

KERAGAMAN MORFOTIPE FUNGI EKTOMIKORIZA PADA HUTAN PINUS (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) DI KEBUN RAYA KENDARI

(*Morphotype Diversity of Ectomycorrhizal Fungi in Pine (Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) Forest in Kendari Botanical Gardens)

Basrudin*, Sahindomi Bana, Husna, Faisal Danu Tuheteru, Dirhan

Jurusan Kehutanan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan Universitas Halu Oleo

*Correspondence Author: basrudina75@gmail.com

Received: 05 Mei 2023; Accepted: 27 Mei 2023; Published: 01 Juni 2023

Abstrak: Kebun Raya Kendari merupakan kawasan konservasi tumbuhan *ex situ* yang memiliki fungsi konservasi, penelitian, pendidikan, wisata dan jasa lingkungan. Di areal tersebut terdapat banyak pohon pinus (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) yang diketahui bersimbiosis dengan fungi ektomikoriza. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui keragaman morfotipe ektomikoriza dibawah tegakan pinus di Kebun Raya Kendari. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai Oktober 2020. Metode penelitian yang digunakan *purposive sampling*, meliputi pembuatan plot, pengambilan sampel akar serta karakterisasi dan identifikasi morfotipe akar. Karakterisasi morfotipe menggunakan panduan *colour atlas of ectomycorrhizae* sedangkan presentase kolonisasi dihitung dengan metode *gridline intersection*. Pinus merkusii membentuk 7 morfotipe ektomikoriza yaitu *simple very pole brown*, *dichotomous light yellowish brown*, *dichotomous brownish yellow*, *monopodial-pinnate reddish black*, *irregularly pinnate very dark grey*, *coralloid dark brown* dan *coralloid very dark gray*. Morfotipe *simple very pole brown* merupakan tipe dengan kelimpahan relatif dan indeks kekayaan spesies tinggi dengan persentase kolonisasi akar 36,43%. Indeks keanekaragaman ektomikoriza pada *P. merkusii* termasuk kategori tinggi dengan nilai 3,45.

Kata Kunci: Fungi Ektomikoriza, Kebun Raya Kendari, *Pinus merkusii*

Abstract: Kendari Botanical Garden is an *ex situ* plant conservation area that has the functions of conservation, research, education, tourism and environmental services. In the area there are many pine trees (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) which are known to be symbiotic with ectomycorrhizal fungi. The purpose of this study was to determine the diversity of ectomycorrhizal morphotypes under pine stands in Kendari Botanical Garden. This research was conducted from September to October 2020. The research method used was *purposive sampling*, including plot making, root sampling and characterisation and identification of root morphotypes. Morphotype characterisation used the *colour atlas of ectomycorrhizae* guide while the percentage of colonisation was calculated using the *gridline intersection* method. *Pinus merkusii* formed 7 ectomycorrhizal morphotypes namely *simple very pole brown*, *dichotomous light yellowish brown*, *dichotomous brownish yellow*, *monopodial-pinnate reddish black*, *irregularly pinnate very dark grey*, *coralloid dark brown* and *coralloid very dark grey*. The *simple very pole brown* morphotype was the type with the highest relative abundance and species richness index with a root colonisation percentage of 36.43%. The ectomycorrhizal diversity index in *P. merkusii* is in the high category with a value of 3.45.

Keywords: Ectomycorrhizal Fungi, Kendari Botanical Garden, Pine

1. Pendahuluan

Kebun Raya Kendari merupakan salah satu dari kebun raya daerah yang dikembangkan untuk mewakili salah satu ekoregion di Indonesia dengan tujuan konservasi, pendidikan, penelitian, pariwisata, dan jasa lingkungan. Kebun Raya Kendari terletak di kawasan hutan Nanga-Nanga Papalia, Kelurahan Anduonohu, Kecamatan Poasia, Kota Kendari, berjarak ± 15 km dari pusat Pemerintahan Kota

Kendari dengan lokasi cukup strategis, hanya 30 menit dari pusat Kota. Kondisi topografinya didominasi oleh bukit berbatu dengan ketinggian 90–275 m dpl dan kemiringan lahan 0–90°, terletak pada 3°54'30"– 4°3'11"LS dan 122°23'–122°39"BT (Hartini et al., 2020).

Kebun raya Kendari memiliki kekayaan flora cukup tinggi karena memiliki area alami yang ditumbuhi oleh flora asli, salah satunya adalah *Pinus merkusii* sebagai pohon dominan di kawasan ini. *Pinus merkusii* merupakan tanaman asli Indonesia dan salah tumbuhan unggulan kehutanan Indonesia karena memiliki berbagai manfaat, baik manfaat ekologi maupun ekonomi. Secara ekologi *P. merkusii* menyebar luas mulai dari daerah Boreal, subalpine, temperate, hingga daerah hutan tropis (Gernandt et al., 2005). Di Indonesia *P. merkusii* sering digunakan dalam program restorasi dan rehabilitasi lahan-lahan kritis baik di dataran rendah maupun dataran tinggi karena dapat memasok air saat musim hujan dan melepaskannya pada musim kemarau (Imanuddin et al., 2020). Secara ekonomi *Pinus merkusii* dapat menghasilkan kayu untuk konstruksi, furnitur, kertas dan korek api serta getah resin sebagai sumber pendapatan masyarakat yang tinggal di sekitar hutan (Andayani, 2011; Imanuddin et al., 2020).

Pinus merkusii umumnya tumbuh pada daerah terdegradasi yang miskin unsur hara sehingga dalam pertumbuhannya sangat bergantung pada fungi ektomikoriza. Ektomikoriza merupakan simbiosis mutualisme yang terbentuk antara akar tumbuhan dengan jamur tanah. Simbiosis ini menghasilkan tiga struktur utama, yaitu jalinan hifa yang menyelimuti permukaan akar (mantel), jalinan hifa interseluler di antara sel-sel epidermis dan korteks (jala hartig), dan miselia ekstraradikal. Jala Hartig merupakan jaringan yang digunakan untuk transfer nutrisi antara jamur dan tumbuhan (Smith dan Read, 2008). Fungi ektomikoriza sangat beragam di sebagian besar ekosistem dan memainkan peran penting dalam transportasi hara, interaksi interspesifik, dan pemeliharaan keanekaragaman hayati dalam ekosistem (Simard et al., 1997). Akar yang dikolonisasi ektomikoriza memiliki karakteristik yang khas dengan terbentuknya tiga komponen struktur yaitu selubung atau mantel yang menyelimuti akar, pertumbuhan hifa di antara sel-sel epidermis dan korteks yang membentuk labirin, dan sistem elemen hifa yang tumbuh ke luar dan membentuk koneksi yang esensial antara tanah dan tubuh buah yang terbentuk dari fungi ektomikoriza ((Voiblet et al., 2001).

Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa *P. merkusii* dapat bersimbiosis secara mutualisme dengan fungi ektomikoriza (Cho et al., 2021; Murata et al., 2017; Zheng et al., 2014). Jenis-jenis fungi ektomikoriza yang berasosiasi dengan Pinus antara lain *Amphinema spp.*, *Rhizopogon luteolus*, *Suillus luteus*, *Thelephora terrestris* (Cho et al., 2021), *Laccaria bicolor*, *Laccaria laccata*, *Paxillus involutus*, *Suillus bovinus* (Zheng et al., 2014), *Cenococcum geophilum*, *Clavulina*, *Craterellus*, *Elaphomyces sp*, *Rhizopogon sp*, *Suillus bovinus* dan *Thelephoraceae* (Murata et al., 2017).

Identifikasi fungi ektomikoriza dapat dilakukan melalui pendekatan morfologi. Identifikasi morfotipe akar ektomikoriza merupakan metode estimasi langsung mengenai kekayaan dan keragaman spesies fungi ektomikoriza yang bersimbiosis tanpa bergantung pada tubuh buah yang ditemukan. Tubuh buah fungi ektomikoriza biasanya ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit sehingga tidak efektif dalam penelitian mengenai kekayaan dan diversitas fungi ektomikoriza (Moser et al., 2005). Ektomikoriza menghasilkan struktur yang bersifat khas sebagai hasil perkembangan dan adaptasi fungi ektomikoriza dengan inangnya, sehingga struktur ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi morfotipenya (Agerer, 1996). Interaksi antara fungi dan inangnya merubah struktur fisik, anatomi, dan morfologi akar yaitu akar terlihat memendek, menebal, dan memiliki warna yang berbeda dari akar yang tidak terkolonisasi fungi ektomikoriza (Brundrett et al. 1996).

Keragaman morfotipe ektomikoriza pada tanaman *P. merkusii* masih kurang dipublikasikan. Oleh karena itu, penelitian untuk mempelajari keragaman morfotipe ektomikoriza pada *P. merkusii* khususnya di Kebun Raya Kendari penting untuk dilakukan.

2. Metode & Analisis

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September - Oktober 2020. Pengambilan sampel akar dilakukan di Kebun Raya Kendari, Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara. Pengamatan morfotipe akar dilakukan di Laboratorium Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan UHO. Sedangkan pengambilan foto morfotipe akar dilakukan di Laboratorium Fakultas MIPA UHO.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan berupa sampel akar yang diperoleh dari pohon *P. merkusii* di Kebun Raya Kendari dan alkohol 70%. Sedangkan alat yang digunakan diantaranya GPS (*Global Positioning System*), mikroskop stereo, mikroskop cahaya, cawan petri, gelas objek, kaca penutup, kamera digital, gunting, tali rafia, plastik klip dan alat tulis menulis.

Prosedur penelitian

Petak sampel

Penelitian ini menggunakan metode survei. Pengambilan sampel *root tip* dilakukan pada September 2020 menggunakan teknik garis berpetak (*line transek*) sebanyak 3 garis petak. Setiap garis petak terdiri atas 3 buah petak ukur berukuran 20 m x 20 m, sehingga terdapat 9 buah petak ukur. Penentuan titik mula garis petak ditentukan secara *purposive* yaitu berdasarkan ketinggian tempat dan keterwakilan

populasi tumbuhan. Titik koordinat setiap garis transek ditentukan dengan menggunakan GPS.

Koleksi akar ektomikoriza di lapangan

Koleksi akar ektomikoriza dilakukan dengan metode runtu akar (Ishida *et al.* 2007). Sebanyak 3 pohon *P. merkusii* dipilih secara acak dari setiap plot. Sampel akar diambil dari 3 titik pada setiap pohon dengan cara menggali akar utama pada kedalaman ± 20 cm pada daerah ujung tajuk. Sampel dimasukkan ke dalam wadah plastik dan diberi keterangan nomor petak, pohon, dan lokasi pengambilan sampel, kemudian dimasukan ke dalam kotak berisi es kering. Setelah tiba di laboratorium sampel-sampel tersebut dimasukan ke dalam lemari es. Sampel akar dicuci dengan air mengalir di atas saringan kemudian dipotong-potong dengan ukuran 5 cm. Akar-akar halus dibersihkan dengan kuas dan menggunakan bantuan mikroskop stereo. Akar yang sudah bersih diberi label untuk analisis morfotipe akar.

Karakterisasi morfotipe akar ektomikoriza

Analisis data morfotipe *root tip* dihitung dengan metode *gridline intersection* berukuran 1 x 1 cm, yaitu akar dipotong dengan ukuran 1 cm kemudian disebar secara acak ke dalam cawan *gridline intersection*. Selanjutnya potongan akar yang sudah tersebar secara acak diamati di bawah mikroskop stereo dan dipisahkan akar yang terkolonisasi ektomikoriza dan dikarakterisasi morfotipenya menggunakan metode Agerer (1991), sedangkan untuk warna akar yang terkolonisasi ditentukan menggunakan buku *Standard Soil Color Charts*.

Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini yaitu presentase kolonisasi dan morfotipe akar ektomikoriza yang dikelompokkan berdasarkan bentuk percabangan, warna mantel dan rhizomorf yang terbentuk.

Analisis Data

Presentase kolonisasi dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Kategori presentase kolonisasi fungi ektomikoriza menurut Marx *et al.* (1992) : 75-100% sangat tinggi; 50-74% tinggi; 25-45% sedang; dan 1-24% rendah.

Untuk mengetahui keanekaragaman morfotipe ektomikoriza pada *P. merkussi* dilakukan analisis parameter ekologi berikut :

1. Frekuensi

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

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* (Ludwig dan Reynold, 1998 dalam Tria, 2017) : $Dmg \leq 3,5$ kekayaan spesies rendah; $3.5 \leq Dmg \leq 5$ kekayaan spesies sedang; dan $Dmg > 5$ kekayaan spesies tinggi

6. Indeks Keanekaragaman

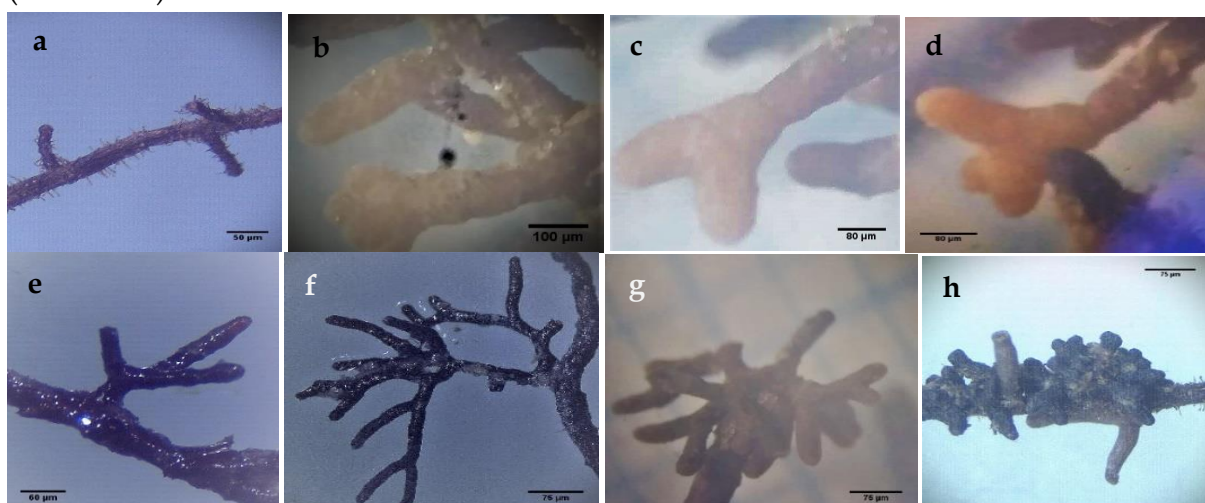
$$H' = \sum \frac{ni}{N} \log \frac{ni}{N}$$

Kriteria indeks keanekaragaman spesies *Shannon-Wiener* (Ludwig dan Reynold, 1998 dalam Tria, 2017) : $H' \leq 1$ keanekaragaman rendah; $1 \leq h' \leq 3$ keanekaragaman sedang; dan $H' > 3$ keanekaragaman tinggi.

3. Hasil Dan Pembahasan

Keanekaragaman Morfotipe Ektomikoriza *P. merkusii*

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat 269 ujung akar *P. merkusii* terkolonisasi ektomikoriza dari total 523 akar yang teramati. Hasil karakterisasi morfologi *root tip* ektomikoriza berdasarkan Characterisation of ectomycorrhiza (Agerer, 1991) menunjukkan bahwa ke-269 *root tip* tergolong ke dalam 7 morfotipe (Gambar 1).



Gambar 1. Morfotipe *root tip* ektomikoriza *P. merkusii*: a) tanpa kolonisasi; b) *Simple very pole brown*; c) *dichotomous light yellowish brown*; d) *dichotomous brownish yellow*; e) *monopodial-pinnate reddish black*; f) *Irregularly pinnate very dark grey*; g) *Coralloid dark brown*; h) *Coralloid very dark gray*

Morfologi tipe 1 memiliki karakteristik percabangan sederhana atau *Simple very pole brown* (10 YR 8/4), permukaan mantel seperti kapas (*cottony*), mantel berwarna putih (*white* 5Y 8/1), ujung percabangan lurus (*Straight*). Rizomorf *hypal fans* dan berwarna putih muncul pada bagian tertentu pada permukaan mantel (Gambar 1b). Morfologi tipe 2 memiliki karakteristik *dichotomous light yellowish brown* (10 YR 6/4), permukaan mantel halus (*smooth margins*), mantel berwarna putih (*white* 5Y 8/1), ujung percabangan lurus (*straight*). Rizomorf tidak terlihat permukaan mantel (Gambar 1c).

Morfologi tipe 3 memiliki karakteristik *dichotomous brownish yellow* (10 YR 6/8), permukaan mantel halus (*smooth*), mantel berwarna putih (*white* 5Y 8/1). Ujung percabangan benkok (*bent*). Rizomorf *hypal fans* dan berwarna putih muncul pada bagian tertentu pada permukaan mantel (Gambar 1d). Morfologi tipe 4 memiliki karakteristik dikotomus *monopodial-pinnate reddish black* (2.5 YR 2.5/1), permukaan mantel kasar (*grainy*), mantel berwarna abu-abu (*gray* 7.5YR 6/1), ujung percabangan lurus (*straight*). Rizomorf tidak terlihat permukaan mantel (Gambar 1e).

Morfologi tipe 5 memiliki karakteristik *irregularly pinnate very dark grey* (7.5 YR 3/1), permukaan mantel seperti kapas (*cottony*), mantel berwarna *light greenish gray* 8/1 10G), ujung percabangan bengkok (*straight*). Rizomorf *hypal fans* dan berwarna *light greenish gray* muncul pada bagian tertentu pada permukaan mantel (Gambar 1f). Morfologi tipe 6 memiliki karakteristik *Coralloid dark brown* (7.5 YR 3/4), permukaan mantel halus (*smoth*), mantel berwarna *pole yellow* 2.5Y 8/2), ujung percabangan berakhir bengkok (*bent*). Rizomorf tidak terlihat permukaan mantel (Gambar 1g). Morfologi tipe 7 memiliki karakteristik *Coralloid very dark gray* (5 YR 3/1), permukaan mantel halus (*smoth*), mantel berwarna *light gray* /2.5Y 7/1), ujung percabangan berakhir bengkok (*bent*). Rizomorf seperti rambut (*hairy*) (Gambar 1h).

Perbedaan morfotipe ektomikoriza yang ditemukan disebabkan oleh konsentrasi CO₂. Menurut Goldbold dan Berntson (1996) bahwa perubahan konsentrasi CO₂ mampu mempengaruhi frekuensi morfotipe yang mengkolonisasi Betula papyrifera Marsh. Konsentrasi CO₂ yang meningkat hingga 700 ppm selama 24 minggu dapat meningkatkan pembentukan morfotipe akar secara signifikan.

Struktur Komunitas Morfotipe Root Tip Pinus merkusii

Hasil analisis struktur komunitas *root tip* ektomikoriza *P. merkusii* menunjukkan bahwa morfotipe *dichotomous brownish yellow* dan *coralloid dark brown* adalah morfotipe yang sering hadir dengan jumlah individu masing-masing 24 dan 14 dan yang paling jarang ditemukan morfotipe *simple very pole brown*, *dichotomous light yellowish brown* dan *irregularly pinnate very dark grey*. Morfotipe memiliki nilai yang sama menunjukkan bahwa ke-3 morfotipe tersebut ditemukan pada setiap plot pengambilan sampel.

Kelimpahan relatif tertinggi dimiliki oleh morfotipe *irregularly pinnate very dark grey* yaitu sebesar 0,17 dan *monopodial-pinnate reddish black* yaitu sebesar 0,15, sedangkan morfotipe dengan kelimpahan terendah adalah *coralloid dark brown* dengan dengan nilai 0,05. (Tabel 1). Nilai kekayaan spesies adalah banyaknya spesies yang ditemukan di suatu areal. Jika didasarkan pada kriteria indeks kekayaan spesies *Margalef*, *simple very pole brown* memiliki nilai indeks kekayaan spesies yang tergolong tinggi dengan nilai 17,34. Kemudian disusul morfotipe *monopodial-pinnate reddish black* dan *irregularly pinnate very dark grey* nilai 7,15 dan 8,04. Sedangkan 3 morfotipe lainnya tergolong kategori rendah sampai sedang dengan rentang nilai antara 2,32-4,29 (Tabel 1).

Tabel 1. Struktur komunitas morfotipe *root tip* ektomikoriza *P. merkusii*

| Nama spesies | Individu | F | FR | K | KR | Dmg | H' |
|---|----------|------|-------|------|-------|-------|------|
| <i>Simple very pole brown</i> | 98 | 0,33 | 7,69 | 0,36 | 36,43 | 17,34 | 0,37 |
| <i>Dichotomous light yellowish brown</i> | 21 | 0,33 | 7,69 | 0,08 | 7,81 | 3,57 | 0,51 |
| <i>Dichotomous brownish yellow</i> | 24 | 1,00 | 23,08 | 0,09 | 8,92 | 4,11 | 0,52 |
| <i>Monopodial-pinnate reddish black</i> | 41 | 0,67 | 15,38 | 0,15 | 15,24 | 7,15 | 0,54 |
| <i>Irregularly pinnate very dark grey</i> | 46 | 0,33 | 7,69 | 0,17 | 17,10 | 8,04 | 0,53 |
| <i>Coralloid dark brown</i> | 14 | 1,00 | 23,08 | 0,05 | 5,20 | 2,32 | 0,45 |
| <i>Coralloid very dark gray</i> | 25 | 0,67 | 15,38 | 0,09 | 9,29 | 4,29 | 0,52 |
| Jumlah | 269 | 4,33 | 100 | 1,00 | 100 | 46,83 | 3,45 |

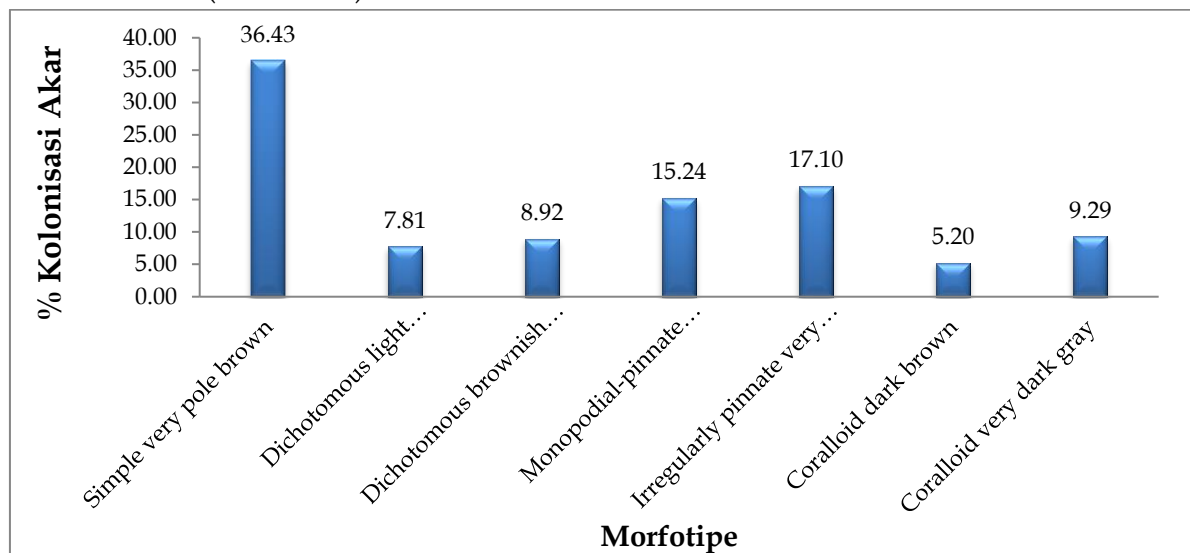
Keterangan : F= Frekuensi; FR= Frekuensi Relatif; K = Kelimpahan; KR = Kelimpahan Relatif; Dmg = Kekayaan Spesies; H' = Indeks Keanekaragaman

Hasil perhitungan indeks keanekaragaman (H') dari 7 morfotipe menunjukkan nilai 3,45. Jika didasarkan pada kriteria *Shanon-Wiennner*, indeks keanekaragaman ke-7 morfotipe termasuk kategori tinggi. Namun indeks keanekaragaman disetiap morfotipe dalam kategori rendah, karena seluruh morfotipe memiliki rentang nilai antara 0.37-0.54 (Tabel 1).

Faktor lingkungan menjadi penyebab variasi komunitas ektomikoriza pada *P. merkusii*. Menurut Suz (2017) bahwa faktor lingkungan yang berbeda mempengaruhi taksonomi dan komposisi fungsional ektomikoriza di seluruh tegakan. Lokasi geografis dan pH serasah mempengaruhi lebih dari 50% variasi dalam komunitas ektomikoriza pada pinus. Lebih lanjut Rosinger (2018) bahwa factor abiotik seperti sifat tanah, deposisi N, suhu dan curah hujan secara signifikan mempengaruhi keragaman ektomikoriza dan komposisi komunitas.

Persentase Kolonisasi Akar

Persentase kolonisasi *P. merkusii* dari ke-7 morfotipe menunjukkan nilai yang berbeda-beda. *Simple very pole brown* merupakan morfotipe yang memiliki persentase kolonisasi tertinggi sebesar 36,43%, kemudian secara berturut-turut diikuti morfotipe *irregularly pinnate very dark grey* dan *monopodial-pinnate reddish black* dengan persentase kolonisasi masing-masing sebesar 17,10% dan 15,24%. Sedangkan morfotipe *Coralloid dark brown* merupakan morfotipe dengan persentase kolonisasi paling rendah yaitu sebesar 5,20% (Gambar 2).



Gambar 2. Persentase kolonisasi ektomikoriza *P. merkusii* untuk masing-masing morfotipe.

Sama halnya dengan komposisi komunitas, variasi kolonisasi ektomikoriza disebabkan oleh perbedaan kondisi lingkungan. Menurut Johnson (1997) bahwa faktor lingkungan yang mempengaruhi kolonisasi ektomikoriza adalah kondisi tanah, tanaman competitor, patogen tanaman, dinamika suhu dan kondisi atmosfer.

4. Kesimpulan

Pinus merkusii membentuk 7 morfotipe ektomikoriza yaitu *simple very pole brown*, *dichotomous light yellowish brown*, *dichotomous brownish yellow*, *monopodial-pinnate reddish black*, *irregularly pinnate very dark grey*, *coralloid dark brown* dan *coralloid very dark gray*. Morfotipe *simple very pole brown* merupakan tipe dengan kelimpahan relatif dan indeks kekayaan spesies tinggi dengan persentase kolonisasi akar 36,43%. Indeks keanekaragaman ektomikoriza pada *P. merkusii* termasuk kategori tinggi dengan nilai 3,45.

Daftar Pustaka

1. Agerer R. 1991. Characterization of ectomycorrhiza. Di dalam: Norris JR, Read DJ, Varma AK, editor. Techniques for The Study of Mycorrhiza. Methods Microbiology. London (GB): Academic Pr. hlm 25-73.
2. Agerer R. 1996. Colour Atlas of Ectomycorrhizae. Germany (DE): Einhorn Verlag, Schwabish Gmund D-73525. hlm 149-151.
3. Andayani, W. 2006. Analisis Keuntungan Pengusahaan Hutan Pinus (*Pinus merkusii* Jung et de Vriese) di KPH Pekalongan Barat. Jurnal Manajemen Hutan Tropika Vol. XII No. 3 : 26-39 (2006).
4. Brundrett M, Bougher N, Dell B, Grove T, Malajczuk N. 1996. Working With Mycorrhizae in Forestry and Agriculture. Australia: Monograph ACIAR.
5. Cho, Y. Yoo, S. Park, MS., Kim, JS, Kim, CS. Lim YW. Ectomycorrhizal Fungi Associated with *Pinus densiflora* Seedlings under Flooding Stress. Sustainability 2021, 13, 4367.
6. Gernandt, DS., López, GG. García, SO., Liston, A. 2005. Phylogeny and classification of Pinus. Taxon 54 (1) February 2005: 29-42.
7. Godbold, DL. Berntson, GM. Elevated atmospheric CO₂ concentration changes ectomycorrhizal morphotype assemblages in *Betula papyrifera*. Tree Physiology 17, 347–350.
8. Hartini, S. Asikin, D. Gafar, A. 2020. Perkembangan Pembangunan Kebun Raya Kendari. Warta Kebun Raya Edisi Khusus 18 (2) , November 2020.
9. Imanuddin, R. Hidayat, A. Rachmat, HH. Turjaman, M. Pratiwi, Nurfitriani, F, Indrajaya, Y. Susilowati, A. 2020. Reforestation and Sustainable Management of *Pinus merkusii* Forest Plantation in Indonesia: A Review. Forests 2020, 11, 1235.
10. Ishida TA, Nara K, Hogetsu T. 2007. Host effects on ectomycorrhizal fungal communities: insight from eight host species in mixed conifer-broadleaf forests. Asian Natural Environmental Science Center. The University of Tokyo. Nishitokyo. Tokyo. 188-0002. Japan. Journal compilation. New Phytologist.
11. Johnson, NC. Graham, JH. Smith, FA. 1997. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. New Phytol. 135: 575-585.
12. Moser, AM. Petersen, CA. D'Allura, JA. Southworth, D. Comparison of ectomycorrhizas of *Quercus garryana* (Fagaceae) on serpentine and nonserpentine soils in southwestern Oregon. American Journal of Botany 92(2): 224–230. 2005.
13. Murata, M. Kanetani, S. Nara, K. 2017. Ectomycorrhizal fungal communities in endangered *Pinus amamiana* forests. PLoS ONE, (2017), 1-19, 12(12).
14. Rosinger, C. Sandén, H. Matthews, B. Mayer, M. Godbold, DL. 2018. Patterns in Ectomycorrhizal Diversity, Community Composition, and Exploration Types in European Beech, Pine, and Spruce Forests. Forests 2018, 9, 445.
15. Simard, SW. Perry, DA. Jones, MD. Myrold, DP. Durall, DM. Molina R. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. Nature. 388: 579-582.
16. Suza, LM. Kallowb, S. Reedc, K. Bidartondoa, MI. Barsoum, N. 2017. Pine mycorrhizal communities in pure and mixed pine-oak forests: Abiotic environment trumps neighboring oak host effects. Forest Ecology and Management 406 (2017) 370–380.

17. Voiblet, C. Duplessis, S. Encelot, N. Martin, F. Identification of symbiosis-regulated genes in *Eucalyptus globulus* - *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhiza by differential hybridization of arrayed cDNAs. *Plant Journal*, (2001), 181-191, 25(2).
18. Zheng, W. Morris, EK. Matthias Rillig, MC. 2014. Ectomycorrhizal fungi in association with *Pinus sylvestris* seedlings promote soil aggregation and soil water repellency. *oil Biology & Biochemistry* 78 (2014) 326e331.