB)	4
	Bulat, Biru, Kecil (BBK)	8
	Bulat, Hitam, Besar (BHB)	4
2	Bulat, Coklat, Kecil Berekor (BCK)	1
	Bulat, Coklat, Kecil (BCK)	8
	Oval, Coklat, Besar (OCB)	4
	Bulat, Hitam, Kecil (BHK)	12
	Oval, Coklat, Kecil (OCK)	2
	Bulat, Coklat, Besar (BCB)	1
3	Oval, Coklat, Besar (OCB)	72
	Bulat, coklat, kecil (BCK)	2
	Oval, bulat, panjang (OBP)	5
	Bulat, hitam, Kecil (BHK)	15

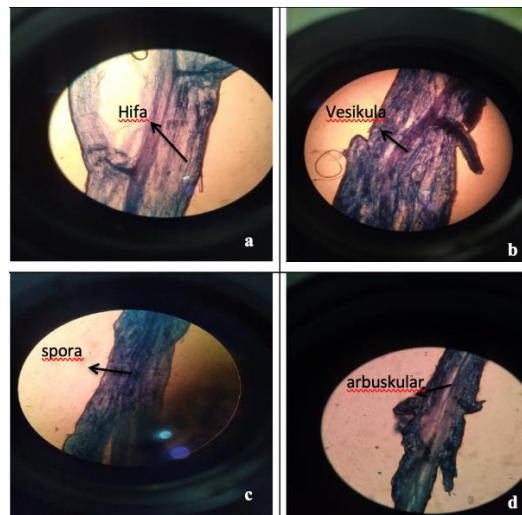
b. Persentase kolonisasi mikoriza dari akar Murbei

Persentase kolonisasi mikoriza merujuk pada proporsi akar tanaman Murbei yang terinfeksi oleh Mikoriza. Tingkat infeksi Mikoriza dapat dihitung dengan metode pewarnaan akar yang memungkinkan visualisasi koloni jamur di dalam akar murbei. Dengan mengukur persentase kolonisasi mikoriza, kita dapat menilai sejauh mana tanaman murbei terlibat dalam simbiosis dengan Mikoriza. Hasil pengukuran yang dilakukan setelah pewarnaan akar disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Persentase infeksi mikoriza arbuskular pada akar tanaman murbei (*Morus alba* L.)

Kode sampel	% Infeksi FMA	Struktur mikoriza yang menginfeksi			
		% Infeksi hifa	% Infeksi vasikula	% Infeksi spora	% Infeksi arbuskular
M1	100%	100%	28,3%	3,3%	3,3%
M2	88,3%	41,6%	-	-	-
M3	98%	100%	11,6%	-	-

Ilustrasi visualisasi infeksi mikoriza arbuskular pada akar tanaman Murbei meliputi hifa, vesikula, spora dan arbuskular dideskripsikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Infeksi hifa (a); infeksi vesikula (b); infeksi spora (c); infeksi arbuskular (d)

3.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, keberadaan spora FMA pada tanah area rizosfer dideteksi dengan metode *wet sieving*. Prinsip dari metode ini adalah bahwa mikoriza cenderung lebih besar dan lebih padat daripada komponen tanah lainnya, sehingga dapat disaring dengan menggunakan ukuran saringan yang tepat [29]. Metode ini memungkinkan isolasi Mikoriza untuk analisis lebih lanjut dan evaluasi tingkat infeksi pada tanaman Murbei. Penyaring spora bertingkat dengan variasi ukuran dari 40 μm , 50 μm dan 325 μm digunakan pada mini riset ini. Spora yang ukurannya 50-12 μm akan tertinggal pada bagian saringan yang terakhir, kemudian spora yang diperoleh akan dikumpulkan pada cawan petri dan diperiksa dengan meletakkannya di atas kertas grafik untuk mempermudah pengamatan dan penghitungan dengan menggunakan Mikroskop pada perbesaran 40x [30].

Berdasarkan pengamatan spora FMA yang telah diisolasi, diperoleh jumlah spora pada ketiga sampel yang melimpah dengan bentuk bulat (B) sampai lonjong atau oval (O), berwarna kuning sampai coklat (C), hitam (H) dengan ukuran kecil (K) dan besar (B). Karakteristik morfologi spora tersebut mengarah pada mikoriza genus *Glomus*. Spora genus *Glomus* memiliki bentuk spora yang bulat atau subsferis, berwarna kuning memiliki sekat dengan dinding setebal 1-3 μm memiliki hifa dengan panjang 5-55 μm [31]. Ada pula yang berbentuk agak lonjong, dengan warna spora juga bervariasi dari kuning, agak kuning sampai hitam, merah, coklat, jingga, biru, dinding spora dikelilingi lemak, dindingnya mulus, dan transparan [32].

Genus *Glomus* memiliki kelimpahan yang tinggi pada semua sampel tanah yang diperiksa karena FMA genus *Glomus* memiliki tingkat penyebaran spora yang luas. Hal tersebut dipengaruhi oleh daya afinitas yang luas terhadap berbagai tanaman inang sehingga dapat berkolonisasi tanaman dari berbagai famili dan memainkan peran penting dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap kondisi lingkungan yang tidak ideal, sehingga memberikan keuntungan adaptasi bagi tanaman [33] [34].

Mikoriza genus *Glomus* merupakan salah satu dari banyak genus jamur endomikoriza yang tergolong dalam kelompok fungi Mikoriza arbuskular, dan merupakan yang paling umum dan penting dalam hubungan simbiotik dengan tanaman. Genus *Glomus*

memiliki tingkat keanekaragaman yang tinggi dalam hal spesies yang ada. Diketahui terdapat ratusan spesies mikoriza arbuskular yang termasuk dalam genus *Glomus*. Keanekaragaman ini memungkinkan adaptasi terhadap berbagai kondisi lingkungan dan kebutuhan tanaman yang berbeda [13]. Daya adaptasi spora genus *Glomus* dipengaruhi oleh perkecambahan spora yang dapat terbentuk cepat, yaitu kurang dari 6 hari. Ukuran spora yang kecil menyebabkan fase hidrasi mudah terjadi hingga enzim yang berperan dalam proses perkecambahan akan beraktivitas dengan cepat pula [35]. Selain itu, kemampuan FMA genus *Glomus* yang dapat hidup dalam berbagai jenis tanah, termasuk tanah dengan keasaman rendah hingga tinggi, serta di daerah dengan suhu ekstrem, menjadi faktor pendukung luasnya sebaran genus tersebut. Dilaporkan bahwa kondisi kering dapat merangsang pembentukan spora yang lebih banyak sebagai respons alami untuk mempertahankan diri dari cekaman kekeringan [36].

Pewarnaan akar murbei dengan *trypan blue* memungkinkan pengamatan mikroskopis yang jelas terhadap koloni mikoriza, hifa, vesikel, dan struktur mikoriza lainnya di dalam jaringan akar tanaman. Pewarna *trypan blue* memberikan kontras antara jaringan akar tanaman dan struktur mikoriza, memungkinkan identifikasi dan visualisasi mikoriza yang berada di dalam akar. Pewarnaan ini membantu dalam analisis kuantitatif termasuk penentuan tingkat infeksi mikoriza pada akar tanaman [19].

Visualisasi kolonisasi infeksi mikoriza menunjukkan bahwa pada semua sampel akar yang diperiksa memiliki persentase infeksi yang berkisar antara 88,3 hingga 100%, sehingga dapat dikategorikan tinggi dan sangat tinggi berdasarkan The Institute of Mycorrhizal Research and Development, USDA Forest Service, Athens, Georgia [37]. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman Murbei yang menjadi obyek penelitian memiliki hubungan simbiotik yang kuat dengan mikoriza. Tingkat infeksi yang tinggi mengindikasikan bahwa sebagian besar akar tanaman telah terkolonisasi oleh mikoriza, khususnya genus *Glomus*.

Proses infeksi spora *Glomus* pada tanah dimulai dari hifa yang telah mencapai umur cukup untuk membentuk spora, yang disebut klamidospora. Hifa yang bercabang juga akan membentuk klamidospora dan organ yang berbentuk bulat dan mengandung spora atau sporokarp. Karakteristik pada genus ini adalah dinding hifa pada permukaan spora yang terlihat jelas [38]. Lebih lanjut, terbentuknya struktur vesikula dan arbuskular menunjukkan kemampuan FMA dalam bersimbiosis dengan tanaman murbei. Struktur tersebut merupakan struktur spesifik yang sangat penting dalam melakukan identifikasi mikoriza pada akar tanaman. Pembentukan arbuskular diawali dengan masuknya hifa internal dari FMA dan tumbuh di antara sel-sel korteks, kemudian menembus dinding sel inang dan berkembang di dalam sel [39]. Sedangkan vesikel berasal dari menggelembungnya hifa internal dari FMA, vesikula ditemukan baik di dalam maupun di luar lapisan korteks parenkim.

Hubungan simbiosis FMA dengan tanaman murbei pada mini riset ini dapat dijelaskan dengan teori tentang manfaat dan peran mikoriza dalam hubungan tanaman-mikoriza. Teori simbiosis mikoriza, yang menjelaskan bahwa hubungan antara tanaman dan mikoriza adalah hubungan mutualisme, di mana kedua belah pihak saling menguntungkan. Tanaman, dalam hal ini murbei menyediakan karbohidrat hasil fotosintesis kepada mikoriza, sementara mikoriza memberikan akses dan peningkatan penyerapan nutrisi bagi tanaman, terutama fosfor. Tingkat infeksi mikoriza yang tinggi menunjukkan bahwa hubungan simbiotik ini berjalan dengan baik, dengan tanaman memberikan karbohidrat yang cukup untuk mempertahankan populasi Mikoriza yang besar [40]–[42].

Efek peningkatan penyerapan nutrisi juga dapat menjelaskan makna hubungan simbiotik antara murbei-mikoriza. Salah satu manfaat utama kolonisasi mikoriza adalah peningkatan penyerapan nutrisi oleh tanaman, terutama fosfor. Mikoriza membentuk

struktur berupa hifa dan arbuskular yang memperluas permukaan penyerapan akar tanaman. Dengan tingkat infeksi yang tinggi, tanaman memiliki akses yang lebih baik ke sumber nutrisi, yang dapat meningkatkan pertumbuhan, kualitas, dan produktivitas tanaman [40]–[42].

Dalam konteks mini riset ini, temuan bahwa semua sampel akar memiliki tingkat infeksi mikoriza yang tinggi menunjukkan adanya hubungan simbiotik yang kuat antara tanaman *Morus alba* (murbei) dan mikoriza. Hal ini menandakan bahwa murbei secara alami memiliki kemampuan untuk membentuk asosiasi simbiotik yang menguntungkan dengan mikoriza, yang berkontribusi pada pertumbuhan, kualitas, dan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, upaya pemeliharaan dan pelestarian populasi mikoriza yang sehat dalam tanah perakaran murbei dapat menjadi strategi penting dalam budidaya tanaman ini.

4. Kesimpulan

Murbei (*Morus alba* L.) memiliki hubungan simbiotik yang kuat dengan mikoriza, khususnya genus *Glomus*. Tingkat infeksi mikoriza yang tinggi pada semua sampel akar yang diperiksa menunjukkan bahwa sebagian besar akar murbei telah terkolonisasi oleh mikoriza. Untuk memahami dengan lebih mendalam tentang hubungan simbiotik antara murbei dan mikoriza, serta potensi aplikasinya dalam budidaya, penelitian lanjutan perlu dilakukan. Fokus penelitian dapat meliputi interaksi mikoriza dengan faktor lingkungan serta pengaruh Mikoriza terhadap toleransi terhadap patogen dan stres lingkungan tertentu.

Daftar Pustaka

- [1] S. Lallo, B. Hardianti, H. Umar, W. Trisurani, A. Wahyuni, and M. Latifah, "Aktivitas anti inflamasi dan penyembuhan luka dari ekstrak kulit batang murbei (*Morus alba* L.)", *J. Farm. Galen. (Galenika J. Pharmacy)*, vol. 6, no. 1, pp. 26–36, 2020, doi: 10.22487/j24428744.2020.v6.i1.14661.
- [2] E. Flaczyk *et al.*, "Chemical characterization and antioxidative properties of polish variety of *Morus alba* L. leaf aqueous extracts from the laboratory and pilot-scale processes", *Agric. Sci.*, vol. 04, no. 05, pp. 141–147, 2013, doi: 10.4236/as.2013.45b026.
- [3] B. Devi, N. Sharma, D. Kumar, and K. Jeet, "*Morus alba* Linn: A phytopharmacological review", *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, vol. 5, no. SUPPL. 2, pp. 14–18, 2013.
- [4] C. Tian, B. Kasiborski, R. Koul, P. J. Lammers, H. Bücking, and Y. Shachar-Hill, "Regulation of the nitrogen transfer pathway in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: Gene characterization and the coordination of expression with nitrogen flux", *Plant Physiol.*, vol. 153, no. 3, pp. 1175–1187, 2010, doi: 10.1104/pp.110.156430.
- [5] Z. K. Siregar, F. Fikrinda, and T. Alvisyahrin, "Pengaruh media pembawa dalam perbanyakan spora fungi mikoriza arbuskular", *J. Mikol. Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 125–133, 2020.
- [6] B. Herlina, S. Sutejo, and J. Laksono, "Peranan inokulasi fungi mikoriza arbuskular (FMA) dan Pupuk fosfat terhadap produktivitas dan kandungan nutrisi *Indigofera zollingeriana*", *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, vol. 12, no. 2, pp. 184–190, 2017, doi: 10.31186/jspi.id.12.2.184-190.
- [7] C. P. Humphreys, P. J. Franks, M. Rees, M. I. Bidartondo, J. R. Leake, and D. J. Beerling, "Mutualistic mycorrhiza-like symbiosis in the most ancient group of land plants", *Nat. Commun.*, vol. 1, no. 103, pp. 1–7, doi: 10.1038/ncomms1105.
- [8] E. Verbruggen, W. F. M. Röling, H. A. Gamper, G. A. Kowalchuk, H. A. Verhoef, and M. G. A. van der Heijden, "Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: Large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils", *New Phytol.*, vol. 186, no. 4, pp. 968–979, 2010, doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03230.x.
- [9] J. M. Plett, "Effector MiSSP7 of the mutualistic fungus *Laccaria bicolor* stabilizes the Populus JAZ6 protein and represses jasmonic acid (JA) responsive genes", *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 22, pp. 8299–8304, 2014, doi: 10.1073/pnas.1322671111.
- [10] Y. Jiang, "Plants transfer lipids to sustain colonization by mutualistic mycorrhizal and parasitic fungi", *Science*, vol. 356, no. 6343, pp. 1172–1173, 2017, doi: 10.1126/science.aam9970.
- [11] M. V. Rini, L. Andriyani, and M. A. S. Arif, "Daya infeksi dan efektivitas fungi mikoriza arbuskular *Gigaspora margarita* pada tanaman jagung dengan masa simpan yang berbeda", *Jurnal Agrotek Tropika*,

- vol. 8, no. 3, pp. 453-459, 2020, doi: 10.23960/jat.v8i3.4331.
- [12] N. C. Johnson, G. W. T. Wilson, M. A. Bowker, J. A. Wilson, and R. M. Miller, "Resource limitation is a driver of local adaptation in mycorrhizal symbioses", *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 107, no. 5, pp. 2093–2098, 2010, doi: 10.1073/pnas.0906710107.
- [13] N. Helber, K. Wippel, N. Sauer, S. Schaarschmidt, B. Hause, and N. Requena, "A Versatile monosaccharide transporter that operates in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus* sp is crucial for the symbiotic relationship with plants", *Plant Cell*, vol. 23, no. 10, pp. 3812–3823, 2011, doi: 10.1105/tpc.111.089813.
- [14] M. W. Proborini, I. B. G. Daymayasa, D. S. Yusup, and J. N. Subagio, "Cendawan mikoriza arbuskula (CMA) *Gigaspora* spp sebagai pupuk hayati pada pembibitan mete (*Anacardium occidentale* L.)", *J. Mikol. Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 193-200, 2020, doi: 10.46638/jmi.v4i2.97.
- [15] F. Fatayatnur, N. Mayani, and T. Arabia, "Pengaruh fungi mikoriza arbuskular spesifik lokal dan kompos terhadap hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Marginal Ultisol", *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, vol. 2, no. 3, pp. 22–29, 2020, doi: 10.17969/jimfp.v2i3.4172.
- [16] W. Harso, I. Isna, and Y. Yusran, "Peningkatan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.) menggunakan jamur mikoriza arbuskular dari jenis yang berbeda pada kondisi cekaman air", *Biocelebes*, vol. 14, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.22487/bioceb.v14i1.15081.
- [17] I. P. Silawibawa, N. W. D. Dulur, and R. Sutriyono, "Diseminasi budidaya kacang tanah dengan inokulasi cendawan mikoriza arbuskular (CMA) dan masukan pupuk urea sebagai *stater* pertumbuhan tanaman di Kecamatan Kediri Lombok Barat", *Jurnal PEPADU*, vol. 1, no. 4, pp. 468–473, 2020, doi: 10.29303/jurnalpepadu.v1i4.137.
- [18] A. Rochim, K. Latifah, and B. Supriyadi, "Characterization of compression and tensile properties of bamboo jawa (*Gigantochloa atter*) and bamboo apus (*Gigantochloa apus*) for application as soil reinforcement", *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 498, no. 012040, pp. 1-9, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/498/1/012040.
- [19] F. Mansir, H. Hafsan, E. Sukmawaty, and M. Masriany, "Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) characterization in rhizosphere of *Gigantochloa atter*", *J. Biotek*, vol. 9, no. 1, pp. 22-32, 2021, doi: 10.24252/jb.v9i1.20984.
- [20] T. Widowati, T. K. Dewi, S. J. R. Lekatompessy, and S. Antonius, "Pengaruh pupuk hayati berbasis jamur mikoriza arbuskular dan rhizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman terhadap pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cocoa* L.)", *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, vol. 8, no. 1, pp. 33-41, 2020, doi: 10.25181/jaip.v8i1.1371.
- [21] M. L. Fitriani, S. Wiyono, and M. S. Sinaga, "Potensi kolonisasi mikoriza arbuskular dan cendawan endofit untuk pengendalian layu fusarium pada bawang merah", *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, vol. 15, no. 6, pp. 228–238, 2020, doi: 10.14692/jfi.15.6.228-238.
- [22] B. Saputri, A. Sofyan, and R. Wahdah, "Pengaruh biochar tandan kosong kelapa sawit dan mikoriza arbuskular terhadap pertumbuhan tanaman cabai hyung (*Capsicum frutescens* L.) pada tanah ultisol", *EnviroScientiae*, vol. 16, no. 2., pp. 168-177, 2020, doi: 10.20527/es.v16i2.9647.
- [23] J. Jeksen, "Pengaruh dosis pupuk mikoriza vesicular arbuskular terhadap sifat kimia tanah pada tanaman kedelai (*Glycine max* (L) Merr)", *AGRICA*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2020, doi: 10.37478/agr.v5i1.441.
- [24] R. G. Linderman, "Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions", in *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*, pp. 45–70, New York: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 1992.
- [25] P. Prihastuti, "Isolasi dan karakterisasi mikoriza vesikular-arbuskular di lahan kering masam, lampung tengah", *Berk. Penelit. Hayati*, vol. 12, no. 2, pp. 99–106, 2007, doi: 10.23869/bphjbr.12.2.20072.
- [26] K. F. Mbaubedari, "Identifikasi cendawan mikorhiza arbuskula (CMA) yang bersosiasi dengan *Pometia pinnata* asal papua di Arboretum Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor", *Beccariana Bot. Res. Bull.*, vol. 8, no. 1, 2010, doi: 10.30862/bbrp.v8i1.254.
- [27] V. Trouvelot, A., Kough, J. L., & Gianinazzi-Pearson, "Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle", *Physiol. Genet. Asp. mycorrhizae*, vol. 16, no. 2, pp. 217–221, 1986.
- [28] J. A. McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L., & Swan, "A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi", *New Phytol.*, vol. 115, no. 3, pp. 495-501, 1990.
- [29] J. W. Gerdemann and T. H. Nicolson, "Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting", *Trans. Br. Mycol. Soc.*, vol. 46, no. 2, pp. 235–244, 1963, doi: 10.1016/S0007-1536(63)80079-0.

- [30] Suharno, R. P. Sancayaningsih, E. S. Soetarto, and R. S. Kasiamdari, "Keberadaan fungi mikoriza arbuskula di Kawasan Tailing Tambang Emas Timika sebagai upaya rehabilitasi lahan ramah lingkungan", *J. People Environ.*, vol. 21, no. 3, pp. 295–303, 2015.
- [31] L. L. Musotto, M. V. Bianchinotti, and A. M. Borromei, "Inferencias paleoecológicas a partir del análisis de microfósiles fúngicos en una turbera pleistoceno-holocena de Tierra del Fuego, Argentina", *Rev. del Mus. Argentino Ciencias Nat. Nueva Ser.*, vol. 15, no. 1, pp. 89–98, 2013.
- [32] D. F. D. Deslita, and D. J. Refani, "Keberadaan fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada famili Fabaceae di Kawasan Deudap Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar Desia", in *Prosiding Nasional Biotik*, pp. 341–346, 2020.
- [33] H. Evelin, "Contribution of *Glomus* intraradices inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*", *Mycorrhiza*, vol. 22, no. 3, pp. 203–217, 2012, doi: 10.1007/s00572-011-0392-0.
- [34] S. Klopffholz, H. Kuhn, and N. Requena, "A Secreted Fungal effector of *Glomus intraradices* Promotes *Symbiotic Biotrophy*", *Curr. Biol.*, vol. 21, no. 14, pp. 1204–1209, 2011, doi: 10.1016/j.cub.2011.06.044.
- [35] L. Istigfaiyah, "Identifikasi dan Karakterisasi Mikoriza Pada Tegakan *Gmelina arborea*", [Skripsi], Makassar: Universitas Hasanuddin, 2018.
- [36] D. I. Bawah, "Eksplorasi Mikoriza Arbuskula (MA) Pada Tanaman Kopi", [Skripsi], Malang: Universitas Brawijaya, 2018.
- [37] B. Yurisman and W. Burhanuddin, "Asosiasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada tanaman bintaro (*Cerbera manghas* Linn) di tanah aluvial", *J. Hutan Lestari*, vol. 3, no. 4, pp. 551–560, 2015.
- [38] H. Hasyiati, Rasma, Nova Wulandari, "Keanekaragaman FMA pada beberapa jenis pohon di Pegunungan Dedap Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar", *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, pp. 496–509, 2018,
- [39] E. Sukmawaty, H. Hafsan, and A. Asriani, "Identifikasi cendawan mikoriza arbuskula dari perakaran tanaman pertanian", *Biog. J. Ilm. Biol.*, vol. 4, no. 1, pp. 16–20, 2016, doi: 10.24252/bio.v4i1.1115.
- [40] P. Bonfante and A. Genre, "Arbuscular mycorrhizal dialogues: Do you speak "plantish" or "fungish"?", *Trends in Plant Science*, vol. 20, no. 3, pp. 150–154, 2015, doi: 10.1016/j.tplants.2014.12.002.
- [41] M. Parniske, "Arbuscular mycorrhiza: The mother of plant root endosymbioses", *Nature Reviews Microbiology*, vol. 6, no. 10, pp. 763–775, 2008, doi: 10.1038/nrmicro1987.
- [42] S. E. Smith and D. J. Read, "*Mycorrhizal Symbiosis 3rd edition*", San Diego: Academic Press, 2008.