



KEANEKARAGAMAN JAMUR MIKORIZA ARBUSKULAR PADA RIZOSFER TANAMAN KAKAO (*Theobroma cacao* L) DI KEBUN RAKYAT DESA DOLAGO KABUPATEN PARIGI MAUTONG

Desi Wahyuni Arsih¹, Mutmainah², Rosmini³, Muh Fadil Ihwansyah⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia

Email: desiwahyuni992@gmail.com

Abstract

*Mycorrhiza refers to the symbiotic mutualistic relationship between fungi and plant roots, in which both organisms benefit from the interaction. This study aims to analyze the diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in the rhizosphere of cocoa plants (*Theobroma cacao* L.). Soil samples were collected using a purposive sampling method, then isolated and identified to the genus level in the Agronomy Laboratory, Faculty of Agriculture, Tadulako University, Palu. Data analysis included the Shannon–Wiener diversity index and dominance index. Based on the identification results, four genera of AMF were found: *Racocetra*, *Funneliformis*, *Gigaspora*, and *Claroideoglossum*. The diversity index was 1.09, categorized as low, and the dominance index was 0.40, also categorized as low.*

Keywords: AMF, Cocoa, Diversity, Mycorrhiza

Abstrak

Mikoriza adalah hubungan antara jamur dan akar tanaman yang saling berinteraksi dan memberi keuntungan pada kedua belah pihak atau bersimbiosis mutualisme. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis keanekaragaman fungi mikoriza arbuskular pada rizosfer tanaman kakao (*T.cacao* L). Sampel tanah diambil dengan menggunakan metode Purposive sampling. Sampel tanah diisolasi dan diidentifikasi dilaboratorium Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Tadulako palu sampai dengan tingkat genus. Analisis data menggunakan analisis indeks keanekaragaman shannon winner dan indeks dominasi. Berdasarkan hasil idnetifikasi didapatkan 4 jenis mikoriza yaitu *Racocetra*, *funnleformis*, *gigaspora* dan *claroideglossum*. indeks keanekaragaman didapatkan dengan nilai 1,09 dengan kriteria tergolong rendah. Indeks dominasi didapatkan dengan nilai 0,40 dengan kriteria tergolong rendah.

Kata Kunci: AMF, Kakao, Keanekaragaman, Mikoriza

1. Pendahuluan

Kakao (*Theobroma cacao* L) merupakan salah satu tanaman perkebunan yang mempunyai peranan penting dan bisa diandalkan untuk mewujudkan program pembangunan pertanian dan dapat berperan bagi pembangunan agroindustri (Membalik *et al.*, 2021). Indonesia termasuk kedalam penghasil kakao (*T. cacao* L) terbaik di dunia. Indonesia menempati urutan ketiga produsen terbesar kakao di dunia setelah Pantai gading dan Ghana. Namun, sampai saat ini indonesia menempati urutan kelima, hal ini di sebabkan turunnya hasil

produksi kakao sejak tahun 2017 dimana Ekuador dan Nigeria berhasil menggeser indonesia karena dapat memproduksi kakao lebih baik (Ariningsih *et al.*, 2020).

Data global kakao berdasarkan *International cocoa organisation (ICCO)* menunjukkan bahwa produksi kakao dunia mencapai 4,82 juta ton pada 2021/2022. Kabupaten Parigi Moutong merupakan kabupaten penghasil kakao terbanyak dan mempunyai luas perkebunan kakao terbesar di Provinsi Sulawesi Tengah dengan total produksi pertahun 69.704 ton dengan luas 26.522 Ha (BPS, 2022). Parigi Moutong mempunyai potensi besar untuk membudidayakan kakao dimana masyarakatnya sebagian besar bekerja sebagai petani kakao (Purwanto *et al.*, 2019). Salah satu faktor kurangnya hasil kakao diakibatkan oleh menurunnya daya subur atau daya produktif tanah yang salah satunya dihasilkan oleh penggunaan pupuk an-organik secara berlebihan yang menyebabkan kualitas tanah menjadi menurun. Ketergantungan terhadap penggunaan pupuk an-organik dalam jangka panjang memiliki dampak negatif terhadap kesehatan tanah, seperti penurunan degradasi struktur tanah, penurunan biodiversitas mikroorganisme tanah serta pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan dan perbaikan keadaan tanah secara biologis dengan menggunakan mikroba tanah yaitu mikoriza arbuskular (Tarigan *et al.*, 2022).

Mikoriza adalah suatu keadaan atau hubungan antara jamur dan akar tanaman yang saling berinteraksi dan memberi keuntungan pada kedua belah pihak (*simbosis mutualisme*) (Nupus naufal, 2018). Mikoriza arbuskular tergolong kedalam Endomikoriza yang mampu menguntungkan bagi tanaman terutama pada pada proses penyerapan unsur hara (*Silitonga et al.*, 2020). Bentuk interaksi yang dihasilkan berupa pertukaran mineral dan nutrisi antara jamur dan tanaman inang (Rosas-Moreno *et al.*, 2023). Sebanyak (\pm 80%) tanaman bersimbiosis mutualisme dengan mikoriza arbuskular dikarenakan mikoriza arbuskular ini dapat dijadikan sumber pupuk hayati atau pupuk biologi yang dapat berperan penting bagi pertumbuhan tanaman (Masrikail *et al.*, 2019).

Masing-masing mikoriza arbuskular memiliki karakteristik tertentu kesesuai jenis fungi mikoriza arbuskular dengan tanaman inang akan berpengaruh terhadap jumlah populasi mikoriza dan pertumbuhan inangnya (Akmal *et al.*, 2019). Faktor utama yang dapat mempengaruhi komunitas dan pertumbuhan Mikoriza arbuskular adalah unsur hara fosfor pada suatu tanah. Mikoriza arbuskular memiliki kemampuan memperluas area penyerapan, memobilisasi fosfor yang terikat, serta mentransfer fosfor secara efisien ke akar melalui struktur arbuskula. Mekanisme ini sangat penting untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas kakao pada tanah dengan ketersediaan fosfor rendah. (Budi *et al.*, 2024). Keanekaragaman genus mikoriza arbuskular pada ekosistem sangat bervariasi, dipengaruhi oleh komposisi nutrisi yang ada pada tanah areal perakaran (Ma *et al.*, 2021). Tanaman yang mempunyai kandungan fosfor tinggi dapat membatasi keanekaragaman mikoriza arbuskula dan sebaliknya rendahnya kandungan fosfor dalam tanah akan menambah ketersediaan mikoriza seperti pada tanah inseptisol (Kartika *et al.*, 2022). Dengan demikian penelitian keanekaragaman mikoriza pada rizosfer tanaman kakao sangat penting dilakukan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi pengembangan budidaya tanaman kakao yang ramah lingkungan serta mendukung upaya peningkatan hasil yang optimal.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember sampai dengan Maret 2024. Pengambilan sampel tanah dilakukan diperkebunan kakao Desa Dolago, Kabupaten Parigi Moutong. Identifikasi mikoriza arbuskular dilakukan di Laboratorium Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako. Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah soil corer, meteran, plastik zip, kertas label, timbangan, mikroskop, gelas objek, tabung centrifuge, centrifuge, kertas saring, cawan petri, saringan berukuran 200 μm , 125 μm , 35 μm , lumpang dan aluporselin, gelas, gelas ukur, labu semprot, corong, pinset, jarum dan kamera digital. Bahan yang digunakan adalah aquades, polyvinyl lacto glycerol (PVLG) dan sampel tanah.

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan pengambilan secara diagonal di area perkebunan kakao, pengambilan sampel tanah dilakukan sebanyak 5 plot dalam 1 hektar dimana setiap plotnya berisi 3 pohon kakao dengan 5 titik pengambilan sampel pada setiap pohonnya jumlah sampel yang diambil secara keseluruhan adalah 75 sampel (5 plot x 15 sampel tanah). Jarak antara titik pengambilan sampel yaitu 1 meter dari titik pohon kakao. Sampel tanah diambil menggunakan soil corer berdiameter 5 cm dan kedalaman 20 cm (Kedalaman 20 cm dan diameter inti 5 cm paling representatif secara biologis dan ekologis untuk mendeteksi keberadaan serta kelimpahan spora MA di rizosfer kakao, sekaligus sesuai dengan standar metodologi penelitian mikoriza tanah). Sebanyak 0,5 kg sampel tanah diambil dan dimasukkan kedalam plastik, diberikan label yang berisi nomor, dimasukkan ke dalam wadah penyimpanan yang selanjutnya dibawah kedalam laboratorium untuk dilakukan isolasi dan identifikasi mikoriza arbuskular.

Isolasi dan identifikasi spora mikoriza dilakukan dengan metode tuang saring yang telah termodifikasi dengan INVAM dan dilanjutkan dengan metode sentrifugasi. Suatu proses dimana sebanyak 10 gram sampel tanah dituangkan ke dalam 100 ml air (1:10), kemudian diaduk hingga tercampur rata dan didiamkan selama 2 menit hingga partikel tanah yang besar mengendap di dasar gelas. Setelah sampel tanah didiamkan, selanjutnya disaring menggunakan saringan bertingkat 200 μm , 125 μm , dan 35 μm . Hasil filter masing-masing ukuran filter dipindahkan ke tabung centrifuge kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 3500 RPM (Revolutions Per Minute) selama ± 4 menit. Hasil sentrifugasi disaring pada kertas saring kemudian sampel tanah dapat diisolasi dengan PVLG (polyvinyl lacto glycerol) yang telah diletakkan pada gelas objek.

Identifikasi Mikoriza arbuskular dilakukan pada hasil ekstraksi sampel, kemudian setiap sampel dihitung dan diidentifikasi bentuknya morfologi mikoriza arbuskular yang kemudian dibandingkan dengan pembanding INVAM dan jurnal identifikasi lainnya. Identifikasi mikoriza arbuskular diklasifikasikan sampai pada tingkat genus (Edy *et al.*, 2019).

Pada penelitian ini indikator keanekaragaman adalah jumlah dan jenis spora. Spora yang diperoleh kemudian dihitung berdasarkan jenis dan jumlahnya. Data yang diperoleh mengenai jumlah spora yang teridentifikasi kemudian dianalisis menggunakan indeks kekayaan spesies, keragaman Shannon serta indeks dominasi.

Indeks keanekaragaman dihitung dengan menggunakan rumus Shannon- Wiener H' (Magurran, 1988), sebagai berikut:

$$H' = -\sum (p_i) (\ln p_i)$$

Keterangan:

H' : Indeks keanekaragaman

Ni : Jumlah individu satu jenis

N : Jumlah individu seluruh jenis

Pi : Proporsi jumlah individu jenis ke-idengan jumlah individu semua jenis

Indeks keanekaragaman Shannon-winner terbagi menjadi 3 kriteria dimana $H' > 3$ maka Keanekaragaman spesies tinggi, $1 \leq H' < 3$ maka keanekaragaman sedang, $H' < 1$ maka keanekaragaman rendah. Indeks dominasi dihitung dengan menggunakan rumus Simpson sebagai berikut:

$$D = \sum P_i^2$$

Keterangan

D : Indeks dominasi

Pi : Jumlah Rasio (ni/N)

N : Jumlah total Individu

Ni : Jumlah individu tiap jenis

Indeks dominasi memiliki kriteria yang dapat dibagi menjadi 3 yaitu sebagai berikut apabila $0,75 < D \leq 1,0$ maka dominasi tinggi, $0,5 < D \leq 0,75$ maka dominasi sedang, $0 < D \leq 0,5$ maka dominasi rendah.

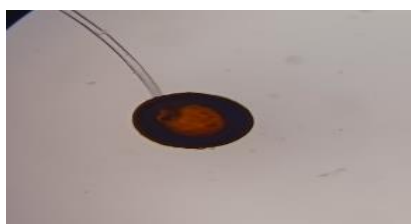
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil dan jumlah pengamatan mikoriza arbuskular yang telah diidentifikasi berdasarkan genus dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

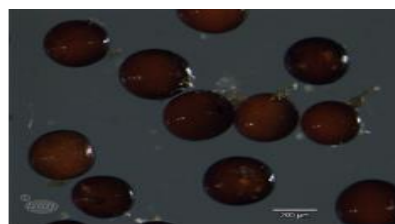
Tabel 1. Jumlah spora mikoriza arbuskular pada rizosfer tanaman kakao

Nama Genus	Total
Racocetra	1085
Funneliformis	332
Gigaspora	86
Clarodeoglosum	409

Tabel diatas menunjukkan 4 jenis spora MA yang telah teridentifikasi berdasarkan genus dan morfologi dimana genus Racocetra sebanyak 1085, Funneliformis sebanyak 332, Gigaspora sebanyak 86, dan clarodeoglosum sebanyak 409. Berikut hasil pengamatan secara mikroskopis berdasarkan morfologi warna dan bentuk dapat dilihat sebagai berikut:

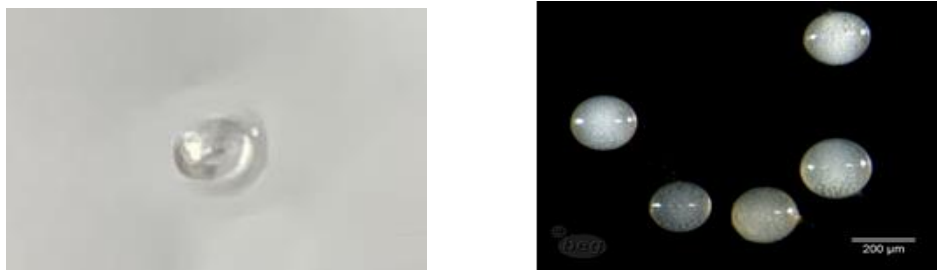


(a)



(b)

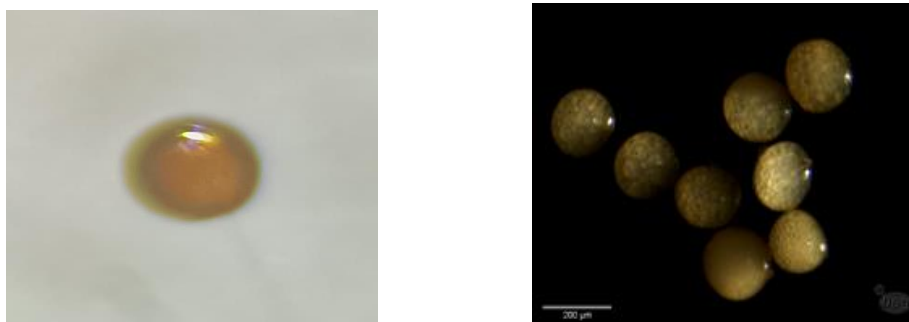
Gambar 1. Genus *Racocetra* a). Jenis spora MA yang ditemukan, b) Referensi menurut *the international Bank For the Glomeromycota* (INVAM,2022) <http://www.i-beg.eu/>



(a)

(b)

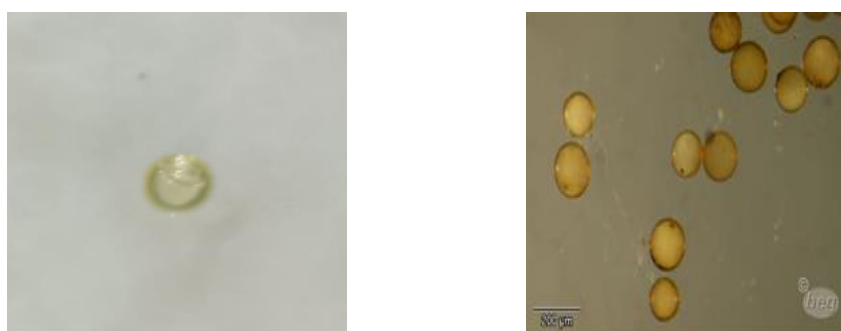
Gambar 2. Genus *Gigaspora*, a). Jenis spora yang ditemukan. b) Referensi menurut *the international Bank For the Glomeromycota* (INVAM,2022) <http://www.i-beg.eu/>



(a)

(b)

Gambar 3. Genus *Funneleformis* a) Jenis spora yang ditemukan b) Referensi menurut *the international Bank For the Glomeromycota* (INVAM,2022) <http://www.i-beg.eu/>



(a)

(b)

Gambar 4. Genus *Claroideoglossum* a). Jenis spora yang ditemukan b) Referensi menurut *the international Bank For the Glomeromycota* (INVAM,2022) <http://www.i-beg.eu/>

Berdasarkan identifikasi secara mikroskopis pada genus *racocetraagregaria* mempunyai warna coklat tua kehitaman dan berbentuk bulat globase hal ini sesuai dengan hasil penelitian dari Ai Nurlaila *et al.*, (2024), *racocetra* memiliki warna jingga hingga coklat tua mempunyai 2 lapis dinding spora. *Funneliformis* mempunyai warna kuning hingga orange berbentuk bulat. Menurut INVAM (2022), *Funneliformis* memiliki ciri ciri berwarna kuning kecoklatan dinding spora terdiri atas dua atau satu lapisan. *Gigaspora* mempunyai

warna putih berbentuk bulat dan berukuran besar menurut INVAM (2022), *Gigaspora candida* mempunyai warna putih bening memiliki bentuk globase dan berukuran 160-280 um. *Claroideoglossum* mempunyai spora berbentuk bulat-oval berwarna kekuningan. Menurut INVAM (2022), *Claroideoglossum* memiliki ciri-ciri yaitu warna krem hingga kuning mudah, berbentuk globase, berukuran 80-160 um.

Hasil identifikasi (tabel 1), terdapat 4 jenis MA dimana jenis *racocetra* didapatkan dengan jumlah terbanyak 1085 dan jenis MA terendah yaitu *gigaspora* dengan jumlah 86. Ketersediaan MA bisa dipengaruhi oleh ketersediaan air, eksudat akar dan kesuburan tanah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Aninsi *et al.*, (2024), bahwa kelembapan dan kadar air tanah yang berlebihan dapat menghambat mikoriza, kondisi ini disebut anaerob sedangkan kekurangan air dapat mengakibatkan kekeringan pada tanah. Pertumbuhan mikoriza dapat dipengaruhi oleh kepekaan tanaman inang terhadap pH tanah, suhu tanah, residu akar dan intensitas cahaya (Saputra *et al.*, 2020). Selain itu, jumlah dan jenis spora di pengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik mencakup tanaman inang, interaksi mikroba, kompetisi antar cendawan mikoriza dan tipe perakaran tanaman inang sedangkan faktor abiotik meliputi pH, kadar udara konsentrasi hara, suhu, pengolahan tanah dan penggunaan pupuk (Purba & Prasetya, 2021).

Indeks keanekaragaman

Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan indeks keanekaragaman mikoriza arbuskular pada rizosfer tanaman kakao dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. Indeks keanekaragaman mikoriza arbuskular pada rizosfer tanaman kakao

Tanaman	Indeks keanekaragaman	Kriteria
Kakao	1,09	Rendah

Tabel di atas menunjukkan nilai indeks keanekaragaman shannon MA pada tanaman kakao dimana didapatkan dengan nilai 1,09 dengan kriteria rendah. Nilai indeks keanekaragaman kategori rendah memiliki beberapa implikasi ekologis penting terhadap kesehatan tanah perkebunan kakao yaitu penurunan fungsi ekosistem tanah, indikasi degradasi tanah dan tekanan pengelolaan. Keanekaragaman yang rendah menunjukkan terbatasnya jenis organisme tanah yang berperan dalam siklus hara terutama fosfor dan nitrogen, dekomposisi bahan organik, dan pembentukan serta stabilitas agregat tanah. Akibatnya, efisiensi fungsi ekologis tanah menjadi menurun. Selain itu indeks keanekaragaman rendah menunjukkan penggunaan pupuk an-organik dan pestisida berlebihan dan minimnya input bahan organik serta gangguan fisik tanah (pemadatan, erosi), hal ini mengindikasikan sistem budidaya yang kurang berkelanjutan. Indeks keanekaragaman merupakan komposisi setiap individu suatu spesies dalam suatu komunitas (Wisubroto *et al.*, 2023). Keanekaragaman mikroorganisme sangat penting dalam keseimbangan ekosistem dan dapat menentukan indikator tanah itu dikatakan sehat atau tidak dan dapat mempengaruhi kondisi tanaman yang tumbuh di atasnya. Indeks keanekaragaman jenis yang tinggi menunjukkan bahwa suatu komunitas mempunyai kompleksitas tinggi karena terjadi interaksi jenis yang terjadi dalam komunitas tersebut sangat tinggi sebaliknya indeks keanekaragaman rendah menunjukkan terbatasnya jenis organisme yang berinteraksidalam

suatu komunitas (Saputra *et al.*, 2020).

Keanekaragaman mikoriza yang rendah dalam agroekosistem mempengaruhi produktivitas tanaman dan ketahanannya terhadap berbagai bentuk cekaman biotik maupun abiotik. Mikoriza arbuskula berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, menjaga stabilitas fisiologis tanaman, serta memperkuat fungsi ekosistem tanah. Penurunan atau rendahnya keragaman mikoriza dapat mengganggu keberlanjutan sistem produksi kakao. Pertumbuhan tumbuhan di pengaruhi faktor biotik maupun abiotik untuk menghindari dampak buruk dari kondisi lingkungan dengan pemanfaatan fungi mikoriza arbuskula. Mikoriza arbuskula merupakan mikroba yang dapat membantu penyerapan nutrisi sehingga meningkatkan kualitas hidup tanaman agar dapat bertahan di lahan terdegradasi dan terbukti secara signifikan dapat memperbaiki ketahanan tanaman terhadap beberapa faktor stres abiotik dan penyerapan nutrisi (Husein *et al.*, 2022). Penggunaan mikoriza membantu pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme dan mampu bertahan pada lahan terdegradasi sehingga FMA memainkan peran penting dalam keberlangsungan hidup tanaman (Sun *et al.*, 2018). Menurut (Hu *et al.*, 2020), mikoriza arbuskula terbukti membantu tanaman agar lebih toleran terhadap kondisi kekeringan karena mikoriza membantu tanaman menyerap air dari tempat yang tidak terjangkau oleh akar melalui hifa. Mikoriza arbuskula membentuk vesikel, arbuskula, dan hifa di akar tanaman, serta hifa dan spora di rizosfer. Pembentukan jaringan hifa mikoriza arbuskula dengan akar tanaman secara signifikan dapat meningkatkan akses akar ke area permukaan tanah yang luas, sehingga menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman.

Indeks Dominasi Mikoriza

Berdasarkan pengamatan dan perhitungan indeks dominasi mikoriza arbuskular pada rizosfer tanaman kakao dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Indeks dominasi mikoriza arbuskular pada tanaman kakao

Tanaman	Indeks dominasi	Kriteria
Kakao	0,40	Rendah

Tabel diatas menunjukkan bahwa indeks dominasi MA pada tanaman kakao dimana didapatkan nilai 0,40 dengan kriteria rendah. Indeks dominasi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat dominasi pada suatu komunitas. Berdasarkan hasil pengamatan diatas pada (tabel. 3) nilai indeks dominasi berkisar 0,40 dimana nilai ini termasuk dalam kriteria rendah. Semakin kecil nilai indeks dominasi pada suatu komunitas maka tidak ada spesies mendominasi pada suatu komunitas dan sebaliknya semakin besar dominasi maka menunjukkan ada spesies tertentu yang dominan (Fatmawati *et al.*, 2025). Indeks dominasi ini sangat berguna dalam mengetahui bagaimana distribusi jenis-jenis mikoriza dalam suatu ekosistem dan bagaimana mereka saling berinteraksi dengan lingkungan mereka. Ekosistem dengan keanekaragaman sedang hingga tinggi memiliki dominansi yang rendah (Muhtarom Budidaya *et al.*, 2020)

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan 4 genus mikoriza arbuskular yaitu *Racocetra*, *Funneliformis*, *Gigaspora*, *Clarodeoglossum* dengan nilai indeks keanekaragaman 1,09 termasuk dalam kriteria rendah dan indeks dominasi dengan nilai 0,40 termasuk dalam

kriteria rendah. Hal ini menunjukkan penurunan fungsi ekosistem tanah mengakibatkan terbatasnya jenis organisme tanah yang berperan dalam siklus hara yang saling berinteraksi akibat penggunaan pupuk an-organik serta pestisida berlebihan dan minimnya input bahan organik.

Peningkatan peran mikoriza pada perkebunan kakao dapat dicapai melalui pendekatan terpadu, yaitu mengombinasikan pemupukan berimbang, peningkatan bahan organik, inokulasi MA, serta pengelolaan lahan yang ramah terhadap mikroorganisme tanah. Praktik ini tidak hanya meningkatkan efisiensi serapan hara dan ketahanan tanaman, tetapi juga mendukung keberlanjutan produktivitas kakao jangka panjang. Perlu adanya penelitian lanjutan peran mikoriza arbuskula dalam sistem pertanian kakao melalui pendekatan komplementer yang saling terintegrasi, baik pada tingkat molekuler, kimia tanah, maupun ekologi lapangan untuk melihat mekanisme interaksi tanaman dan mikroba tanah secara lebih komprehensif dan aplikatif.

5. Referensi

- Ai Nurlaila, Karyaningsih, I., Kosasih, D., Ilham Adhya, Meindhika Giwantara, & Wiwit Walinda. (2023). Perbanyakan Mikoriza Indigenus Taman Nasional Gunung Ciremai dengan Berbagai Tanaman Inang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 29(1), 90–98. /10.18343/jipi.29.1.90
- Akmal, N., Hari Yani, W., Imrotun Khasanah, Y., & Zuraidah. (2019). Komposisi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) Pada Beberapa Jenis Pohon Di Pegunungan Gampong Iboih Sabang. In *Prosiding Seminar Nasional Biotik*.
- Aninsi, E. I., Basir, M., Rizqi, M., & Toana, C. (2024). Characteristics of Mycorrhiza in Corn (*Zea mays* L.) Cultivation. *J. Agrotekbis*, 12(3), 558–566. <https://doi.org/10.22487/agrotekbis.v12i3.2133>
- Ariningsih, E., Purba, H. J., Sinuraya, J. F., Suharyono, S., & Septanti, K. S. (2020). Kinerja Industri Kakao di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 37(1), 1. <https://doi.org/10.21082/fae.v37n1.2019.1-23>
- Budi, W., Arifandi, C. P., & Winata, D. B. (2024). Keragaman Fungi Mikoriza Arbuskula di Zona Inti Dan Zona Rehabilitasi Taman Nasional Gunung Halimun Salak. *Jurnal Silviculture Tropika*, 15(03).
- Edy, N., Zakaria, E. K., Lakani, I., & Hasriyanti. (2019). Forest conversion into cacao agroforestry and cacao plantation change the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 270(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/270/1/012015>
- Fatmawati, Z., Widada, J., Widiyanto, D., Cahyaningtyas, A., & Putri, D. A. L. P. (2025). Keragaman Jamur Mikoriza Arbuskular pada Rizosfer Tiga Varietas Tanaman Tebu. *Acta Solum*, 3(2), 54–61. <https://doi.org/10.20527/actasolum.v3i2.3293>
- Hu, Y., Xie, W., & Chen, B. (2020). Arbuscular mycorrhiza improved drought tolerance of maize seedlings by altering photosystem II efficiency and the levels of key metabolites. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00186-4>
- Husein, M., Umami, N., Pertiwinigrum, A., Rahman, M. M., & Ananta, D. (2022). The Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Density and Diversity on the Growth and Biomass of Corn and Sorghum Forage in Trapping Culture. *Tropical Animal Science Journal*, 45(1), 37–43. <https://doi.org/10.5398/tasj.2022.45.1.37>
- Kartika, E., Duaja, M. D., & Gusniwati, G. (2022). Respons Tanaman Kopi Liberika Bermikoriza Di Lahan Gambut Terhadap Aplikasi Pupuk Anorganik. *Jurnal AGRO*, 9(2), 178–192. <https://doi.org/10.15575/21421>
- Ma, X., Geng, Q., Zhang, H., Bian, C., Chen, H. Y. H., Jiang, D., & Xu, X. (2021). Global Negative Effects of Nutrient Enrichment on Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Plant Diversity and Ecosystem Multifunctionality. *New Phytologist*, 229(5), 2957–2969. <https://doi.org/10.1111/nph.17077>
- Muhtarom Budidaya, N., Pangan, T., & Tonggak Equator, P. (2020). Analisis Keragaman Fungi Mikoriza Arbuskular (Fma) Di Beberapa Vegetasi Lahan Gambut. *Jurnal Pertanian dan Pangan*, 2(2)
- Nupus naufal, U. U. jasmida, M. (2018). Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskula (Fma) Pada Beberapa Jenis Pohon Di Kawasan Hutan Primer Deudap Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2018*.

- Purba, J. M., & Prasetya, B. (2021). Eksplorasi Dan Identifikasi Mikoriza Dari Berbagai Macam Vegetasi Pada Lahan Agroforestry. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 369–376. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.2.8>
- Rosas-Moreno, J., Walker, C., Duffy, K., Krüger, C., Krüger, M., Robinson, C. H., & Pittman, J. K. (2023). Isolation and identification of arbuscular mycorrhizal fungi from an abandoned uranium mine and their role in soil-to-plant transfer of radionuclides and metals. *Science of the Total Environment*, 876. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162781>
- Saputra, R., Wijayanto, N., & Mansur, I. (2020). Status Dan Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskula Di Lahan Agroforestri. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 11(03), 119–125.
- Silitonga, Y. W., Nizar, M., & Nasution, H. (2020). Efektivitas Cendawan Mikoriza Arbuskula (Cma) Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Jagung Putih (*Zea Mays L.*). *Agrium*, 23(1). <https://doi.org/10.30596/agrium.v21i3.2456>
- Sun Z, Song J, Xin X, Xie X, and Zhao B. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungal proteins 14- 3-3- are involved in arbuscule formation and responses to abiotic stresses during AM symbiosis. *Front Microbiol.* 9(91):1–19. doi: 10.3389/fmicb.2018.00091.
- Tarigan, M. J., Rai, I. N., & Wiraatmaja, I. W. (2022). Respon Pertumbuhan dan Hasil Kakao (*Theobroma cacao L.*) terhadap Prototipe Pupuk Hayati FMA Indigenus dengan Media Pembawa Berbeda dan Konsentrasi Pupuk Hayati Cair. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 5(3), 504–512. <https://doi.org/10.37637/ab.v5i3.1002>
- Wisnubroto, M. P., Armansyah, A., Anwar, A., & Suhendra, D. (2023). Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) pada Rizosfer Beberapa Vegetasi di Lahan Pasca Tambang Batu Bara dengan Tingkat Kelerengan Berbeda. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 6(3), 771–782. <https://doi.org/10.37637/ab.v6i3.1514>