

**POPULASI DAN KEANEKARAGAMAN FUNGI MIKORIZA
ARBUSKULAR PADA RIZOSFIR TANAMAN LADA MONOKULTUR
DAN POLIKULTUR DI KECAMATAN AIR NANINGAN
KABUPATEN TANGGAMUS**

Skripsi

Oleh

Oktafia Sari
1914161028



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

POPULASI DAN KEANEKARAGAMAN FUNGI MIKORIZA ARBUSKULAR PADA RIZOSFIR TANAMAN LADA MONOKULTUR DAN POLIKULTUR DI KECAMATAN AIR NANINGAN KABUPATEN TANGGAMUS

Oleh

OKTAFIA SARI

Fungi mikoriza arbuskular (FMA) adalah tipe fungi yang berasal dari golongan endomikoriza. Fungi ini memiliki kemampuan untuk bersimbiosis dengan hampir 90% jenis tanaman spesies tingkat tinggi yang tumbuh pada berbagai tipe habitat dan iklim. Populasi dan keragaman FMA di alam sangat beragam, keberagamannya dipengaruhi oleh faktor biotik (jenis tanaman, FMA, dan mikroorganisme lain) dan faktor abiotik (pH tanah, kadar air tanah, bahan organik tanah, suhu, intensitas cahaya, dan ketersediaan hara, logam berat maupun fungisida). Kecamatan Air Nanning, Kabupaten Tanggamus merupakan salah satu sentra produksi lada di Lampung. Lada di daerah tersebut ditanam secara monokultur dan polikultur yang dapat menyebabkan perbedaan antara faktor biotik dan abiotik. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui perbedaan populasi FMA pada rizosfir lada yang ditanam secara monokultur dan polikultur (2) mengetahui perbedaan keragaman FMA pada rizosfir lada yang ditanam secara monokultur dan polikultur dan (3) mengetahui jenis FMA yang dominan pada rizosfir lada yang ditanam secara monokultur dan polikultur. Penelitian ini dilaksanakan di Rumah Kaca dan Laboratorium Produksi Perkebunan Fakultas Pertanian Universitas Lampung mulai Oktober 2022 sampai Februari 2023. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan dua tahap, pada tahap pertama yaitu pengambilan sampel tanah dari kebun lada monokultur, lada tumpang sari kopi, dan lada tumpang sari kakao di Kecamatan Air Nanning, Kabupaten Tanggamus. Data populasi FMA dengan Teknik penyaringan basah yang diperoleh diuji dengan uji One way Anova untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antara data populasi. Tahap yang kedua yaitu kultur traping. Rancangan perlakuan yang digunakan dalam kultur traping adalah rancangan faktorial (3x3) dengan faktor pertama yaitu asal sampel tanah (K) dengan k₁ (lada monokultur), k₂ (lada tumpang sari dengan kopi), dan k₃ (lada tumpang sari dengan kakao) dan faktor kedua yaitu jenis tanaman inang (T) t₁

(jagung), t₂ (sorgum), t₃ (*Pueraria javanica*) dengan setiap perlakuan diulang sebanyak 5 kali. Perlakuan diterapkan pada satuan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Data populasi spora yang dihasilkan diuji homogenitasnya dengan Uji Barlett, selanjutnya dianalisis dengan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5% pada data populasi spora hasil kultur traping. Hasil penelitian menunjukkan (1) populasi FMA baik pada sampel kebun lada monokultur maupun kebun lada polikultur menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata (2) berdasarkan Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener, keragaman FMA pada kebun lada monokultur lebih tinggi dari kebun lada polikultur dan (3) jenis FMA yang dominan dari hasil kultur traping dengan sampel tanah kebun lada monokultur yaitu spora spesies kode S7, pada sampel kebun lada tumpangsari kopi didominasi kode S7, sedangkan pada kebun lada tumpangsari kakao didominasi oleh kode S6.

Kata kunci: Fungi mikoriza arbuscular, keragaman, populasi

**POPULASI DAN KEANEKARAGAMAN FUNGI MIKORIZA
ARBUSKULAR PADA RIZOSFIR TANAMAN LADA MONOKULTUR
DAN POLIKULTUR DI KECAMATAN AIR NANINGAN
KABUPATEN TANGGAMUS**

Oleh

OKTAFIA SARI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Agronomi dan Hortikultura
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

**: POPULASI DAN KEANEKARAGAMAN
FUNGI MIKORIZA ARBUSKULAR PADA
RIZOSFER TANAMAN LADA
MONOKULTUR DAN POLIKULTUR DI
KECAMATAN AIR NANINGAN
KABUPATEN TANGGAMUS**

Nama Mahasiswa

: Oktafia Sari

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1914161028

Program Studi

: Agronomi

Fakultas

: Pertanian

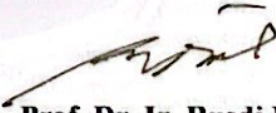
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Pembimbing Utama

Pembimbing Kedua


Dr. Ir. Maria Viva Rini, M.Sc.
NIP 196603041990122001


Prof. Dr. Ir. Rusdi Evizal, M.S.
NIP 196108261986031001

2. Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura


Prof. Ir. Setyo Dwi Utomo, M. Sc.
NIP 196110211985031002

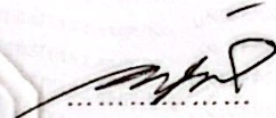
MENGESAIHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ir. Maria Viva Rini, M.Sc.**



Sekretaris : **Prof. Dr. Ir. Rusdi Evizal, M.S.**



Anggota : **Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Arwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **09 November 2023**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Populasi dan Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskular pada Rizosfir Tanaman Lada Monokultur dan Polikultur di Kecamatan Air Nanningan Kabupaten Tanggamus”** merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila dikemudian hari terbukti merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 09 November 2023

Penulis



Oktafia Sari
NPM 1914161028

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 12 Oktober 2000, sebagai anak keenam dari enam bersaudara dari Bapak Kadir dan Ibu Bastari. Pendidikan yang telah diselesaikan oleh penulis yaitu Sekolah Dasar Negeri 1 Pasir Gintung lulus pada tahun 2012, kemudian sekolah Madrasah Tsanawiyah Negeri 1 Pahoman lulus pada tahun 2015, selanjutnya Sekolah Madrasah Aliyah Negeri 2 Bandar Lampung lulus pada tahun 2018. Tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Lampung, penulis diterima melalui jalur seleksi Bersama masuk perguruan tinggi negeri (SBMPTN) tertulis.

Selama perkuliahan, penulis telah mengikuti Praktik Umum (PU) selama 1 bulan yang dilaksanakan di Pusat Penelitian Teh dan Kina Gambung, Ciwidey, Jawa Barat. Penulis juga melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Panjang Utara, Panjang, Bandar Lampung. Selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung, penulis pernah menjadi asisten praktikum untuk mata kuliah Kimia Dasar, Biologi, Fisiologi Tumbuhan, Perkembangan Vegetatif pada tahun ajaran 2020-2022, kemudian penulis mengikuti kegiatan Sosialisasi Agropedia atau aplikasi yang digunakan para petani untuk menjual produk hasil taninya dan juga untuk bertanya terkait permasalahan yang terjadi pada budidayanya, yang dikelola oleh beberapa dosen di jurusan Agronomi dan Hortikultura. Sosialisasi tersebut dilaksanakan di beberapa tempat yaitu di Lampung Barat, Mesuji, dan Tulang Bawang.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan Karunia-Nya skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis persembahkan karya sederhana hasil perjuangan dan kerja keras kepada kedua orang tua ku dan keluarga besarku serta Almamater tercinta, Universitas Lampung.

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar”

(Qr. Ar-ruum: 60)

“Selalu ada harga dalam proses. Nikmati saja lelah-lelah itu. Lebarkan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk menjadikan dirimu serupa yang kau impikan mungkin tidak akan selalu berjalan lancar. Tapi, gelombang-gelombang itu yang nanti bisa kau ceritakan.”

(Boy Chandra)

“God has perfect timing, never early, never late. It takes a little patience and it takes a lot of faith, but it’s a worth the wait.”

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Populasi dan Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskular pada Rizosfir Tanaman Lada Monokultur dan Polikultur di Kecamatan Air Nainingan Kabupaten Tanggamus". Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Selama penyusunan skripsi ini penulis menyadari keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki, sehingga penulis membutuhkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., sebagai Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Ibu Dr. Ir. Maria Viva Rini, M.Sc., sebagai Pembimbing Utama sekaligus Pembimbing Akademik yang telah memberikan ide penelitian kepada penulis, serta telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dalam memberikan arahan, nasehat, saran serta masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir Rusdi Evizal, M.S., sebagai Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu dalam memberikan nasehat, saran, pengarahan, dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc., sebagai Penguji yang telah memberi saran, kritik dan nasehat dalam penyelesaian skripsi ini.

5. Bapak Prof. Dr. Ir. Setyo Dwi Utomo, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
6. Orang Tua penulis Bapak Kadir dan Ibu Bastari yang tak hentinya mendoakan dan memberikan dukungan baik moril maupun materil kepada penulis. Ibu penulis tersayang adalah sosok wanita hebat yang selalu berdoa di setiap langkah anak-anaknya untuk mencapai kesuksesan, selalu memberikan pelajaran kesabaran yang luar biasa. Bapak yang selalu menjadi inspirasi penulis, untuk tetap menjadi manusia yang kuat.
7. Kakak-kakak penulis tersayang, Aa Supendi, Aa Hasbuloh, Tete Asnawati, Aa Dani, dan Aa Kurni yang telah memberikan dukungan dan nasehat selama penulis menyelesaikan skripsi ini. Kalian berhasil menjadi motivasi penulis untuk tidak kalah turut membahagiakan Bapak dan Ibu. Serta keponakan-keponakan penulis tersayang, atas tingkah laku kalian yang menghibur.
8. Kekasih penulis, R.Achmad Muhtadin yang telah berkontribusi banyak dalam penelitian dan penulisan skripsi ini, yang menemani, meluangkan waktu, pikiran, tenaga ataupun materi kepada penulis.
9. Mba Anggun, Mba Puput, Mba Retta, Mba Novri, serta Mas Ahmad yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian di Laboratorium Produksi Perkebunan.
10. Teman-teman penulis yaitu Mba Fairuz, Daniel kristanto, Alamanda Lily, Nevy Ardiana, Salwa Azzahra , Rumiaturun, Galuh Maylanda, dan Vina Ayu, terimakasih telah membantu dan memberi semangat dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan akan tetapi penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 09 November 2023

Oktafia Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	5
1.3 Landasan Teori	5
1.4 Kerangka Pemikiran	13
1.5 Hipotesis.....	15
II. TINJAUAN PUSTAKA	16
2.1 Tipe FMA Berdasarkan Struktur Tumbuh dan Infeksi.....	16
2.2 Manfaat FMA	17
2.3 Mekanisme Hubungan Antara FMA dengan Akar Tanaman, serta Ekologi FMA.....	18
2.4 Tanaman Inang	19
2.5 Botani Lada	19
2.6 Penanaman Lada.....	20
2.7 Pemeliharaan Lada	22
2.8 Panen dan Pasca Panen Lada.....	23
2.8.1 Pengolahan Lada.....	24

III. METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2 Bahan dan Alat	25
3.3 Pengambilan Sampel Tanah	25
3.4 Perhitungan Populasi FMA dari Sampel Tanah di Setiap Jenis Kebun	27
3.5 Studi Keragaman FMA melalui Kultur Traping	28
3.5.1 Metode Penelitian	28
3.5.2 Persiapan Sampel Tanah	29
3.5.3 Persiapan Tanaman Inang	29
3.5.4 Persiapan Media Tanam	30
3.5.5 Penanaman Tanaman Inang	30
3.5.6 Pemeliharaan Tanaman	31
3.5.7 Pemanenan	31
3.5.8 Variabel Pengamatan	32
3.5.8.1 Kolonisasi Akar	32
3.5.8.2 Isolasi Spora	33
3.5.8.3 Identifikasi Keragaman FMA	34
3.5.8.4 Dominansi FMA	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Penelitian	36
4.1.1 Populasi FMA di Rhizosfer Lada	36
4.1.2 Kolonisasi Akar Tanaman Inang oleh FMA pada Kultur Traping	37
4.1.3 Jumlah spora FMA Hasil Kultur Traping	37
4.1.4 Jenis Spora FMA Hasil Kultur Traping	38
4.1.5 Keragaman FMA	39
4.1.6 Dominansi FMA	40
4.1.7 Karakteristik Spora yang Dominan	42
4.2 Pembahasan	47

V. KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil pengamatan rata-rata persen kolonisasi akar	37
2. Pengaruh jenis tanaman inang dan asal sampel tanah dari tiga pola tanam lada terhadap populasi FMA hasil kultur traping	37
3. Jenis FMA hasil traping dengan tanaman inang pada sampel tiga pola tanam lada.....	38
4. Indeks keragaman Shannon-Wiener FMA dari kultur traping tanah dari rizosfer 3 pola perkebunan lada (monokultur, tumpang sari kopi, dan tumpang sari kakao)	40
5. Indeks dominansi Simpson FMA dari kultur traping tanah dari rizosfer 3 pola perkebunan lada (monokultur, tumpang sari kopi, dan tumpang sari kakao)	41
6. Populasi dari masing-masing jenis FMA hasil kultur trapping dengan tanaman inang jagung, sorgum, dan <i>P. javanica</i> pada sampel tiga pola tanam lada.....	41
7. Jenis FMA yang tertinggi hasil kultur traping dengan tanaman inang pada sampel tanah tiga pola tanam lada	42
8. Identifikasi spora FMA kode S3	43
9. Identifikasi spora FMA kode S6	44
10. Identifikasi spora FMA kode S7	45
11. Identifikasi spora FMA kode S8	46
12. Data populasi FMA pada rizosfir kebun lada monokultur, lada tumpang sari kopi, dan lada tumpang sari kakao	67

13. Data infeksi akar hasil kultur traping pada kebun lada monokultur, lada tumpang sari kopi, dan lada tumpang sari kakao	67
14. Uji homogenitas hasil kultur traping pada tanaman inang jagung, sorgum dan <i>Pueraria javanica</i> serta sampel tanah kebun lada monokultur, lada tumpang sari kopi, dan lada tumpang sari kakao.....	67
15. Analisis ragam hasil kultur traping pada tanaman inang jagung, sorgum dan <i>Pueraria javanica</i> serta sampel tanah kebun lada monokultur, lada tumpang sarikopi, dan lada tumpang sari kakao	68
16. Data Populasi FMA hasil kultur traping pada tanaman jagung, sorgum dan <i>Pueraria javanica</i>	68
17. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang jagung pada sampel tanah kebun lada monokultur	69
18. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang sorgum pada sampel tanah kebun lada monokultur	69
19. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang <i>Pueraria javanica</i> pada sampel tanah kebun lada monokultur.....	70
20. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang jagung pada sampel tanah kebun lada tumpang sari kopi.....	70
21. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang sorgum pada sampel tanah kebun lada tumpang sari kopi.....	71
22. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang <i>Pueraria javanica</i> pada sampel tanah kebun lada tumpang sari kopi.	71
23. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang jagung pada sampel tanah kebun lada tumpang sari kakao.....	71
24. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang sorgum pada sampel tanah kebun lada tumpang sari kakao	72
25. Perhitungan indeks keragaman FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang <i>Pueraria javanica</i> pada sampel tanah kebun lada tumpang sari kakao	72
26. Indeks dominansi FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang jagung, sorgum, dan <i>Pueraria javanica</i> pada sampel tanah kebun lada monokultur	72

27. Indeks dominansi FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang jagung, sorgum, dan <i>P. javanica</i> pada sampel tanah kebun lada monokultur	73
28. Indeks dominansi FMA hasil kultur traping dengan tanaman inang jagung, sorgum, dan <i>Pueraria javanica</i> pada sampel tanah kebun lada monokultur	73
29. Identifikasi spora FMA kode S1	74
30. Identifikasi spora FMA kode S2	75
31. Identifikasi spora FMA kode S3	76
32. Identifikasi spora FMA kode S4	77
33. Identifikasi spora FMA kode S5	78
34. Identifikasi spora FMA kode S6	79
35. Identifikasi spora FMA kode S7	80
36. Identifikasi spora FMA kode S8	81
37. Identifikasi spora FMA kode S9	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Spora <i>Glomus</i>	7
2. Spora <i>Acaulospora</i>	8
3. Spora <i>Entrophospora</i>	8
4. Spora <i>Scutellospora</i>	9
5. Spora <i>Paraglomus</i>	9
6. Spora <i>Gigaspora</i>	10
7. Kerangka pemikiran	14
8. Tata letak pengambilan sampel tanah	26
9. Tata letak percobaan kultur traping.....	29
10. Ilustrasi metode kultur traping FMA.....	31
11. Ilustrasi proses panen kultur traping	32
12. Jumlah spora FMA di rizosfir lada pada tiga jenis pola tanam.....	36
13. Struktur FMA yang ditemukan pada jaringan korteks akar tanaman jagung (a: hifa, b: arbuskular, c: vesikel).....	50
14. Struktur FMA yang ditemukan pada jaringan korteks akar tanaman sorgum (a: hifa, b: vesikel)	50
15. Struktur FMA yang ditemukan pada jaringan korteks akar tanaman <i>P. javanica</i> (a: spora, b: hifa, c: vesikel)	51
16. Peta warna spora FMA.....	83

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Istilah mikoriza diambil dari kata *mykes* (fungi) dan *rhiza* yang berarti (akar). Mikoriza ditemukan pertama kali oleh Albert Benhard Frank pada tahun 1885 (Setiadi, 1992). Mikoriza merupakan fungi yang hidup secara bersimbiosis dengan sistem perakaran tanaman tingkat tinggi. Fungi ini membentuk simbiosis mutualisme antara fungi dan akar tumbuhan. Fungi memperoleh karbohidrat dalam bentuk gula sederhana atau glukosa dari tanaman. Sedangkan fungi membantu tanaman dalam menyerap air dan hara dari tanah. Asosiasi antara akar tanaman dan fungi ini memberikan manfaat yang sangat baik bagi tanah dan tanaman inang (Hesti dan Tata, 2009).

Mikoriza juga dikenal sebagai fungi tanah karena habitatnya ada di dalam tanah dan di area perakaran tanaman (rizosfer). Selain itu mikoriza dapat disebut juga sebagai fungi akar. Keistimewaan fungi ini adalah kemampuannya dalam menyerap unsur hara terutama unsur hara fosfor (P) (Syib'li, 2008).

Berdasarkan struktur tubuh dan cara fungi menginfeksi, mikoriza dikelompokkan dalam tiga tipe yaitu ektomikoriza, endomikoriza, dan ektendomikoriza. Jenis ektomikoriza mempunyai sifat akar yang terkena infeksi membesar, bercabang, rambut-rambut akar tidak ada, hifa menjorok keluar dan berfungsi sebagai alat yang efektif dalam menyerap unsur hara dan air. Fungi jenis endomikoriza memiliki jaringan hifa yang masuk ke dalam sel korteks akar dan membentuk struktur yang khas berbentuk oval yang disebut vesikular dan sistem percabangan hifa yang disebut arbuskul, sehingga endomikoriza disebut juga vesicular

arbuskular mikoriza. Sedangkan fungi jenis ektendomikoriza adalah bentuk antara kedua mikoriza yang lain (Brundrett, 2004).

Fungi mikoriza arbuskular (FMA) adalah tipe fungi yang berasal dari golongan endomikoriza. Fungi mikoriza arbuskular merupakan salah satu tipe endomikoriza yang dominan hampir ditemukan di berbagai ekosistem (Tuheteru *et al.*, 2017). Fungi ini memiliki kemampuan untuk bersimbiosis dengan hampir 90% jenis tanaman tingkat tinggi yang tumbuh pada berbagai tipe habitat dan iklim (Ervayenri, 1998).

Lada (*Piper nigrum* L.) merupakan tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Lada adalah salah satu komoditas unggulan sub sektor perkebunan yang memiliki potensi dalam meningkatkan devisa negara. Sejak zaman dahulu Indonesia dikenal sebagai produsen lada utama di dunia, terutama lada putih (*Munthok white pepper*) dari provinsi kepulauan Bangka Belitung dan lada hitam (*Lampung black pepper*) yang dihasilkan dari Lampung (Ditjenbun, 2015). Indonesia merupakan salah satu penghasil dan pengeksport lada terbesar di dunia dengan luas lahan perkebunan lada nasional mencapai 273.556 ha dan nilai produksi pada tahun 2017 sebesar 87.991 ton dan meningkat pada tahun 2018 menjadi 88.253 ton (Direktorat Jendral Perkebunan, 2020).

Salah satu kendala yang dihadapi dalam budidaya tanaman lada yaitu serangan penyakit busuk pangkal batang yang disebabkan oleh *Phytophthora capsici*. Serangan pada daun menyebabkan bercak pada bagian tengah atau tepi daun, sedangkan serangan pada akar menyebabkan tanaman layu dan mati (Halim *et al.*, 2016). Salah satu cara pengendalian penyakit busuk pangkal batang ialah penggunaan fungi mikoriza (FMA) sebagai pupuk hayati dan proteksi biologi. FMA dapat memberikan manfaat secara langsung untuk melindungi tanaman inang dari pathogen akar melalui hifa eksternalnya, meningkatkan serapan air dan unsur hara, serta meningkatkan ketahanan tanaman (Halim *et al.*, 2016). Hal ini sejalan dengan penelitian Halim *et al.* (2016) hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis FMA yang diaplikasikan pada tanaman lada, maka insidensi

penyakit semakin rendah. Serta berdasarkan hasil penelitian Noveriza *et al.* (2005) pemberian mikoriza jenis *Glomus* pada pembibitan lada dapat menekan serangan *P. capsici* berturut-turut hingga 52%.

Direktorat Jendral Perkebunan (2017) menyatakan bahwa Lampung saat ini adalah sentra lada kedua setelah provinsi Bangka. Luas areal lada di Lampung mencapai 45.863 ha dengan produksi mencapai 14.860 ton. Di Lampung, sentra pertanaman lada terdapat di Lampung Utara, Way Kanan, Tanggamus, Lampung Barat, dan Lampung Timur (BPS Provinsi Lampung, 2018). Sentra produksi lada di Kabupaten Tanggamus adalah di Kecamatan Air Nanningan (BPS Kabupaten Tanggamus, 2005).

Budidaya lada di Indonesia sangat beragam, tergantung dari karakteristik jenis lada yang dibudidayakan, faktor lingkungan, dan petani lada. Sehingga budidaya lada di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi budidaya konvensional, budidaya non pestisida, budidaya organik, dengan pola tanam monokultur atau polikultur, dimana masing-masing budidaya ini memiliki keuntungan dan kekurangan (Prasmatiwi dan Evizal, 2020). Kelebihan pola tanam monokultur yaitu jumlah populasi tanaman utama lebih banyak, perawatan lebih mudah, dan kuantitas produksinya lebih tinggi (Karyani *et al.*, 2020). Tetapi kekurangan dari sistem ini adalah peluang terjadinya serangan hama dan penyakit lebih tinggi, tidak ada produksi tanaman sekunder, dan mengakibatkan terjadinya perubahan iklim mikro dan pengolahan lahan yang berlebihan (Rochmah *et al.*, 2020). Sedangkan kelebihan dari sistem polikultur adalah adanya keragaman hayati tinggi, tidak melakukan olah tanah secara menyeluruh, dan adanya mikroorganisme tanah yang bermanfaat bagi tanaman (Ezward *et al.*, 2020).

Jenis tanaman inang adalah salah satu faktor yang menentukan keberhasilan infeksi FMA. Pemilihan jenis tanaman yang tepat penting dilakukan dalam usaha perbanyak inokulum FMA. Tanaman yang banyak digunakan untuk perbanyak spora biasanya menggunakan tanaman yang berumur pendek karena cepat tumbuh dan memiliki perakaran serabut sehingga waktu yang dibutuhkan

untuk perbanyak spora lebih cepat daripada jenis tanaman tahunan (Widiastuti, 2004). Jenis tanaman semusim yang baik digunakan untuk perbanyak yaitu jagung dan sorgum (Simanungkalit, 2003; Hapsoh, 2008).

Mikoriza di alam memiliki banyak jenis, variasi, dan penyebaran yang luas. Hal ini diduga karena adanya faktor di alam yang mendorong adanya variasi mikoriza pada tiap daerah, faktor tersebut yaitu struktur tanah, kandungan unsur hara pada tanah, kandungan C-organik, air pH, dan suhu tanah (Hartoyo *et al.*, 2011). Inokulasi FMA dapat efektif pada tanaman karena dipengaruhi oleh jenis FMA dan jenis tanaman, kesuburan tanah dan dosis mikoriza. Jenis mikoriza adalah salah satu faktor yang dapat menentukan keefektifan fungsi FMA pada peningkatan pertumbuhan tanaman. Jenis mikoriza secara pasti penting untuk diketahui agar mampu memaksimalkan potensi dalam pemanfaatan FMA khususnya di bidang pertanian.

Fungi mikoriza arbuskular dapat dijumpai secara alami di berbagai ekosistem. FMA dapat ditemukan pada ekosistem mangrove (Saidi *et al.*, 2007), ekosistem hutan pantai (Delvian 2010), ekosistem gambut dan ekosistem hutan dataran rendah (Hermawan *et al.*, 2015). Fungi ini dapat bersimbiosis dengan banyak tanaman inang, namun tanaman inang tertentu dapat memperlihatkan respons yang lebih baik terhadap satu jenis spesies FMA. Oleh karena itu, jenis tanaman yang ada di suatu ekosistem akan mempengaruhi jenis dan populasi FMA (Rosendahl, 2008). Clark *et al.* (1999) menguji 9 isolat FMA pada tanaman inang *Panicum virgatum*. Mereka menemukan terdapatnya kombinasi inang-isolat FMA yang lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan isolat lainnya. Begitu juga dengan hasil penelitian Rini *et al.* (1996) bahwa bibit kakao yang diinokulasi dengan spesies *Glomus mosseae* bersamaan dengan *Scutellospora callospora* memiliki pertumbuhan lebih baik dibandingkan bibit yang diinokulasi dengan *Glomus mosseae* saja atau *Scutellospora callospora* saja. Berdasarkan hasil penelitian Akib *et al.* (2022) spora yang ditemukan pada perakaran lada yaitu genus *Acalausporea*, *Glomus* dan *Gigaspora*.

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah terdapat perbedaan populasi FMA pada rizosfir lada monokultur dan lada polikultur.
2. Apakah terdapat perbedaan keragaman FMA pada rizosfir lada monokultur dan lada polikultur.
3. Jenis FMA apakah yang dominan pada rizosfir lada monokultur dan lada polikultur.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui perbedaan populasi FMA pada rizosfir lada monokultur dan lada polikultur.
2. Mengetahui perbedaan keragaman FMA pada rizosfir lada monokultur dan lada polikultur.
3. Mengetahui jenis FMA yang dominan pada rizosfir lada monokultur dan lada polikultur.

1.3 Landasan Teori

Mikoriza merupakan suatu bentuk simbiosis yang bersifat mutualistik (saling menguntungkan) antara fungi dan tanaman yang terkolonisasi mikoriza. Asosiasi ini melibatkan akar tumbuhan dengan kelompok fungi. Simbiosis ini berperan penting dalam siklus hara dan serapannya oleh akar tanaman (D'Souza dan Rodrigues, 2013). Fungi mikoriza arbuskular banyak ditemukan pada jenis tanah ultisols karena FMA mempunyai daya adaptasi pada lahan tersebut. Potensi FMA pada lahan ultisols dapat memperbaiki ketersediaan hara bagi tanaman (Prihastuti, 2007).

Fungi Mikoriza Arbuskula merupakan salah satu tipe fungi endomikoriza yang masuk dalam filum *Glomeromycota* dengan ordo *Glomales*. Terdiri dari dua sub ordo yaitu sub ordo satu *Gigasporineae* famili *Gigasporaceae* dengan dua genus

yaitu *Gigaspora* dan *Scutellospora*, sub ordo ke dua yaitu *Glomineae* dan terdiri dari dua famili yaitu *Glomaceae* dengan genus *Sclerocytis* dan *Glomus*, famili *Acaulosporaceae* dengan genus *Acaulospora* dan *Entrophospora* (INVAM, 2013).

Meskipun saat ini metode klasifikasi FMA telah menggunakan teknologi molekuler atau gen ribosom RNA, namun identifikasi berbagai morfologi spora FMA masih banyak dilakukan dengan metode klasifikasi berdasarkan cara terbentuk dan ornament khusus pada setiap genus. Identifikasi secara morfologi memiliki beberapa kelebihan seperti mudah dilakukan, cepat, dan memerlukan biaya yang relatif lebih murah. Kelemahan identifikasi secara morfologi yaitu sulit untuk mengidentifikasi spora hingga ke tingkat spesies. Kelemahan lain yaitu spora yang berasal dari lapang akan sulit diidentifikasi karena spora mudah rusak, ornament yang tidak lengkap dan ada spora yang terkena penyakit (Hidayat, 2014).

Taksonomi FMA masih mengalami banyak perubahan. Biasanya taksonomi FMA masih berdasarkan pada morfologi spora seperti pembentukan spora, bentuk spora, warna, dinding spora, orname, dan ukuran spora (Schenk dan Perez, 1988).

Taksonomi berdasarkan morfologi dapat mendeskripsikan genus maupun famili dari spora yang ada, untuk mendeskripsikan sampai ketinggian spesies dapat dilihat dari lapisan yang ada pada dinding spora (Arieza, 2008). Tetapi metode ini terdapat kekurangan yaitu sulit untuk meyiapkan preparate spora yang akan diamati. Metode filogenetik yang dapat mendeskripsikan adanya hubungan kekerabatan antara jenis FMA satu dengan yang lainnya secara rinci, dapat menyebabkan klasifikasi yang sudah ada sebeelumnya mengalami perubahan taksonomi (Redecker, 2005). Metode molekuler menunjukkan bahwa FMA lebih beragam pada tingkat famili dan genus apabila dibandingkan dengan metode identifikasi sederhana secara morfologi (Arieza, 2008).

Sampai saat ini ada enam genus fungi yang termasuk ke dalam Mikoriza Arbuskula (INVAM, 2013). Karakteristik yang khas untuk masing-masing genus ialah sebagai berikut.

(1). Glomus

Glomus merupakan fungi dari genus mikoriza dari famili *Glomeraceae*, ciri dari genus ini yaitu spora terbentuk secara tunggal maupun berpasangan dua pada terminal hifa non gametangium yang tidak berdiferensiasi dalam sporocarp. Proses perkembangan spora dari ujung hifa yang membesar sampai mencapai ukuran maksimal dan terbentuk dewasa. Pada saat dewasa spora dipisahkan dari hifa pelekak oleh sebuah sekat. Spora berbentuk *globose*, *sub globose*, *ovoid*, ataupun *obovoid* dengan dinding spora terdiri atas lebih dari satu lapis, berwarna hyaline sampai kuning, merah kecoklatan, coklat dan hitam dengan ukuran 20-400 μm (Morton, 2014). Pada genus *Glomus*, proses perkembangan spora yaitu dari ujung hifa yang membesar sampai mencapai ukuran maksimal dan terbentuk spora (Desi *et al.*, 2012)



Gambar 1. Spora *Glomus*.

Sumber: bioweb.ewlax.edu

(2). Acaulospora

Genus ini memiliki beberapa ciri yaitu berbentuk globos hingga elips, berwarna bening, kuning ataupun merah kekuningan, memiliki 2-3 dinding spora, dan terdapat *substending hypae* (INVAM, 2013). Genus ini lebih beradaptasi pada kondisi tanah masam dengan pH kurang dari 5 netral. Proses perkembangan spora seolah-olah dari ujung hifa tapi sebenarnya tidak. Spora berkembang di pinggir *sporifereous saccule*, sehingga pada spora dewasa akan ada satu *saccule* yang jika lepas akan meninggalkan satu lubang yang disebut *cycatric*.



Gambar 2. Spora *Acaulospora*.
Sumber: INVAM

(3). Entrophospora

Genus *entrophospora* memiliki spora yang berbentuk bulat, warna cenderung coklat hingga kecoklatan, memiliki 2-3 dinding spora, warna dinding terluar lebih gelap (INVAM, 2013). Spora berkembang dari tengah tengah *sporifereous saccule*, sehingga pada saat dewasa bekas *saccule* nya masih tertinggal di sporanya dan akan meninggalkan dua lubang kecil. Jika *saccule* nya lepas akan meninggalkan bekas yang disebut dengan *cycatric*.



Gambar 3. Spora *Entrophospora*.
Sumber: INVAM, 2009

(4). Scutellospora

Proses perkembangan *Scutellospora* sama dengan *Gigaspora*, untuk membedakan dengan genus *Gigaspora*, pada *Scutellospora* terdapat lapisan kecambah. Bila berkecambah, hifa keluar dari lapisan kecambah tadi. Spora bereaksi dengan larutan *Melzer* secara menyeluruh. Warna sporanya merah coklat ketika bereaksi dengan larutan *Melzer*. Ukuran sporanya rata-rata 165 μm (Walker, 1983).

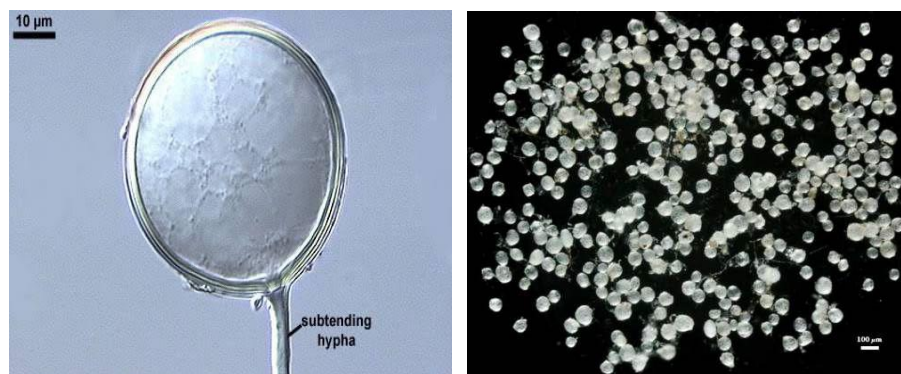


Gambar 4. Spora *Scutellospora*.

Sumber: INVAM

(5). Paraglomus

Spora pada umumnya dijumpai berbentuk bulat, bulat telur dan elips, kemudian spora berwarna bening, dan kuning terdapat globus dan tidak bereaksi terhadap penambahan larutan *Melzer*, serta jumlah dinding spora berkisar 1-3 lapisan (INVAM, 2015). Proses pembentukan spora paraglomus hamper sama dengan proses pembentukan spora glomus. Spora berasal dari ekspansi blastic dari ujung hifa.

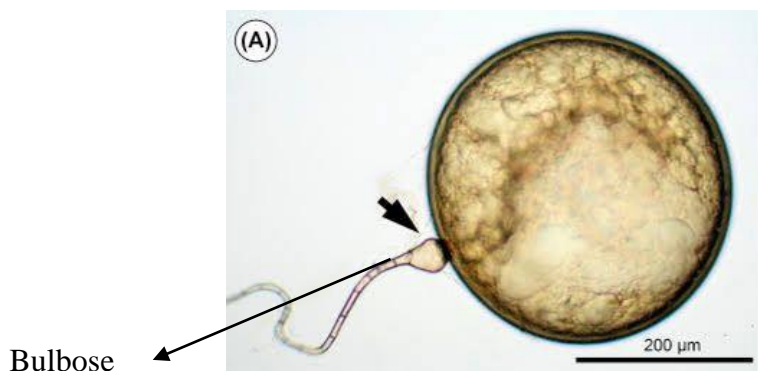


Gambar 5. Spora *Paraglomus*.

Sumber: www.zor.zut.edu.pl , INVAM

(6). Gigaspora

Hifa membentuk bulbous suspensor atau dudukan hifa yang membulat. Memiliki *auxillary cell*. Warna spora kuning cerah, berbentuk bulat, spora dinding terdiri dari tiga lapisan. Permukaan halus dan bereaksi dengan larutan *Melzer* (Ulfa *et al.*, 2011).



Gambar 6. Spora *Gigaspora*.
Sumber: ScienceDirect.com

Penggunaan pupuk anorganik dapat memiliki dampak negatif yaitu dapat mengakibatkan perubahan struktur tanah, kandungan unsur hara dalam tanah menurun, dan pencemaran lingkungan. Pemberian pupuk anorganik secara terus-menerus berdampak buruk terhadap mikroorganisme yang ada di dalam tanah dan dapat menyebabkan tanah kurang subur (Triyono *et al.*, 2013). Selain itu penggunaan pupuk anorganik dalam konsentrasi yang tinggi mengakibatkan populasi mikoriza cenderung lebih rendah karena terhambatnya simbiosis antara fungi mikoriza dengan akar tanaman akibat hara yang tersedia di perakaran tanaman jumlahnya cukup memadai. Hal ini diperkuat oleh Subiska (2002) bahwa media yang subur dan meningkatnya unsur P dalam tanah dapat menurunkan aktivitas dan infeksi mikoriza, bahkan populasinya akan berkurang karena sebagian mati.

Perkembangan FMA dipengaruhi oleh tanaman inang, intensitas cahaya, temperatur, kadar air tanah, pH tanah, bahan organik, residu akar, logam berat, hara dan fungisida (Indriani *et al.*, 2011). Suhu yang relatif tinggi akan meningkatkan aktivitas fungi, suhu yang tinggi mendukung terjadinya infeksi dan pembentukan spora, sedangkan suhu yang rendah sesuai untuk pembentukan arbuskular (Bintoro, 2000). Suhu optimum untuk perkecambahan spora beragam tergantung jenisnya. Untuk spesies *Glomus* dari wilayah beriklim dingin, suhu optimal untuk perkecambahan adalah 20°C. Penetrasi dan perkecambahan hifa peka terhadap suhu tanah. Umumnya infeksi FMA meningkat dengan naiknya suhu.

Adanya FMA pada tanaman yang tumbuh di daerah kering menguntungkan karena dapat meningkatkan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan bertahan pada kondisi yang kurang air (Pujiyanto, 2001). FMA memerlukan pH optimum yang berbeda untuk dapat berkembang. Ristiyanti *et al.* (2014) menyatakan bahwa perkecambahan spora FMA dipengaruhi oleh pH. *Glomus mosseae* mengalami perkecambahan dengan baik pada pH 6,0 – 9,0, *Glomus epigaeum* pada pH 6,0 – 8,0 (Ristiyanti *et al.*, 2014).

Bahan organik adalah salah satu komponen tanah yang penting di samping air dan udara. Ketersediaan nitrogen dan fosfat yang rendah akan mendorong pertumbuhan mikoriza, akan tetapi kandungan bahan organik yang terlalu rendah atau tinggi akan menghambat pertumbuhan mikoriza. Perkecambahan spora tidak hanya bergantung pada spesies dari FMA tetapi juga kandungan bahan organik di dalam tanah (Islami dan Utomo, 1995). Mikroorganisme yang hidup bersimbiosis dengan akar tanaman memperoleh sumber energi dari tanaman inang, yang bergantung pada kemampuan fotosintesis tanaman dan translokasi fotosintat ke akar (Dommergues dan Diem, 1982). Peningkatan intensitas cahaya pada umumnya meningkatkan persentase infeksi. Selain itu, lama penyinaran yang panjang meningkatkan akar yang terinfeksi. Intensitas sinar yang rendah dapat menurunkan infeksi pada akar tetapi pengaruhnya akan lebih terlihat pada sporulasi (Baon, 1996).

Tanaman-tanaman yang tipe perakarannya kasar dan rambut akarnya kurang ternyata lebih sering terinfeksi mikoriza dan pertumbuhannya lebih tergantung terhadap mikoriza tersebut (Sastrahidayat, 2011). Hasil penelitian Selly (2017) memperlihatkan bahwa spora dengan genus *Glomus* ditemukan lebih dominan karena memiliki kecocokan dengan tanaman inang jagung dan sorgum yang termasuk famili *Gaminae*. Simangunsong (2006), melaporkan bahwa kondisi tanah yang didominasi oleh fraksi lempung diduga sesuai untuk perkembangan spora *Glomus*, sementara itu tanah bepasir sesuai untuk perkembangan Gigaspora.

Kolonisasi akar oleh FMA ditandai dengan ditemukannya struktur-struktur dari FMA yang mengisi sel korteks seperti arbuskular, vesikel, hifa maupun spora (Setiadi *et al.*, 2011). Infeksi akar merupakan awal dari simbiosis FMA dengan akar tanaman (Chalimah *et al.*, 2007). Kolonisasi akar oleh FMA akan maksimum jika kondisi tanahnya kurang subur. Nitrogen dan fosfor dalam tingkat ketersediaan yang tinggi dapat mengurangi kolonisasi akar. Kolonisasi akar dapat meningkat jika nitrogen meningkat pada kondisi fosfor yang moderat, tetapi pada kondisi fosfor yang tinggi dan penambahan nitrogen justru merupakan penghambat kolonisasi dari akar dan populasi spora FMA (Suhardi, 1989).

Asosiasi FMA pada lada dapat diketahui dengan terbentuknya struktur khas dari kolonisasi FMA pada akar lada. Pada akar lada yang terkolonisasi FMA ditemukan struktur hifa, vasikula, arbuskula dan spora. Struktur yang di bentuk oleh spora FMA berfungsi menjalankan peran dalam proses asosiasi. Hifa terbentuk dari perkecambahan spora, yang berperan dalam menyerap unsur hara dan air dari luar ke dalam akar dan selanjutnya digunakan dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman inang. Struktur arbuskula memiliki bentuk seperti pohon, terbentuk dari cabang- cabang hifa intraradikal yang berada antara dinding sel dan membran sel. Arbuskula berperan penting sebagai tempat pertukaran unsur hara dan karbon antara FMA dan tanaman inang serta tempat penyimpanan sementara mineral, nutrisi, dan gula. Sedangkan vesikula merupakan struktur berdinding tipis yang terbentuk dari pembengkakan pada ujung hifa, berbentuk bulat, lonjong, atau tidak teratur. Vesikula berperan sebagai organ penyimpan cadangan makanan seperti lipid dan dalam waktu tertentu berperan sebagai spora yang merupakan alat pertahanan kehidupan FMA. Selanjutnya spora, merupakan organ perbanyak diri FMA, terbentuk dari hifa ekstraradikal yang memiliki bentuk tunggul maupun berkoloni (*sporocarps*) (Simanungkalit *et al.*, 2006).

1.4 Kerangka Pemikiran

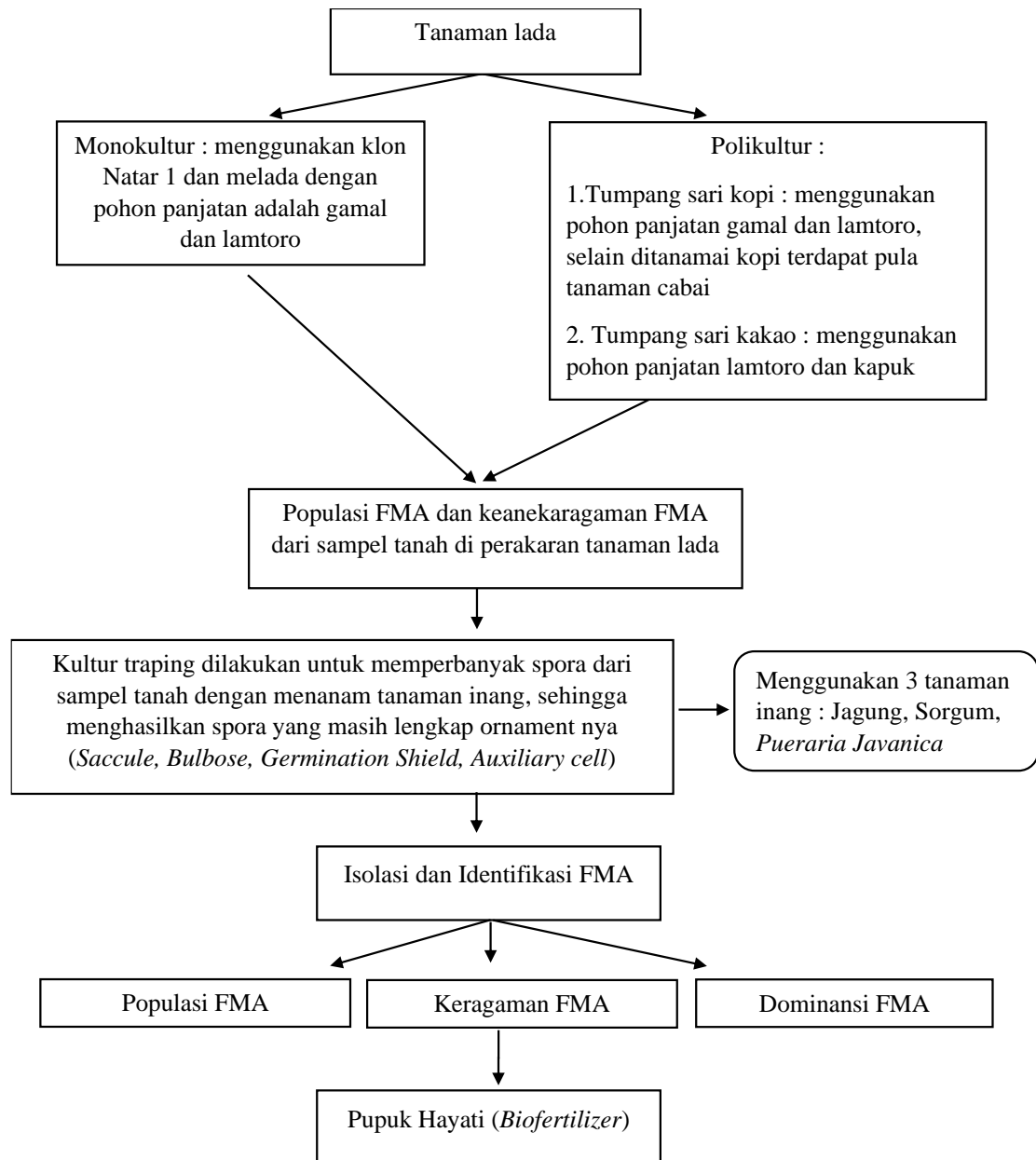
Tingkat populasi dan keragaman jenis FMA sangat beragam dan dipengaruhi oleh faktor biotik (Jenis tanaman, FMA, dan mikroorganisme lain) dan faktor abiotik (pH tanah, kadar air tanah, bahan organik tanah, suhu, intensitas cahaya, dan ketersediaan hara, logam berat maupun fungisida). FMA yang cocok dengan faktor biotik dan abiotik di kebun lada monokultur dan polikultur akan berdampak pada populasi dan keragaman FMA, karena populasi dan keragaman FMA akan bertambah jika faktor biotik dan abiotik sesuai untuk perkembangan FMA.

Pupuk anorganik menyebabkan dampak negatif yaitu mengakibatkan perubahan struktur tanah dan pemadatan tanah yang berdampak pada penurunan populasi FMA yang ada di dalam tanah. Pemupukan NPK yang tinggi di kebun lada monokultur dapat menghambat terbentuknya koloni akar dan pada akhirnya akan mengurangi terbentuknya spora, sehingga dapat mengakibatkan populasi FMA di kebun lada monokultur lebih rendah dibandingkan di kebun lada polikultur.

Faktor biotik juga mempengaruhi keragaman FMA pada sampel tanah kebun lada monokultur dan lada polikultur yaitu jenis tanaman inang yang terdapat kebun lada polikultur lebih beragam yaitu pada kebun lada polikultur selain lada terdapat tanaman kopi atau kakao, cabai, pohon gamal dan lamtoro. Sehingga, pada kebun lada polikultur FMA yang ada di tanah lebih beragam dibandingkan pada kebun lada monokultur. Hal ini disebabkan karena pada kebun lada polikultur jenis tanaman lebih banyak sehingga tanaman inang akan mengeluarkan daya tarik berupa eksudat akar yang berfungsi sebagai makanan dan seleksi terhadap FMA. Oleh karena itu tanaman inang yang lebih beragam pada kebun polikultur menghasilkan jenis FMA yang lebih beragam yang ada di rizosfir tanaman inang.

Tanah di kebun lada monokultur dan lada polikultur termasuk kedalam Ordo Ultisols. Ordo Ultisols memiliki tekstur tanah yang didominasi oleh fraksi lempung, kondisi ini diduga merupakan kondisi tanah yang baik bagi

perkembangan genus *glomus*. Selain itu juga, *glomus* merupakan FMA yang paling dominan di antara genus FMA lainnya.



Gambar 7. Kerangka pemikiran.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dikemukakan, maka hipotesis yang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Populasi FMA pada rizosfir lada polikultur lebih tinggi dibandingkan lada monokultur.
2. Keragaman FMA rizosfir lada polikultur lebih tinggi dibandingkan lada monokultur.
3. Jenis FMA yang terdapat pada rizosfir lada monokultur dan polikultur didominasi oleh FMA genus *glomus*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tipe FMA Berdasarkan Struktur Tumbuh dan Infeksi

Berdasarkan struktur tumbuh dan infeksi pada sistem perakaran, mikoriza dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan yaitu ektomikoriza dan endomikoriza (Setiadi, 2001). Ektomikoriza adalah asosiasi simbiosis antara fungi dan akar tumbuhan di mana fungi membentuk suatu sarung yang menyelubungi semua atau beberapa cabang-cabang akar dan dapat masuk ke dalam sel tetapi tidak pernah menembus masuk ke dalam sel dan hifa intraseluler tidak menyebabkan kerusakan sel inang. Menurut Killham (1996), simbiosis fungi ektomikoriza umumnya berasal dari genus *Lactarius*, *Pisolithus*, *Boletus*, *Suillus*, *Rhizopogon*, dan *Scleroderma* yang bersimbiosis dengan berbagai jenis pohon maupun tumbuhan berkayu lainnya.

Ektomikoriza dicirikan oleh (a) akar yang terinfeksi membesar, bercabang, dan rambut-rambut akar menjadi tidak nampak, (b) sayatan korteks melintang nampak permukaan akar ditutupi oleh miselia yang disebut dengan fungal sheat (mantel), (c) nampak beberapa hifa yang keluar disebut rhizomorphs yang berfungsi sebagai alat yang efektif untuk membantu penyerapan unsur hara dan air, (d) hifa tidak masuk ke dalam sel, tetapi hanya berkembang di antara dinding sel jaringan korteks (Setiadi *et al.*, 2001).

Endomikoriza adalah asosiasi simbiosis mutualisme antara jamur tertentu dengan akar tanaman, dimana jamur tumbuh sebagian besar di dalam korteks akar dan masuk sel akar tanaman inang. Endomikoriza meliputi tiga kelompok yaitu ericoid mikoriza

orchid mikoriza, dan FMA (Sastrahidayat, 2011). Ciri endomikoriza yaitu hifa yang menembus ke dalam sel-sel korteks dari sel yang satu ke sel yang lain. Di antara sel terdapat hifa yang membelit atau struktur pada hifa yang bercabang disebut arbuskular dan pembengkakan yang terbentuk pada hifa yang mengandung minyak yang disebut vesikular. Fungi ini tidak hanya menginfeksi jaringan kortek tetapi menembus sel kortek dimana akan berkembang menjadi hifa yang bercabang-cabang atau disebut arbuskular dan struktur berdinding tipis yang berbentuk bulat sampai oval disebut spora (Sastrahidayat, 2011). Fungi endomikoriza, tidak membentuk selubung luar tetapi hidup di dalam sel-sel akar dan membentuk suatu selubung luar tetapi hidup di dalam sel akar (intraseluler) dan membentuk hubungan langsung antar sel akar dan tanah (Sastrahidayat, 2011).

2.2 Manfaat FMA

Menurut Musfal (2010) mikoriza memiliki beberapa manfaat bagi tanaman yaitu :

1. Meningkatkan penyerapan unsur hara tanaman dari tanah: Mikoriza secara efektif dapat meningkatkan penyerapan unsur hara makro dan mikro, kemampuan mikoriza dalam melepaskan P tanah dari bentuk sukar larut menjadi bentuk larut dengan menghasilkan enzim *fosfatase* (Gunawan, 1993). Hal ini didukung oleh Husin *et al.* (2002) dinyatakan bahwa manfaat mikoriza dapat memperpanjang dan memperluas jangkauan akar untuk menyerap unsur hara, sehingga serapan unsur hara oleh akar tanaman meningkat dan produksi tanaman meningkat.
2. Meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan: Hifa mampu menyerap air pada pori tanah dan penyerapan hifa yang luas akan dapat menyerap air lebih banyak, menurut Setiadi (2013) hifa mikoriza dapat memperluas bidang serapan akar terhadap air dan hara karena ukuran hifa yang lebih halus dari bulu-bulu akar sehingga memungkinkan hifa dapat menyusup ke pori-pori tanah yang paling kecil (mikro) sehingga hifa dapat menyerap air pada kondisi kadar air tanah yang sangat rendah seperti cekaman kekeringan.

3. Meningkatkan ketahanan terhadap patogen: Tanaman dapat dikatakan sehat dan normal jika dapat menjalankan fungsi fisiologisnya dengan baik. Suhardi (1990) ditemukan bahwa FMA dapat dipergunakan untuk mengurangi kerusakan tanaman oleh serangan pathogen. Ketahanan tanaman bermikoriza terhadap serangan pathogen disebabkan karena perubahan morfologi dengan terbentuknya penebalan dinding sel oleh proses lignifikasi dan produksi polisakarida.

2.3 Mekanisme Hubungan Antara FMA dengan Akar Tanaman, serta Ekologi FMA

Hubungan mikoriza dengan akar tanaman atau inangnya adalah hubungan yang saling menguntungkan dimana mikoriza mendapatkan nutrisi untuk kebutuhan hidupnya dari akar tanaman (Prihastuti, 2007). Mekanisme hubungan antara FMA dengan akar tanaman dimulai dari berkecambahnya spora di dalam tanah, kemudian tanaman mengeluarkan eksudat akar di mana fungsinya sebagai makanan dan seleksi terhadap FMA. Eksudat akar terdapat pada jaringan apikal akar, isi dari eksudat akar ini berupa gula, asam organik, dan asam amino. Lalu, FMA masuk ke dalam akar dengan menembus celah antar sel epidermis, kemudian hifa akan tersebar secara interselular maupun intraselular di dalam jaringan korteks sepanjang akar (Simanungkalit, 2004).

Perbedaan lokasi dan rizosfir dapat mengakibatkan perbedaan keanekaragaman spesies maupun populasi dari FMA. Tanah yang didominasi oleh fraksi lempung (*clay*) adalah kondisi yang diduga sesuai untuk perkembangan spora *Glomus* dan tanah berpasir genus *Gigaspora* ditemukan dalam jumlah tinggi. Menurut Suamba *et al.* (2014) *Glomus* memiliki adaptasi yang sangat luas, sehingga hampir ditemukan di berbagai kondisi lingkungan. Hasil yang sama juga ditemukan oleh Husin *et al.* (2007) yang telah mengobservasi dan mengidentifikasi spora FMA jenis *Glomus* sp. dalam jumlah dominan pada berbagai rizosfir tanaman di lahan kritis Sumatera.

2.4 Tanaman Inang

Mikoriza arbuskular merupakan mikroorganisme yang dapat berkembangbiak di rizosfir tanaman. Simbiosis FMA dengan akar tanaman, akan terbentuk ditentukan oleh tanaman inang dan jenis FMA. Simbiosis akan terjadi jika ada kesesuaian antara tanaman inang dengan jenis FMA (Mosse, 1981). Asosiasi antara fungsi mikoriza bagi tanaman inang dapat memberikan manfaat yang sangat besar bagi pertumbuhan baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, fungsi mikoriza mampu meningkatkan serapan air, hara, dan melindungi tanaman dari pathogen akar dan unsur toksik. Sedangkan secara tidak langsung fungsi mikoriza berperan dalam perbaikan struktur tanah, meningkatkan kelarutan hara, dan proses pelapukan batu induk (Subiksa, 2005).

Masing-masing dari jenis FMA memiliki karakter yang berbeda, sehingga masing-masing FMA hanya cocok untuk beberapa tanaman inang. Dalam hal ini, tanaman inang akan mengeluarkan eksudat akar yang berfungsi sebagai makanan dan seleksi terhadap FMA. Kecocokan antara tanaman inang dan jenis FMA berakibat pada jumlah populasi fungsi mikoriza arbuskular dan pertumbuhan tanaman inang.

2.5 Botani Lada

Lada adalah tanaman rempah penting di Indonesia. Lampung adalah salah satu provinsi penghasil lada di Indonesia. Lada adalah tanaman yang buahnya berfungsi sebagai bumbu masakan, obat herbal, anti bakteri dan anti oksidan. Kebutuhan lada dunia mencapai 350 ribu ton/tahun. Kontribusi Indonesia sebagai pengeksport lada mencapai 29% dari kebutuhan dunia, terbesar kedua setelah Vietnam, Produksi lada Nasional tahun 2014 mencapai 91,941 ton (Meilawati, 2016).

Menurut Sarpian (2003), dalam taksonomi tumbuhan, tanaman lada diklasifikasikan sebagai berikut :

Divisi : Spermatophyta

Class : Dicotyledoneae

Ordo : Piperales

Famili : Piperaceae

Genus : Piper

Species : *Piper nigrum* L

Lada cocok ditanam di daerah tropika antara 20° LU dan 25° LS dengan curah hujan 1000-3000 mm per tahun, merata sepanjang tahun dan mempunyai hari hujan 100-170 hari per tahun, musim kemarau hanya 2-3 bulan per tahun.

Kelembaban udara 65-98% selama musim hujan, dengan suhu maksimal 35°C dan suhu minimum 20°C (Suprpto, 2008). Lada dapat tumbuh pada ketinggian 0-1500 mdpl, tetapi paling baik pada ketinggian 0-500 mdpl. Lada dapat tumbuh subur pada tanah yang subur secara fisik dan kimia serta drainase yang baik. Tanah-tanah liat berpasir, tanah literistik podsolik kompleks dan tanah latosol dengan pH tanah antara 5,5-6,5 sangat baik untuk pertumbuhan lada.

2.6 Penanaman Lada

Penanaman lada pada lahan baru dari hutan belukar ataupun kebun tua (kopi, kakao, dan karet) dengan lokasi yang terisolasi dan agroekosistem yang cocok dan dapat menghasilkan pertanaman lada yang subur, sehat, dan berproduksi tinggi tidak sampai umur 10-12 tahun. Kondisi cuaca yang ekstrim, infeksi hama dan penyakit adalah penyebab kerusakan kebun lada bukaan baru. Setelah *land clearing*, lada ditanam dengan tanaman semusim seperti padi, jagung, dan sayuran serta menanam stek pohon panjat gamal, dadap, dan kapuk. Tahun berikutnya lada berupa bibit polybag atau stek yang berjumlah 7 ruas ditanam di dekat pohon panjat. Untuk kebun lada campuran penanaman bibit lada bersamaan dengan penanaman bibit kopi, cengkeh atau pisang (Sudarsono, 2019).

Kebun lada tanam ulang tanpa adanya rotasi 2-3 tahun total dengan tanaman lain berisiko terserang penyakit terutama penyakit busuk pangkal batang. Sebagian petani lada tidak mau melakukan rotasi tanaman, tetapi secara bertahap menanam lada di pohon panjatan yang sudah ada. Pada wilayah perkebunan lada tradisional seperti daerah Abung dan Sungkai (Lampung Utara), Marga Tiga (Lampung Timur), dan Air Naningan (Tanggamus) petani biasa melakukan tanam ulang (replanting), rehabilitasi, atau penyulaman tanaman untuk mengatasi masalah kerusakan pada tanaman lada (Sudarsono, 2019).

Budidaya lada campuran dengan susunan pertanaman yang teratur harus dilakukan sejak awal penanaman, seperti kebun campuran lada kopi yang paling umum ditemukan di Lampung. Di daerah pegunungan seperti di Lampung Barat dominan kebun kopi, sehingga lada ditanam di pohon pelindung tanaman kopi yang sudah ada sehingga akan terbangun kebun kopi campuran lada. Karena curah hujan yang tinggi di daerah pegunungan sehingga tanaman lada campuran ini biasanya tidak berumur Panjang yaitu 3-4 kali produksi, maka perlu dilakukan penyulaman (Sudarsono, 2019).

Penanaman di lapang yaitu dengan membuat lubang tanam dengan jarak 2,5m x 2,5m, ukuran lubang tanam, panjang x lebar x dalam, yaitu 60cm x 40cm x 40cm, kemudian lubang ditutup dengan campuran tanah \pm 10kg pupuk kandang \pm 1kg dolomit per lubang sampai terbentuk guludan setinggi \pm 15cm, selanjutnya penanaman dilakukan pada awal musim hujan dengan cara membenamkan pangkal bibit beserta tanahnya dan 4 buku di atasnya lalu 3-4 buku bagian ujung bibit diikat pada pohon tegakannya, selanjutnya diberi naungan daun paku-pakuan atau ilalang, sekelilingnya kebun dibuat parit drainase sedalam 40cm, lebar 40cm, agar tegakan genangan air di dalam kebun (Nuryani *et al.*, 2003).

2.7 Pemeliharaan Lada

A. Pohon Penegak

Tegakan yang digunakan untuk merambat tanaman lada yaitu tegakan yang hidup (dadap, kapok, glirisida, kalumpang, angsana, dan kedondong pagar) yang berfungsi sebagai penyangga tanaman lada, tinggi tegakan sekitar 2,5-3 m. Tegakan hidup memerlukan pemangkasan (Nuryani *et al.*, 2003).

B. Pemangkasan

b.1 pohon penegak

Mulai umur 6-7 bulan pohon dipangkas untuk diperoleh batang pokok yang lurus ke atas, selanjutnya pemangkasan dilakukan secara bertahap sehingga pada umur 2 tahun diperoleh pohon setinggi 2,5 m dengan batang pokok yang lurus (Nuryani *et al.*, 2003).

b.2 sulur panjat lada

Pada umur 6-7 bulan sulur lada dipangkas pada tinggi 0,5 m dari permukaan tanah (dpt). Kemudian dipelihara 3 sulur panjat. Kemudian pada umur 11-12 bulan, sulur dipangkas pada tinggi 1,5 m dpt dan dari setiap sulur dipelihara 3 sulur panjat. Jadi 1 tanaman lada memiliki 9 sulur panjat berikutnya tanaman lada tidak dipangkas (Nuryani *et al.*, 2003).

C. Perompesan Bunga

Perompesan atau pembuangan bunga dilakukan sampai pemangkasan sulur ke-2 yaitu umur 11-12 bulan. Kemudian pemangkasan sulur ke-2 semua bunga dan buah dipelihara (Nuryani *et al.*, 2003).

D. Penggemburan Tanah

Penggemburan tanah dilakukan pada akhir musim hujan, dengan kedalaman 0,5 m di luar tajuk bertepatan dengan penyiangan untuk mengurangi evaporasi (Nuryani *et al.*, 2003).

E. Penutup Tanah

Tanaman penutup tanah *Arachis pinto* yang berfungsi sebagai penambah bahan organik, mengurangi penyebaran penyakit, meningkatkan populasi parasitoid terhadap hama penggerek, dan dapat dimanfaatkan sebagai pakan peternak (Nuryani *et al.*, 2003).

F. Penyiangan

Penyiangan dilakukan terbatas paada areal tajuk tanaman sama dengan areal penggemburan, penutup tanah *Arachis pintoii* yang disiang dijadikan mulsa setelah kering, kegiatan dimulai dari tanaman sehat dan berakhir pada areal yang diperkirakan terinfeksi penyakit (Nuryani *et al.*, 2003).

G. Pemupukan

Tanaman lada dipupuk menggunakan dosis sesuai umur dan kebutuhan tanaman. Pupuk diberikan dalam alur sedalam 5-10 cm pada batas guludan lada (Nuryani *et al.*, 2003).

2.8 Panen dan Pasca Panen Lada

Buah lada yang telah siap dipanen untuk lada hitam ditandai dengan warna hijau tua, waktu pemanenan buah dianjurkan setelah buah berumur 6-7 bulan. Untuk mengetahui buah yang siap di panen dilakukan dengan cara memijat buah lada, jika keluar cairan putih maka buah lada tersebut dipanen apabila dalam satu tandan buah terdiri dari buah lada merah (2%), kuning (23%), dan hijau tua (75%) (BBPPTP, 2008).

Buah lada dipanen dengan tangkainya (tandan buah) dengan cara dipetik menggunakan tangan. Tangkai buah yang tua tidak liat, mudah dipetik dan mudah dipatahkan. Pemetikan dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak buah. Pemetikan dapat dilakukan sekaligus atau bertahap sesuai dengan perkembangan buah lada. Pemetikan dilaksanakan pada pagi hari antara jam 9-12. Buah dipetik secara selektif dan panen harus dilakukan sesering mungkin selama musim panen. Buah lada yang jatuh ke tanah harus diambil secara terpisah dan tidak boleh dicampur dengan buah lada yang berasal dari pohon. Pemetikan lada harus dilakukan dengan cara yang higienis/bersih, kemudian dikumpulkan dan diangkut di dalam keranjang yang bersih untuk dibawa ketempat pemrosesan (BBPPTP, 2008).

2.8.1 Pengolahan Lada

1. Sortasi Buah

Lada yang sudah dipetik selanjutnya dihamparkan dan disortir. Buah lada yang busuk dan tidak normal dipisahkan dan dibuang sedangkan buah yang baik dan mulus dikumpulkan dalam satu tempat untuk diproses lebih lanjut (BBPPTP, 2008).

2. Pemisahan buah dari tangkai (Perontokan)

Buah lada yang telah dipanen ditumpuk selama 2-3 hari atau langsung dirontok untuk memisahkan buah dari tangkainya. Proses perontokan dilakukan dengan cara meremas tandan buah atau dinjak-injak. Atau dapat dilakukan dengan menggunakan alat perontok tipe pedal atau motor yang digerakkan oleh bensin/listrik. Buah lada yang sudah layu mudah terlepas dari tangkainya (BBPPTP, 2008).

3. Pengeringan

Dilakukan dengan cara menjemur di bawah panas sinar matahari 2-3 hari sampai kadar air mencapai 15%. Pengeringan dengan penjemuran dilakukan dengan menggunakan alas yang bersih, jangan dijemur di atas tanah tanpa alas karena akan menghasilkan kualitas lada jelek dan kotor. Saat penjemuran dilakukan beberapa kali pembalikan dengan ketebalan tumpukan penjemuran 10 cm menggunakan garu dari kayu agar kekeringan buah lada seragam dalam waktu yang sama (BBPPTP, 2008).

4. Pemisahan

Pemisahan bertujuan untuk memisahkan biji lada yang sudah kering dari kotoran seperti tanah, pasir, daun kering, gagang, serat-serat dan juga Sebagian lada enteng. Penampilan dilakukan secara manual menggunakan tampah, sortasi dapat dilakukan dengan mesin yang digerakkan menggunakan pedal (*blower*), alat ini untuk memisahkan buah lada bemas, lada enteng dan kotoran (BBPPTP, 2008).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Rumah Kaca dan Laboratorium Produksi Perkebunan Fakultas Pertanian Universitas Lampung mulai Oktober 2022 sampai Februari 2023.

3.2 Bahan dan Alat

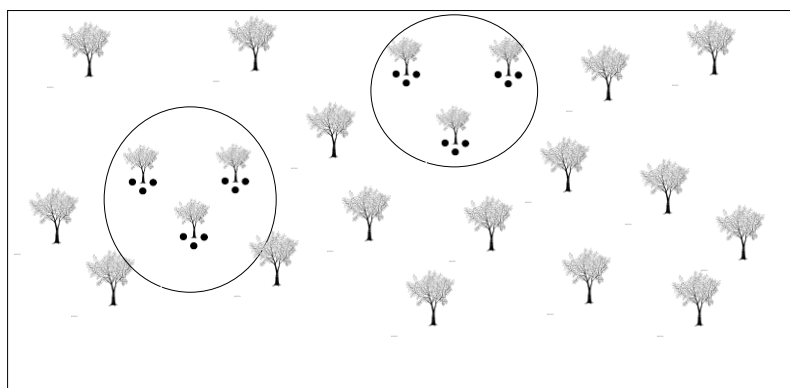
Bahan-bahan yang digunakan adalah sampel tanah dari rizosfir pertanaman lada (monokultur, lada tumpang sari dengan kopi, dan lada tumpang sari dengan kakao), benih jagung, benih sorgum, benih *Pueraria javanica*, zeolite, pasir, aquades, larutan klorok, larutan PVLG, plastic sampel, KOH 10%, HCl 2%, larutan *Melzer*, kertas label, pupuk urea dan pupuk NPK.

Alat-alat yang digunakan adalah polybag berukuran 14x20 cm, timbangan, cangkul, ember, spidol, kamera, mikroskop stereo dan *compound*, *petri dish*, gelas piala, alat pengaduk, kaca preparat, pinset spora, gelas ukur, pipet tetes, *water bath*, saringan spora, dan alat tulis.

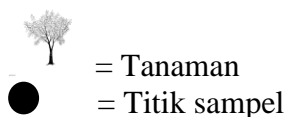
3.3 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan menggunakan metode *survei* dengan teknik *purposive sampling* di Kecamatan Air Nanningan. Sampel tanah diambil pada 3 kondisi kebun tanaman lada yang berbeda, terdiri dari k_1 = kebun lada monokultur, k_2 = kebun lada tumpang sari dengan kopi, k_3 = kebun lada tumpang sari dengan kakao.

Sampel tanah diambil dari rizosfir lada Klon Natar 1 monokultur dan tumpang sari di Kecamatan Air Nanning, Kabupaten Tanggamus. Kabupaten ini dipilih karena salah satu sentra produksi lada di daerah Lampung. Pada setiap kebun ditentukan 7 titik sampel dan pada masing-masing titik sampel terdiri dari 3 tanaman. Sampel tanah diambil di setiap tanaman pada 3 titik sedalam ± 20 cm dari pangkal pohon lada pada masing-masing tanaman sampel dan dicampur menjadi satu mewakili satu titik sampel (Gambar 8). Setelah itu tanah dimasukkan kedalam plastik dan diberi label. Total sampel tanah keseluruhan dari 3 kebun adalah sebanyak 21 sampel dengan berat masing-masing 2,5 kg, yaitu dari 3 kebun (lada monokultur, lada tumpang sari kopi, lada tumpang sari kakao) x 7 (titik sampel per kebun).



Keterangan :



Gambar 8. Tata letak pengambilan sampel tanah.

Salah satu sentra lada di provinsi Lampung, adalah Kabupaten Tanggamus. Di Kabupaten ini khususnya di Kecamatan Air Nanning, lada ditanam secara monokultur dan polikultur. Sejarah lahan lada monokultur tempat pengambilan sampel sebagai berikut. Lada sudah ditanam selama 4 tahun sejak tahun 2018 dengan sistem monokultur. Jarak tanam lada monokultur yaitu 2,5 m x 2,5 m. Klon yang digunakan untuk pertanaman yaitu sambungan klon Natar 1 dan melada. Pohon panjatan yang digunakan adalah pohon gamal dan lamtoro. Pada

saat penanaman diberikan pupuk kompos dengan dosis sebanyak 5 kg/pohon. Pemberian pupuk anorganik juga dilakukan dengan menggunakan pupuk NPK Mutiara (16:16:16) sebanyak satu kali dengan dosis 3 sdm/tanaman. Gulma yang banyak ditemukan pada lahan ini yaitu jenis gulma rumput. Pengendalian gulma di kebun lada monokultur dilakukan secara mekanis. Kondisi lada di kebun monokultur memperlihatkan sebagian tanaman mengalami kekeringan akibat dosis pupuk yang terlalu tinggi.

Kebun lada polikultur juga terletak di Kecamatan Air Nanningan. Kebun kedua yaitu kebun lada tumpang sari dengan kopi dengan sejarah lahan yaitu lada sudah ditanam sejak 25 tahun sejak tahun 1997 dengan sistem polikultur kopi dan juga cabai. Kopi yang digunakan yaitu kopi jenis robusta. Jarak tanam lada 4m x 4m sedangkan jarak tanam kopi 2,5m x 2,5m. pohon panjatan yaitu pohon gamal dan lamtoro, pohon kapuk. Pengendalian gulma dilakukan secara mekanis yaitu dengan menggunakan koret.

Kebun selanjutnya yaitu lada tumpang sari kakao dengan sejarah lahan sebagai berikut. Lada sudah berumur 15 tahun atau sudah ditanam tahun 2007 dengan sistem campuran dengan kakao sedangkan umur tanaman kakao sambungan sekitar 3 tahun, jarak tanam lada 3m x 3m. pohon panjatan dari lada ini yaitu lamtoro dan kapuk. pemberian pupuk organik juga dilakukan yaitu diberikan pupuk phonska sebanyak 2x pertahun, dan menggunakan pupuk biochar.

3.4 Perhitungan Populasi FMA dari Sampel Tanah di Setiap Jenis Kebun

Total populasi FMA dalam masing-masing sampel tanah dihitung dengan menyaring spora FMA dengan metode penyaringan basah (Brundrett *et al.*, 1996). Penyaringan dilakukan dengan cara menimbang sampel tanah sebanyak 100 gram, kemudian dimasukkan dalam gelas beaker 1.000 ml dan ditambah air sampai volume 500 ml. Tanah yang sudah bercampur air tersebut diaduk selama \pm 1 menit sampai homogen dan agregat tanah dipecah dengan menggunakan tangan agar spora terbebas dari tanah. Suspensi tersebut didiamkan selama \pm 10 detik

sampai partikel-partikel yang besar mengendap. Cairan supernatant kemudian dituang ke dalam saringan mikro yang sudah disusun bertingkat dengan diameter lubang 500 μm , 250 μm , 150 μm , 45 μm , dengan susunan saringan paling atas ukuran 500 μm , kemudian ukuran 250 μm , selanjutnya ukuran 150 μm , dan paling bawah ukuran 45 μm (prosedur ini diulang sebanyak 4 kali). Residu dari masing-masing saringan dibilas dengan air kran untuk menjamin bahwa semua partikel yang kecil sudah keluar dari saringan. Residu di setiap saringan dituang ke dalam cawan petri untuk dilakukan pengamatan spora di bawah mikroskop stereo dan dihitung jumlah spora FMA yang ditemukan pada setiap bidang pandang sampai seluruh cawan petri teramati. Perhitungan spora dilakukan secara manual dengan bantuan counter. Jumlah spora dinyatakan dalam spora per 100 g tanah. Data yang dihasilkan diuji dengan uji One Way Anova untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antara data populasi.

3.5 Studi Keragaman FMA melalui Kultur Traping

3.5.1 Metode Penelitian

Sampel tanah yang diperoleh juga digunakan untuk menghitung keanekaragaman FMA melalui teknik kultur trapping. Kultur trapping dilakukan karena spora yang diisolasi langsung dari lapangan tidak optimal sebagai bahan identifikasi (Rainiyati, 2007). Hal ini didukung oleh Rengganis (2013) yaitu eksplorasi FMA secara langsung dari rizosfer alami sering memperoleh hasil yang rendah oleh karena itu perlu dilakukan kultur trapping. Kultur trapping dilakukan dengan tujuan untuk memperbanyak spora yang terdapat dalam sampel tanah dengan menanam tanaman inang tertentu pada sampel tanah, sehingga tanaman inang akan dikolonisasi oleh propagul FMA yang ada di dalam sampel tanah dan menghasilkan spora. Spora yang dihasilkan melalui kultur trapping ini spora yang segar dengan ornament spora yang masih lengkap, sehingga mudah untuk melakukan identifikasi spora berdasarkan morfologi spora.

Rancangan perlakuan yang digunakan dalam kultur traping adalah rancangan faktorial (3x3) dengan faktor pertama yaitu asal sampel tanah (K) dengan k₁ (lada monokultur), k₂ (lada tumpang sari dengan kopi), dan k₃ (lada tumpang sari dengan kakao) dan faktor kedua yaitu jenis tanaman inang (T) t₁ (jagung), t₂ (sorgum), dan t₃ (*Pueraria javanica*) dengan setiap perlakuan diulang sebanyak 5 kali. Perlakuan diterapkan pada satuan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Tata letak percobaan di rumah kaca dapat dilihat pada Gambar 9. Data yang dihasilkan diuji homogenitasnya dengan Uji Barlett, selanjutnya dianalisis dengan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5 %.

Ulangan 1	Ullangan 2	Ulangan 3	Ulangan 4	Ulangan 5
k ₂ t ₁ u ₄	k ₃ t ₁ u ₁	k ₃ t ₁ u ₃	k ₁ t ₁ u ₂	k ₁ t ₂ u ₅
k ₃ t ₃ u ₃	k ₃ t ₃ u ₄	k ₁ t ₃ u ₃	k ₂ t ₃ u ₂	k ₁ t ₃ u ₄
k ₂ t ₃ u ₄	k ₂ t ₃ u ₅	k ₃ t ₃ u ₅	k ₃ t ₁ u ₄	k ₁ t ₁ u ₃
k ₂ t ₂ u ₄	k ₃ t ₃ u ₁	k ₁ t ₃ u ₁	k ₂ t ₁ u ₃	k ₃ t ₂ u ₄
k ₃ t ₂ u ₅	k ₃ t ₂ u ₂	k ₃ t ₁ u ₂	k ₂ t ₂ u ₅	k ₁ t ₁ u ₅
k ₁ t ₂ u ₃	k ₂ t ₃ u ₁	k ₁ t ₃ u ₂	k ₂ t ₂ u ₂	k ₁ t ₂ u ₁
k ₁ t ₃ u ₅	k ₂ t ₁ u ₅	k ₁ t ₂ u ₂	k ₁ t ₂ u ₄	k ₁ t ₁ u ₁
k ₃ t ₁ u ₅	k ₃ t ₂ u ₄	k ₃ t ₂ u ₁	k ₁ t ₁ u ₄	k ₂ t ₁ u ₂
k ₂ t ₃ u ₃	k ₂ t ₂ u ₃	k ₂ t ₂ u ₁	k ₃ t ₃ u ₂	k ₂ t ₁ u ₁

Keterangan :

k₁ : Sampel tanah kebun lada monokultur

k₂ : Sampel tanah kebun lada tumpang sari kopi

k₃ : Sampel tanah kebun lada tumpang sari kakao

javanica

t₁ : Tanaman jagung

t₂ : Tanaman sorgum

t₃ : Tanaman *Pueraria*

Gambar 9. Tata letak percobaan kultur traping.

3.5.2 Persiapan Sampel Tanah

Sampel tanah dari lapang terlebih dahulu dikompositkan dengan cara mencampurkan semua sampel tanah, yaitu tujuh sampel tanah dari satu kebun dikompositkan jadi satu sampel seberat ± 1 kg tanah diambil dari setiap titik sampel sehingga diperoleh ± 7 kg sampel tanah dari setiap kebun.

3.5.3 Persiapan Tanaman Inang

Tanaman inang yang digunakan dalam kultur traping adalah jagung, sorgum dan *P. javanica*. Benih tanaman inang direndam dalam klorok selama 15 menit,

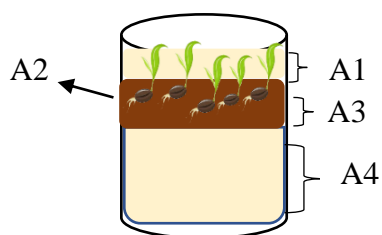
kemudian benih dibilas dengan air dan aquades, pengecambahan dilakukan dengan meletakkan benih di atas kertas merang yang telah dibasahi dan disimpan dalam suhu ruang selama 2 hari dengan kelembaban yang terjaga.

3.5.4 Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan terdiri dari pasir sungai steril dan zeolite. Pasir terlebih dahulu disterilisasi dengan menggunakan autoclave pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 60 menit. Sterilisasi pasir dilakukan 2 kali, lalu pasir yang sudah disterilkan dicuci dengan menggunakan air mengalir sebanyak 5-6 kali bilasan. Zeolite yang juga digunakan sebagai media tanam dicuci bersih dengan air mengalir sebanyak 4 kali bilasan. Media tanam yang digunakan berupa campuran pasir dan zeolite dengan perbandingan 2 : 1 (volume : volume). Kemudian pasir dan zeolite dicampur, lalu campuran tersebut dimasukkan sebanyak 700 gram ke dalam polybag berukuran 14 x 20 cm.

3.5.5 Penanaman Tanaman Inang

Penanaman dilakukan dengan cara sampel tanah dari lapang dimasukkan ke dalam polybag di atas media campuran pasir dan zeolite sebanyak \pm 250 gram. Benih tanaman inang yang telah disemai, ditanam di atas sampel tanah yang sudah disiapkan dan ditutup kembali dengan media pasir dan zeolite (Gambar 10). Hal yang sama dilakukan untuk setiap tanaman inang dengan ulangan sebanyak 5 kali dan masing-masing polybag ditanam sebanyak 5 benih yang sudah berkecambah.



Keterangan :

A1 = Campuran pasir dan zeolite

A2 = benih yang sudah berkecambah

A3 = sampel tanah kebun \pm 250 gram

A4 = campuran pasir dan zeolite \pm 700 gram

Gambar 10. Ilustrasi metode kultur traping FMA.

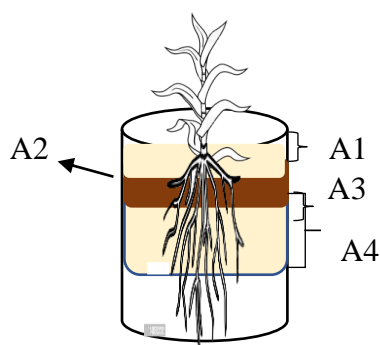
3.5.6 Pemeliharaan Tanaman

Kegiatan pemeliharaan tanaman terdiri dari pemupukan, penyiraman, penyiangan gulma, pengendalian hama dan penyakit, dan pemotongan bunga pada tanaman jagung dan sorgum. Pupuk yang digunakan yaitu pupuk urea dengan konsentrasi 2 gram per liter dan dosis 20 ml/polybag, diaplikasikan pada saat tanaman berumur 2 minggu, yaitu 2 kali dalam seminggu hingga umur tanaman 6 minggu dan pupuk NPK dengan dosis 0,3 gram per polybag ketika tanaman berumur 6 minggu. Penyiraman dilakukan setiap hari pada waktu sore hari menggunakan air steril sebanyak 50 ml/polybag, setelah tanaman berumur 10 hari, penyiraman dilakukan sebanyak 100 ml/polybag namun pada 2 minggu sebelum panen tidak dilakukan penyiraman dan tanaman serta media tanam dibiarkan kering. Penyiangan gulma dilakukan secara manual dengan cara mencabut gulma yang tumbuh di dalam polybag.

3.5.7 Pemanenan

Kegiatan pemanenan dilakukan saat tanaman inang jagung dan sorgum berumur 3 bulan, dan tanaman inang *P. javanica* berumur 4 bulan setelah tanam. Panen dilakukan dengan cara tidak melakukan kegiatan penyiraman selama 2 minggu sampai media tanam benar-benar kering, dengan tujuan untuk merangsang

produksi spora. Batang tanaman jagung, sorgum, dan *P. javanica* dipotong ± 1 cm dari permukaan media tanam. Selanjutnya polybag dipotong untuk memisahkan media tanam bagian atas dan media tanam bagian bawah (Gambar 11). Kemudian media tanam bagian bawah yang terdapat campuran pasir dan zeolite diamati untuk menghitung populasi dan keragaman FMA. Spora FMA yang dihasilkan oleh akar tanaman inang di dalam media pasir dan zeolite dihitung dan diidentifikasi dengan mengambil sampel secara acak sebanyak 50 gram kemudian spora diisolasi dengan teknik penyaringan basah (Subbab 3.4 halaman 27).



Keterangan :

A1 = Campuran pasir dan zeolite

A2 = bibit tanaman inang

A3 = sampel tanah kebun ± 250 gram

A4 = campuran pasir dan zeolite ± 700 gram (bagian yang diambil untuk pengamatan populasi dan jenis spora FMA)

Gambar 11. Ilustrasi proses panen kultur traping.

3.5.8 Variabel Pengamatan

Variabel yang diamati pada penelitian ini terdiri dari kolonisasi akar, jumlah spora per 50 gram sampel media tanam, identifikasi keragaman FMA, dan dominansi FMA pada masing-masing sampel tanah yang digunakan.

3.5.8.1 Kolonisasi Akar

Kolonisasi akar oleh FMA ditandai dengan ditemukannya struktur-struktur dari FMA yang mengisi sel korteks tanaman inang seperti arbuskular, vesikel, hifa

maupun spora (Setiadi dan Setiawan, 2011). Pengamatan kolonisasi akar dilakukan dengan cara memisahkan akar kecil yang halus dari tanaman inang (jagung, sorgum, dan *P. javanica*) dengan akar yang besar. Akar yang sudah dipisahkan kemudian dimasukkan ke dalam botol film, lalu akar dicuci bersih dengan air mengalir. Akar yang sudah dicuci bersih selanjutnya diberi larutan KOH dengan tujuan untuk membersihkan akar dari cairan sitoplasma. Botol yang sudah berisi akar dan KOH selanjutnya dimasukkan ke dalam *waterbath* dengan suhu 70° C selama 15 menit. Setelah 15 menit, dilakukan pengecekan akar di bawah mikroskop jika akar masih kotor maka diulangi proses pengukusan dengan menggunakan larutan KOH yang baru sampai akar terlihat bersih. Akar yang sudah bersih selanjutnya diberi larutan HCl 2% dan dimasukkan ke dalam *waterbath* dengan suhu 70° C selama 15 menit, lalu dibilas dengan air mengalir kemudian diberi trypan blue sampai akar terendam semuanya dan dikukus dalam *waterbath* dengan suhu 70° C selama 5 menit. Selanjutnya akar diambil secara acak kemudian dipotong dengan panjang ± 2 cm sebanyak 15 potongan dan disusun pada kaca preparate untuk diamati. Kolonisasi akar dihitung dengan menghitung berapa banyak bidang pandang yang terdapat struktur FMA (Brundret *et al.*, 1996) dengan bantuan mikroskop *compound*. Persentase kolonisasi dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ kolonisasi akar} = \frac{\text{total bidang pandang kolonisasi (+)}}{\text{seluruh bidang pandang}} \times 100\%$$

3.5.8.2 Isolasi Spora

Isolasi spora FMA dilakukan dengan cara menimbang sampel media (campuran zeolite dan pasir) sebanyak 50 gram, kemudian dimasukkan dalam gelas beaker 1.000 ml dan ditambah air sampai volume 500 ml. Sampel tersebut diaduk selama ± 1 menit sampai homogen, prosedur selanjutnya sama dengan perhitungan populasi spora FMA dari sampel tanah di lapangan (Subbab 3.4 halaman 27). Lalu spora dari kultur trapping dipindahkan ke cawan arloji untuk keperluan identifikasi jenis spora

3.5.8.3 Identifikasi Keragaman FMA

Spora dari cawan hasil penyaringan sampel kultur trapping dipindahkan ke cawan arloji dengan menggunakan pinset spora. Spora yang ditemukan lalu dikelompokkan berdasarkan warna, bentuk, ukuran, dan ornament spora menggunakan pinset spora. Masing-masing spora dengan karakteristik yang berbeda ditempatkan di gelas arloji yang berbeda yang telah diberi sedikit aquades, kemudian dihitung jumlahnya. Setelah itu dilakukan kegiatan identifikasi spora FMA berdasarkan ciri-ciri yang tampak yaitu terdiri dari warna, bentuk, ada atau tidaknya ornament seperti *bulbose*, *saccule*, *germination shield*, *auxillary cells*, dan reaksi spora terhadap larutan *Melzer* dan larutan PVLG menggunakan mikroskop stereo hingga perbesaran 45x dan mikroskop majemuk dengan perbesaran 40x.

Larutan PVLG merupakan bahan perekat permanen yang tidak dapat mengubah warna spora, formulanya terdiri dari (distilled water 100ml, lactic acid 100ml, glycerol 10ml, dan polyvinyl alcohol 16,6 g), sedangkan *Melzer* adalah bahan pereaksi penting dalam identifikasi karena dapat memberikan reaksi yang berbeda dari genus FMA disebabkan kandungan lipid dropletnya. Larutan *Melzer* terdiri dari (chloral hydrate 100 g, distilled water 100 ml, iodine 1,5 g, dan potassium iodine 5 g). Selanjutnya, untuk mengetahui tingkat keragaman FMA pada masing-masing perlakuan dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus Shannon-Wiener

sebagai berikut:

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

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

Keterangan :

- H : Indeks Keragaman Shannon- Wiener
- Pi : Jumlah individu suatu spesies/jumlah total seluruh spesies
- Ni : jumlah individu spesies ke-i
- N : Jumlah total individu

3.5.8.4 Dominansi FMA

Perhitungan dominansi FMA digunakan untuk mengetahui persentase keberadaan masing-masing spesies FMA pada setiap sampel yang diamati. Perhitungan dominansi FMA berdasarkan rumus dominansi Simpson sebagai berikut:

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Keterangan

- D : Indeks dominansi simpson
- n_i : Jumlah individu tiap spesies
- N : Jumlah individu seluruh spesies

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Populasi FMA baik pada sampel kebun lada monokultur maupun kebun lada polikultur menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata.
2. Berdasarkan Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener, keragaman FMA pada kebun lada monokultur dan lada tumpang sari kopi lebih tinggi daripada kebun lada tumpang sari kakao.
3. Jenis FMA yang dominan dari hasil kultur traping dengan sampel tanah kebun lada monokultur dan kebun lada tumpang sari kopi yaitu spora spesies kode S7 dengan ciri bentuk memiliki *sporiferus saccule*, bereaksi terhadap *Melzer*, sedangkan pada kebun lada tumpang sari kakao didominasi oleh kode S6 dengan ciri bentuk memiliki *sporiferus saccule* dan bereaksi terhadap *Melzer*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, peneliti menyarankan perlunya dilakukan identifikasi spora secara molekuler yang bertujuan untuk mengetahui spesies dan karakteristik spora dengan jelas, serta perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait dengan perbanyakan spora dengan kode S3, S6, S7, dan S8 pada sampel tanah kebun lada monokultur dan polikultur untuk diuji lanjut efektivitas dari spora-spora tersebut dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman lada.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H., and Abdel-Wahhab, M.A. 2012. Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. *Journal of Plant Physiology*. 169 (7), 704—709.
- Akib, M. A., Nuddin, A., Prayudyaningsih, R., Kuswinanti, T., dan Andi, S. 2022. 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). *Jurnal Biologi Indonesia*. 18(2): 183-192.
- Arieza, L, N. 2008. Isolasi dan Identifikasi Cendawan Mikoriza Arbuskula Asal Tanah Pertanian dan Perkebunan Jawa Barat. *Skripsi*. Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. IPB.
- Aquino, S. d. S., Scabora, M. H., Andrade, J. A. d., C., da Costa, S. M. G., Maltoni, K. L., Cassiolato, A. M. R. 2015. Mycorrhizal colonization and diversity and corn genotype yield in soils of the Cerrado region, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 36, n. 6, suplemento 2, p. 4107-4118.
- Basri, A. H. H. 2018. Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Agrica Ekstensia*. 12(2): 74-78.
- Baon, J. B. 1998. Peranan Mikoriza VA pada Kopi dan Kakao. *Makalah Workshop Aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula pada Tanaman Pertanian Perkebunan dan Kehutanan*. Bogor.
- Baylis, G. T. S. 1970. Root hairs and phycomcetous mychorrhizas in phosphorus deficient soil. *Plant and Soil*. 33: 713-716.
- BBPPTP (Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian). 2008. <http://lampung.litbang.pertanian.go.id/eng/images/stories/publikasi/lada.pdf>. Diakses 17 Oktober 2023.

- Bianciotto V. P. D, Bonfante- Fasolo P. 1989. Germination process and hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *Alionia Brundrett, M.C.* 2004. *Mycorrhizal in Natural Ecosystem. Adv. Ecol. Res.* 21: 171-313.
- Bintoro M., Ika R.S dan Saubari M.M 2000. Pengaruh slude dan inokulasi mikoriza vesicular arbuscular terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Agrivita.* 22(2): 147-155.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Provinsi Lampung. 2018. *Lampung dalam Angka 2018.* Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. Bandar Lampung.
- BPS Kabupaten Tanggamus. 2005-2015. *Lampung Dalam Angka 1920-2017.* Bandar Lampung.
- Brundrett, M. C., Bougher, N., Dells, B., Grove, T., and Malajozuk N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. *australian centre for international agricultural research. Cannberra.* 374 pp.
- Brundrett, M.C. 2004. Mycorrhizal in natural ecosystem. *Adv. Ecol. Res.* 21: 171-313.
- Budi, W.S dan Dewi, D.A. 2016. Keanekaragaman fungi mikoriza arbuskular di bawah tanaman jabon (*anthocephalus cadamba*) di madiun. Jawa Timur. *Jurnal Silvikultut Tropika.* 7(3): 146-152.
- Chalimah, S., Muhadiono, Aznam, L., Haran, S., dan Mathius, N. T. 2007. Perbanyakkan *Gigaspora sp.* dan *Acalauspora sp.* Dengan kultur pot di rumah kaca. *Jurnal Biodiversitas.* 7(4): 12-19.
- Clark, R.B., Zobel R.W., and Zeto S.K. 1999. Effects of mycorrhizal fungus isolates on mineral acquisition by *Panicum virgatum* in acid soil. *Mycorrhiza.* 9: 167-176.
- D'Souza, J and Rodrigues, B.F. 2013. Biodiversity of arbuscular mycorizal (AM) fungi in mangrove of Goa in West India. *Jurnal of Forestry Research.* 24(3): 515-523.
- Delvian. 2010. Keberadaan cendawan mikoriza arbuskula di hutan pantai berdasarkan gradien salinitas. *JID,* 11(2): 133-142.
- [Deptan] Departemen Pertanian. 1990. *Teknologi Budidaya Sorgum.* Jayapura (ID): Balai Informasi Pertanian Irian Jaya.
- Desi, L., Linda, R., and Mukarlina. 2013. Pertumbuhan jagung (*Zea mays* L.) dengan pemberian glomus aggregatum dan biofertilizer pada tanah bekas penambangan emas. *Jurnal Protobiont,* 2(3):176 – 180.

- Direktorat Jenderal Perkebunan 2020. *Produksi Lada Menurut Provinsi di Indonesia, 2016-2020*.
- Dewi, I. 2007. *Peran, Prospek dan Kendala dalam Pemanfaatan Endomikoriza*. Makalah Universitas Padjajaran. Bandung.
- Ditjenbun. 2015. *Peningkatan Produksi, Produktivitas dan Mutu Tanaman Rempah dan Penyegar*. Pedoman Teknis Rehabilitasi dan Perluasan Tanaman Lada. Ditjenbun Kementan. 45p.
- Dommergues, Y. R., and Diem, H. G. 1982. Microbiology of tropical soils and plant productivity. *Kluwer Academic Publishers Group*. Netherlands. 5: 209-249.
- Ervayenri, Soetrisno, H., Setiadi, Y., Saeni, M. S., dan Kusmana, C. 1998. *Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF) Diversity in Peat Soil Influenced by Land Vegetation Types*. *Proceeding*. International Conference Mycorrhiza in Sustainable Tropical Agriculture and Forest Ecosystem. In Commemoration of 100 years the World Pioneering Studies on Tropical Mycorrhiza in Indonesia by Professor JM Janse. Bogor, pp 85-92
- Ezward, C., E., Indrawanis, dan Kuantan, I. 2020. Application bioboost in the sorghum and green beans with intercropping technique. *Jurnal Sains Agro*, 5: 1-14.
- Gunawan, A. W. 1993. *Mikoriza Arbuskula*. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayati. IPB. Bogor.
- Giovannetti, M., Sbrana, C., Avio, L., Citernesi, A. S., and Logi, C. 1993. Differential hyphal morphogenesis in arbuscular mycorrhizal fungi during preinfection stages. *New Phytologist*. 125(3): 587-593.
- Halim, H., Mariadi, M., Karimuna, L., dan Hasid, R. 2016. Peran mikoriza arbuskula pada insidensi penyakit busuk pangkal batang. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 12(5): 178-178.
- Hapsah. 2008. Pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskula pada Budidaya Kedelai di Lahan Kering. *Makalah Pengukuhan Guru Besar*. 14 Juni 2008. Kampus USU. Medan. pp 35.
- Hartoyo, B., Ghulamahadi, M., Darusman, L. K., Aziz, S. A., dan Mansur, I. 2011. Keanekaragaman fungi mikoriza arbuskular (fma) pada rizosfer tanaman pegagan (*Centella asiatica (L.) Urban*). *Jurnal Littri*. 17(1): 32-40.
- Hermawan, H., Muin, A., Wulandari, S. R. 2015. Kelimpahan fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada tegakan eukaliptus berdasarkan tingkat kedalaman di tanah gambut. *Jurnal Hutan Lestari*. 3(1): 124-132.

- Hesti, L., Tata, M. 2009. Pengaruh Pemberian Berbagai MVA dan Pupuk Kandang Ayam pada Tanaman Tembakau Deli Terhadap Serapan P dan Pertanaman ditanah Inceptisol Sampali. *Skripsi*. Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian. Bogor.
- Hidayat, C. 2014. Aplikasi PCR-RPAD dalam identifikasi FMA. *Jurnal Istek*. 8: 32-53.
- Hudson, H. J. 1989. *Fungal Biology*. Departement of Botany University of Cambribge. UK.
- Husin, E. F., Marlis, R., Trimitri., Auzan., Burhanuddin., dan Zelfi, Z. 2007. *Observasi dan identifikasi spora Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) pada berbagai rhizosfir di lahan kritis Sumatera. Disajikan pada Seminar Nasional Mikoriza Percepatan Sosialisasi Teknologi Mikoriza untuk Mendukung Revitalisasi Kehutanan, Pertanian dan Perkebunan*.
- Idjo, M., Cranenbrouck, S., Declerck, S. 2011. Method for Large-Scale Production of AM Fungi, Past, Present, and Future. *Mycorrhiza*. 21: 1-16.
- INVAM. 2015. Classification of glomeromycotan. <http://invam.caf.wvu.edu/>. Diakses pada tanggal 5 juli 2022.
- Islami, T., dan Utomo, W. H. 1995. *Hubungan Tanah, Air dan Tanaman*. IKIP Semarang Press. Semarang.
- Karyani, T., Mahaputra, K. A., Djuwendah, E., dan Kusno, K. 2020. Dampak pola tanam kopi terhadap pendapatan petani (suatu kasus di Desa Pulosari, Kecamatan Pangalengan, Bandung). *Mimbar Ilmiah Berwawasan Agribisnis*. 6 (1): 101-112.
- Lingga, R., Dalimunthe, N. P., Afriyansyah, B., Irwanto, B., Henri, Januardi. E., Marinah, Safitri. 2021. Keanekaragaman jamur mikroskopik di hutan wisata Desa Tiang Tarah Kabupaten Bangka. *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi*. 10 (2): 181-200.
- Lukiwati, D. R., dan Supriyanto. 1995. Performance of three VAM spesies from India for inoculum production in centro dan puero. *International Workshop on Biotechnology and Development Species for Industrial Timber Estate*. Lipi Bogor. Bogor. Hlm 257-265.
- Meilawati, N., Wahyuni, L., Purwito A., dan Manohara, D. 2016. Respon tanaman lada (*Piper nigrum L.*) varietas ciin ten terhadap iradiasi sinar gamma. *Jurnal Litri*, 22(2): 71-80.
- Morton, J. B. 1988. Taxonomy of VA mychorrizal fungi classification, nomenclature, and identification. *Mycotaxon*. 32: 267-324.

- Mosse, B., and Bowen, G.D. 1968. A key to recognition of some endogone spore types. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 51: 469-483.
- Muis, R., M. Ghulamahdi, M. Melati, Purwono, dan I. Mansur. 2016. Diversity of arbuscular mycorrhiza fungi from trapping using different host plants. *internati'l. J. Scie. Basic and Applied Research* 27: 158-169.
- Musfal. 2010. Potensi cendawan mikoriza arbuskular untuk meningkatkan hasil tanaman jagung. *Jurnal Litbang Pertanian Sumatra Utara.* 29 (4): 154-158.
- Nadia, R., Dewi, R., Martelina, R., dan Hidayat, M. 2017. Keanekaragaman fungi mikoriza di Kawasan hutan Desa Lamteuba Droe Kecamatan Seulimum Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik.* 227-236.
- Noor, M., Saridan, A. 2013. Keanekaragaman fungi makro pada tegakan benih *Dipterocarpaceae* di Taman Nasional Tanjung Puting dan Taman Nasional Sebangau Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa.* 7(1): 53-62.
- Noveriza, R., Elvianti, S., and Manohara, D. 2005. Induction of systemic resistance by non pathogenic fungi against foot rot disease of black pepper seedling under green house condition. *The 1st International Conference Crop Security.* 20-22 September 2005. Brawijaya University. Malang.
- Nuryani, Y., Zaubin, R., Mustika, I., dan Kuswara, E. 2003. *Petunjuk Praktis Budidaya Lada (Piper nigrum L.).*
- Prasmatiwi, FE., & R. Evizal. 2020. Keragaan dan produktivitas kebun lada tumpang sari kopi di Lampung Utara. *Jurnal Agrotropika,* 19(2).
- Prihastuti. 2007. Isolasi dan karakterisasi mikoriza vesikular-arbuskular di lahan kering masam, Lampung Tengah. *Berk Penel Hayati.* 12: 99-106.
- Pujiyanto. 2001. Pemanfatan Jasad Mikro, Jamu Mikoriza dan Bakteri Dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan Di Indonesia. Tinjauan Dari Perspektif Falsafah Sains. *Makalah Falsafah Sains.* Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rainiyati. 2007. Status dan Keanekaragaman Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) Pisang Raja Nangka dan Potensi Pemanfaatannya untuk Peningkatan Produksi asal Kultur Jaringan di Kabupaten Merangin, Jambi. *Disertasi.* Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor. 140p.
- Redecker. 2005. Glomeromycota. relative(s). <http://tolweb.org/Glomeromycota/2871512005.07.01> in The Tree of Life Web Project, <http://tolweb.org/>.

- Diakses 20 Desember 2006 di dalam Arieza, L, N. 2008. Isolasi dan Identifikasi Cendawan Mikoriza Arbuskula Asal Tanah Pertanian dan Perkebunan Jawa Barat. *Skripsi*. Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. IPB.
- Reksohadiprodjo, S. 1981. *Produksi Tanaman Hijauan Makanan Ternak Tropik*. Fakultas Peternakan. UGM. Yogyakarta.
- Rengganis, D., 2013. Studi Keragaman Genus Fungi Mikoriza Arbuskular di sekitar Perakaran Pohon Jabon (*Anthocephalus cadamba* Roxb Mix.) Alami. *Skripsi*. Bogor.
- Rini, M. V., Arif, M. A. S., dan Ranchiano, M.G. 2019. Produksi isolat fungi mikoriza arbuskular pada lahan sayur dan semak di Sumber Jaya Lampung Barat. *Jurnal Wacana Pertanian*. 14(2): 53-61.
- Rini, M.V., Azizah, H., and Idris, Z. A. 1996. The effectiveness of two arbuskular mycorrhiza species on growth of cocoa (*theobroma cacao* L.) seedlings. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 19: 197—2004.
- Rini, M.V. 2011. Populasi fungi mikoriza arbuskular pada beberapa kebun kelapa sawit di Lampung Timur. *Dalam Prosiding Seminar dan Rapat Tahunan Dekan Badan Kerja Sama Perguruan Tinggi Negeri Wilayah Barat bidang Ilmu Pertanian*, Universitas Sriwijaya, Mei 2011.
- Ristiyanti, Yusran, dan Rahmawati. 2014. Pengaruh beberapa spesies fungi mikoriza arbuskular pada media tanah dengan pH berbeda terhadap pertumbuhan semai kemiri (*Aleurites moluccana* (L.) Willd.). *Warta Rimba*. 2(2): 117-124.
- Rochmah, H. F., Suwanto, dan Muliastari, A. A. 2020. Optimalisasi lahan replanting kelapa sawit tumpang sari jagung (*Zea mays* L.) dan kacang tanah (*Arachis hypogea*). *Jurnal Simetrik*. 10(1): 256-262.
- Rosendahl, S. 2008. Communities, populations and individuals of arbuskular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 178: 253-266.
- Sancayaningsih, R.P. 2005. The effects of single and dual inoculations of arbuskular mycorrhizal fungi on plant growth and the EST and MDH isozyme profiles of maize roots (*Zea mays* L) grown on limited growth media. *Desertasi*. UGM. Yogyakarta.
- Saidi, A.B., Budi, S.W., dan Kusmana C. 2007. Status cendawan mikoriza arbuskular hutan pantai dan hutan mangrove pasca tsunami (Studi kasus di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam dan Pulau Nias). *Forum Pascasarjana*. 30(1): 13-25).

- Sarpian. 2003. *Pedoman Berkebun Lada dan Analisis Usaha Tani*. Kasinus. Yogyakarta.
- Schenk and Perez, Y. 1990. *Manual for Identification of VA Mycorrhizal Fungi*. Sinergistis Publication. Gaines.
- Setiadi, Y. 2001. Peranan Mikoriza Arbuskula Dalam Rehabilitasi Lahan Kritis di Indonesia. *Disampaikan dalam Rangka Seminar Penggunaan Cendawan Mikoriza dalam Sistem Pertanian Organik dan Rehabilitasi Lahan Kritis*. Bandung 23 April 2001.
- Setiadi, Y. 2003. Arbuskular mycorrhizal inoculum production. *Program dan Abstrak Seminar dan Pameran Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan*. 16 September 2003. Bandung. pp 10.
- Setiadi, Y. 1992. *Mengenal Mikoriza, Rhizobium, dan Aktinorizal untuk Tanaman Kehutanan*. Fakultas Kehutanan. IPB. Bogor.
- Setiadi, Y. 1989. *Peranan Mikoriza Arbuskula dalam Reboisasi Lahan Kritis di Indonesia*. Makalah Seminar Penggunaan CMA dalam Sistem Pertanian Organik dan Rehabilitas Lahan. Bandung.
- Sieverding, E. 1991. *Vesicular Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystem*. Deutche Gessellsschaft fur Tecnosche Zusmmenourheit (GTZ) Gmbh, Federal Republic Germany.
- Simanungkalit RD, Saraswati R, Hastuti RD, Husen E. 2006. Bakteri penambat fosfat. Di Dalam: Simanungkalit RD, Suriadikarta DA, Saraswati R, Setyorini D, Hartatik W, Editor. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Sitio, S. N. S. 2017. Populasi Dan Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuscular Pada Rizosfir Ubi Kayu Klon Kasetsart Di Kabupaten Lampung Timur Dan Tulang Bawang Barat. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Smith, S.E. and Read, D.J.. 1997. *Vesicular arbuskular mycorrhizas: Growth and carbon economy of VA mycorrhizal plants*. In *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd Acad. Press. New York (US).
- Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. *Soil Science Society of America Journal*. third, Vol. 137.
- Soemartiningih, Rauf, M., dan Buntan, A. 2015. *Efektifitas Cendawan Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) Pada Beberapa Isolat dan Perbedaan Jumlah Spora Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung*. Risalah Penelitian Jagung dan Serealia Lain 3: 35- 44.

- Sofyan, A., Musa, Y., dan Feranita, H. 2005. Perbanyak cendawan mikoriza arbuskular (cma) pada berbagai varietas jagung (*zea mays l.*) dan pemanfaatannya pada dua varietas tebu (*Saccharum officinarum L.*). *Jurnal Sains dan Teknologi*. 5(1): 12-20.
- Struble J. E., and Skipper, H. D. 1988. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungal spore production as influenced by plant species. *Plant Soil*. 109(1): 277-280.
- Suamba I.W., Wirawan, I.G.P., dan Andriatayasa, W. 2014. Isolasi dan identifikasi fungi mikoriza arbuskular (FMA) secara mikroskopis pada rhizosfer tanaman jeruk (*Citrus sp*) di Desa Kerta, Kecamatan Payangan, Kabupaten Gianyar. *Argroekoteknologi Tropika*, 3(4) : 201-208.
- Subiksa, I. G. M. 2002. *Pemanfaatan Mikoriza Untuk Penanggulangan Lahan Kritis. Makalah Falsafah Sains (PPs 702)*. Edisi April 2002. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Sudarsono, H. 2019. *Lada Sebagai Komoditas Warisan Lampung: Pengantar*.
- Suhardi, 1990. *Pedoman Kuliah Mikoriza V.A*. Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi UGM PAU. Bioteknologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sukarno, N., Rahmawati, C., Listiyowati, S., Fadillah, W. N., dan Novera, Y. 2023. Isolasi cendawan mikoriza arbuskula dari rhizosfer tanaman berkayu asal pulau bangka dan karakteristik struktur kultur mikorizanya. *Jurnal Sumber daya Hayati*. 9(2): 39-48.
- Suprpto, Yani, A. 2008. *Teknologi Budidaya Lada*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Lampung. Lampung.
- Syib'li, M. A. 2008. Jati Mikoriza, Sebuah Upaya Mengembalikan Eksistensi Hutan dan Ekonomi Indonesia. [http://- www.kabarindonesia.com](http://www.kabarindonesia.com). Diakses tanggal 6 Juli 2018.
- Triyono, A., Purwanto. dan Budiyono. 2013. Efisiensi Penggunaan Pupuk N Untuk Mengurangi Kehilangan Nitrat pada Lahan Pertanian. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. Progam Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Tuheteru, F. D., Asrianti, A., Eka, W., Ninis, R. 2017. Serapan logam berat oleh fungsi mikoriza arbuskular lokal pada *naucle orientalis l.* dan potensial untuk fitoremediasi tanah serpentine. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 7(17): 30-40.
- Ulfa, M., Agus, K., dan Sumardi, S. Irnayuli. 2011. Populasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) Lokal pada Lahan Pasca Tambang Batubara. *Jurnal*

Balai Penelitian Kehutanan Palembang dan Fakultas Kehutanan UGM,
(30): 301-309.

- Walker, C. 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae spore wall characteristics in spesies description. *Jurnal Mycotaxon*. 18: 443-445.
- Widiastuti, H. 2004. Biologi Interaksi Cendawan Mikoriza Arbuskular Kelapa Sawit pada Tanah Masam sebagai Dasar Pengembangan Teknologi Aplikasi Dini. *Disertasi*. Bogor. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Yuni, S. R., dan Santosa. 1995. Pembentukan mikoriza vesikular-arbuskular pada capsicum annum l. yang ditumbuhkan pada tanah asam ultisol. *Jurnal Biologi*. 1(9): 371-379.