

KEANEKARAGAMAN FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA DI HUTAN DATARAN RENDAH DAN HUTAN PANTAI PULAU NUSAKAMBANGAN TIMUR

Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Lowland Forest and Coastal Forest of Eastern Nusakambangan Island

Fadilah Yudi Arkhami¹, Sri Wilarso Budi^{1*}

¹Department of Silviculture, Faculty of Forestry and Environment, IPB University. Jalan Ulin Campus IPB Dramaga Bogor 16680

*Corresponding author: swilarso@apps.ipb.ac.id

(Diterima 4 November 2025 /Disetujui 16 Maret 2026)

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizae represent a form of mutualistic symbiosis between fungi and plant roots. The fungi obtain carbohydrates and energy from the plants, while the plants benefit from nutrients, hormone and water supplied by the fungi. This study aimed to: (1) to compare the diversity of spores, spore density, relative frequency, relative abundance, and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in lowland forests ecosystem and coastal forests ecosystem, and (2) analyze the relationship between spore density and AMF colonization. Soil and root sampling was carried out in three plots within each forest ecosystem. The results showed that the diversity of AMF genera was higher in lowland forests ecosystem than in coastal forests ecosystem. The identified AMF genera included Glomus, Acaulospora, Gigaspora, Scutellospora, Sclerocystis, Diversispora, and Entrophospora, with Glomus and Acaulospora being the dominant genera in both forest ecosystem. The spore density and root colonization of AMF in the lowland forest and coastal forest did not differ significantly. Spore density and root colonization of AMF were higher in coastal forests ecosystem. A positive correlation was found between spore density and AMF colonization in both ecosystem forest.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi, colonization, symbiosis

ABSTRAK

Mikoriza merupakan bentuk simbiosis mutualisme antara fungi dengan akar tumbuhan. Fungi memperoleh karbohidrat dan energi dari tumbuhan, sedangkan tumbuhan mendapatkan unsur hara air serta hormon dari fungi. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) membandingkan keanekaragaman spora, kepadatan spora, frekuensi relatif, kelimpahan relatif, dan kolonisasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada ekosistem hutan dataran rendah dan hutan pantai, (2) menganalisis hubungan kepadatan spora dengan kolonisasi FMA. Pengambilan sampel tanah dan akar dilakukan pada 3 plot di setiap ekosistem hutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keragaman genus FMA di ekosistem hutan dataran rendah lebih tinggi dari hutan pantai. Genus FMA yang ditemukan yaitu *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Diversispora*, dan *Entrophospora*, dengan *Glomus* dan *Acaulospora* sebagai genus dominan. Kepadatan spora dan kolonisasi akar FMA di hutan dataran rendah dan hutan pantai tidak berbeda nyata. Terdapat korelasi positif antara kepadatan spora dan kolonisasi FMA di kedua ekosistem hutan.

Kata kunci: ekosistem hutan, fungi mikoriza arbuskula, kolonisasi, simbiosis

PENDAHULUAN

Mikoriza merupakan bentuk simbiosis mutualisme antara fungi dan akar tumbuhan (Smith dan Read 2008). Mikoriza membantu tumbuhan dalam cekaman kekeringan dan salinitas (Auge 2001), membantu melindungi akar tumbuhan dari serangan patogen akar (Musafa *et al.* 2015), dan berperan dalam meningkatkan serapan unsur hara dan agregasi tanah (Jastrow *et al.* 2007). Kolonisasi mikoriza merupakan indikasi keberhasilan simbiosis antara fungi dan akar tumbuhan. Kolonisasi terjadi ketika akar tumbuhan mengeluarkan eksudat seperti *strigolactone* yang merupakan sinyal kimia untuk membentuk simbiosis dengan fungi. Spora mikoriza di dalam tanah berkecambah dan hifa mendekati perakaran tumbuhan untuk membentuk simbiosis. Berdasarkan cara infeksi terhadap tumbuhan inangnya, mikoriza dibagi menjadi 3 tipe utama, yaitu ektomikoriza, ektendomikoriza, dan endomikoriza yang didalamnya terdapat fungi mikoriza arbuskula (FMA) (Smith dan Read 2008). Kolonisasi FMA ditandai dengan adanya hifa yang menembus sel korteks akar tanaman dan membentuk struktur vesikula dan arbuskula (Smith dan Read 2008).

FMA memiliki kemampuan simbiosis yang sangat luas dengan berbagai jenis tumbuhan, baik pada tanaman pertanian, perkebunan, maupun kehutanan. Berbagai jenis FMA dapat ditemukan di berbagai tipe ekosistem hutan hingga lahan marginal (Budi 2018). Smith dan Read (2008) menyatakan bahwa lebih dari 80% jenis-jenis tanaman berasosiasi dengan FMA. FMA berpotensi memberikan dampak positif terhadap tumbuhan di setiap ekosistem hutan dan lahan terutama di lahan marginal. Hal ini karena FMA dapat berperan sebagai pupuk hayati, pestisida hayati, agen fitoremediasi serta mengatasi berbagai macam cekaman abiotik dan biotik (Budi 2018), sehingga menjadikannya agen biologi yang ramah lingkungan (Octavianti dan Ermavitalini 2014).

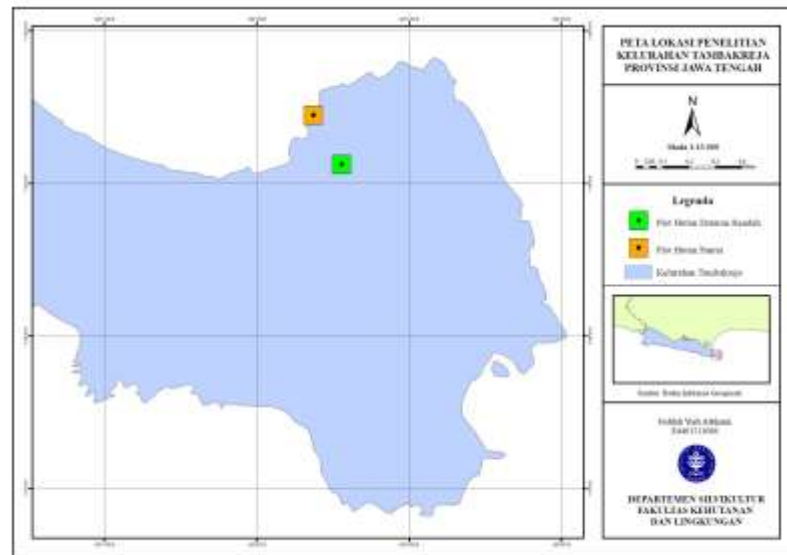
Pulau Nusakambangan merupakan pulau yang terletak di pantai selatan Jawa dalam administrasi pemerintahan wilayah Desa Tambakreja, Kecamatan

Cilacap Selatan, Provinsi Jawa Tengah. Pulau Nusakambangan memiliki luas sekitar 17.000 ha (Partomihardjo *et al.* 2014). Terdapat beberapa ekosistem hutan di Pulau Nusakambangan, seperti hutan dataran rendah dan hutan pantai. Informasi mengenai keragaman FMA di Pulau Nusakambangan Timur hingga saat ini belum tersedia dalam publikasi ilmiah. Informasi ini sangat diperlukan karena di Pulau Nusakambangan juga terdapat tambang kapur seluas 998 ha yang dikelola oleh PT. Solusi Bangun Indonesia. Setiap tahun, perusahaan dan Pemerintah Kabupaten Cilacap melakukan revegetasi lahan pascatambang menggunakan tumbuhan lokal. FMA memiliki peran krusial sebagai pupuk hayati dalam mendukung pemulihan lahan (Febriyantiningrum *et al.* 2021). Penelitian ini dilakukan untuk memberikan kontribusi ilmiah terhadap kajian keanekaragaman FMA dan potensinya di Pulau Nusakambangan Timur serta diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengaplikasiannya pada revegetasi lahan pascatambang kapur di wilayah tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan: (1) membandingkan keanekaragaman spora, kepadatan spora, frekuensi relatif, kelimpahan relatif, dan kolonisasi FMA pada hutan dataran rendah dan hutan pantai Pulau Nusakambangan Timur, serta (2) menganalisis hubungan kepadatan spora dengan kolonisasi FMA.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan di Pulau Nusakambangan Timur, Kelurahan Tambakreja, Kecamatan Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah pada Januari 2025. Pengolahan dan pengamatan sampel penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Mikoriza dan Peningkatan Kualitas Bibit, Laboratorium Entomologi Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor serta Laboratorium Silvikultur SEAMEO BIOTROP (*Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology*) pada Februari 2025 hingga Juli 2025. Peta lokasi pengambilan sampel disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Pengumpulan Data

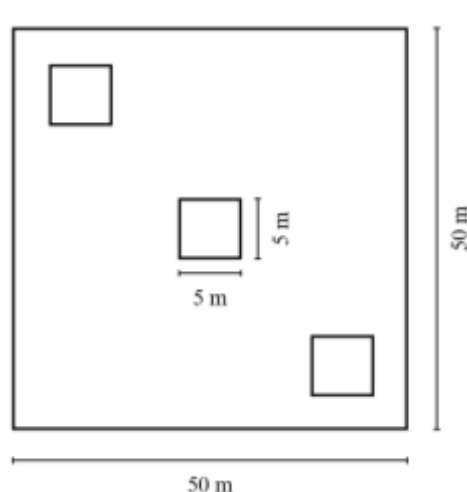
Alat yang digunakan yaitu peta lokasi Pulau Nusakambangan Timur, (*global positioning system* (GPS)), spidol, golok, sekop, plastik, pita ukur, label, tali rafia, gelas ukur, pinset, gunting, sudip, botol jar, cawan petri, kertas saring, *lux meter*, termometer tanah, saringan bertingkat (berukuran 500 μm , 125 μm , dan 63 μm), sentrifuse Gemmy PLC 03, *object glass*, mikroskop stereo, mikroskop binokuler, neraca analitik dengan ketelitian 0,1 mg, *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, perangkat lunak JASP, alat tulis, kamera, optilab, dan laptop. Bahan yang digunakan yaitu tegakan hutan Pulau Nusakambangan Timur, sampel tanah, sampel akar, alkohol 70%, KOH 20%, aquades, HCl 2%, *trypan blue*, larutan glukosa 60%, larutan destaining, larutan Melzer, dan PVLG (*polyvinyl alcohol lactoglycerol*). Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer meliputi suhu tanah, intensitas cahaya, pH tanah, kelembapan, keragaman spora FMA,

kepadatan spora FMA, dan persentase kolonisasi akar oleh FMA. Data sekunder berupa curah hujan dan studi literatur untuk mendukung data primer dan identifikasi jenis FMA.

Prosedur Penelitian

1. Pengambilan Sampel dan Pengukuran Data Klimatis serta Edafis

Pengambilan sampel tanah dilakukan di ekosistem hutan dataran rendah dan hutan pantai Pulau Nusakambangan Timur. Teknik pengambilan sampel tanah dan akar menggunakan metode Sahner *et al.* (2015). Pengambilan sampel dilakukan pada plot persegi 50 m x 50 m sebanyak 3 plot pada setiap lokasi secara acak. Subplot dibuat dengan ukuran 5 m x 5 m sebanyak 3 subplot (Gambar 2). Pengambilan sampel tanah dan akar, pengukuran suhu tanah, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya dilakukan pada 5 titik di dalam subplot. Tumbuhan pada setiap titik pengambilan sampel diidentifikasi jenisnya.



Gambar 2. Plot pengambilan sampel

2. Perhitungan Spora FMA dan Identifikasi Genus Spora FMA

Isolasi spora FMA dilakukan menggunakan teknik penyaringan basah (Genderman dan Nickolson 1963) dan metode sentrifugasi gradien sukrosa (Walker *et al.* 1982). Spora FMA diidentifikasi berdasarkan bentuk morfologi, warna, dan struktur ornamennya (Oehl *et al.* 2011). Identifikasi genus FMA dilakukan dengan bantuan situs web INVAM serta jurnal penelitian terkait.

Spora FMA dianalisis dengan menggunakan empat parameter, yakni kepadatan spora, keragaman spora, frekuensi spora, dan kelimpahan relatif genus spora FMA (Shi *et al.* 2006). Masing-masing parameter dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan spora (spora/g)} = \frac{\text{Jumlah spora}}{\text{Berat tanah (20 g)}}$$

$$\text{Keragaman spora} = \frac{\text{Jumlah genus spora FMA}}{\text{yang ditemukan pada sampel}}$$

$$\text{Frekuensi relatif (\%)} = \frac{\text{Jumlah sampel ditemukan genus}}{\text{Jumlah total sampel}} \times 100\%$$

$$\text{Kelimpahan relatif (\%)} = \frac{\text{Jumlah spora suatu genus}}{\text{Jumlah total spora}} \times 100\%$$

3. Perhitungan Keanekaragaman Spora FMA

Keanekaragaman spora FMA pada masing-masing ekosistem dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') dengan rumus sebagai berikut:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \times \ln p_i)$$

Keterangan:

H' = nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

S = jumlah genus yang ditemukan

p_i = proporsi jumlah spora genus ke- i terhadap total spora, dihitung dengan:

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

n_i = jumlah spora genus ke- i

N = jumlah total spora seluruh genus dalam ekosistem

$\ln$ = logaritma natural (basis $e = 2,718$)

Kategori nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener mengacu pada Odum (1993); Magurran (2004) sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

Nilai H'	Kategori
$H' < 1$	Rendah
$1 \leq H' \leq 3$	Sedang
$H' > 3$	Tinggi

Sumber: Odum (1993); Magurran (2004)

4. Perhitungan Kolonisasi FMA

Pengamatan kolonisasi FMA dilakukan dengan metode Clapp *et al.* (1996). Pengamatan kolonisasi FMA dilakukan dengan mengidentifikasi vesikula, spora, hifa, dan arbuskula. Persentase kolonisasi FMA dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Persentase kolonisasi (\%)} = \frac{\text{Zakar bermikoriza pada bidang pandang}}{\text{Zakar yang diamati (10 potong)}} \times 100\%$$

Klasifikasi kolonisasi FMA mengacu pada O'Connor *et al.* (2001) sebagai berikut:

Tabel 2. Klasifikasi kolonisasi FMA

Persentase Kolonisasi (%)	Kategori
0	Tidak ada kolonisasi
< 10	Kolonisasi rendah
10 – 30	Kolonisasi sedang
> 30	Kolonisasi tinggi

Sumber: O'Connor *et al.* (2001)

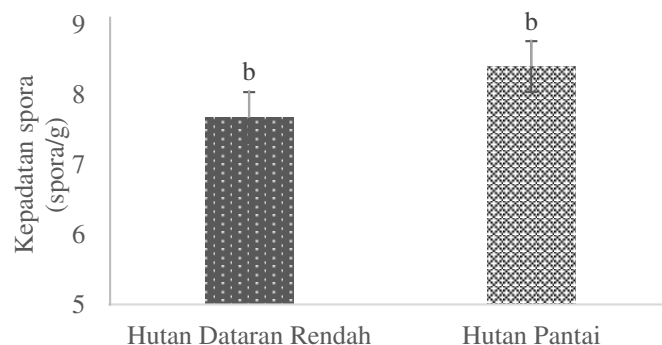
Pengolahan dan Analisis Data

Data dihitung dan dianalisis menggunakan perangkat lunak JASP dan *Microsoft Excel*. (1) Uji Mann-Whitney dengan taraf kepercayaan 95% digunakan untuk menganalisis perbedaan kepadatan spora FMA dan kolonisasi akar antar dua ekosistem, (2) Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener digunakan untuk menghitung nilai keanekaragaman spora FMA, (3) Uji korelasi Spearman dengan taraf kepercayaan 95% untuk mengetahui hubungan kepadatan spora FMA dengan kolonisasi FMA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kepadatan Spora FMA

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan spora FMA pada hutan dataran rendah (8,4 spora/g tanah) dan hutan pantai (7,67 spora/g tanah) tidak berbeda nyata ($p \geq 0,05$) (Gambar 3). Namun, kepadatan spora pada kedua ekosistem tersebut tetap memberikan gambaran mengenai respons spora FMA terhadap kondisi lingkungan yang berbeda.



Gambar 3. Kepadatan spora FMA di dua ekosistem hutan

Hutan pantai cenderung memiliki nilai kepadatan spora yang sedikit lebih rendah dibandingkan hutan dataran rendah. Hutan pantai memiliki karakteristik tanah berpasir dan kering. Kondisi ini mendorong FMA untuk meningkatkan produksi spora sebagai bentuk strategi bertahan hidup (Smith dan Read 2008). Suhu tanah di hutan pantai (28,7 °C) lebih tinggi dibandingkan hutan dataran rendah (26,7 °C). Mathur *et al.* (2021) menyebutkan bahwa semakin tinggi suhu tanah pada suatu lokasi, maka jumlah spora FMA cenderung meningkat. Selain itu, pH tanah di hutan pantai mendekati netral (pH 6,3) sedangkan pH tanah di hutan dataran rendah cenderung asam (pH 5,20). Kondisi pH tanah yang netral dinilai optimum untuk sporulasi FMA (Rajpurohit dan Jaiswal 2022). Variasi curah hujan dan aktivitas fauna tanah kemungkinan memengaruhi kepadatan spora FMA. Penelitian ini juga belum menganalisis sifat kimia tanah secara mendalam sehingga hubungan antara kondisi lingkungan dan sporulasi FMA belum dapat dijelaskan secara komprehensif

Keanekaragaman Spora FMA

Genus spora FMA yang ditemukan pada hutan dataran rendah sebanyak 7 genus, yaitu *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Diversispora*, *Dentiscutata*, dan *Entrophospora*. Sementara itu, pada ekosistem hutan pantai ditemukan 4 genus, yaitu *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, dan *Scutellospora*.

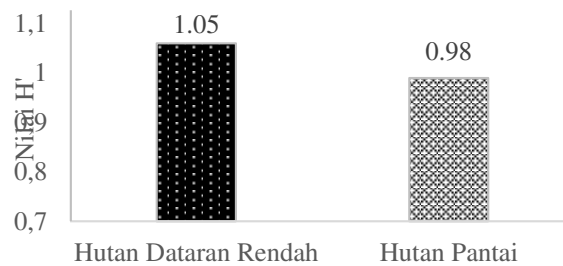
Tabel 4. Genus spora FMA yang ditemukan

Ekosistem	Jumlah genus	Genus
Hutan dataran rendah	7	<i>Glomus</i> , <i>Acaulospora</i> , <i>Gigaspora</i> , <i>Scutellospora</i> , <i>Sclerocystis</i> , <i>Diversispora</i> , <i>Entrophospora</i>
Hutan pantai	4	<i>Glomus</i> , <i>Acaulospora</i> , <i>Gigaspora</i> , <i>Scutellospora</i>

Hasil perhitungan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') menunjukkan bahwa pada hutan dataran rendah sebesar 1,05. Sementara itu,

pada hutan pantai sebesar 0,98 (Gambar 4). Berdasarkan kriteria Magurran (2004), nilai H' pada hutan dataran rendah termasuk dalam kategori keanekaragaman sedang ($1 \leq H' \leq 3$), sedangkan pada hutan pantai termasuk dalam kategori rendah ($H' < 1$). Hal ini menunjukkan bahwa komunitas genus spora FMA pada hutan dataran rendah lebih beragam dibandingkan dengan hutan pantai. Tipe ekosistem memengaruhi komposisi dan distribusi genus spora FMA (Kusuma dan Asmara 2016). Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa keanekaragaman genus spora FMA sangat dipengaruhi oleh faktor edafik dan tipe vegetasi (Yuliana *et al.* 2021).

Keberadaan tiga genus yang hanya ditemukan di hutan dataran rendah (*Sclerocystis*, *Diversispora*, dan *Entrophospora*) dapat dipengaruhi oleh kelembapan tanah (Hidayati *et al.* 2020). Keanekaragaman jenis tumbuhan juga memengaruhi tingkat keanekaragaman genus spora FMA. Penelitian Ontivero *et al.* (2022) menunjukkan bahwa hutan dengan keanekaragaman jenis tumbuhan yang tinggi memiliki keanekaragaman genus spora FMA yang tinggi pula. Selain itu, kondisi lingkungan yang lebih ekstrem pada hutan pantai seperti salinitas tinggi, tekstur tanah berpasir, dan paparan langsung terhadap angin laut dapat menjadi kendala bagi kelangsungan hidup sebagian genus spora FMA (Putri dan Rosliani 2018).



Gambar 4. Nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

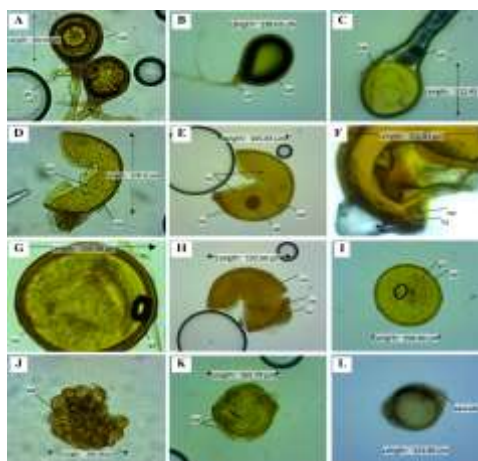
Karakteristik Spora FMA

Pengamatan morfologi spora FMA perbesaran 40x yang ditemukan pada lokasi penelitian disajikan pada Gambar 5A hingga 5L. Spora genus *Glomus* pada Gambar 5A-C, menunjukkan bentuk yang umumnya bulat. Ukuran spora ini berkisar 102–138 μm . *Glomus* memiliki dinding berlapis yang cukup tebal dan memiliki *substanding hyphae* yang terlihat lurus hingga sedikit melebar. *Glomus* sering menunjukkan reaksi merah pada dinding luar saat ditetaskan larutan Melzer (INVAM 2025). Spora genus *Acaulospora* ditunjukkan pada Gambar 5D-E. Spora ini memiliki dinding multilapis dengan permukaan berornamen halus. Lapisan dinding dalam (*inner wall*) tampak cukup jelas. Spora berukuran 165–178 μm dan tidak memiliki *bulbous suspensor* sebagaimana INVAM (2025).

Spora pada Gambar 5F-G menunjukkan ukuran yang lebih besar dari genus lainnya, yaitu 330–351 μm . *Bulbous suspensor* tampak jelas yang mengarah

kuat pada identifikasi *Gigaspora* (INVAM 2025). Spora pada Gambar 5H-I memperlihatkan struktur *germination shield* yang tampak seperti lempeng tipis di bagian dalam spora. Keberadaan struktur ini menjadi indikator kuat bahwa spora tersebut berasal dari genus *Scutellospora* (INVAM 2025). Spora ini berukuran 159–192 μm .

Spora genus *Sclerocystis* ditunjukkan pada Gambar 5J. Spora ini membentuk struktur sporokarp atau tandan spora yang tersusun secara berkelompok (Budi *et al.* 2024). Spora ini berukuran sekitar 184 μm . Spora pada Gambar 5K memiliki dinding luar yang lebih tipis dibandingkan *Glomus*. Struktur dindingnya tunggal dan tidak ditemukan *substanding hyphae*. Spora ini berukuran sekitar 165 μm . Ciri-ciri ini mengarah pada identifikasi *Diversispora*. Spora *Entrophospora* pada Gambar 5L tampak terbentuk di dalam kantung (*saccule*). Dinding spora terlihat tebal dan agak keruh. Spora ini berukuran sekitar 123 μm . Keberadaan spora di dalam *sporiferous saccule* menjadi ciri khas genus ini



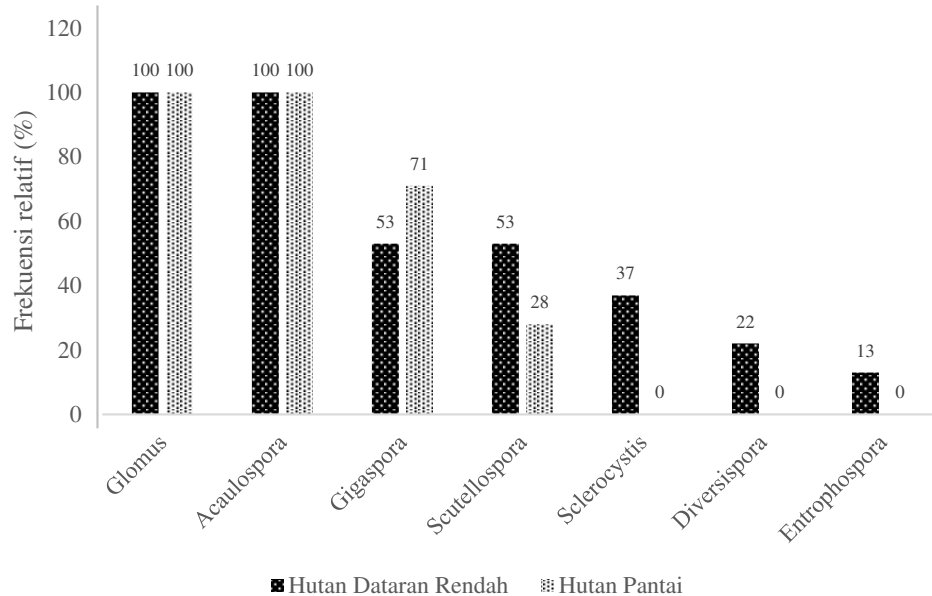
Gambar 5. Morfologi spora FMA perbesaran 40x. *Glomus* (A-C), *Acaulospora* (D-E), *Gigaspora* (F-G), *Scutellospora* (H-I), *Sclerocystis* (J), *Diversispora* (J), *Entrophospora* (L), *spore wall* (sw), *inner wall* (iw), *substanding hyphae* (sh), *ornamen spora* (os), *germination shield* (gs), *bulbous suspensor* (bs), *sporoplas* (sp)

Frekuensi Relatif dan Kelimpahan Relatif Genus FMA

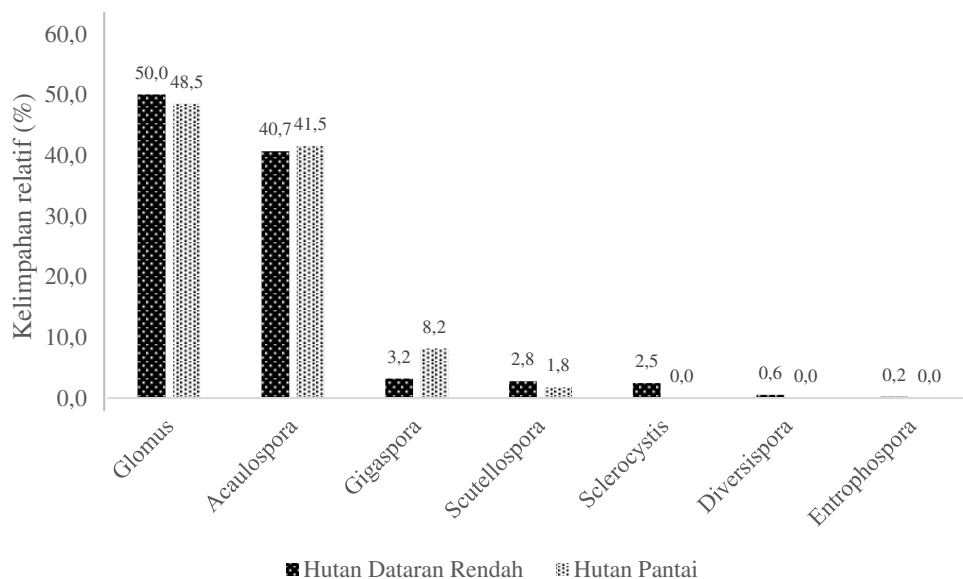
Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Glomus* dan *Acaulospora* merupakan genus dominan dengan frekuensi relatif dan kelimpahan relatif tertinggi (Gambar 6 dan Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa kedua genus ini merupakan genus yang dominan dan memiliki toleransi terhadap berbagai kondisi lingkungan (Yang *et al.* 2020).

Genus *Gigaspora* lebih adaptif pada hutan pantai dengan frekuensi relatif 71% dan kelimpahan relatif

8,2% dibandingkan hutan dataran rendah dengan frekuensi relatif 53% dan kelimpahan relatif 3,2%. Hal ini dapat dikaitkan dengan fisiologis *Gigaspora* yang cenderung lebih adaptif terhadap kondisi tanah berpasir (Liu *et al.* 2021). Sebaliknya, genus *Scutellospora* lebih banyak ditemukan di hutan dataran rendah (53%) dibandingkan hutan pantai (28%). Genus *Sclerocystis*, *Diversispora*, dan *Entrophospora* hanya ditemukan di hutan dataran rendah.



Gambar 6. Frekuensi relatif genus FMA



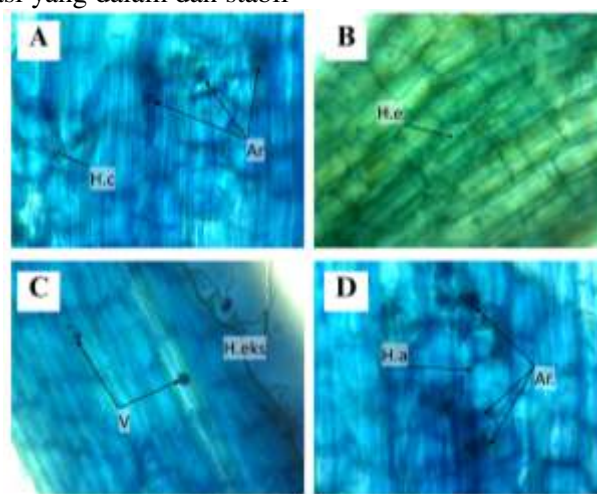
Gambar 7. Kelimpahan relatif genus FMA

Kolonisasi FMA

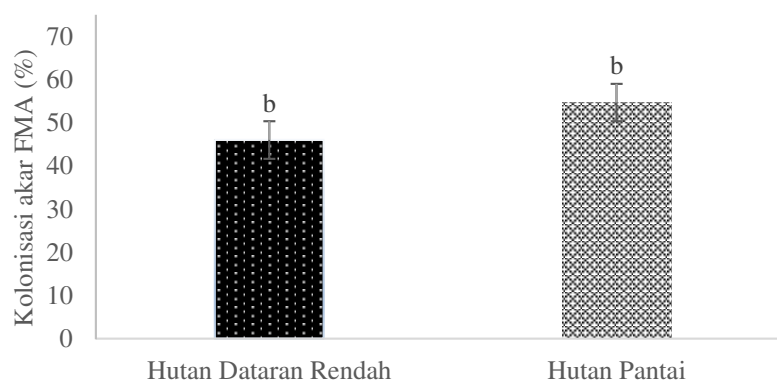
Kolonisasi FMA merupakan salah satu indikator simbiosis antara fungi dan akar tumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan kolonisasi FMA yang ditandai dengan adanya hifa, arbuskula, dan vesikula di dalam sel korteks akar. Arbuskula merupakan struktur bercabang halus yang berfungsi sebagai tempat pertukaran nutrisi (Brundrett *et al.* 1996). Struktur lain yang teramati adalah vesikula. Vesikula berbentuk bulat atau oval yang berfungsi sebagai penyimpanan nutrisi (Smith dan Read 2008). Selain itu, *hyphae coils* juga ditemukan dalam penelitian ini. *Hyphae coils* merupakan gulungan hifa yang membentuk spiral di dalam sel akar. Struktur ini merupakan indikasi kolonisasi yang dalam dan stabil

(Brundrett *et al.* 1996). Struktur kolonisasi FMA yang ditemukan di lokasi penelitian disajikan pada Gambar 8 A-D.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kolonisasi FMA pada hutan dataran rendah (46%) dan hutan pantai (54,67%) tidak berbeda nyata ($p \geq 0,05$) (Gambar 9). Jenis tumbuhan yang ditemukan pada hutan dataran rendah sebanyak 17 jenis, dengan 16 jenis di antaranya terkolonisasi FMA. Sementara itu, jenis tumbuhan yang ditemukan pada hutan pantai sebanyak 8 jenis yang seluruhnya terkolonisasi FMA. Jenis-jenis tumbuhan yang terkolonisasi FMA di kedua ekosistem tersebut disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.



Gambar 8. Struktur kolonisasi FMA perbesaran 40x. (A-B) Struktur kolonisasi di hutan dataran rendah. (C-D) Struktur kolonisasi di hutan pantai. Hifa eksternal (H.eks), hifa interseluler (H.e), hifa intraseluler (H.a), *hyphae coils* (H.c), vesikula (V), arbuskula (Ar)



b = tidak signifikan pada taraf 5%

Gambar 9. Kolonisasi FMA di dua ekosistem hutan

Tabel 5. Jenis-jenis tumbuhan yang terkolonisasi FMA di hutan dataran rendah

No.	Jenis Tanaman	Nama Ilmiah	Jumlah Individu	Rata-rata Kolonisasi Akar (%)	Kategori
1	Kemiri	<i>Aleurites moluccanus</i>	1	20,00	Sedang
2	Pulai	<i>Alstonia scholaris</i>	4	47,50	Tinggi
3	Langkap	<i>Arenga obtusifolia</i>	7	31,43	Tinggi
4	Terap	<i>Artocarpus elastica</i>	1	90,00	Tinggi
5	Rotan	<i>Calamus sp.</i>	9	56,67	Tinggi
6	Johar	<i>Cassia siamea</i>	1	50,00	Tinggi
7	Kapuk	<i>Ceiba pentandra</i>	2	65,00	Tinggi
8	Simpur	<i>Dillenia obovata</i>	2	65,00	Tinggi
9	Palahlar	<i>Dipterocarpus littoralis</i>	5	32,00	Tinggi
10	Suren	<i>Dysoxylum gaudichaudianum</i>	1	70,00	Tinggi
11	Medang	<i>Litsea sp.</i>	3	30,00	Tinggi
12	Mangga	<i>Mangifera indica</i>	1	60,00	Tinggi
13	Nyatoh	<i>Palaquium sp.</i>	2	30,00	Sedang
14	Sirih hutan	<i>Piper aduncum</i>	2	55,00	Tinggi
15	Kosambi	<i>Schleichera oleosa</i>	1	50,00	Tinggi
16	Tampenis	<i>Streblus elongatus</i>	2	60,00	Tinggi

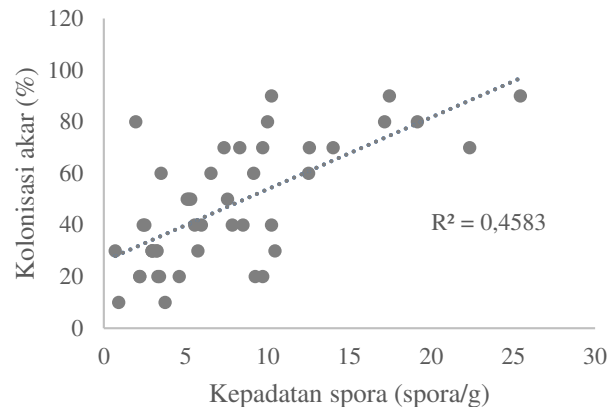
Tabel 6. Jenis-jenis tumbuhan yang terkolonisasi FMA di hutan pantai

No.	Jenis Tanaman	Nama Ilmiah	Jumlah Individu	Rata-rata Kolonisasi Akar (%)	Kategori
1	Butun	<i>Barringtonia asiatica</i>	6	48,33	Tinggi
2	Cemara laut	<i>Casuarina equisetifolia</i>	5	58,00	Tinggi
3	Kelapa	<i>Cocos nucifera</i>	3	66,67	Tinggi
4	Waru laut	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	4	80,00	Tinggi
5	Tapak kuda	<i>Ipomoea pes-caprae.</i>	4	47,50	Tinggi
6	Pandan	<i>Pandanus tectorius</i>	13	50,77	Tinggi
7	Gagabusan	<i>Scaevola taccada</i>	4	52,50	Tinggi
8	Ketapang	<i>Terminalia catappa</i>	6	50,00	Tinggi

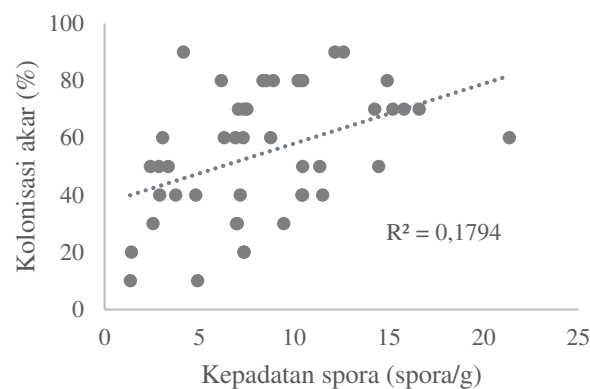
Jenis-jenis tumbuhan di hutan dataran rendah terkolonisasi FMA dari sedang (10%-30%) hingga tinggi (>30%). Sementara itu, seluruh jenis tumbuhan di hutan pantai terkolonisasi tinggi (>30%). Tingginya kolonisasi disebabkan oleh jenis tumbuhan inang yang memiliki kecocokan dalam membentuk simbiosis dengan FMA. Hal ini menunjukkan bahwa FMA bersimbiosis dengan tumbuhan inang meskipun hutan pantai memiliki tanah yang cenderung kering dan berpasir. Kolonisasi FMA dalam kondisi lingkungan yang stres cenderung meningkat sebagai strategi adaptasi fisiologis tanaman (Suryaningsih *et al.* 2021). Hal ini didukung oleh kemampuan FMA dalam meningkatkan ketahanan tumbuhan terhadap kekeringan dan salinitas (Utami dan Sari 2017).

Hubungan Kepadatan Spora FMA dengan Kolonisasi FMA

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan positif antara kepadatan spora FMA dan kolonisasi FMA pada kedua ekosistem (Gambar 10 dan Gambar 11). Kepadatan spora FMA memiliki pengaruh positif terhadap kolonisasi FMA pada hutan dataran rendah ($R^2 = 0,4583$). Hal ini mengindikasikan bahwa 45,83% variasi kolonisasi FMA dapat dijelaskan oleh kepadatan spora FMA. Kepadatan spora FMA yang tinggi akan memperbesar peluang terjadinya kolonisasi FMA karena spora berfungsi sebagai titik awal pertumbuhan hifa (Nasrullah *et al.* 2022). Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Sutanto *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa peningkatan kepadatan spora FMA dapat meningkatkan persentase kolonisasi FMA.



Gambar 10. Hubungan kepadatan spora FMA dengan kolonisasi FMA di hutan dataran rendah



Gambar 11. Hubungan kepadatan spora FMA dengan kolonisasi FMA di hutan pantai

Sementara itu, pada hutan pantai nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,1794. Hal ini menunjukkan bahwa hanya 17,94% variasi kolonisasi FMA yang dapat dijelaskan oleh kepadatan spora FMA. Dengan demikian, 82,06% variasi kolonisasi FMA dipengaruhi oleh faktor lain. Temuan ini menunjukkan bahwa hubungan antara kepadatan spora FMA dan kolonisasi FMA pada hutan pantai tidak bersifat linear sederhana. Keberhasilan kolonisasi FMA tidak hanya bergantung pada banyaknya spora. Beberapa faktor lain, seperti jenis tanaman inang, kecocokan fisiologis antara fungi dan akar tumbuhan, serta kondisi lingkungan tanah seperti pH, suhu, dan kelembapan juga turut memengaruhi (Hastuti *et al.* 2021). Selain itu, tingkat stres fisiologis tumbuhan akibat kekeringan atau rendahnya ketersediaan dapat meningkatkan ketergantungan tumbuhan pada FMA. Kondisi ini dapat meningkatkan persentase kolonisasi meskipun kepadatan spora relatif rendah. Hubungan antara kepadatan spora FMA dan kolonisasi FMA bersifat kompleks, dipengaruhi oleh interaksi antara faktor biotik, abiotik, dan respons tumbuhan inang.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Keragaman genus FMA di hutan dataran rendah lebih tinggi secara signifikan dibandingkan hutan pantai. Genus FMA yang ditemukan pada kedua lokasi pengamatan adalah *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Diversispora*, dan *Entrophospora*. Genus *Glomus* dan *Acaulospora* merupakan jenis yang paling dominan dengan frekuensi relatif sebesar 100% pada kedua lokasi. Kepadatan spora dan kolonisasi akar FMA di hutan dataran rendah dan hutan pantai tidak berbeda nyata. Hubungan antara kepadatan spora dan tingkat kolonisasi akar FMA menunjukkan korelasi positif.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar dilakukan identifikasi lebih lanjut terhadap spesies FMA menggunakan pendekatan molekuler untuk memperkuat hasil pengamatan morfologi.

Keanekaragaman dan potensi FMA yang ditemukan dapat diuji lebih lanjut keefektifannya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman di lahan pascatambang kapur.

DAFTAR PUSTAKA

- Auge RM. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 11(1):35-42.
- Brundrett M, Bougher N, Dell B, Grove T, Malajczuk N. 1996. *Working With Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*. Canberra: ACIAR.
- Budi SW. 2018. Penyebaran mikoriza arbuskula di ekosistem alam dan potensinya bagi tanaman dalam menghadapi cekalam lingkungan. Dalam Bioprospek Mikroba Hutan Tropis Indonesia Budi SW, Hidayat A danTurjaman M (Eds.). IPB Press Bogor. ISBN. 978-602-440-241-9.
- Budi SW, Dewi AP. 2016. Keanekaragaman fungi mikoriza arbuskula di bawah tanaman jabon (*Anthocephalus cadamba*) di Madiun, Jawa Timur. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 7(3):146-152.
- Clapp JP, Fitter AH, Merryweather JM. 1996. *Arbuscular mycorrhiza* Di dalam Hall GS, Lassere P, hawwksworth DL, (editor). *Methods for the Examination of 26 Organismal Diversity in Soil and Sediments*. Wallingford : CAB International.
- Febriyantiningrum K, Oktafitria D, Nurfitria N, Jadid N, Hidayati D. 2021. potensi mikoriza vesikular arbuskular (MVA) sebagai biofertilizer pada tanaman jagung (*Zea mays*). *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*. 6(1):25–31. Doi: <https://doi.org/10.24002/biota.v6i1.4131>
- Gerdermann JW, Nickolson TH, 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sievingand decanting. *Transaction British Mycological Society* 46:235-244.
- Hastuti RD, Nugroho K, Putri AN. 2021. Faktor lingkungan yang memengaruhi kolonisasi mikoriza pada tanaman hutan tropis. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 18(3): 231–240.
- Hidayati N, Supriyadi, Rachmady D. 2020. Keanekaragaman mikoriza arbuskula pada berbagai tipe lahan hutan tropis. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*. 8(1):33–40.
- INVAM. 2025. *International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. West Virginia University [internet]. [diacu 2025 Juli 11]. Tersedia dari: <https://invam.wvu.edu>.
- Jastrow DJ, Amonette JE, Bailey VL. 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climate Change*. 80(1):5-23. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9178-3>
- Kusuma WA, Asmara IY. 2016. Distribusi genus fungi mikoriza pada tanah-tanah marginal di Indonesia. *Jurnal Biologi Tropis*. 14(2):101–108.
- Liu Y, Lin X, Zhang W, Zhang Y. 2021. Soil texture and organic matter influence AMF community composition along vegetation gradients. *Forest Ecology and Management*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118949>.
- Magurran AE. 2004. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton: Princeton University Press.
- Mathur S, Agnihotri R, Sharma MP, Reddy VR, Jajoo A. 2021. Effect of high-temperature stress on plant physiological traits and mycorrhizal symbiosis in maize plants. *Journal of Fungi*. 7(10):867. doi: <https://doi.org/10.3390/jof7100867>.
- Musafa MK, Aini LQ, Prasetya B. 2015. Peran mikoriza arbuskula dan bakteri *Pseudomonas fluorescens* dalam meningkatkan serapan p dan pertumbuhan tanaman jagung pada andisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 2(2):191-197.
- Nasrullah R, Damayanti E, Mulyani S. 2022. Kolonisasi mikoriza arbuskula pada tanaman kacang tanah dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. *Jurnal Agrotek Tropika*. 10(1):33–40.
- O'Connor PJ, Smith SE, Smith FA. 2001. Arbuscular mycorrhizal association in the southern Simpson Desert. *Aust J Bot*. 49:493-499.
- Odum EP. 1993. *Dasar-Dasar Ekologi*. Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Oehl F, Sieverding E, Palenzuela J, Ineichen K, da Silva GA. 2011. Advances in *Glomeromycota* taxonomy and classification. *IMA FUNGUS*. 2(2):191-199.
- Oehl F, Sieverding E, Ineichen K, Mäder P, Wiemken A, Boller T. 2003. Impact of land use intensity on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in agricultural soils of central europe. *Applied and Environmental Microbiology*. 69(5):2816–2824.
- Ontivero RE, Risio LV, Iriarte HJ, Lugo MA. 2022. Effect of land-use change on arbuscular mycorrhizal fungi diversity in an Argentinean Endemic Native Forest. *Biology and Life*

- Sciences Forum*. 15(15):1-6. doi: <https://doi.org/10.3390/IECD2022-12430>.
- Partomihardjo T, Arifiani D, Pratama BA, Mahyuni R. 2014. *Jenis-jenis Pohon Penting di Pulau Nusakambangan*. Jakarta: LIPI Press.
- Putri FR, Rosliani R. 2018. Pengaruh salinitas terhadap populasi mikoriza di lahan pesisir. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 6(2):57–64.
- Rajpurohit SS, Jaiswal P. 2022. Effect of physico-chemical properties on spore density and root colonization of mycorrhizal fungi in industrial wastelands in Kota, Rajasthan. *International Journal of Plant & Soil Science*. 34(21):114-126. doi: 10.9734/IJPSS/2022/v34i2131301.
- Sahner J, Budi SW, Barus H, Edy N, Meyer M, Marife DC, Polle A. 2015. Degradation of root community traits as indicator for transformation of tropical lowland rain forests into oil palm and rubber plantations. *PloS ONE* 10(9):1-19. doi:10.1371/journal.pone.0138077.
- Shi ZY, Chen YL, Feng G, Liu RG, Christie P, Li XL. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the Miliacea on Hainan island. *Mycorrhiza* 16:81-87.
- Smith SE, Read D. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis Third Edition*. UK: Academic Press.
- Suryaningsih A, Wulandari D, Rachmady D. 2021. Peran mikoriza dalam peningkatan pertumbuhan dan ketahanan tanaman pada lingkungan marginal. *Jurnal Ilmu Pertanian Tropika*. 8(2): 120-129.
- Sutanto A, Lestari PS, Prasetyo BH. 2020. Pengaruh kepadatan spora mikoriza terhadap kolonisasi akar tanaman tomat. *Jurnal Pertanian Tropik*. 7(1):22–28.
- Utami SR, Sari NW. 2017. Peranan mikoriza dalam meningkatkan serapan hara dan pertumbuhan tanaman di lahan kering. *Jurnal Agroteknologi Tropika*. 5(1):34–41.
- Walker C, Mize CW, McNabb HS. 1982. Population of endogonaceous fungi at two populations in Central Iowa. *Canadian Journal of Botany*, 60(12):2518–2529.
- Yuliana D, Rachmady D, Surya R. 2021. Variasi komunitas mikoriza arbuskula pada sistem agroforestri dan hutan alam. *Jurnal Ilmu Tanah Tropika*. 9(3):120–130.