

## KEANEKARAGAMAN MORFOTIPE EKTOMIKORIZA DAN STRUKTURNYA PADA MELINJO (*Gnetum gnemon*) DI CAGAR ALAM LAMEDAI, KOLAKA

(*Diversity of Ectomycorrhizal Morphotypes and Their Structures on Melinjo (*Gnetum gnemon*) in the Lamedai Nature Reserve, Kolaka*)

**Basrudin\*, Sahindomi Bana, Markus**

Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan, Universitas Halu Oleo, Kampus Hijau Bumi Tridharma Anduonohu, Kendari 93232, Indonesia

\*Correspondence Author: basrudina75@gmail.com

---

**Abstrak:** Penelitian ini memfokuskan pada keanekaragaman morfotipe ektomikoriza dan strukturnya pada pohon Melinjo (*Gnetum gnemon*) yang terdapat di Cagar Alam Lamedai, Kolaka. Studi ini dilakukan untuk memahami kompleksitas hubungan simbiotik antara Melinjo dan ektomikoriza serta untuk mengidentifikasi dan menganalisis variasi morfotipe ektomikoriza yang ada. Metode pengumpulan data melibatkan survei lapangan dan analisis morfologi mikroskopis. Melinjo membentuk lima morfotipe ektomikoriza dengan karakteristik seperti *simple white*, *simple dark gray*, *monopodial-pinnate brownish yellow*, *monopodial-pinnate dark red* dan *irregularly pinnate yellowish brown*. Morfotipe *simple white* menunjukkan tingkat kelimpahan yang relatif tinggi dan indeks kekayaan spesies yang signifikan, dengan persentase kolonisasi akar mencapai 33,09%. Keanekaragaman ektomikoriza pada melinjo dinilai sedang dengan nilai indeks sebesar 1,79. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam mengenai peran ektomikoriza dalam ekosistem Melinjo di wilayah tersebut, serta kontribusinya terhadap keberagaman flora mikrobiota tanah.

**Kata Kunci:** Ektomikoriza, morfotipe, keanekaragaman, *Gnetum gnemon*

---

**Abstract:** This research focuses on the diversity of ectomycorrhizal morphotypes and their structures in Melinjo trees (*Gnetum gnemon*) found in the Lamedai Nature Reserve, Kolaka. The study aims to comprehend the complexity of the symbiotic relationship between Melinjo and ectomycorrhiza, and to identify and analyze the existing variations in ectomycorrhiza morphotypes. Data collection methods include field surveys and morphological microscopic analysis. Melinjo forms five ectomycorrhizal morphotypes with characteristics such as *simple white*, *simple dark gray*, *tawny monopodial pinnate*, *dark red irregular pinnate*, and *fawn irregular pinnate*. The *simple white* morphotype showed a relatively high abundance and a significant species richness index, with a root colonization percentage reaching 33.09%. Ectomycorrhizal diversity in Melinjo was assessed as moderate with an index value of 1.79. It is hoped that the results of this research will provide in-depth insight into the role of ectomycorrhiza in the Melinjo ecosystem in the region, as well as its contribution to the diversity of soil microbiota flora.

**Key word:** Ectomycorrhizall, Morphotype, diversity, *Gnetum gnemon*

---

### 1. Pendahuluan

Indonesia, dengan keanekaragaman hayatinya, memegang peranan sentral dalam menyimpan berbagai jenis flora dan fauna yang mendukung keseimbangan ekosistem. Salah satu aset alam yang signifikan adalah pohon Melinjo (*Gnetum gnemon*), yang terkenal dengan nilai ekologis dan ekonomisnya. Melinjo memiliki fungsi ekologi yang tinggi dan membantu mengubah lingkungan kritis dan tandus menjadi kawasan yang hijau dan subur (Purnama et al., 2023). Melinjo bernilai ekonomis tinggi karena banyak dari bagian tanaman dapat dimanfaatkan mulai dari biji, bunga, daun, hingga batangnya sebagai bahan bakar, bahan makanan, dan

sebagai bahan bangunan serta bahan olahan (Purnama et al., 2023; Fauziah & Siti Susanti, 2022). Kabupaten Kolaka, khususnya di Cagar Alam Lamedai, menjadi kawasan yang kaya akan biodiversitas, termasuk Melinjo yang menjadi bagian integral dari ekosistem tersebut.

Melinjo telah lama dikenal sebagai tanaman yang menjalin hubungan simbiotik dengan fungi tanah, khususnya ektomikoriza (Bechem & Alexander, 2012; Tedersoo & Pöhlme, 2012; Wulandari & Adisetia, 2016). Hubungan ini memainkan peran penting dalam penyerapan unsur hara dan pertumbuhan tanaman. Ektomikoriza berperan penting dalam meningkatkan penyerapan unsur hara seperti fosfor (P), nitrogen (N), kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), dan mikronutrien oleh tanaman inang. Ini disebabkan oleh diameter hifa yang lebih kecil yang memungkinkan menjangkau pori-pori kecil yang tidak dapat diakses oleh akar tanaman inang. Selain itu, ektomikoriza menghasilkan dan melepaskan enzim yang spesifik, berkontribusi dalam memineralisasi sumber nutrisi organik dan melarutkan sumber mineral (Rivera Pérez et al., 2022; Wallander et al., 2002). Meskipun penting, pemahaman mendalam mengenai keragaman morfotipe ektomikoriza pada Melinjo di Cagar Alam Lamedai masih terbatas.

Penelitian sebelumnya telah membahas pentingnya keterlibatan ektomikoriza dalam hubungan tanah-tumbuhan (Chot & Reddy, 2022; Sun et al., 2023; Yang et al., 2022). Namun, untuk konteks Melinjo di Cagar Alam Lamedai, penelitian yang secara spesifik memeriksa struktur morfotipe dan tingkat keragaman ektomikoriza masih perlu dilakukan secara komprehensif.

Penelitian ini mencoba untuk mengisi kesenjangan pengetahuan tersebut dengan menyelidiki secara rinci keragaman morfotipe ektomikoriza dan strukturnya pada Melinjo di Cagar Alam Lamedai, Kabupaten Kolaka. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam mengenai ekosistem Mikoriza dan kontribusinya terhadap keseimbangan ekologis serta keberlanjutan tanaman Melinjo. Diharapkan, penelitian ini dapat menjadi inovasi pengelolaan dan konservasi sumber daya alam di Kabupaten Kolaka.

## **2. Metode & Analisis**

### **2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Cagar Alam Lamedai Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara, Laboratorium Asosiasi Mikoriza Indonesia (AMI) cabang Sulawesi Tenggara dan Laboratorium Fakultas MIPA, Universitas Halu Oleo selama dua bulan yaitu pada Maret hingga April 2021.

## 2.2. Prosedur Penelitian

### Penentuan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu akar melinjo yang diambil dari 6 pohon melinjo masing-masing dipilih secara acak (*random sampling*). Dari 6 pohon yang ditetapkan kemudian dilakukan pengambilan titik koordinat pada setiap pohon menggunakan GPS. Pengumpulan akar ektomikoriza dilaksanakan dengan menerapkan metode runut akar (Ishida et al., 2007). Enam pohon melinjo dipilih secara acak, akar diambil pada setiap pohon dengan menggali akar utama hingga kedalaman  $\pm 20$  cm di area ujung tajuk. Sampel akar ditempatkan dalam wadah plastik dan diberi penanda berupa nomor pohon dan lokasi pengambilan sampel. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke dalam kotak yang berisi es kering dan dikirim ke laboratorium. Setelah sampai di laboratorium, sampel-sampel tersebut disimpan dalam lemari es. Akar kemudian dicuci dengan air mengalir di atas saringan, dipotong-potong menjadi potongan berukuran 5 cm, dan akar halus dibersihkan dengan kuas menggunakan bantuan mikroskop stereo. Akar yang telah bersih diberi label untuk persiapan analisis morfotipe akar.

### Karakterisasi morfotipe akar ektomikoriza

Kolonisasi dihitung dengan menggunakan metode gridline intersection (Brundrett et al., 1996), sampel akar kemudian disebar diatas cawan petri dengan lapisan kertas bergaris yang sudah disiapkan sebelumnya, kemudian sampel tersebut diamati dengan menggunakan mikroskop stereo, sampel akar yang diketahui memiliki struktur ektomikoriza kemudian dihitung dan dikelompokkan sesuai dengan morfotipenya. Akar yang terkolonisasi dengan ektomikoriza kemudian dikarakterisasi morfotipenya menggunakan buku *colour atlas of Ectomycorrhizae* (Ager, 1996), sedangkan untuk menentukan warna akar yang terkolonisasi dengan menggunakan buku *Munsell Soil Colour Chart* (Basrudin et al., 2018).

### Variabel Penelitian

Variabel yang diamati dalam penelitian ini meliputi persentase kolonisasi akar dan morfotipe akar yang terinfeksi fungi ektomikoriza, yang diklasifikasikan berdasarkan bentuk cabang, warna mantel, dan pembentukan rhizomorf.

### Analisis Data

Persentase kolonisasi dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kolonisasi} = \frac{\text{Jumlah akar terkolonisasi}}{\text{Total akar teramati}} \times 100\%$$

Persentase kolonisasi fungi Mikoriza menurut Marx et al. (1991) dapat dikelompokkan sebagai berikut: 75-100% dikategorikan sangat tinggi; 50-74% tinggi; 25-45% sedang; dan 1-24% rendah.

Untuk mengetahui keanekaragaman morfotipe ektomikoriza pada melinjo, dilakukan analisis parameter ekologi sebagai berikut :

1. Frekuensi

$$F = \frac{\text{Jumlah plot ditemukan suatu jenis}}{\text{Jumlah seluruh plot}}$$

2. Frekuensi Relatif

$$FR = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi seluruh jenis}} \times 100 \%$$

3. Kelimpahan

$$K = \frac{\text{Jumlah individu spesies}}{\text{Total Individu}}$$

4. Kelimpahan Relatif

$$KR = \frac{\text{Jumlah individu spesies}}{\text{Total Individu}} \times 100 \%$$

5. Kekayaan Spesies

$$Dmg = \frac{\text{Jumlah individu } (n-1)}{\ln (n) \text{ total individu}}$$

Kriteria indeks kekayaan spesies Margalef (Magurran, 1983) sebagai berikut :  
Jika nilai  $Dmg \leq 3,5$ , tingkat kekayaan spesies rendah; jika  $3,5 \leq Dmg \leq 5$ , tingkat kekayaan spesies sedang; jika  $Dmg > 5$ , tingkat kekayaan spesies tinggi

6. Indeks Keanekaragaman

$$H' = \sum_{i=1}^n \frac{ni}{N} \log \frac{ni}{N}$$

Kriteria indeks keanekaragaman spesies Shannon-Wiener (Magurran, 1983) sebagai berikut : Jika nilai  $H' \leq 1$ , tingkat keanekaragaman rendah; jika  $1 \leq H' \leq 3$ , tingkat keanekaragaman sedang; jika  $H' > 3$ , tingkat keanekaragaman tinggi.

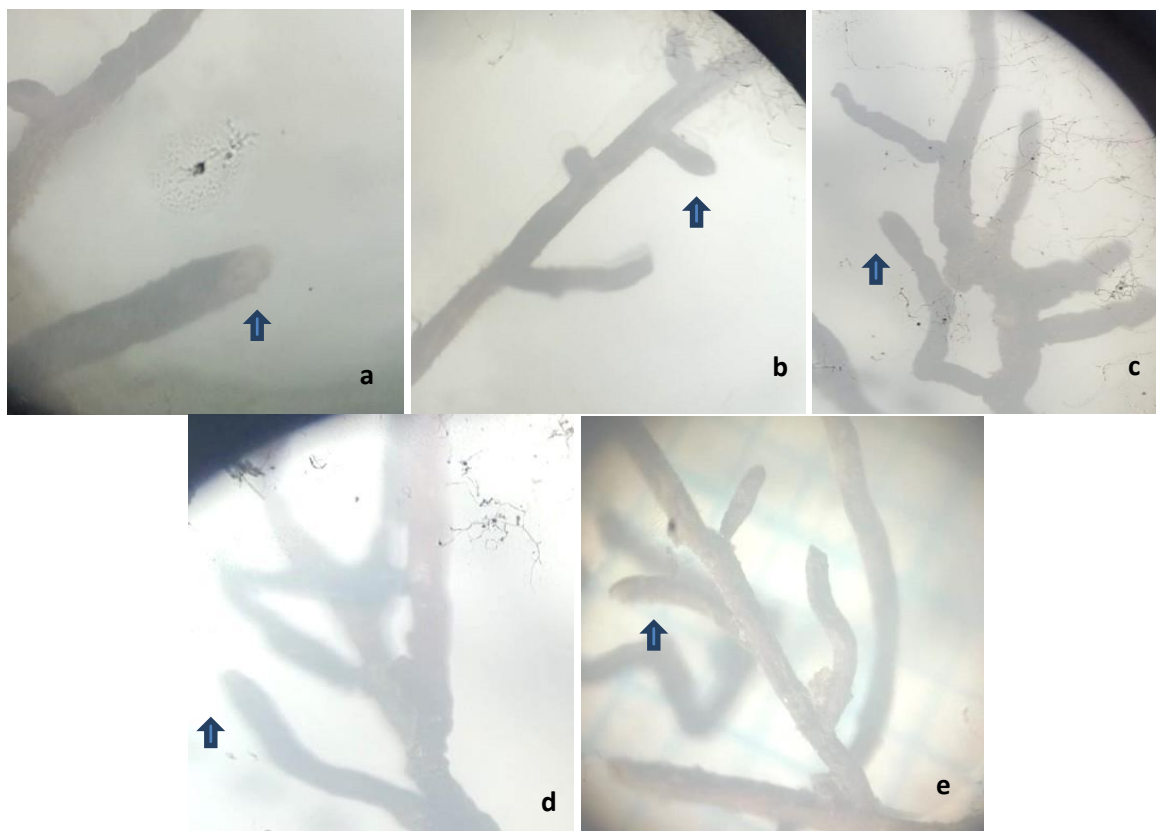
### 3. Hasil Dan Pembahasan

#### Keanekaragaman Morfotipe akar Ektomikoriza

Hasil pengamatan terhadap 375 ujung akar tanaman melinjo, ditemukan bahwa 157 ujung akar telah terkolonisasi oleh ektomikoriza. Hasil karakterisasi morfologi ujung akar ektomikoriza, yang mengacu pada *Characterisation of ectomycorrhiza* (Agerer, 1991), mengelompokkan ke-157 ujung akar tersebut ke dalam 5 morfotipe Gambar 1).

Karakteristik morfotipe 1 mencakup percabangan sederhana atau tanpa percabangan (*unramified*), permukaan mantel halus (*smooth*), mantel berwarna putih (*white/10R 8/1*), ujung percabangan berahir lurus (*straight*). Rhizomorf tidak ditemukan pada tipe ini (Gambar 1a). Morfotipe 2 memiliki karakteristik percabangan sederhana atau tanpa percabangan (*unramified*), permukaan mantel

seperti wol (*woolly*), mantel berwarna abu-abu gelap (*dark gray* (5YR 4/1), ujung percabangan berahir lurus (*straight*). Rhizomorf *hyphal fans* (Gambar 1b).



Gambar 1. Karakteristik morfotipe ujung akar ektomikoriza melinjo: a) *Simple white* (10R 8/1); b) *Simple dark gray* (5YR 4/1); c) *monopodial-pinnate brownish yellow* (10YR 6/8); d) *monopodial-pinnate dark red* (10R 3/6); e) *Irregularly pinnate yellowish brown* (10YR 5/8)

Karakteristik morfotipe 3 mencakup percabangan monopodial pinet (*monopodial pinnate*), permukaan mantel retikulat (*reticulate*), mantel berwarna kuning kecoklatan (*brownish yellow* (10YR 6/8), ujung percabangan berahir bengkok (*bent*). Rhizomorf tidak ditemukan pada tipe ini (Gambar 1c). Morfotipe 4 memiliki karakteristik percabangan monopodial pinet (*monopodial pinnate*), permukaan mantel retikulat (*reticulate*), mantel berwarna merah gelap (*dark red* (10R 3/6), ujung percabangan berahir bengkok (*bent*). Rhizomorf halus (*smooth*) (Gambar 1d).

Karakteristik morfotipe 5 mencakup percabangan menyirip tidak beraturan (*Irregularly pinnate*), permukaan mantel retikulat (*reticulate*), mantel berwarna coklat kekuningan (*yellowish brown* (10YR 5/8), ujung percabangan berahir lurus (*straight*). Rhizomorf halus (*smooth*) (Gambar 1e).

Perbedaan morfotipe ektomikoriza dapat disebabkan oleh sejumlah faktor, termasuk interaksi antara fungi ektomikoriza dan tanaman inangnya, serta kondisi lingkungan tempat mereka tumbuh (Nérée et al., 2022). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan morfotipe ektomikoriza antara lain : 1) spesies tanaman

inang. Berbagai spesies tanaman memiliki respons yang berbeda terhadap infeksi ektomikoriza. Interaksi spesifik antara fungi ektomikoriza dan tanaman inangnya dapat menghasilkan morfotipe yang berbeda-beda; 2) jenis fungi ektomikoriza. Setiap jenis fungi ektomikoriza dapat menunjukkan variasi morfologis. Perbedaan ini dapat berkaitan dengan cara fungi tersebut bersimbiosis dengan akar tanaman, membentuk struktur tertentu, atau mengalami variasi dalam siklus hidupnya; 3) kondisi lingkungan dan interaksi dengan organisme lain. Interaksi dengan organisme lain, seperti bakteri atau fungi tanah lainnya, juga dapat mempengaruhi morfotipe ektomikoriza. Saling pengaruh dengan mikroorganisme lain dalam ekosistem tanah dapat menghasilkan perubahan morfologis pada ektomikoriza.

### Struktur Komunitas Morfotipe akar ektomikoriza Melinjo

Analisis struktur komunitas pada ujung akar ektomikoriza melinjo mengungkapkan bahwa morfotipe *Simple white* dan *Simple dark gray* paling umum ditemukan, masing-masing dengan jumlah individu 89 dan 46. Sebaliknya, morfotipe *Monopodial-dark red* dan *Irregularly pinnate yellowish brown* termasuk yang paling jarang ditemui. Pentingnya, morfotipe tersebut muncul di setiap lokasi pengambilan sampel, ditandai dengan nilai yang konsisten pada ke-3 morfotipe tersebut dengan frekuensi relative masing-masing 12,50.

Tabel 1. Struktur komunitas morfotipe ujung akar ektomikoriza Melinjo

Nama spesies	Individu	F	FR	K	KR	Dmg	H'
<i>Simple white</i>	89	0,33	12,50	0,57	56,69	17,40	0,18
<i>Simple dark gray</i>	46	0,33	12,50	0,29	29,30	8,90	0,44
<i>Monopodial-pinnate brownish yellow</i>	15	1,00	37,50	0,10	9,55	2,77	0,53
<i>Monopodial-dark red</i>	4	0,67	25,00	0,03	2,55	0,59	0,34
<i>Irregularly pinnate yellowish brown</i>	3	0,33	12,50	0,02	1,91	0,40	0,30
Jumlah	157	2,67	100	1,00	100	30,06	1,79

Keterangan : F= Frekuensi; FR= Frekuensi Relatif; K = Kelimpahan; KR = Kelimpahan Relatif; Dmg = Kekayaan Spesies; H' = Indeks Keanekaragaman

Morfotipe *Simple white* mendominasi dengan kelimpahan tertinggi, mencapai 0,57, diikuti oleh *Simple dark gray* dengan kelimpahan 0,29. Sebaliknya, kelimpahan terendah tercatat pada *Irregularly pinnate yellowish brown* dengan nilai 0,02 (lihat Tabel 1). Kekayaan spesies, yang mencerminkan jumlah spesies dalam suatu area, menunjukkan bahwa morfotipe *Simple white* memiliki nilai indeks kekayaan spesies yang tinggi, yaitu 17,40, menurut kriteria indeks kekayaan spesies Margalef. Sementara itu, morfotipe *Simple dark gray* memiliki nilai sebesar 8,90. Tiga morfotipe lainnya termasuk dalam kategori kekayaan spesies yang rendah hingga sedang, dengan rentang nilai antara 0,40 hingga 2,77 (lihat Tabel 1).

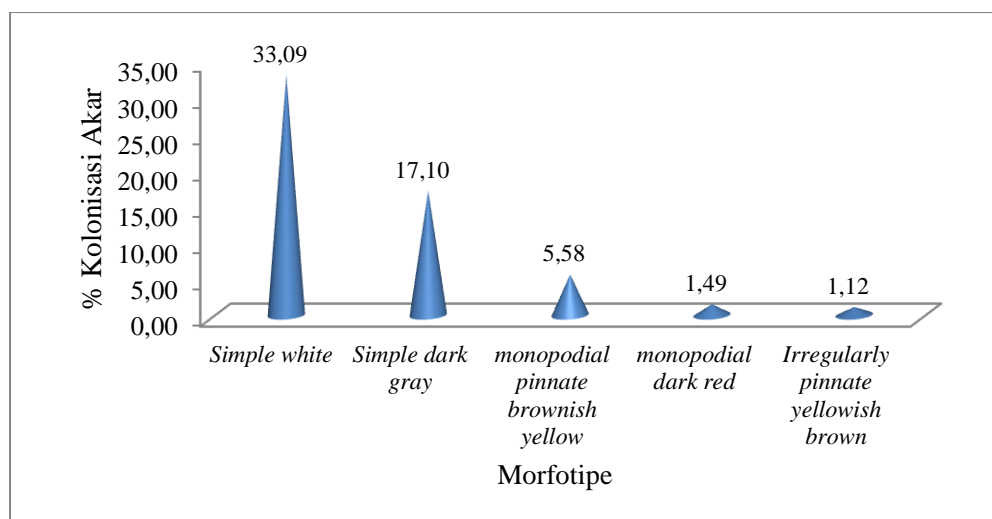
Indeks keanekaragaman (H') yang dihitung untuk 5 morfotipe menunjukkan nilai 1,79. Berdasarkan kriteria Shanon-Wiener, indeks keanekaragaman ini dapat

diklasifikasikan sebagai kategori sedang. Meski demikian, ketika dianalisis secara individual, indeks keanekaragaman pada masing-masing morfotipe berada dalam kategori rendah, dengan nilai berkisar antara 0,18 hingga 0,53 untuk semua morfotipe (lihat Tabel 1).

Keanekaragaman komunitas jamur ektomikoriza dipengaruhi oleh jenis spesies pohon yang menjadi inang dan kondisi abiotik seperti iklim dan karakteristik tanah (edafik) (Matsuoka et al., 2019). Sementara itu, Tedersoo et al., (2013) bahwa variasi spasial dalam komunitas fungi ektomikoriza berkaitan dengan faktor lingkungan utama, termasuk unsur biotik seperti identitas spesies dan filogeni inang, serta faktor abiotik seperti sifat tanah (seperti pH tanah) dan kondisi iklim (Bahram et al., 2012; Horton et al., 2013). Sedangkan van der Linde et al., (2018) dan Wu et al., (2018), distribusi geografis komunitas jamur ECM pada skala regional dan/atau benua berkaitan dengan identitas spesies, kimia daun, dan/atau filogeni pohon inang yang menghasilkan struktur geografis komunitas fungi ektomikoroiza.

### Persentase Kolonisasi Akar

Variasi nilai persentase kolonisasi akar ektomikoriza pada 5 morfotipe menunjukkan perbedaan yang signifikan. *Simple white* memperoleh persentase kolonisasi tertinggi, mencapai 33,09%, diikuti oleh morfotipe *Simple dark gray* dengan nilai persentase kolonisasi sebesar 17,10%. Sebaliknya, morfotipe *Irregularly pinnate yellowish brown* dan *Monopodial-dark red* memiliki persentase kolonisasi terendah, masing-masing sebesar 1,12 dan 1,49% (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Persentase kolonisasi akar ektomikoriza melinjo untuk masing-masing morfotipe

Kolonisasi akar oleh fungi ektomikoriza dapat bervariasi seiring pertumbuhan tanaman. Tahap pertumbuhan tanaman dan usia tanaman tertentu dapat mempengaruhi intensitas kolonisasi. Faktor lain adalah Ketersediaan nutrisi dalam tanah, terutama unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman, dapat memengaruhi

kolonisasi akar oleh fungi ektomikoriza. Hubungan simbiotik ini seringkali memberikan keuntungan dalam penyerapan nutrisi, terutama fosfor. Selain itu, faktor iklim seperti suhu dan kelembaban juga mempengaruhi kolonisasi akar oleh fungi ektomikoriza. Beberapa fungi ektomikoriza lebih aktif atau dominan pada kondisi iklim tertentu

#### 4. Kesimpulan

Melinjo membentuk lima morfotipe ektomikoriza dengan karakteristik seperti *simple white*, *simple dark gray*, *monopodial-pinnate brownish yellow*, *monopodial-pinnate dark red* dan *irregularly pinnate yellowish brown*. Morfotipe *simple white* menunjukkan tingkat kelimpahan yang relatif tinggi dan indeks kekayaan spesies yang signifikan, dengan persentase kolonisasi akar mencapai 33,09%. Keanekaragaman ektomikoriza pada melinjo dinilai sedang dengan nilai indeks sebesar 1,79.

#### Daftar Pustaka

- Agerer R. (1996). Colour Atlas of Ectomycorrhizae. Germany (DE): Einhorn Verlag, Schwabish Gmund D-73525. hlm 149-151.
- Bahram, M., Pölme, S., Kõljalg, U., Zarre, S., and Tedersoo, L. (2012). Regional and local patterns of ectomycorrhizal fungal diversity and community structure along an altitudinal gradient in the Hyrcanian forests of northern Iran. *New Phytol.* 193, 465–473. doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.03927.x
- Basrudin, Budi, S. W., Achmad, & Sukarno, N. (2018). Ectomycorrhiza Status of *Castanopsis buruana* Miq. in the Field. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 197(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/197/1/012014>
- Brundrett M, Bougher N, Dell B, Grove T, Malajczuk N. (1996). Working With Mycorrhizae in Forestry and Agriculture. Australia: Monograph ACIAR.
- Bechem, E. E. T., & Alexander, I. J. (2012). Mycorrhiza status of *Gnetum* spp. in Cameroon: Evaluating diversity with a view to ameliorating domestication efforts. *Mycorrhiza*, 22(2), 99–108. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0384-0>
- Chot, E., & Reddy, M. S. (2022). Role of Ectomycorrhizal Symbiosis Behind the Host Plants Ameliorated Tolerance Against Heavy Metal Stress. *Frontiers in Microbiology*, 13(March). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.855473>
- Horton, B. M., Glen, M., Davidson, N. J., Ratkowsky, D., Close, D. C., Wardlaw, T. J., et al. (2013). Temperate eucalypt forest decline is linked to altered ectomycorrhizal communities mediated by soil chemistry. *For. Ecol. Manage.* 302, 329–337. doi: 10.1016/j.foreco.2013.04.006
- Ishida, T. A., Nara, K., & Hogetsu, T. (2007). Host effects on ectomycorrhizal fungal communities insight from eight host species in mixed conifer-broadleaf forests - Ishida - 2007 - New Phytologist - Wiley Online Library. *New Phytologist*, 174, 430–440.
- Magurran, A.E. (1983). Ecological Diversity and Its Measurement. Uniflcrsity Research Fellow Ullivcrsity College of North Wales Bangor.
- Matsuoka, S., Iwasaki, T., Sugiyama, Y., Kawaguchi, E., Doi, H., & Osono, T. (2019).



- Biogeographic Patterns of Ectomycorrhizal Fungal Communities Associated With *Castanopsis sieboldii* Across the Japanese Archipelago. *Frontiers in Microbiology*, 10(November). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02656>
- Marx DH. (1991). The practical significance of ectomycorrhizae in forest establishment. In Proceedings of the Marcus Wallenberg Foundation Symposium on Ecophysiology of Mycorrhizae of Forest Trees. 27 September 1991, Stockholm, Sweden. Edited by B. Högglund. The Marcus Wallenberg Foundation, Stockholm. Sweden. hlm 54-90.
- Nérée, O. A., Bechem, E. T., Ambroise, Y. M., Marthiale, T. J., & Victor, N. L. (2022). Diversity of Endemic Ectomycorrhizae of Humid Forests of South Cameroon. *Journal of Environmental Science and Engineering Technology*, 10(April), 1-14. <https://doi.org/10.12974/2311-8741.2022.10.01>
- Purnama, A., Rahayu, F. F., & Wahyuni, P. (2023). Pola Persebaran Tanaman Melinjo *Gnetum gnemon* di Provinsi Banten. *BIOMA: Jurnal Biologi Makassar*, 8(2), 51-65. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/bioma>
- Qori Nur Fauziah, & Siti Susanti. (2022). Morphological Structure and Fertility of Melinjo (*Gnetum gnemon* L.) Pollen based on Microscopic Data. *Berkala Ilmiah Biologi*, 13(2), 1-12. <https://doi.org/10.22146/bib.v13i2.4380>
- Rivera Pérez, C. A., Janz, D., Schneider, D., Daniel, R., & Polle, A. (2022). Transcriptional Landscape of Ectomycorrhizal Fungi and Their Host Provides Insight into N Uptake from Forest Soil. *MSystems*, 7(1). <https://doi.org/10.1128/msystems.00957-21>
- Sun, P., Cheng, R., Xiao, W., Zeng, L., Shen, Y., Wang, L., Chen, T., & Zhang, M. (2023). The Relationship between Ectomycorrhizal Fungi, Nitrogen Deposition, and *Pinus massoniana* Seedling Nitrogen Transporter Gene Expression and Nitrogen Uptake Kinetics. *Journal of Fungi*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/jof9010065>
- Tedersoo, L., & Põlme, S. (2012). Infrageneric variation in partner specificity: Multiple ectomycorrhizal symbionts associate with *Gnetum gnemon* (*Gnetophyta*) in Papua New Guinea. *Mycorrhiza*, 22(8), 663-668. <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0458-7>
- Tedersoo, L., Mett, M., Ishida, T. A., and Bahram, M. (2013). Phylogenetic relationships among host plants explain differences in fungal species richness and community composition in ectomycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 199, 822-831. doi: 10.1111/nph.12328
- van der Linde, S., Suz, L. M., Orme, C. D. L., Cox, F., Andreae, H., Asi, E., et al. (2018). Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. *Nature* 558, 243-248. doi: 10.1038/s41586-018-0189-9
- Wallander, H., Johansson, L., & Pallon, J. (2002). PIXE analysis to estimate the elemental composition of ectomycorrhizal rhizomorphs grown in contact with different minerals in forest soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 39(2), 147-156. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(01\)00209-4](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(01)00209-4)
- Wulandari, A. S., & Adisetia, R. (2016). The Effect of Root Stimulant on Ectomycorrhizal Colonization of *Gnetum gnemon* L.). *Jurnal Silvikultur Tropika*, 07(3), 7-11. <http://103.10.105.65/index.php/jsilvik/article/view/15633>

- Wu, B. W., Gao, C., Chen, L., Buscot, F., Goldmann, K., Purahong, W., et al. (2018). Host phylogeny is a major determinant of Fagaceae-associated ectomycorrhizal fungal community assembly at a regional scale. *Front. Microbiol.* 9:2409. doi: 10.3389/fmicb.2018.02409
- Yang, N., Hua, J., Zhang, J., Liu, D., Bhople, P., Li, X., Zhang, Y., Ruan, H., Xing, W., & Mao, L. (2022). Soil nutrients and plant diversity affect ectomycorrhizal fungal community structure and functional traits across three subalpine coniferous forests. *Frontiers in Microbiology*, 13(October), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1016610>