

Keragaman Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Pola Tanam *Paper nigrum* Yang Berbeda Di Areal Sekitar Lahan Tambang Nikel
(Arbuscular Mycorrhizal Fungi Diversity in Different Cropping Patterns of *Paper nigrum* in Area Around The Nickel Mining Land)

Muh. Akhsan Akib¹, Andi Nuddin¹, Retno Prayudyaningsih², Tutik Kuswinanti³, Syatrianti Andi Syaiful³, & Sarjiya Antonius⁴.

¹Universitas Muhammadiyah Parepare. Sulawesi Selatan, 91131. Indonesia.

²Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar. Sulawesi Selatan, 90243, Indonesia.

³Universitas Hasanuddin. Sulawesi Selatan, 90245, Indonesia.

⁴Pusat Riset Mikrobiologi Terapan, OR: Hayati dan Lingkungan, BRIN. Jakarta, 12710, Indonesia.

Correspondent author: akhsanbagus@yahoo.co.id

Memasukkan: Maret 2022, **Diterima:** Juni 2022

ABSTRACT

Pepper cultivation techniques (*Paper nigrum*) in Indonesia are quite diverse in each region, depending on the type of pepper cultivated, farmer characteristics, and environmental factors, so that pepper cultivation in Indonesia can be grouped into; Conventional cultivation, non-pesticide cultivation, and organic cultivation, with monoculture or polyculture cropping patterns that have different diversity of soil microorganisms and can be beneficial for plant growth, one of which is arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). This activity aims to isolate, identify and determine the level of colonization of Indigenous AMF from the rhizosphere of pepper. The study began with sampling the rhizosphere in a community-owned pepper plantation with monoculture and polyculture cropping patterns, in East Luwu District, Indonesia. Isolation, identification, and analysis of AMF colonization activities were carried out in the microbiology laboratory of the Makassar Environmental and Forestry Research and Development Center to determine spore morphotype, spore abundance, and AMF colonization level. The results showed that nine AMF morphotypes with low spore density (1-53 spores.100g sample⁻¹) were found, which were dominated by *Acaulospora* sp. with a high-level colonization rate ($\geq 51\%$) on pepper with polyculture cropping pattern. Polyculture cropping patterns provide a good environment to complete the life cycle and increase the number of AMF spore populations, so it can be recommended as an environmentally friendly cropping pattern and preserve the indigenous AMF.

Keywords: Mycorrhizal fungi, *Paper nigrum*, growth, polyculture soil properties.

ABSTRAK

Teknik budidaya lada (*Paper nigrum*) di Indonesia cukup beragam di setiap daerah, tergantung dari jenis lada yang dibudidayakan, karakteristik petani, dan faktor lingkungan, sehingga budidaya lada di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi; Budidaya konvensional, budidaya non pestisida, dan budidaya organik, dengan pola tanam monokultur atau polikultur yang memiliki keragaman mikroorganisme tanah yang berbeda dan dapat bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman, salah satunya fungi mikoriza arbuskular (FMA). Kegiatan ini bertujuan untuk mengisolasi, mengidentifikasi dan menentukan tingkat kolonisasi FMA Indigenous dari rizosfer tanaman lada. Penelitian dimulai dengan pengambilan sampel rizosfer di perkebunan lada milik masyarakat dengan pola tanam monokultur dan polikultur, di Kabupaten Luwu Timur, Indonesia. Isolasi, identifikasi, dan analisis aktivitas kolonisasi FMA dilakukan di laboratorium mikrobiologi Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar untuk mengetahui morfotipe spora, kelimpahan spora, dan tingkat kolonisasi FMA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ditemukan sembilan morfotipe FMA dengan kerapatan spora yang rendah (1-53 spora.100g sampel⁻¹) yang didominasi oleh *Acaulospora* sp. dengan tingkat kolonisasi yang tinggi ($\geq 51\%$) pada pola tanam polikultur. Pola tanam polikultur memberikan lingkungan yang baik untuk melengkapi siklus hidup dan meningkatkan jumlah populasi spora FMA, sehingga dapat direkomendasikan sebagai pola tanam yang ramah lingkungan dan melestarikan FMA indigenous.

Kata Kunci: Fungi mikoriza, *Paper nigrum*, pertumbuhan, polikultur, sifat tanah.

PENDAHULUAN

Budidaya lada (*Piper nigrum*) di Indonesia sangat beragam disetiap daerah, tergantung karakteristik jenis lada yang dibudidayakan, karakteristik petani lada dan faktor lingkungan, sehingga budidaya lada di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi; (1) Budidaya konvensional, (2) Budidaya non pestisida, (3) Budidaya organik, dengan pola tanam monokultur atau polikultur yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan (Prasmatiwati & Evizal 2020).

Beberapa peneliti mengemukakan bahwa kelebihan pola tanam monokultur antara lain jumlah populasi tanaman utama lebih banyak, kuantitas produksi lebih tinggi, dan perawatan lebih muda (Karyani dkk. 2020; Mardian dkk. 2020), sedangkan kekurangan pola tanam ini adalah peluang terjadinya serangan hama dan penyakit lebih tinggi, tidak ada produksi tanaman sekunder, terjadinya perubahan iklim mikro dan pengolahan lahan yang dapat berlebihan (Maghfiroh & Suryadarma 2020; Rochmah dkk. 2020). Sedangkan pola tanam polikultur mengutamakan kelestarian lingkungan dan produksi tanaman utama tidak menjadi prioritas, memberikan keuntungan antara lain; keragaman hayati lebih tinggi, meminimalkan terjadinya perubahan iklim mikro, tidak melakukan pengolahan tanah secara menyeluruh dan keragaman mikroorganisme tanah yang bermanfaat bagi tanaman (Ezward *et al.* 2020; Mulu dkk. 2020; Prasmatiwati & Evizal 2020).

Salah satu mikroorganisme yang dapat dimanfaatkan bagi tanaman dan dapat digunakan sebagai agen hayati adalah fungi mikoriza arbuskula (FMA) (Cahyaningrum dkk. 2020). FMA adalah salah satu mikroorganisme yang bersifat obligat dan dapat membantu pertumbuhan akar (Matondang *et al.*, 2020), meningkatkan penyerapan nutrisi (Mustaqimah dkk. 2019), meningkatkan resistensi tanaman terhadap cekaman abiotik dan biotik (Yuwati dkk. 2020), ketersediaan air yang minimal untuk pertumbuhan tanaman inang dapat memacu aktivitas FMA untuk menjangkau area yang lebih luas dengan membentuk miselium yang lebih banyak (Winata & Zainul 2020). Selain itu, ketersediaan air yang minimal juga menyebabkan kelarutan unsur hara ikut menurun

sehingga FMA lebih aktif untuk menyerap unsur hara untuk memenuhi kebutuhan tanaman inang (Indriana *et al.* 2020). Faktor intensitas cahaya juga mengambil peranan penting dalam aktivitas FMA, intensitas cahaya yang maksimal dapat mengoptimalkan laju fotosintesis daun sehingga dapat meningkatkan jumlah asimilat ke bagian akar. Keadaan tersebut membuat FMA memperoleh sumber energi yang cukup untuk perkembangan dan pertumbuhannya (Aryanto dkk. 2018; Yuwati 2021).

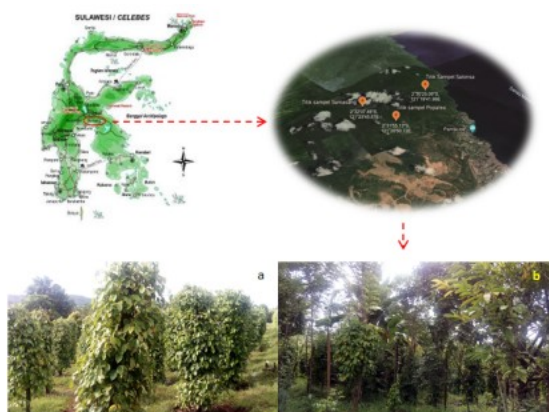
Kehadiran FMA pada pola monokultur dan polikultur telah banyak dilaporkan, namun hal ini masih banyak menyimpang pertanyaan dan hasil penelitian yang belum konsisten. Beberapa penelitian mengemukakan bahwa kelimpahan spora FMA ditemukan sangat rendah pada pola tanam polikultur jeruk siam dan sayur, Jati dan tebu (Yawan dkk. 2017). Namun beberapa peneliti juga memberikan argumentasi bahwa keragaman jenis tanaman yang tinggi dapat meningkatkan kelimpahan spora FMA, argumen ini sejalan dengan penemuan beberapa peneliti bahwa keragaman tanaman memperkaya komunitas FMA, menangkalkan efek negatif intensifikasi pertanian pada FMA, memberikan potensi untuk meningkatkan fungsi dan keberlanjutan agroekosistem. Guzman *et al.* (2021) telah menunjukkan bahwa keragaman tanaman inang menggeser komunitas FMA yang tersedia menjadi komunitas yang lebih kaya dan lebih beragam, dan menyimpulkan bahwa keragaman tanaman adalah kunci untuk memperkaya komunitas FMA.

Pemanfaatan mikoriza indigenous lebih menguntungkan dibandingkan mikoriza exogenous, hasil penelitian Akib dkk. (2019) menunjukkan bahwa pemanfaatan mikoriza *Acaulospora* sp indigenous lebih unggul dalam meningkatkan pertumbuhan *Canavalia ensiformis* dilahan pascatambang nikel dibanding mikoriza *Acaulospora* sp. lainnya. Sehingga dibutuhkan suatu penelitian yang bertujuan untuk mengisolasi, mengidentifikasi dan mengetahui tingkat kolonisasi FMA indigenous dari rizosfer tanaman lada yang dapat dimanfaatkan sebagai agen hayati untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan menjaga kelestarian sumber daya alam merupakan ruang lingkup penelitian ini.

BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian diawali dengan pengambilan sampel tanah dan akar tanaman lada di lokasi perkebunan milik petani yang menerapkan pola tanam monokultur dan polikultur di Blok Sumasang ($2^{\circ}32'07,43''\text{S}$; $121^{\circ}23'45,87''\text{E}$), Blok Salonsa ($2^{\circ}30'25,08''\text{S}$; $121^{\circ}19'41,98''\text{E}$) dan Blok Popatea ($2^{\circ}31'55,13''\text{S}$; $121^{\circ}20'50,72''\text{E}$) yang berada pada area sekitar penambangan nikel Sorowako (Gambar 1). Pola tanam polikultur yang diterapkan adalah menanam tanaman lada dengan tanaman pertanian (*Capsicum frutescens* [cabe], *Solanum lycopersicum* [tomat], *Alpinia galanga* [lengkuas], *Zingiber officinale* [jahe], *Hylocereus undatus* [buah naga]), perkebunan (*Musa* sp [pisang], *Carica papaya* [pepaya], *Cocos nucifera* [kelapa], *Theobroma cacao* [kakao], *Durio* sp [durian], *Nephelium lappaceum* [rambutan], *Syzygium aromaticum* [cengkeh]) dan kehutanan (*Gliricidia sepium* [gamal], *Ceiba pentandra* [kapuk], *Artocarpus altilis* [sukun]). Titik koordinat tempat pengambilan sampel di tiga lokasi diketahui dengan menggunakan aplikasi koordinat GPS dan Google Map.

Pengambilan rhizosfer pertanaman lada dilakukan secara diagonal pada 5 titik (T) penyampelan setiap tanaman, pada jarak 10-50 cm dari pangkal batang dengan kedalaman 5 - 15 cm sebanyak 100 gram, dan dimasukkan dalam kantong sampel (Gambar 2). Sedangkan pengambilan sampel akar dilakukan dengan

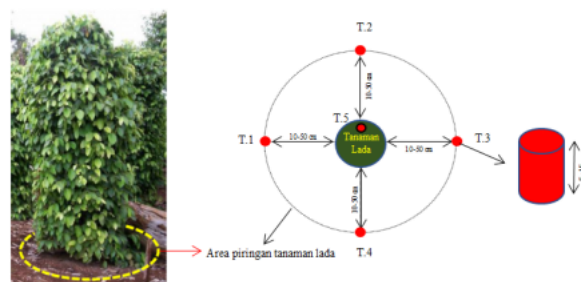


Gambar 1. Lokasi dan titik koordinat pengambilan sampel rizosfer pertanaman lada di Sorowako (pola tanam monokultur [a] dan Polikultur [b]).

cara memotong bagian akar yang masih muda dan dimasukkan kedalam kantong sampel yang telah diberi alkohol 70%. Proses isolasi dan identifikasi spora FMA dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi, Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Makassar, dan analisis sifat fisik dan kimia tanah dilaksanakan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Isolasi dan identifikasi FMA dilakukan dengan cara menimbang sampel tanah sebanyak 100 g, kemudian dimasukkan dalam gelas beaker 1000 ml dan ditambah air sampai volume 1 liter. Sampel tanah diaduk selama ± 10 menit. Suspensi tersebut di diamkan selama ± 1 menit. Cairan supernatan dituang ke dalam saringan bertingkat dengan diameter lubang 1 mm, 500 μm , 212 μm , 106 μm , 53 μm . Residu saringan yang berukuran 212 μm , 106 μm dan 53 μm dituang kedalam cawan petri untuk dibuat spesimen (Nusantara dkk. 2016).

Spesimen spora diawetkan dengan menggunakan polyvinyl alcohol lactoglycerol (PVLG) dan larutan Melzer's yang diletakkan pada satu kaca preparat. Pengamatan yang dilakukan dengan melihat ciri morfologi spora yaitu berdasarkan ukuran, warna, lapisan dinding spora, permukaan dinding spora dan reaksi dengan larutan Melzer's (Nusantara dkk. al. 2016). Hasil pengamatan spora FMA dikarakterisasi sampai tingkat genus. Peubah yang diamati adalah tipe dan kepadatan spora FMA. Ciri-ciri mikroskopis spora yang ditemukan kemudian dicocokkan dengan pedoman identifikasi yang digunakan INVAM untuk menentukan genus FMA yang ditemukan (INVAM 2020), sedangkan kepadatan spora



Gambar 2. Skema metode pengambilan rizosfer pertanaman lada di Sorowako.

ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{Kolonisasi} = \frac{\sum \text{bidang pandang yang terkoloni}}{\sum \text{keseluruhan bidang pandang}} \times 100\%$$

Pewarnaan akar (*Staining*) dilakukan dengan cara mencuci akar sampai bersih, akar dipotong ± 5 cm dan diletakan pada gelas beaker 100 ml. Ditambah 10 % KOH, dipanaskan pada suhu 250°C selama 10 menit, selanjutnya disimpan selama ± 12 jam pada suhu ruangan. 10% KOH dibuang, akar dicuci dengan air kran (pencucian dilakukan 3 kali), dan ditambahkan 3 % H_2O_2 , selanjutnya disimpan selama ± 12 jam pada suhu ruangan. 3% H_2O_2 dibuang, akar dicuci dengan air kran (pencucian dilakukan 3 kali), ditambahkan 1% HCL, selanjutnya disimpan selama ± 12 jam pada suhu ruangan. 1% HCL dibuang dan ditambah *trypan blue*, dipanaskan pada suhu 250°C selama 5 menit, kemudian disimpan selama ± 12 jam pada suhu ruangan. *Trypan blue* dibuang, ditambah *laktoglycerol*, dipanaskan pada suhu 250°C selama 5 menit, kemudian disimpan selama ± 12 jam pada suhu ruangan. Akar dipotong kurang lebih 1 cm dan diletakan berjejer pada preparat, kemudian setiap potong akar diamati dibawah mikroskop untuk melihat struktur mikorizanya (vesikel, arbuskula dan hifa) (Nusantara dkk. 2016). Persentase kolonisasi akar dihitung dengan rumus yang dikembangkan oleh (Brundrett *et al.* 1996).

The Institute of Mycorrhizal Research and Development, USDA Forest Service, Athena, Georgia telah membuat klasifikasi banyaknya infeksi akar menjadi 5 kelas: kelas 1, jika infeksi 0% - 5% (sangat rendah), kelas 2, jika infeksi 6% - 25% (rendah), kelas 3, jika infeksi 26% - 50% (sedang), kelas 4, jika infeksi 51% -

75% (tinggi), kelas 5, jika infeksi 76%-100% (sangat tinggi) (Widawati & Suliasih 2020). Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan nilai tengah yang ditampilkan dalam bentuk gambar dan grafik.

HASIL

Lokasi perkebunan lada di Sorowako umumnya berada pada ketinggian ± 1388 mdpl dan memiliki topografi yang datar hingga berbukit dengan kemiringan 0 – 30%. Hasil analisis sampel tanah dari lahan perkebunan lada dengan pola tanam monokultur dan polikultur didominasi oleh tekstur lempung dengan pH masam – agak masam, kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (KB) yang termasuk kategori rendah - sedang. Oleh karena itu, tanah pada lokasi ini sangat miskin unsur hara, yang ditunjukkan dengan kadar N dan P sangat rendah – rendah, serta K rendah – sedang (Tabel 1).

Hasil isolasi dan identifikasi spora asal pertanaman lada dengan pola tanam yang berbeda ditemukan 3 genus FMA yaitu genus *Acaulospora* sp 4 morfotipe, *Glomus* sp 1 morfotipe dan *Gigaspora* sp 2 morfotipe (Tabel 2).

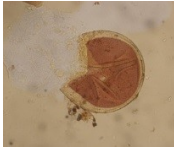
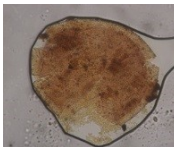
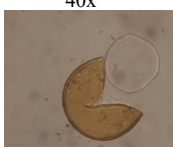
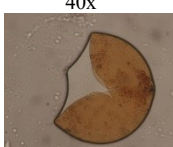
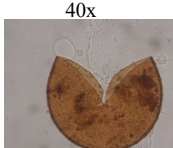
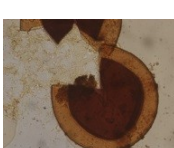
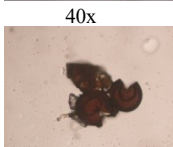
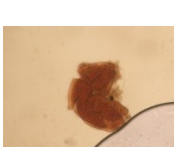
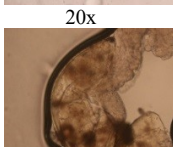
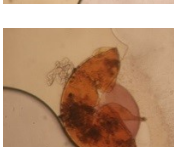
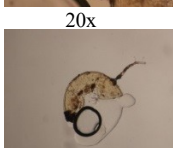
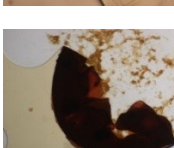
Kepadatan spora FMA tertinggi khususnya genus *Acaulospora* sp dan *Glomus* sp ditemukan pada pola tanam polikultur yang merupakan kombinasi beberapa jenis tanaman dalam suatu area pertanaman (Gambar 3, A dan B).

Kolonisasi FMA pada pola tanam lada yang ditanam secara monokultur lebih tinggi dibanding pola tanam lada secara polikultur (Gambar 4A). Kolonisasi komponen mikoriza yang lebih dominan ditemukan dalam jaringan akar adalah hifa disusul oleh vesikel, spora dan

Tabel 1. Sifat kimia dan fisika tanah pertanaman lada dengan pola tanam yang berbeda

Pola tanam	Lokasi pertanaman	Klas tekstur	pH	KTK $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$	KB (%)	N (%)	P (ppm)	K $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$
Monokultur	Sumasang 1	Lempung	6,05	13,73	36	0,1	5,89	0,22
	Popatea	Lempung berdebu	6,28	18,68	38	0,12	0,349	0,41
	Sumasang 2	Lempung liat berdebu	6,02	23,38	32	0,09	10,76	0,25
	Rata-rata		6,12	18,6	35	0,1	8,16	0,29
Polikultur	Salonsa	Lempung berliat	5,52	16,96	30	0,11	6,86	0,36
	Popatea	Lempung liat berdebu	6,07	23,46	34	0,08	10,91	0,25
	Sumasang 3	Lempung berdebu	6,09	15,56	33	0,09	0,09	0,33
	Rata-rata		5,89	18,66	32	0,09	5,95	0,31

Tabel 2. Morfologi spora fungi mikoriza arbuskula pada berbagai pola tanam lada di Sorowako.

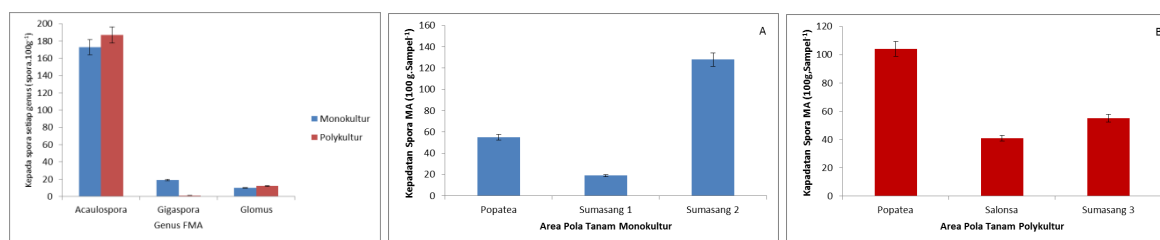
No	Pola tanam	Genus	Morfotipe	Karakteristik	Gambar spora dengan pereaksi	
					PVLG	Meltzer's
1.	Monokultur dan polikultur	<i>Acaulospora</i> sp 1	Bulat Bening Kecil	Permukaan dinding spora kasar dan bertekstur. Bereaksi terhadap meltzer's	 20x	
2.	Monokultur dan polikultur	<i>Acaulospora</i> sp 2	Bulat hijau kecil	Permukaan spora kasar Bereaksi terhadap meltzers	 40x	
3.	Monokultur dan polikultur	<i>Acaulospora</i> sp 2	Lonjong hijau kecil	Mirip bulat hijau kecil	 40x	
4.	Monokultur dan polikultur	<i>Acaulospora</i> sp 3	Bulat hijau transparan kecil	Permukaan spora halus/licin	 40x	
5.	Monokultur dan polikultur	<i>Acaulospora</i> sp 4	Bulat kuning kecil 1	Bereaksi dengan meltzer's Permukaan spora licin dan bertekstur seperti lender	 40x	
6.	Monokultur dan polikultur	<i>Acaulospora</i> sp 4	Bulat kuning kecil 2	Mirip dengan bulat kuning kecil 1	 40x	
7.	Monokultur dan polikultur	<i>Glomus</i>	Bulat cokelat kecil	Ada subtensing hifa Tidak bereaksi terhadap meltzer's	 20x	
8.	Monokultur dan polikultur	<i>Gigaspora</i> sp 1	Bulat bening besar	Ada bulbus suspensor Bereaksi terhadap meltzer's	 20x	
9.	Monokultur	<i>Gigaspora</i> sp 2	Bulat Kuning besar	Bereaksi dengan meltzer's Ada bulbus suspensor	 10x	

arbuskula (Gambar 4. B dan C). Namun secara umum tingkat kolonisasi tergolong tinggi ($\geq 50\%$) baik pada pola tanam monokultur maupun polikultur (Gambar 5).

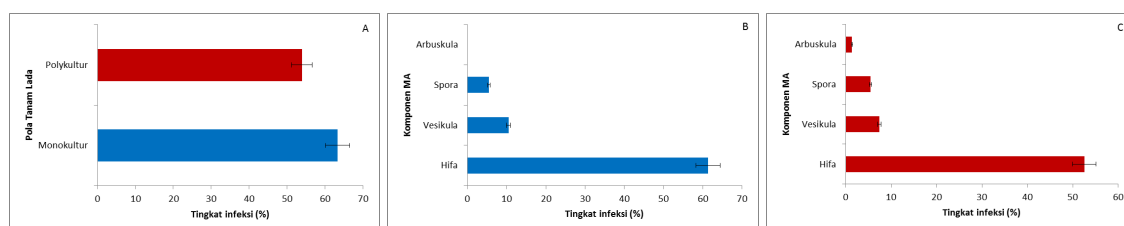
PEMBAHASAN

Hasil analisis tanah pada Tabel 1 nampak bahwa perbedaan pola tanam tidak mempengaruhi sifat-sifat fisik dan kimia tanah. Selain sifat fisik dan kimia tanah, aspek biologi tanah juga penting untuk mengetahui pengaruh pola tanam lada terhadap perbaikan sifat tanahnya, terutama populasi mikroba tanah yang bermanfaat. Salah satu kelompok mikroba

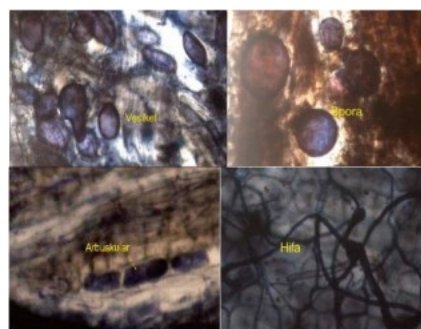
tanah yang bermanfaat bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman adalah FMA. Fungi ini bersimbiosis pada akar tanaman, dan keberadaannya berkaitan dengan peningkatan daya adaptasi dan pertumbuhan tanaman, terlebih pada kondisi lahan marginal seperti areal pertanaman lada yang berada di sekitar lahan bekas tambang nikel. Pada tanaman *Canavalia ensiformis* yang diinokulasikan FMA indigenous dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang memiliki kandungan logam berat yang tinggi dan membuktikan bahwa FMA dapat berfungsi sebagai filter untuk menghindari keracunan logam berat (Akib *et al.* 2020) demikian juga pada tanaman *Capsicum*



Gambar 3. Keragaman dan rata-rata kepadatan spora FMA pada pola monokultur (A) dan polikultur (B) tanam lada.



Gambar 4. Rata-rata tingkat kolonisasi FMA dan komponennya pada pola tanam lada yang berbeda. Pola tanam Tanaman Lada (A), Pola tanam monokultur (B); Pola tanam polikultur (C).



Gambar 5. Kolonisasi komponen FMA pada pola tanam lada yang berbeda.

frutescens L., FMA juga menurunkan infeksi *Fusarium oxysporum*, yang merupakan penyakit utama pada tanaman ini (Putu *et al.* 2020).

Keragaman spora FMA merupakan kekayaan jenis spora hasil identifikasi tingkat genus pada berbagai pola penanaman lada di Sorowako sebagaimana yang diperlihatkan Tabel 2. Identifikasi spora yang ditemukan di area pertanaman lada memiliki morfotipe dan karakteristik yang berbeda. Perbedaan karakteristik ditemukan pada bentuk spora, permukaan spora, hifa spora (*hyphal attachment*), dinding spora, dan warna spora. Keragaman pola tanam kemungkinan mempengaruhi lingkungan bagian atas permukaan tanah dan kondisi tanah dipertanaman lada sehingga secara tidak langsung juga menunjukkan keragaman tipe spora yang berbeda. Menurut Giovannini *et al.* (2020) dan Xu *et al.* (2017) bahwa keanekaragaman hayati termasuk FMA selalu berbeda di setiap area, termasuk pada pola tanam tanaman lada, hal ini dikarenakan faktor lingkungan yang merupakan gabungan dari berbagai proses fisik, kimia dan biologi yang dapat mempengaruhi kehidupan organisme termasuk interaksi antar makhluk hidup.

Kepadatan spora FMA pada Tabel 3 juga sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, tanaman inang dan pola tanam. Penerapan pola tanaman polikultur dengan sistem pertanaman campuran tanaman lada dengan tanaman pertanian (Cabe, tomat, lengkuas, jahe, buah naga), perkebunan (pisang, pepaya, kelapa, kakao, durian, rambutan, cengkeh) dan kehutanan (gamal, kapuk, sukun) dapat meningkatkan luas permukaan akar dalam suatu area pertanaman, dan menghasilkan lebih banyak bahan organik.

Bahan organik cenderung menyediakan unsur hara bagi tanaman untuk tumbuh subur sehingga menghasilkan asimilat untuk pertumbuhan FMA dan dapat mengubah populasi serta efektivitas FMA dalam tanah (Sanjaya *et al.* 2020). Selain itu, bahan organik yang berupa serasah akar yang mengandung hifa, vesikular dan spora FMA dapat menjadi carrier penting untuk mempertahankan siklus hidup FMA dari satu tanaman inang ke tanaman inang berikutnya.

Kolonisasi FMA pada pola tanam lada yang ditanam secara monokultur cenderung lebih

tinggi, sebagaimana yang diperlihatkan Gambar 4A, diduga karena luas permukaan akar pada tanaman monokultur lebih kecil dibanding pada pola tanam polikultur sehingga FMA dalam melakukan kolonisasi lebih terkonsentrasi pada akar tanaman lada yang ditanam secara monokultur, berbeda dengan tanaman lada yang ditanam dengan pola tanam polikultur, pola tanam polikultur diduga memiliki luas permukaan yang lebih besar yang berasal dari luas permukaan akar tanaman lada dan tanaman pendampingnya, sehingga FMA tidak terkonsentrasi untuk melakukan kolonisasi pada akar satu jenis tanaman.

Kolonisasi komponen mikoriza yang ditemukan dalam jaringan akar adalah hifa vesikel, spora dan arbuskula dengan tingkat kolonisasi yang tinggi ($\geq 50\%$) sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 4. B dan C; Gambar 5. Menurut Begum *et al.* (2019), bahwa struktur FMA yang memegang peranan penting dalam sistem simbiosis dengan akar tanaman inang adalah arbuskular yang terdapat dalam sel akar. Arbuskular merupakan struktur yang dibentuk oleh hifa internal dan menghubungkan fungi dengan sel korteks akar. Struktur inilah yang berperan dalam lalu lintas unsur hara dari fungi ke tumbuhan maupun sebaliknya yang hanya ditemukan pada pola tanam polikultur dimana FMA telah dapat melengkapi siklus hidupnya.

KESIMPULAN

Pola tanam polikultur memberikan lingkungan yang baik untuk melengkapi siklus hidup dan meningkatkan jumlah populasi spora FMA, sehingga dapat direkomendasikan sebagai pola tanam yang ramah lingkungan dan menjaga kelestarian hidup FMA indigenous.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan melalui kompetisi penelitian dasar multi tahun (2019-2021), tokoh adat Sorowako, Syamsul Amri Akib dan tim.

DAFTAR PUSTAKA.

- Akib, MA., T. Kuswinanti, A. Sarjiya. K. Mustari, SA. Syaiful, A. Nuddin, & R. Prayudyaningsih. 2020. *Acaulospora* sp : Can it help the growth of Canavalia ensiformis in heavy metal contaminated environment ? *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012085>.
- Akib, M. A, Mustari, K., Kuswinanti, T., Syaiful, SA., MS. Dangnga, & A. Nuddin. 2019. Growth analysis of jack bean inoculated with *Acaulospora* sp. in nickel-contaminated soil. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*. 6(03): 15–22. <https://doi.org/10.20546/ijcrbp.2019.603.003>.
- Aryanto, AT., PD. Karti, & I. Prihantoro. 2018. Evaluasi produksi dan kualitas inokulum fungi mikoriza arbuskula yang diproduksi dengan teknik hidroponik pada rumput *Brachiaria decumbens* var. mullato. *Jurnal Ilmu Nutrisi Dan Teknologi Pakan*. 16(2): 10. <https://doi.org/10.29244/jintp.16.2.10-19>.
- Begum, N., C. Qin, MA. Ahanger, S. Raza, MI. Khan, M. Ashraf, N. Ahmed, & L. Zhang. 2019. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 10(September), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>.
- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove, & N. Malajczuk. 1996. *Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture Mycorrhizas of Australian Plants View project Banksia Woodland Restoration Project View project*. June 1982, 374 pp. <https://www.researchgate.net/publication/227365112>
- Cahyaningrum, H., HB. Aji, & W. Zainiyah. 2020. Keberadaan Jamur Mikoriza Arbuskular (Jma) Pada Beberapa Jenis Akar Tanaman. *Jurnal Ilmiah Media Agrosains*. 6(1): 14–19. <https://jurnal.polibara.ac.id/index.php/agrosains/article/view/106/86>.
- Ezward, C., E. Indrawanis, P. Studi, P., Fakultas, A., Universitas, P., & Kuantan, I. (2020). Application Bioboost In The Sorghum And Green Beans With Intercropping Technique. *Jurnal Sains Agro*. 5: 1–14. <http://ojs.umb-bungo.ac.id/Index.php/saingro/index>.
- Giovannini, L., M. Palla, M. Agnolucci, L. Avio, C. Sbrana, A. Turrini, & M. Giovannetti. 2020. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Associated Microbiota as Plant Biostimulants: Research Strategies for the Selection of the Best Performing Inocula. *Agronomy*. 10(1): 1–14. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010106>.
- Guzman, A., M. Montes, L. Hutchins, G. Delacerda, P. Yang, A. Kakouridis, RM. Dahlquist-willard, MK. Firestone, T. Bowles, & C. Kremen. 2021. *Crop diversity enriches arbuscular mycorrhizal fungal communities in an intensive agricultural landscape*. 447–459. <https://doi.org/10.1111/nph.17306>.
- Indriana, KR., C. Suherman, S. Rosniawaty, & Sumadi. 2020. Response of Growth of Combination Plants of Fence Distance Cultivar with the Best Mycorrhizal Dosage and Cytokinin Concentration in Medium Land. *Jurnal Agroekotek*. 2(1): 38–47. <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jav/article/download/8776/5856>.
- INVAM. 2020. *International culture collection of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi*. <http://invam.caf.wvu.edu/Myco-info/Taxonomy/classification.htm>.
- Karyani, T., KA. Mahaputra, E. Djuwendah, & K. Kusno. 2020. Dampak Pola Tanam Kopi Terhadap Pendapatan Petani (Suatu Kasus Di Desa Pulosari, Kecamatan Pangalengan, Bandung). *Mimbar Agribisnis: Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*. 6(1): 101–112. <https://doi.org/10.25157/ma.v6i1.2742>
- Maghfiroh, RN., & P. Suryadarma. 2020. Cultivation of Oyong (*Luffa acutangula* L.) and Eggplant (*Solanum melongena* L.) with Intercropping Base as An Efforts to Increase Production in Neglasari Village. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*. 2(2): 302–308. <http://journal>.

- ipb.ac.id/index.php/pim/articleview/30413
- Mardian, I., A. Suriadi, & L. Barat. 2020. Intercropping of Soybean and Maize for Land Optimization on Farming System in Low Lands With Dry Climate In Bima Regency. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal Ke-8 Tahun 2020, Palembang 20 Oktober 2020 "Komoditas Sumber Pangan Untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan Di Era Pandemi Covid-19,"* 556–564.
- Matondang, A. M., Syafruddin, & Jumini. 2020. Effect of Mycorrhizal Biofertilizer Type and Dosage Against Growth and Yield of Chilli (*Capsicum annuum* L.) on Andisol Soil Valley in Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 5 (2): 101–110. www.jim.unsyiah.ac.id/JFP.
- Mulu, M., Ngilu, R., & FL. Lazar. 2020. Pola Tanam Tumpang Sari di Desa Satar Punda Barat, Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1): 72–78. <https://doi.org/10.29244/agrokreatif>. 6. (1): 72–78
- Mustaqimah, NM., S. Nurhatika, & A. Muhibbudin. 2019. Pengaruh Waktu Inokulasi Mikoriza Arbuskula pada Campuran Media Tanam AMB-07 dan Pasir Pantai terhadap Pertumbuhan dan Karbohidrat Padi (*Oryza sativa* L.) var. Inpari 13. *Jurnal Sains Dan Seni*. 8(2): 49–56. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v8i2.49619>.
- Nusantara, AD., YH. Bertham, & I. Mansur. 2016. *Bekerja Dengan Fungi Mikoriza Arbuskula*. Seameo Biotrop. <http://repository.unib.ac.id/7590/2/B09a%20Bekerja%20Dengan%20Fungi%20Mikoriza%20Arbuskula.pdf>.
- Prasmatiwati, FE., & R. Evizal. 2020. Keragaan dan Produktivitas kebun Lada Tumpang Sari Kopi di Lampung Utara. *Jurnal Agrotropika*. 19(2): 110–117. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JAT/article/download/4579/pdf>.
- Putu, N., M. Raisani, MW. Proborini, NL. Suriani, & E. Kriswiyanti. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) *Glomus* spp. as bio-control of *Fusarium oxysporum* Schlecht et Fr. infection in chilli plants (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Biologi Udayana*. 24(1): 38–46. <http://dx.doi.org/10.24843/JBIOUNUD.2020.v24.i01.p05>.
- Rochmah, HF., Suwanto, & AA. Muliasari. 2020. Optimasi Lahan Replanting Kelapa Sawit Tumpang Sari Jagung (*Zea Mays* L) dan Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*). *Jurnal Simetrik*. 10(1): 256–262. <https://doi.org/10.31959/js.v10i1.199>.
- Sanjaya, M., F., Muhammad, L., Kilowasid, H., Sabaruddin, L., Sulaeman, D., & A. Nurmas. 2020. Effect of Organic Matter on Arbuscular Mycorrhizal Fungi Spores in Soil, and Its Soil Potential as a Source of the Inoculum. *Agronomi*. 8(1): 11–22. <http://ojs.uho.ac.id/index.php/agronomi/article/download/12938/9018>.
- Widawati, S., & Suliasih. 2020. Comprehensive test of rhizobacteria as biostimulant, vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) and graded dose of NPK fertilizer on the growth of bok choy (*Brassica rapa* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 572(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/572/1/012023>.
- Winata, MP., & AB. Zainul. 2020. The Effect of Giving Tobacco Biochar and Mycorrhiza to The Productivity of Tobacco (*Nicotiana glauca*) Besuki Na-Oogst. *Jurnal Pertanian*. 3(2), 7–15. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/BIP/article/view/19710>.
- Xu, X., C. Chen, Z. Zhang, Z. Sun, Y. Chen, J. Jiang, & Z. Shen. 2017. The influence of environmental factors on communities of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Chenopodium ambrosioides* revealed by MiSeq sequencing investigation. In *Scientific Reports* 7, Issue March. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/srep45134>.
- Yawan, CA., A. Agung, & I. Kesumadewi. 2017. Jumlah Spora dan Genus Endomikhoriza pada Tanah Monokultur dan Tumpang Sari Jeruk Siam (*Citrus*

- nobilis Tan.) dengan Tanaman Sayuran di Desa Sekaan Kecamatan Kintamani. *Jurnal Agrotrop*, 7(1): 31–41. <https://doi.org/10.24843/AJoAS.2017.v07.i01.p04>.
- Yuwati, TW. 2021. Enhancing sengon seedling's growth by using indigenous arbuscular mycorrhiza from tropical peatland. *Jurnal Galam*. 1(2): 93–107. <https://doi.org/10.20886/glm.2021.1.2.93-107>.
- Yuwati, TW., WS. Putri, & Badruzsaufari. 2020. Comparison of Arbuscular Mycorrhizal Spores Abundance Under Sengon (*Falcataria moluccana* (Miq .) Barneby & Grimes) Planted on Deep Peat and Mineral Soils. *Journal of Tropical Peatland*. 10(2): 1–8. <https://e-journal.upr.ac.id/index.php/jtp-upr/article/view/2062/1753>.