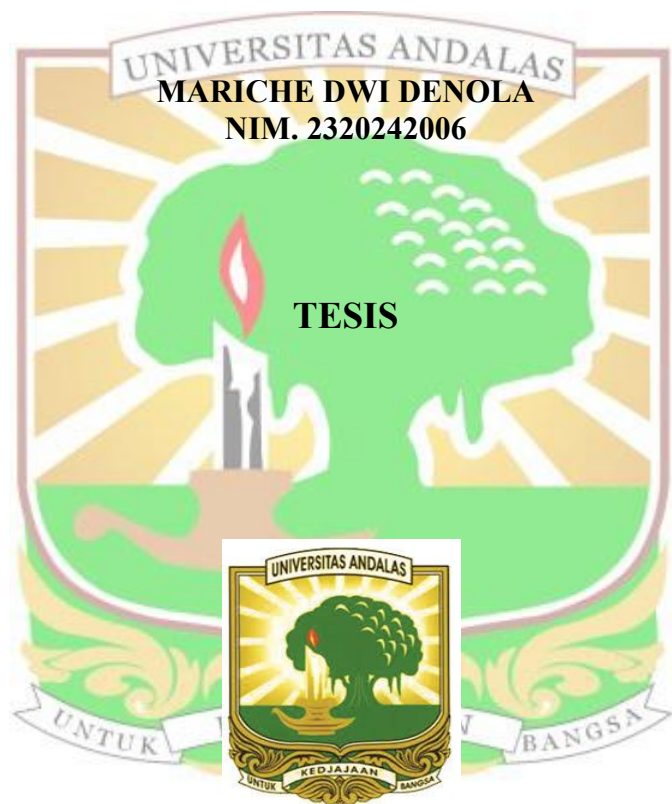


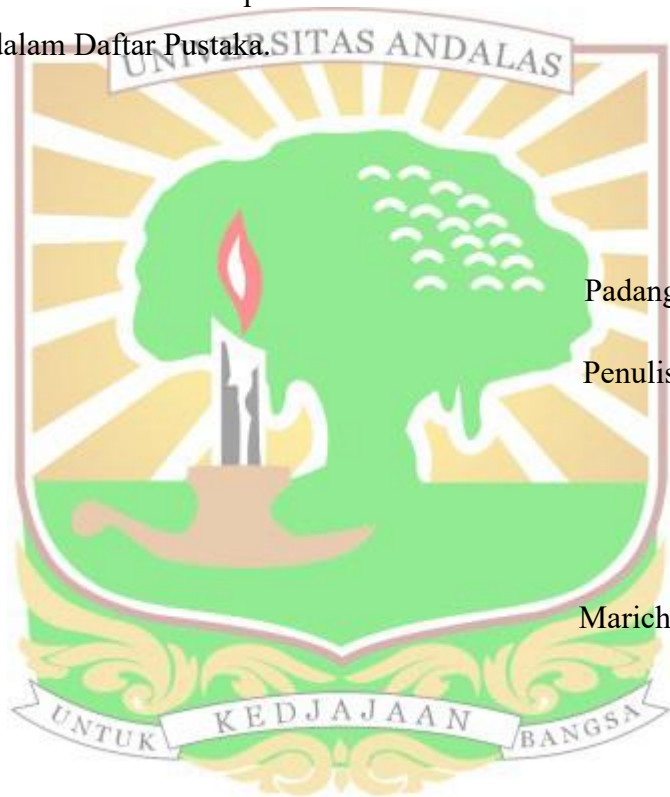
**PENGARUH JENIS DAN DOSIS FUNGI MIKORIZA
ARBUSKULA PADA MEDIA TANAH BEKAS TAMBANG
KAPUR TERHADAP PERTUMBUHAN BIBIT KAKAO**
(*Theobroma cacao* L.)



**PROGRAM STUDI S2 AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2025**

PERNYATAAN

Dengan ini Saya, Mariche Dwi Denola menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengaruh Jenis Dan Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Media Tanah Bekas Tambang Kapur Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.)” adalah benar karya saya, dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.



Padang, Agustus 2025

Penulis,

Mariche Dwi Denola



Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Dr. Aprizal Zainal, SP.MSi
2. Dr. Dini Hervani, SP, M.P
3. Dr. Nurwanita Ekasari Putri, SP.MSi

HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Tesis : Pengaruh Jenis Dan Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula
Pada Media Tanah Bekas Tambang Kapur Terhadap
Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.)"

Nama Mahasiswa : Mariche Dwi Denola

Nomor Pokok : 2320242006

Program Studi : Agronomi

Tesis ini telah diuji dan dipertahankan di depan sidang panitia ujian akhir
Magister Pertanian pada Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian, Universitas
Andalas pada tanggal 28 Agustus 2025.

MENYETUJUI :

Pembimbing I

Dr. Armansyah, SP, M.P
NIP. 197409062005011004

Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Azar Svarif, MS
NIP. 195908151986031004



Prof. Dr. Ir. Endang Dwipa, M.S.
NIP. 196502201989031003

Ketua Program Studi

Dr. Apizal Zainal, S.P., M. Si
NIP. 197004091997021001

RINGKASAN

Mariche Dwi Denola. “Pengaruh Jenis Dan Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Media Tanah Bekas Tambang Kapur Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.)”. Dibimbing oleh Bapak Dr. Armansyah, SP, M.P dan Bapak Prof. Dr. Ir. Auzar Syarif, MS.

Indonesia merupakan salah satu negara produsen utama kakao (*Theobroma cacao* L.) di dunia. Kakao menjadi salah satu komoditas strategis di sektor perkebunan yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional. Permasalahan dalam upaya pengembangan kakao adalah terbatasnya lahan subur dan produktif sehingga alternatif yang harus dilakukan adalah memanfaatkan lahan marginal seperti lahan bekas tambang kapur. Lahan bekas tambang kapur di Semen Padang dapat direhabilitasi menggunakan Fungi Mikoriza Arbuskula. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terbaik, jenis Fungi Mikoriza Arbuskula terbaik, dan dosis terbaik terhadap pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur. Penelitian dalam bentuk percobaan dilaksanakan dari Februari hingga Juni 2025. Penelitian ini telah dilaksanakan di Rumah Kawat Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kota Padang, Sumatera Barat, di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Bibit Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Pengamatan kolonisasi akar telah dilakukan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Padang.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial yang terdiri dari 2 faktor. Faktor pertama adalah jenis FMA yang terdiri dari 3 taraf yaitu *Glomus* sp, *Gigaspora* sp dan *Acaulospora* sp. Faktor kedua adalah dosis Fungi Mikoriza Arbuskula yang terdiri dari 4 taraf yaitu 0 g/bibit, 10 g/bibit, 20 g/bibit, dan 30 g/bibit. Variabel pengamatan yaitu analisis tanah bekas tambang kapur, kolonisasi akar oleh Fungi Mikoriza Arbuskula, tinggi bibit, jumlah daun, bobot segar tajuk, bobot kering tajuk, bobot segar akar, bobot kering akar, rasio tajuk akar, laju asimilasi bersih, dan laju tumbuh relatif. Data dianalisis dengan analisis ragam (ANOVA), uji F yang berbeda nyata pada taraf 5% dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncan's New Multiple Range Test* (DNMRT).

Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur. Jenis Fungi Mikoriza Arbuskula *Glomus* sp merupakan jenis Fungi Mikoriza Arbuskula terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur. Sedangkan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula 30 g/bibit merupakan yang terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur.

SUMMARY

Mariche Dwi Denola. "The Effect of Type and Dosage of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Former Lime Mine Soil Media on the Growth of Cocoa Seeds (*Theobroma cacao* L.)". Supervised by Dr. Armansyah, SP, M.P and Prof. Dr. Ir. Auzar Syarif, MS.

Indonesia is one of the world's leading producers of cocoa (*Theobroma cacao* L.). Cocoa is a strategic commodity in the plantation sector, contributing significantly to the national economy. The challenge in cocoa development is the limited availability of fertile and productive land, requiring alternatives to utilize marginal land such as former limestone mines. Former limestone mines in Semen Padang can be rehabilitated using Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF). This study aimed to determine the interaction between the best AMF type and dosage, the best AMF type, and the best dosage on the growth of cocoa seedlings planted on former limestone mined soil. The experimental study was conducted from February to June 2025. This study was conducted at the Wire House, Faculty of Agriculture, Andalas University, in Padang City, West Sumatra, in the Seed Science and Technology Laboratory of the Faculty of Agriculture, Andalas University. Root colonization observations were conducted at the Plant Physiology Laboratory, Faculty of Agriculture, Andalas University, Padang.

The study used a factorial Completely Randomized Design (CRD) consisting of two factors. The first factor was the type of AMF, which consisted of three levels: *Glomus* sp., *Gigaspora* sp., and *Acaulospora* sp. The second factor was the AMF dosage, which consisted of four levels: 0 g/seedling, 10 g/seedling, 20 g/seedling, and 30 g/seedling. Observation variables included analysis of post-limestone mine soil, root colonization by AMF, seedling height, number of leaves, fresh shoot weight, dry shoot weight, fresh root weight, dry root weight, shoot-root ratio, net assimilation rate, and relative growth rate. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), an F-test for significant differences at the 5% level, followed by a *Duncan's New Multiple Range Test* DNMRT.

The results showed no interaction between AMF type and dosage on the growth of cocoa seedlings planted in post-limestone mine soil. The *Glomus* sp. AMF was the best AMF for enhancing the growth of cocoa seedlings planted in post-limestone mine soil. Meanwhile, the AMF dose of 30 g/seedling is the best for increasing the growth of cocoa seedlings planted on ex-lime mining land.



Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan Unand.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin Unand.

*Pelimpahan hak cipta atas karya tulis dari penelitian kerja sama dengan pihak luar Unand harus didasarkan pada perjanjian kerja sama yang terkait.

**PENGARUH JENIS DAN DOSIS FUNGI MIKORIZA
ARBUSKULA PADA MEDIA TANAH BEKAS TAMBANG
KAPUR TERHADAP PERTUMBUHAN BIBIT KAKAO
(*Theobroma cacao* L.)**

MARICHE DWI DENOLA

NIM. 2320242006



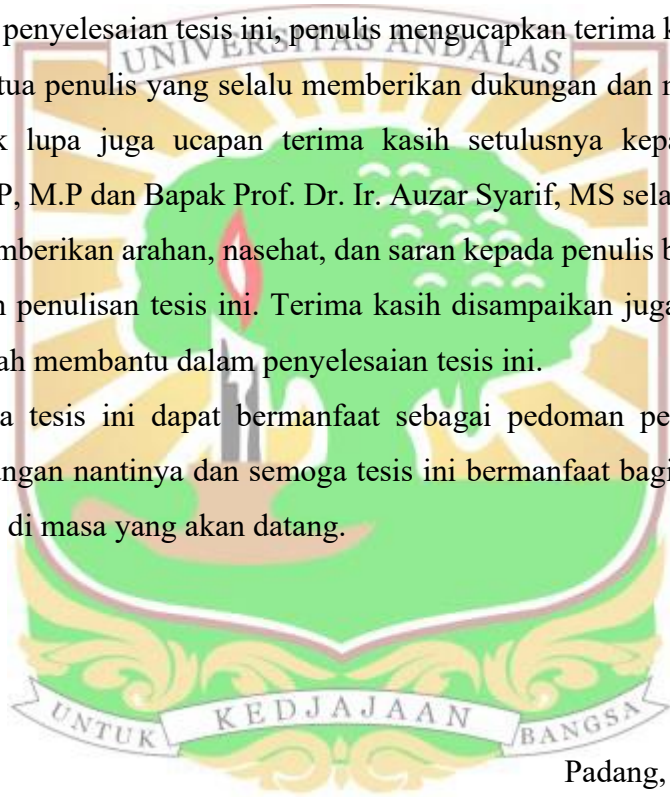
**PROGRAM STUDI S2 AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2025**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan tesis ini. Shalawat beriring salam disampaikan untuk Rasulullah Muhammad SAW sebagai suri tauladan dalam kehidupan. Tesis ini berjudul “Pengaruh Jenis Dan Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Media Tanah Bekas Tambang Kapur Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.)”

Dalam penyelesaian tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih setulusnya kepada orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis. Tidak lupa juga ucapan terima kasih setulusnya kepada Bapak Dr. Armansyah, SP, M.P dan Bapak Prof. Dr. Ir. Auzar Syarif, MS selaku pembimbing yang telah memberikan arahan, nasehat, dan saran kepada penulis baik dalam studi maupun dalam penulisan tesis ini. Terima kasih disampaikan juga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat sebagai pedoman pelaksanaan serta aplikasi dilapangan nantinya dan semoga tesis ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pertanian di masa yang akan datang.



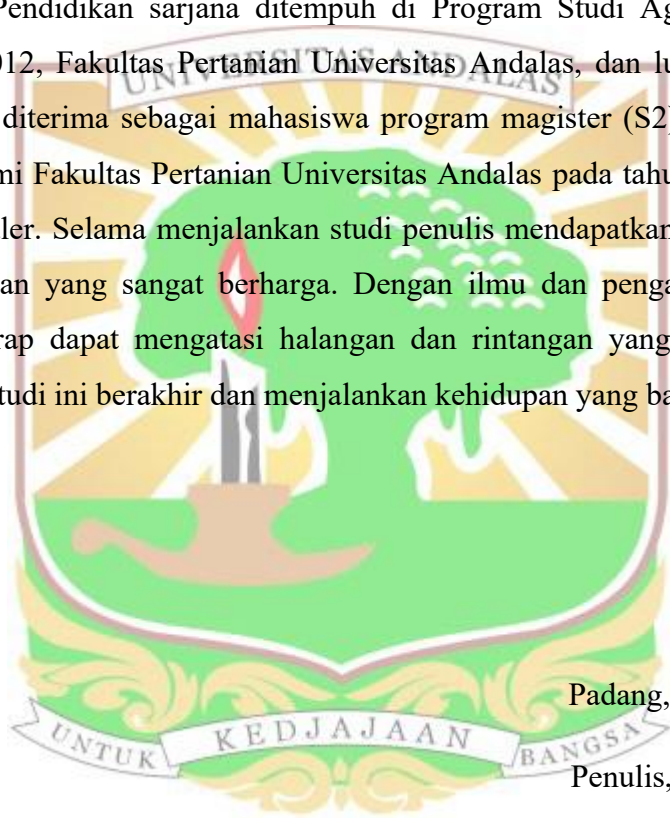
Padang, Agustus 2025

Penulis,

M.D.D

RIWAYAT HIDUP

Penulis Lahir di Padang pada tanggal 8 Desember 1994, sebagai anak kedua dari pasangan Bapak Basimar dan Ibu Hj Ns Liche, S.Kep. Penulis memiliki satu orang kakak perempuan yang bernama Mariche Novsatiloura dan satu adik laki-laki yang bernama Rahmathul Hadid Susilo Permana. Penulis memulai pendidikan di jenjang Sekolah Dasar SDN 03 Alai Padang (2000-2006) dan melanjutkan studi di SMPN 12 Padang (2006-2009) Jenjang SLTA penulis tempuh di SMAN 5 Padang (2009-2012) Pendidikan sarjana ditempuh di Program Studi Agroekoteknologi pada tahun 2012, Fakultas Pertanian Universitas Andalas, dan lulus pada tahun 2017, penulis diterima sebagai mahasiswa program magister (S2) pada Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Andalas pada tahun 2023 melalui program Reguler. Selama menjalankan studi penulis mendapatkan berbagai ilmu, dan pengalaman yang sangat berharga. Dengan ilmu dan pengalaman tersebut penulis berharap dapat mengatasi halangan dan rintangan yang akan dihadapi setelah masa studi ini berakhir dan menjalankan kehidupan yang baik sampai akhir hayat.



Padang, Agustus 2025

Penulis,

M.D.D

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR.....	xi
RIWAYAT HIDUP	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Kakao BL 50	6
B. Pertumbuhan dan Perkembangan Bibit Kakao	8
B. Tanah Bekas Tambang Kapur	8
C. Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA).....	13
BAB III METODE PENELITIAN	21
A. Waktu dan Tempat	21
B. Bahan Percobaan	21
C. Peralatan Percobaan	21
D. Rancangan Percobaan	22
E. Pelaksanaan Penelitian	22
F. Variabel Pengamatan	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
A. Analisis Tanah Bekas Tambang Kapur.....	31
B. Kolonisasi Akar oleh Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA).....	33
C. Pertambahan Tinggi Bibit	36
D. Pertambahan Jumlah Daun	39
E. Bobot Segar Tajuk.....	41

F.	Bobot Kering Tajuk.....	43
G.	Bobot Segar Akar.....	45
H.	Bobot Kering Akar.....	47
I.	Rasio Tajuk Akar	48
J.	Laju Asimilasi Bersih.....	50
K.	Laju Tumbuh Relatif.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
A.	Kesimpulan	54
B.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		55
LAMPIRAN.....		65



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Fungi Mikoriza Arbuskula	20
2. Kategori Persentase Kolonisasi FMA	30
3. Hasil Analisis Tanah Bekas Tambang kapur	33
4. Persentase akar terkolonisasi oleh FMA.	33
5. Tinggi bibit kakao pada berbagai jenis dan dosis FMA ditanah bekas tanah tambang kapur.	37
6. Jumlah daun bibit kakao pada berbagai jenis dan dosis FMA ditanah bekas tambang kapur.	40
7. Bobot segar akar bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur.	42
8. Bobot kering tajuk bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur.	44
9. Bobot segar akar bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur.	46
10. Bobot kering akar bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur.	47
11. Rasio tajuk akar bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur	49
12. Laju asimilasi bersih bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur	51
13. Laju tumbuh relatif bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Penampang membujur akar tumbuhan yang tidak terinfeksi dan terinfeksi FMA di lahan pasca tambang timah.	20
2. Benih kakao yang digunakan untuk persemaian.....	24
3. Kolonisasi FMA pada bibit kakao umur 12 MST.....	34



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Jadwal Kegiatan Penelitian dari Bulan Februari 2025 sampai Bulan Juni 2025.....	66
2. Peta Pengambilan Sampel Tanah di PT Semen Padang.....	66
3. Deskripsi Kakao Varietas Kakao BL-50	67
4. Denah Penempatan Satuan Percobaan	69
5. Denah Penempatan Tanaman Sampel dalam Satuan Percobaan	70
6. Gambar Penempatan Mikoriza Pada Lubang Tanam.....	70
7. Tabel Hasil Sidik Ragam	71



BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara produsen utama kakao (*Theobroma cacao* L.) di dunia. Kakao menjadi salah satu komoditas strategis di sektor perkebunan yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia menempati urutan ketiga sebagai produsen kakao terbesar di dunia setelah Pantai Gading dan Ghana. Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi penghasil kakao. Sumatera Barat menempati urutan kelima tahun 2023 penghasil kakao di Indonesia dengan total luas lahan tahun 2018 mencapai 121227.80 ha dengan produksi sebanyak 58.605,2 ton. Pemerintah Daerah Kabupaten Sumatera Barat hampir seluruhnya mengembangkan perkebunan kakao dan terus melakukan berbagai upaya untuk merealisasikannya sehingga setiap tahun ditargetkan dibuka kebun baru untuk tanaman kakao seluas 12.275 hektar agar terwujud Sumbar sebagai sentra kakao wilayah barat Indonesia (Badan Pusat Statistik Sumatera Barat, 2023).

Manfaat kakao tidak terbatas pada sektor ekonomi saja, melainkan juga memiliki kandungan dan kegunaan yang luas bagi kesehatan dan industri lain. Tanaman kakao komoditas ekspor unggulan, dan merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan penting sebagai sumber pendapatan masyarakat petani pekebun Indonesia. Kakao adalah sumber pendapatan petani, diperkirakan terdapat tidak kurang dari 1,84 juta rumah tangga petani dengan pendapatan utama bersumber dari kakao. Selain itu, lebih kurang satu juta keluarga mengandalkan pendapatannya dari industri hilir kakao (Direktorat Jendral Perkebunan 2023).

Lebih jauh lagi menurut *Sari et al.*, (2015) kandungan senyawa polifenol dalam biji kakao memiliki sifat antioksidan sehingga kakao memiliki potensi menjadi bahan baku yang menyehatkan untuk berbagai produk minuman coklat. Menurut (Setiawan, 2007) biji kakao juga bisa digunakan sebagai bahan baku industri makanan, seperti diolah menjadi bubuk kakao dan dapat digunakan juga sebagai bahan baku di industri kosmetik dan farmasi. Selain itu, manfaat dari biji

kakao dapat membantu menjaga kesehatan dan sistem peredaran darah (Wahyudi *et al.*, 2015).

Pertambangan merupakan suatu sektor andalan yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia (Syahputra, 2015). Salah satu kegiatan pertambangan yang terdapat di Sumatera Barat adalah tambang batu kapur milik PT Semen Padang yang terletak di Kelurahan Indarung, Kecamatan Lubuk Kilangan, Padang. Pada saat ini, produksi PT Semen Padang mencapai 10,4 juta ton/tahun (PT Semen Padang, 2017). Menurut Prayudyaningsih (2014), proses penambangan batu kapur untuk memenuhi kebutuhan produksi meliputi kegiatan pembukaan lahan, pengeboran, peledakan, pendorongan dan pengangkutan. Proses tersebut memiliki dampak negatif terhadap lingkungan seperti hilangnya vegetasi dan rusaknya horizon tanah. Lahan bekas tambang kapur yang telah ditinggalkan oleh PT Semen Padang menjadi lahan yang terbengkalai dan tidak dimanfaatkan selama bertahun-tahun. Hal ini dikarenakan lahan tersebut memiliki masalah baik secara fisik, kimiawi, biologi, bahkan menimbulkan pengaruh negatif terhadap lingkungan. Permasalahan inilah yang menjadi kendala utama bagi masyarakat setempat untuk memanfaatkan lahan bekas tambang kapur khususnya untuk kegiatan pertanian, karena terhambatnya pertumbuhan tanaman yang ditanam di lahan tersebut. Padahal, luasnya lahan bekas tambang di daerah tersebut merupakan suatu peluang untuk perluasan areal pertanian terutama perluasan lahan kakao.

Dampak negatif tersebut dapat diatasi dengan melakukan rehabilitasi, terutama rehabilitasi lahan-lahan bekas tambang melalui revegetasi. Hal ini berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 76 Tahun 2008 tentang Rehabilitasi dan Reklamasi Hutan yang mengharuskan setiap perusahaan tambang untuk melakukan revegetasi pada lahan-lahan kritis bekas tambang. Revegetasi adalah usaha untuk memperbaiki dan memulihkan vegetasi yang rusak melalui kegiatan penanaman dan pemeliharaan pada lahan bekas penggunaan kawasan hutan (Permenhut No P.4/Menhut-II/2011). Menurut Adman, Hendarto dan Sasongko (2012), upaya revegetasi harus sesuai dengan pedoman Peraturan Kementerian Kehutanan yang mensyaratkan penanaman jenis lokal.

Lahan bekas penambangan bahan baku semen, seperti kapur, menghadapi kendala utama berupa kekurangan unsur hara esensial seperti nitrogen dan fosfor, toksisitas mineral, serta pH tanah yang tidak normal. Campuran bahan galian pada lahan ini menghasilkan kondisi tanah yang bervariasi, baik dari segi reaksi tanah (pH) maupun kandungan unsur hara (Asir, 2013). Untuk mendukung proses revegetasi dan rehabilitasi lahan, diperlukan teknologi yang efektif, salah satunya adalah aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA).

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) merupakan suatu simbiosis mutualistik antara fungi dengan akar tumbuhan tingkat tinggi. Pemanfaatan mikoriza dapat dimanfaatkan untuk mempercepat pertumbuhan tanaman revegetasi. Pemanfaatan mikoriza dapat meningkatkan penyerapan akar, meningkatkan ketahanan tanaman baik dari patogen maupun kondisi ekstrem seperti kekeringan, pH rendah, dan unsur logam berat yang tinggi di dalam tanah (Saputri *et al.*, 2016). Smith dan Read (2008) menyatakan bahwa walaupun simbiosis FMA dengan tumbuhan pada lahan subur tidak banyak berpengaruh positif, namun pada kondisi ekstrim mampu meningkatkan sebagian besar pertumbuhan tanaman. Hal ini dibuktikan dengan penelitian Nurhayati (2018) yang menemukan tiga genus FMA pada lahan bekas tambang kapur yaitu *Glomus*, *Acaulospora*, dan *Gigaspora*.

Penelitian mengenai aplikasi mikoriza pada pembibitan kakao dengan media tanam bekas tambang kapur masih terbatas. Menurut penelitian Aprilia *et al.* (2019) bahwa aplikasi ektomikoriza pada media tanam bekas tambang kapur untuk membantu pertumbuhan mangium (*Acacia mangium*) sangat baik dilihat dari persentase hidup tanaman mencapai 100 %. Penelitian lain mengenai potensi mikoriza pada tambang adalah penelitian Apria, (2020) dimana pada penelitian ini dijelaskan bahwa fase yang paling bergantung pada mikoriza itu berada pada fase pembibitan. Inokulasi FMA dan pemberian kompos meningkatkan pertumbuhan bibit gaharu pada media tanam dari tanah tambang bekas kapur. Penggunaan FMA jenis *Gigaspora* sp. baik untuk meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, bobot akar, dan akar yang terinfeksi oleh FMA. Pertumbuhan bibit Gaharu (*Aquilaria malaccensis* Lamk.) lebih baik dari pada *Aquilaria microcarpa* Beill. yang digunakan pada lahan bekas tambang kapur apabila diinokulasi dengan FMA jenis *Gigaspora* sp. (Kimi, 2020).

Keberhasilan penggunaan Fungi Mikoriza Arbuskula dalam revegetasi lahan tentunya dipengaruhi oleh beberapa faktor, selain jenis FMA yang digunakan, faktor lainnya adalah dosis inokulan yang diaplikasikan pada tanaman tersebut. Penelitian Armansyah (2001) menunjukkan bahwa inokulasi FMA *Glomus manihatus* dengan dosis 5 g/polibag merupakan yang terbaik, paling efektif dan efisien meningkatkan pertumbuhan bibit kakao sampai umur 16 minggu pada jenis tanah ultisol. Menurut hasil penelitian Ali *et al* (2023) yang membuktikan bahwa dosis inokulan Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) 20 g/tanaman merupakan dosis terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan bibit kopi.

Berdasarkan latar belakang diatas maka penulis telah melakukan penelitian dalam bentuk percobaan dengan judul “Pengaruh Jenis dan Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Media Bekas Tambang Kapur Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.)”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan pada latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap pertumbuhan bibit kakao pada tanah bekas tambang kapur?
2. Jenis Fungi Mikoriza Arbuskula manakah yang terbaik bagi pertumbuhan bibit kakao pada tanah bekas tambang kapur?
3. Berapakah dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terbaik bagi pertumbuhan bibit kakao pada tanah bekas tambang kapur?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui interaksi antara jenis Fungi Mikoriza Arbuskula dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula yang berbeda terhadap pertumbuhan bibit kakao pada tanah bekas tambang kapur.
2. Mendapatkan jenis Fungi Mikoriza Arbuskula yang terbaik bagi pertumbuhan bibit kakao pada tanah bekas tambang kapur.

3. Mendapatkan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terbaik bagi pertumbuhan bibit kakao pada tanah bekas tambang kapur.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkhusus pada perusahaan pertambangan kapur, peneliti, dan petani tentang potensi pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskula pada pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kakao.
2. Dosis dan jenis Fungi Mikoriza Arbuskula terbaik dapat dijadikan acuan untuk menunjang pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kakao.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Kakao BL 50

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang sesuai untuk perkebunan rakyat, karena tanaman ini dapat berbunga dan berbuah sepanjang tahun, sehingga dapat menjadi sumber pendapatan harian atau mingguan bagi petani. Tanaman kakao berasal dari daerah hutan hujan tropis di Amerika Selatan. Di daerah asalnya, kakao merupakan tanaman kecil dibagian bawah hutan hujan tropis dan tumbuh terlindungi pohon-pohon yang besar. Taksonomi tanaman kakao adalah sebagai berikut: Kerajaan: Plantae; Divisi: Spermatophyta; Kelas: Dicotyledonae; Ordo: Malvales; Famili: Sterculiaceae; Genus: *Theobroma*; Species: *Theobroma cacao* L. (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2014).

Salah satu klon unggul kakao yang dikembangkan di Sumatera Barat adalah klon BL 50. Klon BL 50 merupakan varietas kakao unggul dari Sumatera Barat dengan hasil panen yang berpotensi mencapai 4,59 ton/ha/tahun. Kakao klon BL 50 ini mulai dikenalkan kepada publik pada tahun 2017 lalu, dengan pusat pengembangan dimulai pada wilayah Kabupaten 50 Kota, selanjutnya saat ini varietas klon BL 50 juga sudah dikembangkan di Kabupaten Tanah Datar (BPTP, 2017).

Klon BL 50 masih terbilang varietas baru, akan tetapi varietas ini lebih unggul dibandingkan dengan varietas lain seperti varietas kakao ICS 60 dan TSH 858. Klon kakao BL 50 memiliki percabangan agak tegak horizontal dengan laju pertumbuhan cabang yang cepat. permukaan kulit cabangnya halus dan warna kulit cabang coklat. Tekstur permukaan daun kasar dan agak bergelombang. Bentuk buah yang lonjong dan memanjang serta ukuran buah dan biji yang lebih besar dibanding varietas terdahulu menjadi salah satu keunggulan dari kakao varietas ini, selain itu kadar lemak kakao klon BL 50 juga terbilang cukup tinggi. Keunikan lain pada kakao varietas klon BL 50 terdapat pada warnanya berwarna merah pudar saat masih mengkal dan akan berwarna merah marun dengan sedikit garis kuning saat sudah layak panen (Puslitbangbun, 2016).

B. Pertumbuhan dan Perkembangan Bibit Kakao.

Bibit kakao sebagai bahan tanaman kakao dapat dibiakkan dengan biji, okulasi, cangkok dan stek, yang biasa digunakan adalah dengan biji, okulasi dan stek (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao 2008). Untuk mendapatkan bahan tanam yang sehat benih yang digunakan sebaiknya digunakan dari pohon induk terpilih yang telah teruji kualitasnya. Biji yang digunakan untuk benih dari buah yang tua pada bagian tengah buah, yakni $\frac{2}{3}$ bagian dari untaian biji. Biji bagian pangkal dan ujung tidak di ikut sertakan sebagai bahan tanam (Siregar *et al.*, 2009).

Pembibitan tanaman kakao umumnya dilakukan dalam kantong plastik (polibag). Sebelum dipindahkan ke dalam polybag terlebih dahulu biji-biji tersebut dikecambahkan dalam bedengan persemaian. Benih yang didederkan pada persemaian dalam keadaan tegak, dimana ujung biji tempat tumbuh radikula ditegakkan di sebelah bawah. Jika keadaan lingkungan mendukung pertumbuhan benih, maka benih tersebut akan berkecambah pada umur 4 – 5 hari setelah pedederan, tetapi biji yang belum berkecambah masih dapat dibiarkan selama 2 – 3 hari sebelum dibuang sebagai biji apkir bagi yang tidak tumbuh (Siregar *et al.*, 2009).

Kecambah yang baik untuk dipindahkan ke polybag adalah kecambah yang keping bijinya belum terbuka, karena jika keping bijinya telah membuka berarti akar tunggang sudah panjang serta akar lateral telah bercabang-cabang. Hal ini akan menyulitkan pada saat pemindahan dan sering mengakibatkan akar tunggang menjadi bengkok, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat, (Soeratno, 2000) Selanjutnya Siregar *et al.*, (2009) menambahkan bahwa, agar bibit tidak rusak maka pencabutan bibit dari persemaian sebaiknya dengan menyertakan pasir bedengan.

Pemeliharaan pada pembibitan perlu dilakukan untuk mendapatkan pertumbuhan bibit yang sehat, Pemeliharaan bibit meliputi penyiraman, pemupukan, penyemprotan insektisida dan fungisida serta pengaturan naungan yang disesuaikan dengan umur bibit. Naungan dapat dijarangkan sebanyak 50% pada saat bibit berumur 2 – 2,5 bulan dan beransur-ansur dikurangi setelah bibit berumur 3 – 3,5 bulan. Hal ini dilakukan untuk mengadaptasikan bibit agar dapat

menyesuaikan diri dengan keadaan lapangan. Bibit yang telah berumur 4 – 6 bulan dipembibitan siap untuk ditanam ke lapangan (Siregar *et al.*, 2009).

C. Tanah Bekas Tambang Kapur

Pertambangan merupakan sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam eksplorasi, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang (UU Minerba No. 4 Tahun 2009). Pertambangan adalah salah satu dari sekian banyak kegiatan pemanfaatan dan pengelolaan SDA yang berupaya memenuhi keperluan manusia dan ikut serta sebagai penyumbang tertinggi untuk devisa negara (Rizal *et al.*, 2020).

Kegiatan penambangan umumnya dilakukan dengan metode penambangan terbuka (*open pit mining*) yang banyak berdampak pada perubahan bentang alam dan kondisi kehidupan masyarakat di daerah kegiatan penambangan berlangsung (Mulyanto, 2008 *cit* Permata, 2021). Kegiatan penambangan batubara dengan metode terbuka secara teknis meliputi proses pembukaan lahan, pengambilan dan penimbunan material tanah dan material penutup, penambangan bahan galian dan penimbunan kembali lubang bekas tambang (Widyati, 2008). PT. Atoz Nusantara Mining merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan khususnya batubara menerapkan sistem tambang terbuka. Perusahaan ini berada di Nagari Tambang, Kecamatan IV Jurai, Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatra Barat (Habibie dan Prabowo, 2020).

Tekstur tanah pada lahan bekas tambang adalah bertekstur pasir. Tanah dengan tekstur pasir akan memiliki nilai erosi lebih tinggi dibandingkan tanah bertekstur liat. Sebagaimana pernyataan dari (Rusman 2012) apabila terjadi perbedaan komposisi dari ketiga fraksi (pasir, debu, dan liat) dalam suatu tanah akan menyebabkan kecepatan dan kapasitas infiltrasi tanah berbeda, begitu juga terhadap nilai erodibilitas, dispersi, serta erosinya. Tanah bertekstur pasir akan lebih tahan terhadap erosi dibandingkan tanah bertekstur debu. Hal ini disebabkan karena kecepatan infiltrasi pasir yang cepat, serta ukuran partikel yang besar akan membuatnya tahan terhadap pengangkutan dibandingkan tekstur debu. Tanah

bertekstur liat adalah tanah yang paling stabil dan tahan terhadap erosi jika dibandingkan dengan tanah bertekstur pasir dan debu. Hal ini disebabkan karena tanah bertekstur liat memiliki kemampuan agregat yang lebih baik dibandingkan pasir dan debu (Utomo *et al.*, 2016).

Batu kapur merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Batu kapur adalah batuan padat yang mengandung banyak kalsium karbonat (Lukman *et al.*, 2012). Mineral karbonat yang umum ditemukan berasosiasi dengan batu kapur adalah aragonite (CaCO_3), yang merupakan mineral metastable karena pada kurun waktu tertentu dapat berubah menjadi kalsit (CaCO_3) (Sucipto dan Edi., 2007).

Kalsium karbonat adalah mineral anorganik yang dikenal tersedia dengan harga murah secara komersial. Sifat fisis kalsium karbonat seperti, morfologi, fase, ukuran, dan distribusi ukuran harus dimodifikasi menurut bidang pengaplikasiannya. Bentuk morfologi dan fase kalsium karbonat (CaCO_3) terkait dengan kondisi sintesis seperti, konsentrasi reaktan, suhu, waktu *aging*, dan zat adiktif alam (Kirboga dan Oner, 2013). Kalsit (CaCO_3) merupakan fase yang paling stabil dan banyak digunakan dalam industri cat, kertas, *magnetic recording*, industri tekstil, detergen, plastik, dan kosmetik (Lailiyah *et al.*, 2012).

Beberapa penelitian yang menggunakan lahan bekas tambang kapur pada PT. Holcim Indonesia Tbk Jawa Barat tepatnya di daerah Cirebon memperoleh hasil analisis kimia tanah kapur di antaranya nilai pH H_2O 8.4, KCL 7.8 sedangkan bahan organik C sebesar 0.98%, N 0.7% dan C/N 14% dan untuk P tersedia diperoleh sebesar 25 ppm (Wildasari, 2016). Tambang kapur palimanan pada satu titik lokasi pengamatan memperoleh nilai fosfat sebesar 2390 mg/kg, Mn 157.75 mg/kg, Ca 4370.88 mg/kg, Al 3426.31 mg/kg, Fe 880.83 mg/kg, Mg 67.80 mg/kg, K 313.06 mg/kg, Na 25.67 mg/kg, Cl 385 mg/kg, Kadar Air 15.58% dan pH 9.5 (Wahdi, 2016).

Kerusakan kimia lahan berhubungan dengan kemasaman tanah (pH), kekurangan unsur hara, dan sisa mineral beracun (Mashud dan Manaroinson, 2014). Kondisi kimia lahan bekas pertambangan juga menunjukkan bahwa kesuburan tanah, pH dan keberadaan nutrisi dalam tanah rendah sedangkan keberadaan metal logam berat tinggi karena larutan dari metal sulfida. Tingkat kesuburan tanah pada lahan reklamasi tambang batubara muda tergolong sangat

rendah. Tingkat kemasaman tanah berada pada posisi sangat masam pH 4, kejenuhan Al kriteria tinggi sebesar 52,86%, kadar besi 1,51% kriteria tinggi, KTK (Kapasitas Tukar Kation) tanah sebesar 15,21 cmol (+) kg⁻¹ tergolong rendah, Kejenuhan Basa (KB) sebesar 49,44% tergolong sedang, C-organik sangat rendah yaitu sebesar 0,16%, Nilai C/N tanah 1,46 tergolong sangat rendah, N total 0,11%, P tersedia 9,20 mg kg⁻¹ dan K total tanah 0,15 mg kg⁻¹ masing-masing tergolong rendah. pH tanah yang rendah menyebabkan rusaknya sistem penyerapan unsur P, Ca, Mg dan K oleh tanaman sehingga mengakibatkan menurunnya persediaan zat makanan seperti N, P, K, Mg dan Ca. Meningkatnya ketersediaan logam Al, Mn dan Fe, Cu, Zn dan Ni secara berlebihan, sehingga dapat bersifat toksik. Akibat keasaman Fe atau senyawa sejenis Fe, senyawa yang berasal dari rusaknya tanah akibat hujan yang menghasilkan asam sulfur (Nursanti 2018).

Kerusakan biologi tanah ditandai dengan populasi hayati tanah yang ada di tanah lapisan atas yang terbenam, sehingga hilang dan tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Hilangnya lapisan top soil dan serasah sebagai sumber karbon untuk menyokong kehidupan mikroba potensial merupakan penyebab utama buruknya kondisi populasi mikroba tanah. Hal ini secara tidak langsung akan sangat mempengaruhi keseimbangan ekosistem permukaan tanah (Oktabrina dan Syofiani, 2021). Rendahnya aktifitas mikroba tanah juga disebabkan oleh pengaruh berbagai faktor lingkungan mikroba tersebut seperti penurunan pH tanah, kelembapan tanah, kandungan bahan organik, daya pegang tanah terhadap air dan struktur tanah. Adanya mikroba tanah sangat potensial dalam perkembangan dan kelangsungan hidup tanaman. Aktifitas mikroba tidak hanya terbatas pada penyediaan unsur hara, tetapi juga berperan dalam mendekomposisi serasah dan secara bertahap dapat memperbaiki sifat struktur tanah (Adman, 2012).

Adanya aktivitas pertambangan seringkali menyebabkan kerusakan lingkungan sehingga harus selalu diikuti dengan kegiatan reklamasi dan revegetasi. Reklamasi dan revegetasi pada lahan bekas tambang diperlukan untuk mengatasi tanah bekas tambang yang cenderung dibiarkan terbuka tanpa restorasi tanah sehingga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Perubahan bentang alam sebagai akibat penambangan perlu dikelola agar setelah penambangan dan setelah tambang ditutup, kawasan bekas penambangan tetap berdaya guna bagi kehidupan

termasuk kehidupan masyarakat (Permata, 2021). Jaminan reklamasi diperlukan dalam hal ini. Jaminan reklamasi adalah dana yang disediakan oleh perusahaan pertambangan sebagai jaminan untuk melakukan reklamasi di bidang pertambangan umum. Jaminan reklamasi dikenakan bagi seluruh perusahaan pertambangan pada tahap penambangan atau operasi produksi. Jaminan reklamasi ini bertujuan untuk meningkatkan ketaatan dari pemegang izin usaha pertambangan. Dana jaminan reklamasi pada dasarnya adalah usaha pemerintah untuk memastikan terlaksananya kewajiban pemilik IUP atau IUPK untuk melakukan reklamasi lahan dan program pasca tambang (Hanis *et al.*, 2021).

Reklamasi merupakan salah satu kegiatan pengakhiran tambang, yang merupakan termasuk salah satu upaya penataan kembali daerah bekas tambang agar bisa menjadi daerah bermanfaat dan berdayaguna. Reklamasi adalah kegiatan yang bertujuan memperbaiki atau menata kegunaan lahan yang terganggu sebagai akibat kegiatan usaha pertambangan agar dapat berfungsi dan berdaya guna sesuai peruntukannya (Suprpto, 2008). Reklamasi menurut Latifah (2003) adalah usaha memperbaiki lahan yang rusak sebagai akibat kegiatan usaha pertambangan, agar dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan kemampuan. (BPK RI, 2017) Sedangkan di dalam UU Minerba No. 4 tahun 2009 mendefinisikan reklamasi sebagai usaha untuk memperbaiki atau memulihkan kembali lahan dan vegetasi yang rusak agar dapat berfungsi secara optimal sesuai peruntukannya

Reklamasi tidak berarti akan mengembalikan seratus persen sama dengan kondisi rona awal (Sriwinda *et al.*, 2018). Pada prinsipnya kawasan atau sumberdaya alam yang dipengaruhi oleh kegiatan pertambangan harus dikembalikan ke kondisi yang aman dan produktif melalui rehabilitasi. Kondisi akhir rehabilitasi dapat diarahkan untuk mencapai kondisi seperti sebelum ditambang atau kondisi lain yang telah disepakati. Kegiatan rehabilitasi dilakukan merupakan kegiatan yang terus menerus dan berlanjut sepanjang umur pertambangan sampai pasca tambang. Tujuan jangka pendek rehabilitasi adalah membentuk bentang alam (lanskap) yang stabil terhadap erosi. Selain itu rehabilitasi juga bertujuan untuk mengembalikan lokasi tambang ke kondisi yang memungkinkan untuk digunakan sebagai lahan produktif (Syaprudin *et al.* 2014). Bentuk lahan produktif yang akan dicapai menyesuaikan dengan tataguna lahan

pasca tambang. (Bogawa *et al.*, 2011) Penentuan tataguna lahan pasca tambang sangat tergantung pada berbagai faktor antara lain potensi ekologis lokasi tambang dan keinginan masyarakat serta pemerintah. Bekas lokasi tambang yang telah direhabilitasi harus dipertahankan agar tetap terintegrasi dengan ekosistem bentang alam sekitarnya.

Revegetasi merupakan kegiatan penanaman areal pasca tambang dengan tanaman terpilih. Revegetasi dimulai dengan penanaman cover crops dan pohon, serta pemeliharaan tanaman (Adman, 2012). Keberhasilan Revegetasi pada lahan bekas tambang sangat ditentukan oleh banyak hal diantaranya adalah aspek penataan lansekap, kesuburan media tanam dan penanaman dan perawatan tanaman. Penataan lansekap sangat berkaitan dengan aspek konservasi tanah dan air serta rencana penggunaan lahan bekas tambang. Sementara itu dalam kesuburan media sangat ditentukan oleh sifat-sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Iskandar *et al.*, 2009).

Merestorasi ekosistem rusak, prinsip dan pengetahuan ekologi merupakan sesuatu yang sangat penting untuk diperhatikan karena hal mendasar yang harus diketahui dalam memahami berbagai masalah dalam merestorasi suatu ekosistem yang rusak. Hal mendasar tersebut seperti: pengetahuan tentang spesies, komunitas dan ekosistem, ekotype, substitusi spesies, interaksi antar individu spesies dan ekosistem serta suksesi (Evrina, 2016). Merestorasi ekosistem rusak bertujuan untuk: (1). Protektif, dalam hal ini memperbaiki stabilitas lahan, mempercepat penutupan tanah dan mengurangi surface run off dan erosi tanah, (2). Produktif, yang mengarah pada peningkatan kesuburan tanah (soil fertility) yang lebih produktif, sehingga bisa diusahakan tanaman yang tidak saja menghasilkan kayu, tetapi juga dapat menghasilkan produk non-kayu (rotan, getah, obat-obatan, buah-buahan dan lain-lain) yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat di sekitarnya, dan (3) Konservatif; yang merupakan kegiatan untuk membantu mempercepat terjadinya suksesi secara alami kearah peningkatan keanekaragaman hayati spesies lokal; serta menyelamatkan dan pemanfaatan jenis-jenis tumbuhan potensial lokal yang telah langka (Rahmawaty, 2002).

D. Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA)

Istilah mikoriza pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Albert Bernard Frank pada tahun 1885 seorang ahli patologi hutan dari Jerman saat melakukan studi mengenai hubungan antara tumbuhan dan mikrobia. Mikoriza berasal dari kata *myces* yang berarti jamur dan *rhiza* yang berarti akar pada tumbuhan tingkat tinggi. Mikoriza juga dikenal sebagai jamur tanah karena habitatnya berada di dalam tanah dan berada di areal perakaran tanaman (rizosfer). Mikoriza adalah suatu bentuk hubungan simbiosis mutualisme antara cendawan/jamur dan perakaran (*rhiza*) tanaman. Mikoriza mempunyai kemampuan untuk berasosiasi dengan hampir 90% jenis tanaman dan membantu dalam meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara pada lahan marginal (Suharno *et al.*, 2020).

Ada 7 tipe kelompok mikoriza yang dibedakan berdasarkan jenis fungi, jenis tumbuhan sebagai asosiasi, dan karakteristik yang terbentuk hasil asosiasi kedua simbiosis tersebut yaitu fungi mikoriza arbuskula (FMA), ektomikoriza, ektendomikoriza, arbutoid mikoriza, monotroid mikoriza, ericoid mikoriza, dan orchid – mikoriza. Fungi Mikoriza Arbuskula merupakan salah satu kelompok mikoriza yang berasosiasi dengan sistem perakaran tumbuhan. FMA diketahui memiliki jumlah jenis terbesar diantara jenis dari kelompok mikoriza lainnya. FMA secara taksonomi termasuk dalam filum *Zygomycota*; ordo *Glomeromycota*; sub ordo *Glomineae* dan *Gigasporineae*; famili *Glomaceae*, *Acaulosporaceae*, *Archaeosporaceae*, *Paraglomaceae*, *Gigasporaceae*; dan genus *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Archaeospora*, *Paraglomus*, *Gigaspora* dan *Scutellospora* (Simanungkalit *et al.*, 2006).

Struktur Fungi Mikoriza Arbuskula yang berasosiasi dengan sistem perakaran tumbuhan dicirikan adanya hifa ekstraradikal, yaitu hifa yang menghubungkan antara miselium fungi di tanah dengan akar tanaman, hifa intraradikal atau hifa internal yakni hifa yang berada di dalam sel akar yang menembus epidermis akar dan sebagian besar berada pada sel korteks akar, arbuskula yakni percabangan hifa di dalam sel korteks akar dan terlibat dalam pertukaran hara, vesikula yakni bentuk modifikasi penggelembungan hifa yang terlibat dalam penyimpanan cadangan makanan, dan spora adalah struktur generatif fungi yang dibentuk oleh hifa. Hifa merupakan struktur yang khas muncul dari

proses perkecambahan spora. Perkecambahan spora dimulai dari pembentukan tabung perkecambahan (*germ tube*) yang akan berkembang menjadi hifa primer. Kemudian hifa primer mengalami perkecambahan menjadi hifa sekunder dan tersier dengan membentuk percabangan-percabangan. Hifa-hifa ini kemudian membentuk jaringan hifa yang sangat luas (Suharno *et al.*, 2020).

Hifa ekstraradikal atau hifa eksternal merupakan struktur Fungi Mikoriza Arbuskula yang berkembang diluar akar. Hifa eksternal memiliki filamen yang bercabang di dalam tanah yang berfungsi untuk menyerap air dan unsur hara, memperluas percabangan hifa dan tempat pembentukan spora, yang merupakan organ perkembangbiakan Fungi Mikoriza Arbuskula. Pertumbuhan hifa secara eksternal terjadi jika hifa internal tumbuh dari korteks melalui epidermis. Pertumbuhan hifa secara eksternal tersebut terus berlangsung sampai tidak memungkinkan terjadinya pertumbuhan lagi. Bagi jamur mikoriza, hifa eksternal berfungsi mendukung struktur reproduksi serta untuk transportasi karbon dan hara lainnya ke dalam spora, selain fungsinya untuk menyerap unsur hara dari dalam tanah untuk digunakan oleh tanaman (Pujianto, 2001).

Hifa intraradikal atau hifa internal umumnya dijumpai di dalam sel korteks akar. Setelah hifa ekstraradikal mengolonisasi akar melalui epidermis dengan membentuk apresorium, hifa intraradikal akan berkembang di dalam sel korteks. Hifa internal sangat penting untuk mengetahui adanya kolonisasi mikoriza dalam akar tanaman (Pujianto, 2001). Hifa internal tumbuh dari titik infeksi dan membentuk kolonisasi di dalam jaringan akar seperti epidermis dan korteks. Hifa yang tumbuh di dalam sel korteks dengan ujung hifa yang membengkak disebut vesikula. Sedangkan hifa internal yang berkembang disebelah dalam sel-sel korteks kemudian menembus dinding sel korteks tersebut serta terdiferensiasi membentuk banyak percabangan disebut arbuskula (Lele, 2018).

Arbuskula berfungsi sebagai tempat pertukaran antara jamur dengan akar tanaman inang. Arbuskula merupakan percabangan dari hifa yang masuk ke dalam sel akar tanaman inang. Arbuskula merupakan hifa yang bercabang halus yang dibentuk oleh percabangan dikotomi yang berulang-ulang sehingga menyerupai pohon di dalam sel korteks inang. Arbuskula terbentuk 2 – 3 hari setelah fungi menginfeksi akar tanaman, diawali dengan penetrasi cabang hifa yang dibentuk

oleh hifa interseluler dan intraseluler ke dalam sel inang. Arbuskula berfungsi untuk tempat pemindahan nutrisi antara FMA dan tumbuhan. Masuknya hara ke dalam sel tumbuhan inang akan diikuti oleh peningkatan volume sitoplasma, pembentukan organ baru, pembelokan inti sel, peningkatan respirasi dan aktivitas enzim (Suharno *et al.*, 2020). Arbuskula dengan cepat mengalami desintegrasi atau terjadi lisis/pecah dan membebaskan P ke tanaman inang. Arbuskula menyediakan area permukaan yang lebih luas untuk pertukaran metabolik (Anjani, 2007).

Vesikula merupakan struktur yang berasal dari pembengkakan hifa internal secara terminal dan interkalar. Vesikula berbentuk bulat telur dan berisi banyak senyawa lemak sehingga diyakini merupakan organ penyimpanan cadangan makanan. Pada kondisi tertentu, dapat berperan seperti halnya spora atau alat untuk mempertahankan kehidupan fungi (Suharno *et al.*, 2020). Pembentukan vesikula diawali dengan adanya perkembangan sitoplasma hifa yang menjadi lebih padat, multinukleat dan mengandung partikel lipid dan glikogen. Sitoplasma menjadi semakin padat melalui proses kondensasi, dan organel semakin sulit untuk dibedakan sejalan dengan akumulasi lipid selama maturasi (proses pendewasaan). Vesikula biasanya dibentuk lebih banyak di luar jaringan korteks pada daerah infeksi yang sudah tua, dan terbentuk setelah pembentukan arbuskula. Jika suplai metabolik dari tanaman inang berkurang, cadangan makanan itu akan digunakan oleh cendawan sehingga vesikula mengalami degenerasi (Anjani, 2007).

Spora Fungi Mikoriza Arbuskula sebagian besar berbentuk bulat hingga bulat telur. Spora dibentuk di dalam tanah dan dapat berkembang biak jika berasosiasi dengan tumbuhan inang. Ukuran spora sangat bervariasi, mulai dari 45 μm sampai 600 μm , bahkan ada yang sampai 800 μm . Ukuran spora yang lebih besar mempermudah proses ekstraksi dan isolasi dari tanah dengan cara penyaringan basah. Spora terbentuk pada ujung hifa ekstraradikal. Sehubungan dengan kemampuannya dapat bertahan hidup lama, spora merupakan salah satu alat reproduksi yang lebih efektif dibandingkan struktur FMA lainnya (Suharno *et al.*, 2020).

Prinsip kerja Fungi Mikoriza Arbuskula adalah menginfeksi sistem perakaran tanaman inang, memproduksi jalinan hifa secara intensif sehingga tanaman yang berkolonisasi dengan mikoriza akan mampu meningkatkan kapasitas

dalam penyerapan hara dan air (Masria, 2015). Menurut (Osalina, 2015), terjadinya infeksi mikoriza pada akar tanaman melalui beberapa tahap, yaitu: pra infeksi, infeksi, pasca infeksi, perluasan infeksi mikoriza di dalam akar, dan perluasan hifa mikoriza dalam rhizosfer (zona perakaran). Luas serapan hara oleh akar dapat ditingkatkan melalui miselium eksternal, sehingga pertumbuhan tanaman dapat meningkat. Peningkatan efisiensi penerimaan nutrisi oleh tanaman dengan bantuan FMA tergantung kepada tiga proses penting yaitu : pengambilan nutrisi oleh miselium dari dalam tanah, translokasi hara dalam hifa ke struktur intraradikal FMA dari dalam tanah dan transfer hara dari FMA ke tanaman melewati permukaan yang kompleks diantara simbiosis. Jika FMA telah optimal dalam melewati ketiga proses tersebut maka mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman (Subiksa, 2002).

Pada fase awal mikoriza akan menghasilkan spora dalam jumlah yang sangat banyak. Spora ini berkecambah dan membentuk apresorium pada permukaan jaringan akar tanaman. Apresorium yang telah terbentuk ini berfungsi untuk melekatkan diri pada permukaan akar dan sebagai persiapan menembus jaringan tanaman inang dengan cara mempenetrasi kutikula dan dinding sel epidermis akar. Setelah penetrasi pada akar berhasil, maka hifa mikoriza akan tumbuh secara interseluler di dalam akar. Arbuskula terbentuk di dalam sel setelah terjadi penetrasi. Arbuskula memiliki percabangan yang lebih kuat dibandingkan hifa. Pada saat pembentukan arbuskula, beberapa cendawan mikoriza juga akan membentuk vesikel pada bagian interseluler, dimana vesikel ini merupakan pembengkakan pada bagian apikal atau interkalar dan hifa (Suharno *et al.*, 2020).

Infeksi mikoriza dalam jaringan akar tanaman ada tiga fase, yaitu fase awal, fase eksponensial, dan fase konstan. Fase awal terjadi saat infeksi primer berlangsung. Fase eksponensial terjadi ketika penyebaran dan pertumbuhan hifa mikoriza di dalam akar lebih cepat. Sedangkan fase konstan terjadi ketika pertumbuhan akar dan mikoriza sama. Setelah terjadi infeksi primer, pertumbuhan hifa mikoriza keluar dari jaringan akar tanaman menuju rhizosfer tanah. Hifa mikoriza yang berada pada rhizosfer tanah disebut hifa eksternal yang berfungsi untuk penyerapan larutan nutrisi di dalam tanah dan sebagai alat transportasi nutrisi dari tanah menuju akar. Hifa eksternal ini tidak berseptum dan membentuk percabangan dikotom (Anastasia, 2014).

Mikoriza merupakan sebuah bentuk yang menggambarkan adanya asosiasi fungsional profitable yang umumnya terjadi dengan tanaman inang (Lubis, 2021). Simbiosis yang berlangsung di antara keduanya merupakan jenis simbiosis mutualisme, dimana mikoriza memberikan manfaat bagi tanaman inang untuk menaikkan kualitas penyerapan P dalam bentuk fosfat. Ini disebabkan oleh kemampuan mikoriza yang mampu menjangkit akar tanaman untuk melepaskan enzim fosfatase dan asam organik, karenanya membuat fosfat terdapat di tanah. Adanya infeksi mikoriza, aktivitas fosfatase yang meningkat di permukaan menghasilkan pelepasan fosfor dari fosfat organik di sekitar sel-sel permukaan yang memungkinkan adanya penyerapan fosfor melalui mekanisme serapan nutrisi (Islamiyah *et al.*, 2017).

Keuntungan yang diperoleh mikoriza dari tanaman inang adalah memperoleh cadangan zat pati yang terkandung pada akar. Widiatma *et al.* (2015) menuliskan, jika mikoriza arbuskular dapat mengalami perkembangan yang optimal karena adanya tingkat karbohidrat yang tinggi pada akar tanaman. Akar tanaman inang juga berfungsi sebagai substrat tempat hidup atau melekatnya mikoriza. Ini terjadi karena tanaman inang memberikan makanan untuk mitra simbiosisnya yakni mikoriza, guna mendukung aktivitas kehidupan mereka (Khanday *et al.*, 2016). Mikoriza juga mampu membawa zat-zat anorganik dari tanah ke tanaman inang (Asmi *et al.*, 2021). Pendapat yang sama dikemukakan oleh Octavianti dan Ermavitalini (2014) mikroba seperti cendawan mikoriza telah diketahui dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman. Cendawan ini mampu berperan sebagai biofertilizer, bioprotektor, dan bioregulator yang menjadikannya sebagai agen biologi yang bersifat ramah lingkungan. Namun demikian, respon tanaman tidak hanya ditentukan oleh karakteristik tanaman dan cendawan, tapi juga oleh kondisi tanah dimana percobaan dilakukan. Efektivitas mikoriza dipengaruhi oleh faktor lingkungan tanah yang meliputi faktor abiotik (konsentrasi hara, pH, kadar air, temperatur, pengolahan tanah dan penggunaan pupuk/pestisida) dan faktor biotik (interaksi mikrobial, spesies cendawan, tanaman inang, tipe perakaran tanaman inang, dan kompetisi antar cendawan mikoriza (Hajoeningtjas, 2009),

Di alam Fungi Mikoriza Arbuskula memiliki banyak jenis yang dapat berasosiasi dengan tumbuhan. Menurut INVAM (2020), keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskula di dunia tercatat 237 jenis yang telah terjabarkan berasosiasi dengan tumbuhan yang tersebar dari seluruh belahan dunia. Terdapat 112 spesies yang telah terakses dan lebih dari 1000 spesies yang belum terakses. Mikoriza merupakan gejala umum pada perakaran tumbuhan, dimana FMA dapat berasosiasi dengan hampir 90% jenis tanaman, dan tiap jenis tanaman dapat juga berasosiasi dengan satu atau lebih jenis FMA. Tetapi tidak semua jenis tumbuhan dapat memberikan respon pertumbuhan positif terhadap inoculasi FMA. Konsep ketergantungan tanaman akan FMA adalah relatif dimana tanaman tergantung pada keberadaan FMA untuk mencapai pertumbuhannya (Wahid, 2018).

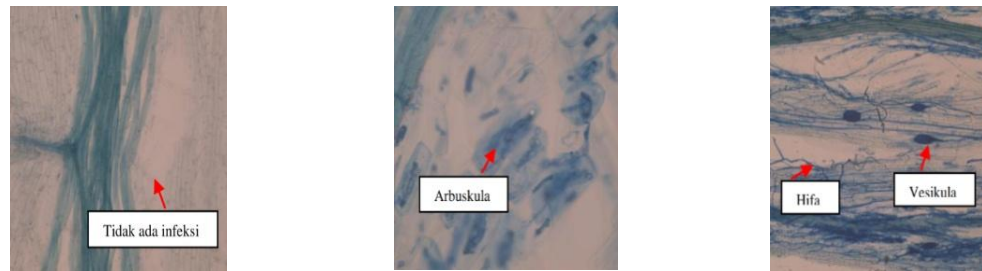
Margareththa (2011) melakukan eksplorasi dan identifikasi mikoriza pada lahan bekas tambang kapur. menemukan jumlah spora *Glomus* sp yang lebih padat dibandingkan dengan *Acaulospora* sp. Kartika (2012) juga menemukan tiga genus FMA pada lahan bekas tambang kapur yaitu *Glomus*, *Acaulospora* dan *Gigaspora*. Lubis *et al* (2018) menemukan 5 genus FMA Indigenous pada lokasi tambang batubara PT Nan Riang (16 jenis *Glomus*, 5 jenis *Acaulospora*, 3 jenis *Scutellospora*, 1 jenis *Gigaspora*, dan 2 jenis *Entrophospora*). Selain itu, Tomo dan Prasetya (2021) juga melakukan eksplorasi pada lahan pasca tambang dan menemukan genus *Glomus* pada seluruh kedalaman tanah. Didukung oleh hasil penelitian Wisnubroto *et al* (2024) yang menemukan jenis Fungi Mikoriza Arbuskula *Glomus* sp, *Acaulospora* sp dan *Gigaspora* sp.

Glomus sp. memiliki ciri - ciri khas yang berbeda dengan genus lainnya. Bentuk spora *Glomus* sp berbeda-beda ada yang berbentuk *globose* (bulat), *ovoid* (agak bulat), *ellipsoid* (oval) dan *reniform* (tidak beraturan), dinding spora yang terdiri atas lebih dari satu lapis. dengan ornament permukaannya yang berupa *smooth* dan *rough*. Warna spora genus *glomus* bervariasi mulai dari kuning, kuning kecoklatan, coklat kekuningan, coklat muda, hingga coklat tua dan kehitaman (INVAM, 2020) Karakteristik khas pada spora *Glomus* sp adalah sering terlihat jelas dinding spora dan terdapat ujung hifa yang menempel pada permukaan spora (*substending hyphae*). Perkembangan spora *Glomus* sp ujung hifa akan membesar sampai mencapai ukuran maksimal sehingga terbentuk spora (*khlamidospora*).

Terkadang hifa ini akan bercabang-cabang dan tiap cabangnya membentuk *khlamidospora*. Spora umumnya berbentuk bulat sampai lonjong. Spora *Glomus* cenderung berwarna coklat gelap dan agak biru gelap, memiliki bentuk bulat dan memiliki dinding spora yang halus (Kurnia *et al.*, 2019). Terdapat dinding spora yang tebal, tipis dan ada juga yang terlihat tidak jelas, terdiri atas 1-3 lapisan dinding spora berwarna merah hingga kecoklatan. Permukaan spora ada yang tidak memiliki ornament dan ada yang memiliki ornament. Ukuran spora bervariasi, mulai dari 108,80 μm hingga berukuran 341,09 μm (Dewi *et al.*, 2014).

Genus *Acaulospora* adalah sebuah jamur yang memiliki spora berwarna kuning hingga coklat keemasan, serta ditandai oleh permukaan yang bertekstur seperti kulit jeruk (Ervayenri, 2020). Jamur ini memiliki ciri ujung (*saccule*) yang berupa bulatan tidak sempurna (*subglobose*) dengan ukuran 120 - 190 $\times$ 110 - 180 μm , serta memiliki 2-3 susunan dinding dengan tebal total 2,4 - 4,2 μm . Jamur ini juga memiliki spora yang tersusun secara lateral dan berbentuk bulatan tidak sempurna. Dinding internalnya berupa hialin yang terdiri dari dua sampai tiga lapisan dengan ketebalan 1,3 - 2,8 μm (Guivin *et al.*, 2019).

Genus *Gigaspora* sp. umumnya berbentuk bulat, berwarna putih, krem, kuning pucat dan hijau kecokelatan. Ciri khas genus *Gigaspora* sp. yaitu terdapat *bulbous suspensor* yang selalu menempel pada dinding spora. (Lele, 2018). Spora *Gigaspora* dihasilkan secara tunggal di dalam tanah berbentuk *globus* atau *subglobus* dan *ovoid*, memiliki dinding hanya 1 lapis, dan ornamennya ada yang berupa *smooth*, *reticulate*, dan *nodulose*. Ukuran spora *Gigaspora* yang ditemukan bervariasi mulai dari 21,45 μm hingga 25,156 μm (Octavianti dan Ermavitalini, 2014). Berdasarkan perkembangannya spora *Gigaspora* terbentuk dari ujung hifa yang membulat (*bulbous suspensor*), selanjutnya muncul bulatan kecil yang semakin membesar mencapai ukuran maksimum yang akhirnya menjadi spora (Lele, 2018). Klasifikasi Fungi Mikoriza Arbuskula dapat dilihat pada Tabel 1 dan Penampang membujur akar tumbuhan yang tidak terinfeksi dan terinfeksi FMA di lahan pasca tambang timah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampang membujur akar tumbuhan yang tidak terinfeksi dan terinfeksi FMA di lahan pasca tambang timah (Raharja, 2015).

Tabel 1. Klasifikasi Fungi Mikoriza Arbuskula

Ordo	Sub Ordo	Famili	Genus
Glomeromycota	Glominae	Glomaceae	Glomus
		Acaulosporaceae	Acaulospora
			Entrophospora
	Gigasporinae	Archaeosporaceae	Archaeospora
		Paraglomaceae	Paraglomus
		Gigasporaceae	Gigaspora
			Scutellospora

Sumber: Miska (2016)



BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian dalam bentuk percobaan telah dilaksanakan pada bulan Februari - Juni 2025. Penelitian telah dilaksanakan di Rumah Kawat Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kota Padang, Sumatera Barat. Analisis dilakukan di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Bibit Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Pengamatan kolonisasi akar telah dilakukan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Padang. Jadwal kegiatan dapat dilihat pada Lampiran 1.

B. Bahan Percobaan

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah bibit kakao varietas BL50 (deskripsi varietas terdapat pada Lampiran 2) yang diperoleh dari Kabupaten Lima Puluh Kota. Fungi Mikoriza Arbuskula jenis *Acaulospora* sp, *Glomus* sp, dan *Gigaspora* sp dalam bentuk media pasir yang diperoleh dari koleksi Dr. Armansyah, SP., MP. Tanah bekas tambang kapur yang diambil dikawasan bekas lahan tambang Kelurahan Indarung, Kecamatan Lubuk Kilangan, Sumatera Barat. Pupuk kandang sapi, air, aquades, KOH 10%, HCL 2%, dan *lacto gliserol trypan blue*.

C. Peralatan Percobaan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah bor tanah, cangkul, sekop, ember plastik, kantong plastik bening ukuran 30cm x 45cm, kertas label, alat tulis (pena, buku, spidol), timbangan duduk 10kg, waring, dandang 20kg, kompor, gas 3kg, karung, polibag ukuran 30cm x 20cm, paranet 70%, penggaris, tiang standar, gembor, meteran, plastik klip, amplop kertas, kertas stensil, gunting, sendok kape, timbangan digital, sendok takar, oven, saringan spora (45 μ m, 106 μ m, dan 300 μ m), kaca preparat, *cover glass*, gelas kimia, *hotplate*, *sentrifuse*, botol film, gunting, petridish, pipet tetes, pinset, mikroskop, LAM (*Leaf Area Meter*) dan alat dokumentasi.

D. Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen yang disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Faktor pertama terdiri dari 3 taraf jenis FMA yaitu:

<i>Glomus</i> sp	: M ₁
<i>Gigaspora</i> sp	: M ₂
<i>Acaulospora</i> sp	: M ₃

Faktor kedua terdiri dari 4 taraf dosis FMA yaitu:

0 g FMA/bibit	: D ₀
10 g FMA/bibit	: D ₁
20 g FMA/bibit	: D ₂
30 g FMA/bibit	: D ₃

Setiap kombinasi percobaan diulang sebanyak 3 ulangan sehingga terdapat 36 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdapat 8 tanaman sampel yang terdiri dari 4 sampel destruktif dan 4 sampel non destruktif, sehingga terdapat 288 tanaman sampel. Denah penempatan satuan percobaan ditampilkan pada Lampiran 4. Denah penempatan tanaman sampel dalam satuan percobaan ditampilkan pada Lampiran 5. Data hasil pengamatan dianalisis statistik menggunakan analisis ragam (ANOVA). Hasil sidik ragam yang menunjukkan perbedaan yang nyata, dilanjutkan dengan pengujian *Duncan's New Multiple Range Test* (DNMRT).

E. Pelaksanaan Percobaan

1. Pengambilan Sampel Tanah dan Analisis Tanah

Langkah awal dalam penelitian ini adalah proses pengambilan sampel tanah yang bertujuan untuk menganalisis sifat tanah. Sampel tanah diambil dari lahan bekas tambang kapur yang berada penambangan PT. Semen Padang terletak di Bukit Karang Putih, Kelurahan Indarung, Kecamatan Lubuk Kilangan, Sumatera Barat. Pengambilan sampel tanah menggunakan metode *random sampling*. Ada 4

titik pengambilan sampel tanah yang telah dilakukan dapat di lihat pada Lampiran 2.

Tanah diambil menggunakan bor tanah dengan kedalaman ± 30 cm dari permukaan tanah. Sampel tanah yang terbawa kepala bor dimasukkan ke dalam ember plastik. Pengeboran dilanjutkan ke titik yang lain. Seluruh sampel tanah dicampur dan diaduk merata dalam ember plastik. Tanah dimasukkan ke dalam plastik yang telah diberi label. Sampel tanah dibawa ke Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian untuk dilakukan analisis tanah.

2. Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah kapur. Tanah yang telah diambil dari lahan bekas tambang kapur direndam dengan air selama 3 hari setelah itu tanah dikeringkan. Tanah yang sudah kering tersebut diayak menggunakan ayakan 5 mesh. Tanah yang telah diayak dilakukan tyndalisasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai media tanam. Tyndalisasi dilakukan di Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Tyndalisasi bertujuan agar media tanam terbebas dari mikoriza lain yang mungkin terbawa ketika proses pengambilan tanah, dan tyndalisasi juga bertujuan agar tanah terbebas dari kontaminasi mikroorganisme yang merugikan dan mengandung penyakit.

Proses pertama tyndalisasi yaitu air diisi ke dalam wadah yang berada tepat dibawah dandang. Air dipanaskan sampai mendidih selama 2 jam. Tanah yang telah dikering anginkan dan telah diayak dimasukkan ke dalam kantong plastik lalu ditimbang dan kemudian dimasukkan ke dalam dandang dengan kapasitas 20 kg. Proses tyndalisasi tanah berlangsung selama 2 jam. Tanah yang telah dityndalisasi kemudian dikering anginkan. Proses tyndalisasi juga dilakukan pada pupuk kandang sapi. Tanah dan pupuk kandang sapi yang telah selesai dityndalisasi kemudian dicampur dengan perbandingan volume 1:1. Tanah dan pupuk kandang sapi yang telah bercampur diinkubasi selama satu minggu sebelum proses penanaman. Tanah dan pupuk kandang sapi yang telah diinkubasi dimasukkan ke dalam polibag ukuran 30cm x 30cm. Polibag disusun pada area yang telah ditentukan dan sesuai dengan denah percobaan yang telah dibuat.

3. Pemasangan Paranet dan Label

Pada lahan pembibitan tanaman kakao dipasang paranet 70% sebagai naungan. Pemasangan label dilakukan pada saat penyusunan satuan percobaan yang disesuaikan dengan denah penempatan satuan percobaan. Setiap polibag diberi label dengan cara ditulis menggunakan spidol berwarna putih dan setiap unit percobaan diberi label yang sudah dilaminating dan dipaku pada bambu dan bambu tersebut ditancapkan didepan setiap unit percobaan.

4. Persiapan Benih Kakao

Benih diperoleh dari salah satu penangkar kakao yang berada di Jorong Belubus, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat. Benih yang dipilih adalah benih yang sehat, tidak cacat, tidak berjamur, berukuran seragam, dan sudah berkecambah. Benih kakao yang digunakan untuk pembibitan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Benih kakao yang digunakan untuk persemaian

5. Pemberian Perlakuan Fungi Mikoriza Arbuskula dan Penanaman

Sebelum bibit dipindahkan ke dalam polibag, dilakukan pemberian perlakuan Fungi Mikoriza Arbuskula pada pagi hari dengan cara menebarkan mikoriza ke dalam lubang tanam $\pm 0,5$ cm dari perakaran bibit. Penanaman dilakukan pada pagi hari pukul 07.00 hingga 09.00 WIB. Penanaman dilakukan dengan menanam satu bibit pada satu polybag. Penanaman dilakukan secara tugal

dengan posisi radikula di bawah tanah yang telah diberi perlakuan mikoriza dengan dosis sesuai perlakuan yaitu; 10 gram, 20 gram, dan 30 gram, kemudian tanah disekitar bibit kakao tersebut dipadatkan.

6. Pemupukan

Pupuk yang diberikan pada bibit tanaman kakao yaitu pupuk kandang sapi. Pupuk kandang sapi dengan volume perbandingan 1:1 dengan tanah diberikan seminggu sebelum penanaman.

7. Pemeliharaan

a. Penyiraman

Penyiraman pertama dilakukan setelah proses penanaman yaitu setelah semua bibit selesai ditanam dalam polibag. Penyiraman dilakukan sebanyak 1-2 kali dalam sehari untuk menjaga kelembaban tanah dengan cara menyiram menggunakan gembor yang berisi air hingga kondisi tanah menjadi lembab dan mencapai kapasitas lapang.

b. Penyiangan

Penyiangan dilakukan saat ada gulma yang tumbuh didalam dan sekitar polibag. Penyiangan dilakukan dengan cara mekanik yaitu gulma dicabut menggunakan tangan. Penyiangan dilakukan bertujuan untuk menjaga bibit kakao dari gangguan gulma, sehingga tidak terjadi kompetisi antara bibit kakao dan gulma terhadap penyerapan unsur hara dan air.

c. Pengendalian Hama dan Penyakit

Pengendalian hama dan penyakit dilakukan secara mekanis yaitu dengan mengambil hama yang menempel pada tanaman secara langsung. Hama yang menyerang bibit kakao yaitu hama kaki seribu spesies *Polydesmus angustus*, ulat daun, dan belalang (*Caelifera*). Hama *Polydesmus angustus* masuk ke dalam media tanam bibit kakao sehingga dilakukan pengendalian dengan cara menggunakan insektisida Currater, yang di tebarkan di sekitar bibit kakao. Pengendalian hama ulat daun dan belalang dilakukan dengan cara menyemprot bibit kakao dengan

insektisida Emacel 30 EC. Selain itu, bibit kakao juga terkena serangan penyakit karat daun, sehingga dilakukan pengendalian dengan cara memindahkan bibit kakao ke lahan terbuka (tanpa paranet).

F. Variabel Pengamatan

1. Analisis Tanah Bekas Tambang Kapur

Analisis tanah dilakukan pada awal penelitian. Analisis tanah bekas tambang kapur dilakukan untuk mengetahui sifat kimia tanah. Sifat kimia tanah yang akan dianalisis adalah pH, N-Total, P-Total, K-Total, Ca-dd dan C-Organik.

2. Tinggi Bibit (cm)

Pengamatan tinggi bibit dilakukan pada saat bibit berumur 2 MST sampai umur 12 MST dengan interval dua minggu sekali. Tinggi bibit diukur menggunakan penggaris dari permukaan tanah sampai bagian pucuk daun teratas.

3. Jumlah Daun (helai)

Pengamatan jumlah daun dilakukan bersamaan dengan tinggi bibit yaitu pada saat bibit berumur 2 MST sampai umur 12 MST dengan interval dua kali dalam seminggu. Jumlah daun ditentukan dengan cara menghitung jumlah daun pada tanaman sampel dengan kriteria daun telah membuka sempurna.

4. Bobot Segar Tajuk (g)

Pengamatan bobot segar tajuk dilakukan pada akhir penelitian yaitu pada saat tanaman berumur 12 MST. Bibit yang menjadi sampel dicabut dengan hati-hati agar tidak rusak kemudian dibersihkan dan dicuci lalu di keringkan menggunakan kertas stensil. Tanaman dipotong pada bagian pangkal batang sehingga bagian akar dan bagian tajuk tanaman terpisah. Bagian atas tanaman yang terdiri atas batang dan daun ditimbang dengan timbangan digital dan dinyatakan dalam satuan g (gram) sehingga didapatkan bobot segar tajuk.

5. Bobot Kering Tajuk (g)

Pengamatan bobot kering tajuk dilakukan pada akhir penelitian yaitu pada saat tanaman berumur 12 MST. Pengamatan bobot kering tajuk dilakukan setelah bobot segar tajuk ditimbang. Sampel dibungkus dengan amplop, kemudian dimasukkan kedalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam. Setelah di oven, bobot kering ditimbang dengan timbangan digital dan dinyatakan dalam satuan g (gram).

6. Bobot Segar Akar (g)

Pengamatan bobot segar akar dilakukan pada akhir penelitian yaitu pada saat tanaman berumur 12 MST. Bobot segar akar diperoleh dengan cara menimbang bagian perakaran tanaman sampel yang telah dicabut, dibersihkan dan telah dipotong antara bagian tajuk dan bagian perakaran. Bagian perakaran tersebut ditimbang menggunakan timbangan digital dan dinyatakan dalam satuan g (gram) sehingga didapatkan bobot segar akar.

7. Bobot Kering Akar (g)

Pengamatan bobot kering akar dilakukan pada akhir penelitian yaitu pada saat tanaman berumur 12 MST. Pengamatan bobot kering akar dilakukan setelah bobot segar akar ditimbang. Sampel dibungkus dengan amplop, kemudian dimasukkan kedalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam. Setelah di oven, bobot kering ditimbang dengan timbangan digital dan dinyatakan dalam satuan g (gram).

8. Rasio Tajuk Akar

Pengamatan rasio tajuk akar dilakukan pada akhir penelitian yaitu pada saat tanaman berumur 12 MST. Ratio tajuk akar merupakan perbandingan antara bobot kering tajuk dan bobot kering akar. Bobot kering tajuk dan akar merupakan bobot setelah dioven pada suhu 70°C selama 24 jam. Rasio tajuk akar diperoleh dengan rumus :

$$\text{Rasio tajuk akar} = \frac{\text{Bobot kering tajuk bibit}}{\text{Bobot kering akar bibit}}$$

9. Laju Asimilasi Bersih (g/cm² /hari)

Pengamatan Laju Asimilasi Bersih menggunakan 4 sampel destruktif pada setiap satuan percobaan dilakukan saat tanaman berumur 6 MST, 8 MST, 10 MST dan 12 MST. Proses pengamatannya yaitu sampel destruktif dibersihkan dan setelah itu dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 70°C. Laju Asimilasi Bersih (*Net Assimilation Rate*) menyatakan berat tanaman pada satuan luas daun dalam waktu tertentu, besarnya Laju Asimilasi Bersih (LAB) dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Gardner *et al.*, 1991) sebagai berikut:

$$LAB = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \times \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{LA_2 - LA_1}$$

Keterangan :

LAB = Laju Asimilasi Bersih

Ln = Logaritma natural

W₂ = Bobot kering tanaman pada waktu T₂

W₁ = Bobot kering tanaman pada waktu T₁

A₂ = Luas daun tanaman pada waktu T₂

A₁ = Luas daun tanaman pada waktu T₁

T₂ = Umur tanaman waktu T₂

T₁ = Umur tanaman waktu T₁

10. Laju Tumbuh Relatif (g/g/hari)

Laju Tumbuh Relatif (LTR) merupakan peningkatan berat kering tanaman dalam suatu interval waktu dalam hubungannya dengan berat awal. Perhitungan LTR menggunakan 4 sampel destruktif, ini dilakukan berdasarkan berat kering tanaman termasuk akar, batang, dan daun pada umur 6 MST, 8 MST, 10 MST dan 12 MST. selanjutnya seluruh bagian tanaman dibersihkan dan di oven selama 24 jam pada suhu 70°C, setelah itu ditimbang menggunakan timbangan digital. Perhitungan dilakukan dengan rumus berikut:

$$LTR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1}$$

Keterangan :

LTR = Laju Tumbuh Relatif

Ln = Logaritma natural

W₂ = Bobot kering tanaman pada waktu T₂

W₁ = Bobot kering tanaman pada waktu T₁

T₂ = Umur tanaman waktu T₂

T₁ = Umur tanaman waktu T₁

11. Kolonisasi Akar oleh Fungi Mikoriza Arbuskula (%)

Pengamatan kolonisasi akar oleh FMA dilakukan pada akhir pengamatan yaitu saat tanaman berumur 12 MST. Persentase kolonisasi akar menggunakan teknik pewarnaan akar (Philips dan Hayman, 1970). Sampel ujung akar diambil secara acak lalu dipotong dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Sampel akar dibersihkan dengan cara dicuci kemudian dipanaskan dalam KOH 10% diatas *hotplate* selama 10 menit dengan suhu 100°C, setelah itu sampel akar dibilas dengan aquades dan dinetralkan dengan HCL 1% selama 10 menit. Setelah itu, sampel akar direndam dengan *lacto gliserol trypan blue* selama 1 jam. Semua potongan-potongan akar diatur di atas *object prepare*, disusun 5 sampel akar pada masing-masing *object glass*. Setelah sampel akar disusun di *object glass* lalu ditutup dengan kaca penutup. Sampel akar diamati menggunakan mikroskop binokuler dengan perbesaran 400 kali.

Kolonisasi akar oleh Fungi Mikoriza Arbuskula dapat dihitung dengan rumus (Nusantara *et al.*, 2012) sebagai berikut :

$$\text{Kolonisasi Akar (\%)} = \frac{\Sigma \text{Bidang pandang bermikoriza}}{\Sigma \text{Bidang pandang keseluruhan}} \times 100\%$$

Kategori persentase koloni akar menurut Nusantara *et al* (2012) sebagai berikut :

Tabel 2. Kategori Persentase Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskula

Derajat kolonisasi (%)	Kriteria
0 – 5	Sangat rendah
>5 – 25	Rendah
>25 – 50	Sedang
>50 – 75	Tinggi
>75 – 100	Sangat tinggi

Nusantara *et al* (2012)

Analisis Data

Data yang diperoleh pada penelitian dianalisis secara statistik pada aplikasi STAR menggunakan uji F. Jika F hitung lebih besar dari F tabel maka dilanjutkan dengan uji *Duncan's New Multiple Range Test* (DNMRT) pada taraf nyata 5%.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Tanah Bekas Tambang Kapur

Tanah yang digunakan dalam percobaan ini adalah tanah bekas tambang kapur yang dilakukan analisis terlebih dahulu sebelum penelitian. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Tanah dan Lingkungan PT. Widiadi Bintang Sains, bertujuan untuk mengetahui kondisi awal tanah, khususnya terkait kesuburannya. Beberapa parameter penting yang diukur meliputi pH, kandungan unsur hara (nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta kandungan bahan organik (C-Organik). Hasil analisis tanah awal dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Tanah Bekas Tambang Kapur

Jenis Analisis	Metode*	Hasil	Kriteria
pH H ₂ O (1:5)	Elektrometri	9,51	Sangat Basa
N-Total (%)	Detector Nutrient	0,10	Rendah
	Analizer C-3000 RS-485		
Ca-dd (cmol/kg)	Ekstraksi NH ₄ OAc	23,91	Sangat Tinggi
K-Total (mg K ₂ O/100g)	Detector Nutrient	51,27	Tinggi
	Analizer C-3000 RS-485		
P-Total (mg K ₂ O/100 g)	Detector Nutrient	70,56	Sangat Tinggi
	Analizer C-3000 RS-485		
C-Organik (%)	Walkley dan Black	0,65	Sangat Rendah

Keterangan: Balittanah, 2012

Hasil analisis tanah bekas tambang kapur pada Tabel 3 menunjukkan bahwa tanah memiliki reaksi sangat basa dengan pH 9,51, yang dapat mengganggu ketersediaan unsur hara mikro dan menghambat pertumbuhan tanaman (Brady & Weil, 2010). Kondisi tanah yang terlalu basa dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena dapat menyebabkan fiksasi atau pengendapan unsur hara penting seperti fosfor, besi, dan seng, sehingga unsur-unsur tersebut menjadi tidak tersedia bagi tanaman

Kandungan Nitrogen total hanya 0,10%, tergolong rendah, dan karbon organik sebesar 0,65% termasuk sangat rendah, mencerminkan kesuburan tanah yang buruk akibat minimnya bahan organik dan aktivitas mikroba (Havlin et al., 2005). Kandungan N-total yang rendah menunjukkan ketersediaan nitrogen dalam tanah juga rendah. Nitrogen merupakan unsur hara yang penting untuk pertumbuhan vegetatif tanaman. Hasil pada analisis C-organik pada tanah bekas tambang kapur termasuk sangat rendah. Kandungan C-organik penting untuk memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, dan menyediakan sumber makanan bagi mikroorganisme tanah.

Analisis kimia tanah awal Ca menunjukkan konsentrasi Ca-dd yang sangat tinggi, mencapai 23,91 cmol/kg. Konsentrasi kalsium yang melimpah ini merupakan karakteristik umum pada tanah kapur dan menjadi kontributor utama terhadap peningkatan pH tanah, yang memicu fiksasi fosfor (P). Fiksasi P ini terjadi ketika ion P bereaksi dengan Ca membentuk senyawa yang tidak larut, sehingga mengurangi ketersediaan unsur P bagi tanaman (Weil & Brady, 2017).

Analisis kimia Kalium, Meskipun demikian, tanah memiliki kandungan kalium total sebesar 51,27 mg K₂O/100g, yang diklasifikasikan sebagai tinggi. Kalium (K) adalah unsur hara makro esensial yang memainkan peran vital dalam berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk regulasi tekanan osmotik sel, pengendalian mekanisme membuka dan menutupnya stomata, peningkatan efisiensi fotosintesis, dan peningkatan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan dan serangan penyakit (Havlin *et al.*, 2014). Meskipun ketersediaan K tergolong cukup, efektivitas penyerapan dan pemanfaatan kalium oleh tanaman tetap dipengaruhi oleh faktor lain, seperti keseimbangan hara anion dan kondisi pH tanah yang ekstrem.

Selain itu, fosfor total mencapai 70,56 mg K₂O/100g, tergolong sangat tinggi, namun efektivitasnya dapat berkurang karena terfiksasi pada kondisi pH basa. Secara umum, karakteristik tanah ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat cadangan unsur hara makro dalam jumlah tinggi seperti Ca, K, dan P, namun keterbatasan nitrogen dan bahan organik serta reaksi tanah yang sangat basa menjadi faktor penghambat utama dalam pemanfaatan tanah bekas tambang ini untuk pertanian tanpa adanya ameliorasi yang tepat. Kondisi ini menunjukkan

bahwa meskipun terdapat cadangan unsur hara makro dalam jumlah besar, daya dukung tanah terhadap pertumbuhan tanaman masih rendah karena unsur hara tersebut tidak efektif tersedia. Oleh karena itu, diperlukan upaya rehabilitasi tanah, seperti aplikasi bahan organik dan mikroorganisme tanah seperti Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA), yang terbukti mampu meningkatkan ketersediaan fosfor, menurunkan stres akibat pH tinggi, serta memperbaiki struktur dan kesuburan tanah secara biologis dan kimiawi (Smith & Read, 2008).

B. Kolonisasi Akar oleh Fungi Mikoriza Arbuskula

Kolonisasi akar oleh Fungi Mikoriza Arbuskula merupakan salah satu pengamatan yang dilakukan untuk melihat simbiosis antara tanaman dan FMA. Hasil pengamatan kolonisasi akar oleh Fungi Mikoriza Arbuskula pada bibit kakao dengan perlakuan berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase akar terkolonisasi oleh Fungi Mikoriza Arbuskula pada bibit kakao umur 12 MST

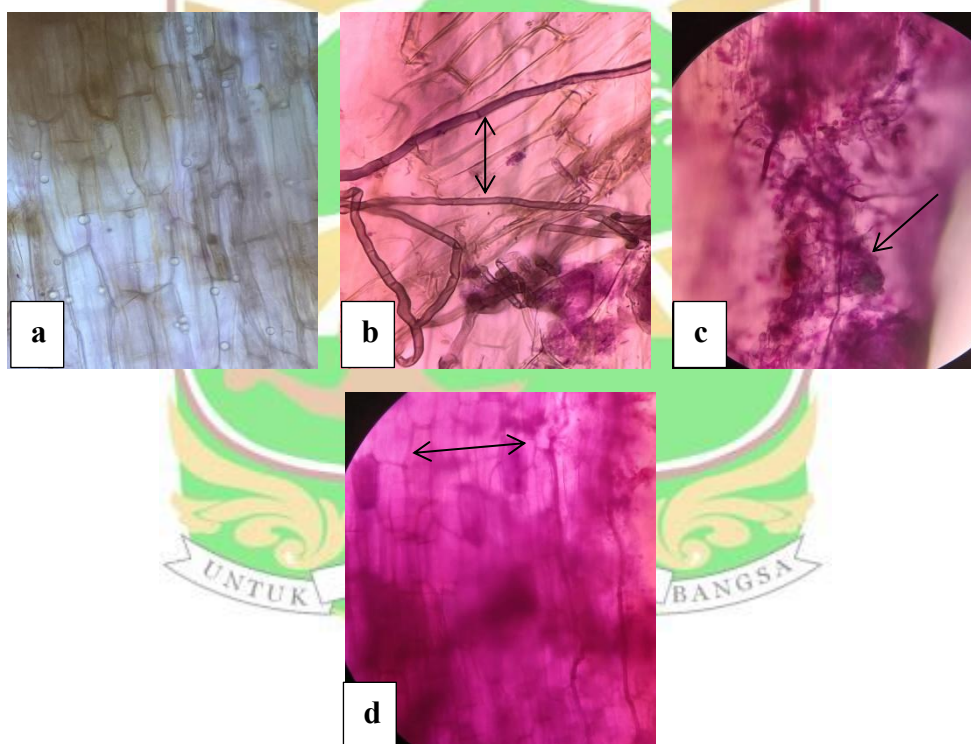
Jenis	Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula (g/bibit)			
	0	10	20	30
	(%).....			
<i>Glomus</i> sp	0	80,00	86,67	93,33
<i>Acaulospora</i> sp	0	66,67	73,33	86,67
<i>Gigaspora</i> sp	0	60,00	66,67	80,00

Keterangan kategori : 0-5% = sangat rendah. 5-25% = rendah. 25-50% = sedang. 50-75% = tinggi. 75-100% = sangat tinggi (Nusantara *et al.*, 2012).

Berdasarkan hasil pengamatan Tabel 4, diketahui bahwa pada bibit kakao yang tidak diaplikasikan Fungi Mikoriza Arbuskula menunjukkan tidak adanya akar yang terkolonisasi atau 0%. Hal ini karena bibit kakao yang tidak diaplikasikan Fungi Mikoriza Arbuskula tidak terjadi kolonisasi FMA pada akar akibat tanah yang digunakan sudah steril. Hal ini sesuai dengan (Sagala *et al* 2013) yang menyatakan bahwa apabila media tanam telah di sterilisasi dan tidak diaplikasikan Fungi Mikoriza Arbuskula menyebabkan akar tanaman tidak terkolonisasi,

kemungkinan Fungi Mikoriza Arbuskula yang secara alami ada pada media tanam dalam keadaan tidak aktif lagi.

Fungi Mikoriza Arbuskula yang diaplikasikan mampu bersimbiosis dengan akar bibit kakao yang ditunjukkan dengan hasil persentase kolonisasi 60%-93,33%. Hasil kolonisasi dengan persentase paling rendah yaitu 60% pada perlakuan jenis *Gigaspora* sp dan dosis 10 g/bibit yang termasuk ke dalam kategori koloni tinggi menurut (Nusantara *et al* 2012). Hasil kolonisasi dengan persentase tertinggi yaitu 93,33% pada jenis *Glomus* sp dengan dosis 30 g/bibit. Menurut (Nusantara *et al* 2012), kategori koloni dengan persentase 93,33% tersebut termasuk kedalam kategori sangat tinggi. Hasil pengamatan kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskula pada akar bibit kakao dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kolonisasi FMA pada bibit kakao umur 12 MST. (a) Akar yang tidak terinfeksi, (b) Hifa internal, (c) Arbuskula, (d) Vesikula

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa adanya hifa internal, vesikula, dan arbuskula pada akar. Hifa internal akan tumbuh setelah proses penetrasi. Hifa internal umumnya dijumpai di dalam sel korteks akar. Setelah hifa ekstraradikal mengkolonisasi akar melalui epidermis dengan membentuk apresorium, hifa internal akan berkembang di dalam sel korteks. Hifa internal sangat penting untuk

mengetahui adanya kolonisasi mikoriza dalam akar tanaman (Pujianto, 2001). Hifa terbentuk dari perkecambahan spora sedangkan vesikula merupakan struktur ber dinding tipis yang berbentuk dari pembengkakan ujung hifa. Selain itu, struktur lain dari FMA yaitu arbuskula. Arbuskula berfungsi sebagai tempat pertukaran antara jamur dengan akar tanaman inang. Arbuskula merupakan percabangan dari hifa yang masuk ke dalam sel akar tanaman inang. Arbuskula merupakan hifa yang bercabang halus yang dibentuk oleh percabangan dikotomi yang berulang-ulang sehingga menyerupai pohon di dalam sel korteks inang (Suharno et al., 2020). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses infeksi mikoriza dipengaruhi oleh eksudat akar, kesuburan tanah dan ketersediaan air tanah. Infeksi sekunder sangat dipengaruhi oleh fisiologi tanaman inang, karena kebanyakan energi bagi penyebaran hifa diperoleh dari hasil fotosintesis yang ditranslokasikan dari tanaman ke cendawan, baik melalui arbuskular maupun melalui hifa internal (Delvian, 2005).

Hasil pengamatan kolonisasi FMA sangat berkaitan dengan pertumbuhan bibit kakao. Semakin tinggi persentase kolonisasi akar maka semakin meningkat pula pertumbuhan bibit kakao, yang dilihat dari parameter tinggi bibit (Tabel 5), bobot kering tajuk (Tabel 8), bobot segar akar (Tabel 9), bobot kering akar (Tabel 10), dan rasio tajuk akar (Tabel 11). Sasmita *et al* (2019) menyatakan bahwa mikoriza memiliki prinsip kerja yaitu menginfeksi sistem perakaran tanaman inang, memproduksi jalinan hifa secara intensif sehingga tanaman yang mengandung mikoriza akan mampu meningkatkan kapasitas dalam penyerapan unsur hara. Mikoriza dalam penyerapan unsur hara dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman melalui simbiosis mutualisme antara mikoriza (pada akar tanaman) dengan tanaman itu sendiri.

Infeksi mikoriza pada akar tanaman diawali dengan terbentuknya *apresorium* pada permukaan akar. Kemudian *apresorium* menembus sel epidermis akar tanaman atau dikenal dengan proses penetrasi. Setelah itu, hifa akan tumbuh secara intraseluler atau ekstraseluler di dalam korteks serta pada inang-inang tertentu dengan membentuk gulungan hifa di luar korteks. Hifa yang berada didalam tanah mengambil nutrisi yang akan dialirkan ke dalam sel akar. Aliran fosfor yang terdapat didalam hifa mengikuti aliran sitoplasma pada sel akar

tanaman, sedangkan aliran nutrisi dari mikoriza ke tanaman inang diperkirakan mengalir melalui arbuskular (Rokhminarsi, 2020). Hifa eksternal pada mikoriza mampu menyerap unsur fosfat dari dalam tanah kemudian diubah menjadi senyawa polifosfat. Senyawa polifosfat kemudian dialihkan ke dalam hifa dan dipecah menjadi fosfat organik yang dapat diserap oleh sel tanaman (Simanjuntak, 2023). Hifa eksternal pada mikoriza akan memperluas bidang serapan air dan unsur hara. Ukuran hifa yang lebih halus dari bulu-bulu akar memungkinkan hifa dapat menyusup dengan mudah ke dalam pori-pori tanah yang paling kecil (mikro) sehingga hifa dapat menyerap air saat kondisi kadar air tanah yang sangat rendah. Serapan air yang besar oleh tanaman yang ditumbuhi mikoriza, juga membawa unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran massa seperti N, K dan belerang (S) sehingga serapan unsur tersebut semakin meningkat (Zulkoni *et al.*, 2020). Selain serapan unsur hara melalui aliran massa, serapan P yang tinggi juga disebabkan karena hifa mikoriza mengeluarkan enzim fosfatase yang mampu melepaskan P dari ikatan-ikatan spesifik dalam tanah sehingga unsur fosfor tersedia bagi tanaman (Maulana & Harahap, 2023).

C. Tinggi Bibit

Pertambahan tinggi bibit kakao yaitu hasil pengurangan pengamatan terakhir (12 MST) dengan pengamatan pertama (2 MST) pada tinggi bibit kakao. Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap pertambahan tinggi bibit kakao. Rata – rata tinggi bibit kakao dapat dilihat pada Tabel 5 dan hasil sidik ragam dapat dilihat pada Lampiran 7.

Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan FMA jenis *Glomus* sp memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata terhadap pertambahan tinggi bibit kakao dibandingkan dengan jenis *Acaulospora* sp dan *Gigaspora* sp. Fungi Mikoriza Arbuskula jenis *Glomus* sp memberikan hasil rata-rata pertambahan tinggi bibit tertinggi yaitu 30 cm. Hasil tersebut berhubungan dengan pengamatan pada kolonisasi akar oleh Fungi Mikoriza Arbuskula dalam penelitian ini. Kolonisasi akar paling tinggi yaitu pada jenis *Glomus* sp (Tabel 4). Hal ini diduga karena *Glomus* sp memiliki tingkat kesesuaian dan adaptasi yang lebih baik pada bibit

kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur. Wisnubroto *et al* (2023) menyatakan bahwa adanya tingkat kesesuaian yang lebih tinggi menunjukkan simbiosis yang terjalin lebih kuat antara FMA dan tanaman inang. *Glomus* sp. memiliki spora yang lebih cepat berkecambah dibandingkan *Acaulospora* sp. dan *Gigaspora* sp. sehingga bersimbiosis lebih cepat dan menyalurkan nutrisi tanaman. Armansyah *et al* (2019) menyatakan bahwa *Glomus* lebih mampu beradaptasi dan memperbanyak diri dibandingkan dengan *Acaulospora* dan *Gigaspora*. Pengambilan nutrisi oleh mikoriza melibatkan hifa dalam tanah yang selanjutnya dialirkan ke dalam sel akar.

Tabel 5. Tinggi bibit kakao pada berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula di tanah bekas tambang kapur.

Jenis FMA	Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(cm).....				
<i>Glomus sp</i>	28,33	25,33	27,67	30,66	27,25 a
<i>Gigaspora sp</i>	25,50	21,67	27,00	27,67	26,21 a
<i>Acaulospora sp</i>	21,67	23,33	23,67	20,33	22,25 b
Rata-rata	22,3	24,16	25,5	25,03	
	C	B	A	AB	
KK= 13,27 %					

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf besar yang sama pada baris yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji *Duncan Multiple Range Test* pada taraf 5%.

Hasil yang didapatkan pada perlakuan jenis FMA mengindikasikan bahwa *Glomus sp* membantu penyerapan air dan unsur hara lebih efektif pada bibit kakao dibandingkan FMA jenis lainnya, sehingga metabolisme pertumbuhan tanaman dapat berlangsung dengan baik. Marlina (2020) menyatakan bahwa FMA berperan dalam menstimulus pembentukan hormon-hormon pertumbuhan tanaman seperti auksin, sitokinin, dan giberelin. Hormon berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel, jika jumlah hormon yang dihasilkan lebih banyak maka proses penambahan ukuran dan jumlah sel menjadi cepat sehingga tinggi tanaman menjadi lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

Pertambahan tinggi bibit kakao yang diberikan perlakuan dosis FMA menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Pada dosis FMA 0 g/bibit hingga peningkatan dosis FMA 30 g/bibit memperlihatkan peningkatan pertambahan tinggi bibit kakao. Pada perlakuan dosis FMA 0 g/bibit menghasilkan rata-rata pertambahan tinggi bibit paling rendah yaitu 21,67 cm. Dosis FMA 30 g/bibit memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap pertambahan tinggi bibit kakao dibandingkan perlakuan dosis FMA lainnya. Dosis FMA 30 g/bibit menghasilkan rata-rata pertambahan tinggi bibit tertinggi yaitu 30,66 cm. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa FMA dengan dosis 30 g/bibit merupakan dosis FMA terbaik untuk pertambahan bibit kakao dibandingkan dosis FMA lainnya dalam penelitian ini. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Ali *et al* (2023) yang menunjukkan bahwa pemberian FMA jenis *Glomus sp* sebanyak 20 g/bibit dan 25 g/bibit pada bibit kopi robusta memiliki nilai rata-rata tinggi bibit yang paling besar dibandingkan tanpa inokulasi FMA, dosis 5 g/bibit, 10 g/bibit, dan 15 g/bibit. Selain itu, penelitian Ramadhano (2022) juga menunjukkan bahwa dosis FMA 30 g/tanaman memberikan nilai rata-rata tertinggi pada tinggi tanaman serai wangi yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur.

Hal ini dikarenakan FMA yang diberikan pada bibit kakao dengan dosis yang berbeda - beda dapat memperluas bidang serapan air dan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Zulkoni *et al* (2020) menyatakan bahwa serapan air yang besar oleh tanaman yang bersimbiosis dengan FMA akan membawa unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran massa seperti N, K dan belerang (S), sehingga serapan unsur tersebut semakin meningkat. Sejalan dengan Makarov (2019) menyatakan bahwa miselium mikoriza mampu menyerap N dari tanah yang lebih efektif dibandingkan akar tanaman karena FMA jangkauannya lebih luas, dan hifa yang lebih halus dari bulu akar memungkinkan hifa masuk ke dalam pori-pori tanah yang tidak dapat dijangkau oleh akar.

Aliran fosfor dalam hifa mengikuti aliran sitoplasma pada sel akar tanaman, sedangkan aliran nutrisi dari mikoriza ke tanaman inang diperkirakan mengalir melalui arbuskular (Rokhminarsi, 2020). Hifa eksternal pada mikoriza mampu menyerap unsur fosfat dari dalam tanah yang kemudian diubah menjadi senyawa polifosfat. Senyawa polifosfat tersebut kemudian dialihkan ke dalam hifa dan

dipecah menjadi fosfat organik yang nantinya dapat diserap oleh sel tanaman (Simanjuntak, 2023). Selain itu, Maulana & Harahap (2023) menyatakan bahwa serapan P yang tinggi juga disebabkan karena hifa mikoriza mengeluarkan enzim fosfatase yang mampu melepaskan P dari ikatan-ikatan spesifik dalam tanah. sehingga unsur fosfor tersedia bagi tanaman.

Unsur hara utama yang mempengaruhi tinggi tanaman adalah nitrogen (N) dan fosfor (P). Menurut Sulistyowati (2011) pertumbuhan tinggi tanaman disebabkan oleh aktivitas meristem apikal yaitu bagian pucuk tanaman yang aktif membelah, sehingga tanaman akan bertambah tinggi. Pembelahan dan pembesaran sel-sel sangat dipengaruhi ketersediaan nitrogen. Fosfor (P) dibutuhkan oleh tanaman untuk pembentukan sel baru pada jaringan yang sedang tumbuh serta memperkuat batang sehingga nantinya berdampak terhadap pertumbuhan tinggi tanaman (Lukman, 2010). Kalium juga diperlukan tanaman untuk berbagai fungsi fisiologis, termasuk di dalamnya adalah metabolisme karbohidrat, aktivitas enzim, regulasi osmotik, efisiensi penggunaan air, serapan unsur nitrogen, sintesis protein, dan translokasi asimilat yang secara tidak langsung akan mempengaruhi tinggi tanaman (Rahmawan *et al.*, 2019).

D. Jumlah Daun

Pertambahan jumlah daun bibit kakao yaitu hasil pengurangan pengamatan terakhir (12 MST) dengan pengamatan pertama (2 MST) pada jumlah daun bibit kakao. Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskular terhadap pertambahan jumlah daun bibit kakao, namun faktor tunggal masing-masing memberikan pengaruh nyata terhadap pertambahan jumlah daun bibit kakao. Pertambahan jumlah daun bibit kakao pada perlakuan berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskular dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa perlakuan jenis Fungi Mikoriza Arbuskular memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata terhadap pertambahan jumlah daun bibit kakao. Perlakuan jenis *Glomus* sp memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap pertambahan jumlah daun bibit kakao dibandingkan dengan jenis *Acaulospora* sp dan *Gigaspora* sp. Namun perlakuan antara jenis *Acaulospora*

sp dan *Gigaspora* sp memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata pada pertambahan jumlah daun bibit kakao. Jenis *Glomus* sp memberikan hasil rata-rata pertambahan jumlah daun bibit kakao dengan nilai tertinggi yaitu 32,25 helai.

Tabel 6. Jumlah daun bibit kakao pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur.

Jenis FMA	Dosis FMA (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(helai).....				
<i>Glomus sp</i>	25,00	27,33	30,00	30,67	32,25 a
<i>Gigaspora sp</i>	25,00	27,66	32,67	38,67	31,66 b
<i>Acaulospora sp</i>	24,66	25,33	27,00	39,63	31,86 b
Rata-rata	24,89	26,78	29,89	36,22	
	C	BC	B	A	
KK= 14,26 %					

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf besar yang sama pada baris yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji *Duncan Multiple Range Test* pada taraf 5%.

Jumlah daun yang lebih banyak pada perlakuan jenis *Glomus* sp berkaitan dengan pengamatan kolonisasi akar oleh FMA pada bibit kakao. Secara umum kolonisasi akar paling tinggi yaitu pada jenis *Glomus* sp (Tabel 4). Perkembangan dan kepadatan spora berhubungan dengan peningkatan kolonisasi akar, sehingga penyerapan unsur hara akan lebih baik dan akan mendukung pertambahan jumlah daun. Selain itu, hasil pengamatan jumlah daun pada penelitian ini berbanding lurus dengan hasil pengamatan pada parameter pertambahan tinggi bibit kakao, artinya pertambahan jumlah daun bibit kakao berhubungan dengan pertambahan tinggi bibit kakao. Semakin bertambah tinggi bibit kakao maka semakin banyak pula daun yang terbentuk.

Pertambahan jumlah daun mulai dari level dosis FMA 0 g/bibit sampai dengan dosis FMA 30 g/bibit mengalami peningkatan. Hasil pada perlakuan dosis FMA 0 g/bibit terhadap pertambahan jumlah daun bibit kakao memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan dosis FMA 10 g/bibit. Perlakuan dosis FMA 30 g/bibit merupakan perlakuan yang paling efektif dengan rata-rata pertambahan jumlah daun paling banyak yaitu 39,33 helai dibandingkan dosis lainnya. Pemberian dosis FMA berbanding lurus terhadap pertambahan

jumlah daun bibit kakao. Semakin tinggi dosis FMA yang diberikan maka semakin banyak jumlah daun yang muncul pada bibit kakao.

Peningkatan jumlah daun pada bibit kakao tidak terlepas dari peran unsur hara N yang membantu dalam proses pembelahan sel, sehingga daun muda pada bibit kakao lebih cepat mencapai bentuk yang sempurna. Menurut Lakitan (2011) tanaman yang tidak mendapatkan tambahan nitrogen akan tumbuh kerdil serta daun yang terbentuk juga lebih kecil, tipis dan jumlahnya akan sedikit. Sedangkan tanaman yang mendapat tambahan unsur nitrogen maka daun yang terbentuk akan lebih banyak dan lebar. Didukung oleh Sasmita *et al* (2019) menyatakan bahwa kemampuan mikoriza dalam penyerapan unsur hara melalui akar akan mempengaruhi pertumbuhan tinggi, jumlah daun dan luas daun. Unsur hara N memiliki fungsi untuk meningkatkan pertumbuhan daun, menyehatkan daun, menambah luas daun, memberikan warna daun lebih hijau, meningkatkan kadar protein dalam tanah dan sebagai komponen utama berbagai senyawa di dalam tanaman yaitu asam amino, klorofil, dan alkaloid.

Pembentukan daun juga dipengaruhi oleh unsur P. Sesuai dengan Ansyar *et al* (2017) menyatakan bahwa unsur P merupakan bagian penting dalam metabolisme tanaman dan digunakan sebagai pembentukan gula fosfat yang dibutuhkan tanaman pada saat fotosintesis. Unsur P dalam penyerapan unsur hara dapat mempengaruhi terbentuknya bulu-bulu akar sehingga memperluas bidang serapan hara oleh akar. Setelah penyerapannya, P didistribusikan ke berbagai jaringan seperti akar yang sedang tumbuh, daun yang sedang berkembang, bunga dan biji (Bucher, 2006).

E. Bobot Segar Tajuk

Bobot segar tajuk adalah bobot tanaman setelah dipanen sebelum tanaman tersebut layu dan kehilangan air. Selain itu, bobot segar tajuk merupakan total bobot tanaman tanpa akar yang menunjukkan hasil aktivitas metabolik tanaman itu sendiri.

Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis FMA dan dosis FMA terhadap bobot segar tajuk bibit kakao. Namun, faktor tunggal masing-masing memberikan pengaruh tidak nyata terhadap bobot segar

tajuk bibit kakao. Bobot segar tajuk bibit kakao pada perlakuan berbagai jenis dan dosis FMA saat umur 12 MST dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Bobot segar tajuk bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur.

Jenis FMA	Dosis FMA (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(gr).....				
<i>Glomus sp</i>	12,58	15,92	19,22	23,35	17,76 a
<i>Gigaspora sp</i>	12,91	15,51	16,32	19,12	15,96 b
<i>Acaulospora sp</i>	11,37	14,93	15,94	18,37	15,15 b
Rata-rata	12,29	15,45	17,16	20,28	
	D	C	B	A	
KK= 13,94 %					

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf besar yang sama pada baris yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji *Duncan Multiple Range Test* pada taraf 5%.

Tabel 7 menunjukkan bahwa perlakuan jenis FMA memberikan pengaruh yang berbeda terhadap bobot segar tajuk bibit kakao. Jenis FMA *Glomus sp* memberikan hasil rata-rata tertinggi terhadap bobot segar tajuk bibit kakao yakni 17,76 g. Hasil bobot segar tajuk bibit kakao berbanding lurus dengan hasil tinggi bibit dan jumlah daun. Jenis *Glomus sp* bersimbiosis lebih baik dengan bibit kakao dibandingkan jenis FMA lainnya yang dilihat dari persentase kolonisasi akar (Tabel 4), sehingga lebih efektif dalam penyerapan air dan unsur hara. Kebutuhan air dan unsur hara yang tercukupi menjadikan tanaman tumbuh dengan baik. Sesuai dengan hasil pengamatan tinggi bibit dan jumlah daun yang menunjukkan bahwa perlakuan *Glomus sp* memiliki tinggi bibit yang lebih tinggi dan jumlah daun yang lebih banyak sehingga bobot segar tajuk akan lebih berat dibandingkan perlakuan FMA lainnya.

Perlakuan dosis FMA menunjukkan bahwa penambahan dosis FMA 10g/bibit dan dosis FMA 20 g/bibit telah mampu meningkatkan pertambahan bobot segar tajuk bibit kakao. Penambahan dosis FMA dari 10 g/bibit menjadi 20 g/bibit juga meningkatkan rata-rata bobot segar tajuk bibit kakao akan tetapi

memperlihatkan pengaruh yang berbeda tidak nyata. Dosis FMA 20 g/bibit menunjukkan hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya terhadap bobot segar tajuk bibit kakao. Nilai rata-rata bobot segar tajuk tertinggi terlihat pada dosis FMA 30 g/bibit yakni 23,35 g.

Bobot segar tajuk bibit kakao meningkat seiring dengan peningkatan dosis FMA yang diberikan. Bobot segar tajuk terdiri dari batang dan daun yang merupakan akumulasi dari hasil fotosintesis dan dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara dan air. Bobot segar tajuk juga merupakan gambaran dari fotosintesis selama tanaman melakukan proses pertumbuhan. Pada perlakuan dosis FMA 30 g/bibit menghasilkan berat segar tajuk terberat. Hasil ini menunjukkan bahwa penyerapan unsur hara dan air lebih efektif yang sangat berguna untuk proses fotosintesis. Hasil fotosintesis akan ditranslokasikan pada bagian tanaman yang membutuhkan selama pertumbuhan vegetatif tanaman yang digunakan untuk membuat sel-sel batang dan daun sehingga dapat mempengaruhi bobot segar tajuk.

F. Bobot Kering Tajuk

Parameter lain untuk melihat pertumbuhan tanaman adalah bobot kering tajuk. Bobot kering tajuk mencerminkan akumulasi senyawa organik yang berhasil disintesis oleh tanaman. Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskular terhadap bobot kering tajuk bibit kakao. Namun, faktor tunggal masing-masing memberikan pengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk bibit kakao. Bobot kering tajuk bibit kakao pada perlakuan berbagai jenis dan dosis FMA saat umur 12 MST dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 menunjukkan bahwa perlakuan jenis FMA memberikan pengaruh yang berbeda terhadap bobot kering tajuk bibit kakao. Jenis *Acaulospora* sp memberikan pengaruh yang sama dengan *Gigaspora* sp. Jenis *Glomus* sp merupakan jenis FMA terbaik dan memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap bobot kering tajuk bibit kakao dibandingkan jenis *Acaulospora* sp dan *Gigaspora* sp. Jenis *Glomus* sp menunjukkan hasil rata-rata bobot kering tajuk dengan nilai tertinggi yaitu 5,40 g.

Tabel 8. Bobot kering tajuk bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur

Jenis FMA	Dosis FMA (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(gr).....				
<i>Glomus sp</i>	3,00	3,86	4,05	5,40	4,03 a
<i>Gigaspora sp</i>	2,04	2,94	2,78	4,20	2,99 b
<i>Acaulospora sp</i>	2,22	3,06	2,52	3,40	2,80 b
Rata-rata	2,42	3,29	3,12	4,33	
	D	B	C	A	
KK= 19,19 %					

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf besar yang sama pada baris yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji *Duncan Multiple Range Test* pada taraf 5%.

Bobot kering tajuk bibit kakao berkaitan dengan tinggi bibit dan jumlah daun yang dihasilkan. Pada pengamatan tinggi bibit dan jumlah daun bibit kakao, *Glomus sp* memberikan hasil tertinggi. Mardani (2005) menyatakan bahwa bertambahnya jumlah daun dapat mempengaruhi bobot kering tanaman. Dimana bobot tanaman erat sekali kaitannya dengan proses fotosintesis serta penyimpanan fotosintat. Hasil fotosintesis digunakan untuk respirasi dan asimilasi. Kemudian selebihnya disimpan pada bagian-bagian tertentu dari tanaman terutama batang dan akar.

Bobot kering tajuk menunjukkan efisiensi hasil fotosintesis sehingga semakin besar fotosintat yang diperoleh, maka semakin besar juga bobot kering yang dihasilkan oleh tanaman. Kelangsungan simbiosis antara tanaman dan mikoriza akan memberikan pengaruh terhadap proses – proses metabolisme tanaman. Fotosintesis juga akan berlangsung secara maksimal dan kebutuhan hara juga tercukupi untuk proses pertumbuhan tanaman. Semakin banyak kolonisasi mikoriza pada akar tanaman inang maka fotosintat yang dihasilkan juga akan semakin optimal. Telah diketahui bahwa tingkat kolonisasi *Glomus sp* pada bibit kakao menghasilkan persentase tertinggi (Tabel 4). Jadi, diduga bahwa fotosintat yang dihasilkan pada perlakuan *Glomus sp* akan semakin optimal, sehingga bobot

kering tajuk yang dihasilkan lebih berat dibandingkan perlakuan jenis FMA lainnya.

Perlakuan dosis FMA menunjukkan bahwa penambahan dosis FMA 10g/bibit dan dosis FMA 20 g/bibit telah mampu meningkatkan pertambahan bobot kering tajuk bibit kakao dibandingkan dosis FMA 0 g/bibit. Namun penambahan dosis FMA 10 g/bibit tidak memperlihatkan pengaruh yang signifikan. Nilai rata-rata bobot kering tajuk tertinggi terlihat pada dosis FMA 30 g/bibit yakni 17,76 g. Hal ini mengindikasikan bahwa dosis FMA 30 g/bibit lebih efektif untuk meningkatkan bobot kering tajuk bibit kakao dibandingkan perlakuan dosis FMA lainnya. Sejalan dengan hasil penelitian Ali *et al* (2023) yang menunjukkan bahwa pemberian FMA jenis *Glomus sp* sebanyak 20 g/bibit dan 25 g/bibit pada bibit kopi robusta memiliki nilai rata-rata berat kering tajuk tertinggi. Selain itu, penelitian Ramadhano (2022) juga menunjukkan bahwa dosis FMA 20 g/tanaman memberikan nilai rata-rata tertinggi pada bobot kering tajuk tanaman serai wangi yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur.

G. Bobot Segar Akar

Bobot segar akar merupakan bobot basah akar setelah panen tanpa proses pengeringan terlebih dahulu. Akar ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan satuan gram. Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis FMA dan dosis FMA terhadap bobot segar akar bibit kakao. Namun, faktor tunggal masing-masing memberikan pengaruh nyata terhadap bobot segar akar bibit kakao. Bobot segar akar bibit kakao pada perlakuan berbagai jenis dan dosis FMA saat umur 12 MST dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 menunjukkan bahwa perlakuan jenis Fungi Mikoriza Arbuskula memberikan hasil yang berbeda terhadap bobot segar akar bibit kakao. Perlakuan jenis *Gigaspora sp* memberikan pengaruh terhadap bobot segar akar bibit kakao dengan rata-rata terendah yaitu 6,73 g. Jenis *Acaulospora sp* memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata dengan jenis *Glomus sp* dan jenis *Gigaspora sp*. Sedangkan jenis *Glomus sp* memberikan hasil rata-rata tertinggi terhadap bobot segar akar bibit kakao yakni 9,15 g dan berbeda nyata dengan *Gigaspora sp*.

Tabel 9. Bobot segar akar bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur

Jenis FMA	Dosis FMA (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(gr).....				
<i>Glomus sp</i>	6,56	8,12	10,57	11,24	9,15 a
<i>Gigaspora sp</i>	7,00	8,12	10,57	11,24	6,73 c
<i>Acaulospora sp</i>	5,13	6,93	9,21	9,61	7,72 b
Rata-rata	6,23	7,52	9,61	10,62	
	D	B	C	A	
KK= 14,60 %					

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf besar yang sama pada baris yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji *Duncan New Multiple Range Test* pada taraf 5%.

Salah satu faktor yang mempengaruhi bobot segar akar bibit kakao adalah kadar air yang terkandung di dalam akar. Peningkatan kadar air di dalam akar dapat berdampak kepada peningkatan bobot segar akar. Manurung *et al* (2018) menyatakan bahwa pemberian mikoriza mampu meningkatkan rataan tekanan turgor. Tekanan turgor yang meningkat tidak lepas dari potensial air yang juga meningkat pada akar tanaman bermikoriza. Hal ini menunjukkan bahwa *Glomus sp* lebih efektif meningkatkan penyerapan air pada akar bibit kakao sehingga mempengaruhi bobot segar akar.

Perlakuan dosis FMA dari 0 g/bibit sampai dosis FMA 30 g/bibit terhadap bobot segar akar bibit kakao mengalami peningkatan yang signifikan. Penambahan dosis FMA dari 10 g/bibit menjadi 30 g/bibit juga mengalami peningkatan yang berbeda tidak nyata. FMA berperan dalam penyediaan unsur hara bagi tanaman, infeksi FMA akan menyebabkan perubahan morfologi dan fisiologi akar yaitu perubahan konsentrasi hormon tumbuh, naiknya laju fotosintat sehingga terjadi peningkatan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Peningkatan bobot basah pada akar yang berasosiasi dengan FMA disebabkan akibat penyebarluasan hifa eksternal ke dalam tanah dan membantu akar dalam menyerap unsur hara (terutama P) dan air lebih banyak secara maksimal.

H. Bobot Kering Akar

Bobot kering akar bibit kakao pada perlakuan berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula saat umur 12 MST dapat dilihat pada Tabel 10. Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap bobot kering akar bibit kakao. Namun, faktor tunggal dosis FMA memberikan pengaruh nyata terhadap bobot kering akar bibit kakao.

Tabel 10. Bobot kering akar bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis FMA di tanah bekas tambang kapur.

Jenis FMA	Dosis FMA (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(gr).....				
<i>Glomus</i> sp	1,15	1,25	1,19	1,29	1,31 a
<i>Gigaspora</i> sp	1,14	1,21	1,35	1,21	1,22 b
<i>Acaulospora</i> sp	1,15	1,23	1,16	1,31	1,21 b
Rata-rata	1,15	1,23	1,23	1,28	
	D	B	C	A	
KK= 10,85 %					

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf besar yang sama pada baris yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji *Duncan New Multiple Range Test* pada taraf 5%.

Pada Tabel 10 dapat dilihat bahwa perlakuan jenis Fungi Mikoriza Arbuskula memberikan pengaruh sama terhadap bobot kering akar bibit kakao. Hal ini disebabkan oleh perkembangan hifa Fungi Mikoriza Arbuskula di luar akar yang mampu membantu tanaman menyerap air dan unsur hara yang diperlukan tanaman. Hifa eksternal Fungi Mikoriza Arbuskula dapat memanjang beberapa sentimeter dari permukaan akar ke dalam tanah (Smith & Read, 2008). Panjang hifa di luar akar ini dapat mencapai 111 m per cm³ tanah di padang rumput dan 81 m per cm³ tanah di padang penggembalaan (Miller *et al.*, 1995).

Pada perlakuan dosis FMA, dapat dilihat bahwa perlakuan dosis FMA 30 g/bibit terhadap bobot kering akar bibit kakao menghasilkan rata-rata dengan nilai tertinggi yaitu 1,31 g, dan rata-rata terendah yaitu pada dosis FMA 0 g/bibit dengan nilai 1,15 g. Dari Tabel 10 tersebut, dapat dikatakan bahwa semakin tinggi dosis

FMA yang diberikan maka semakin berat pula bobot kering akar yang dihasilkan. Bobot kering akar merupakan akumulasi fotosintat yang berada di akar. Kelangsungan simbiosis antara tanaman dan FMA akan berpengaruh terhadap proses – proses metabolisme tanaman yang mempengaruhi pembentukan akar – akar baru dan meningkatkan permeabilitas membran akar. Selanjutnya, dinyatakan pula bahwa akar yang bermikoriza mempunyai kandungan auksin yang lebih tinggi yang memungkinkan peningkatan pertumbuhan akar. Melan (2019) menyatakan bahwa pemberian FMA dapat meningkatkan jumlah akar, ukuran percabangan akar, dan diameter akar. Banyaknya jumlah akar dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman karena unsur hara yang diterima tanaman lebih banyak. Akar tanaman yang telah terinfeksi oleh mikoriza akan membuat jumlah akar menjadi lebih banyak dan volume akar menjadi lebih besar. Dengan demikian maka bobot kering akar akan meningkat.

I. Rasio Tajuk Akar

Rasio tajuk akar adalah hasil perbandingan antara bobot tajuk yang terdiri dari batang, cabang dan daun dengan bobot akar tanaman. Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap rasio tajuk akar bibit kakao. Namun faktor tunggal masing-masing memberikan pengaruh nyata terhadap rasio tajuk akar bibit kakao. Rasio tajuk akar bibit kakao pada perlakuan berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula saat umur 12 MST dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 menunjukkan bahwa perlakuan jenis FMA memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap rasio tajuk akar bibit tanaman kakao. Jenis *Acaulospora sp* memberikan pengaruh yang sama dengan *Gigaspora sp*. Jenis *Glomus sp* merupakan jenis FMA terbaik dan memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap rasio tajuk akar bibit tanaman kakao dibandingkan jenis *Acaulospora sp* dan *Gigaspora sp*. Jenis *Glomus sp* menunjukkan hasil rata-rata rasio tajuk akar dengan nilai tertinggi yaitu 2,25.

Tabel 11. Rasio tajuk akar bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula di tanah bekas tambang kapur.

Jenis FMA	Dosis FMA (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(gr).....				
<i>Glomus</i> sp	1,61	1,83	1,48	2,25	1,86 a
<i>Gigaspora</i> sp	1,14	1,91	2,15	1,93	1,71 b
<i>Acaulospora</i> sp	1,69	1,83	1,74	1,72	1,74 b
Rata-rata	1,73	1,86	1,79	1,96	
	B	A	A	A	
KK= 16,35 %					

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf besar yang sama pada baris yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji *Duncan New Multiple Range Test* pada taraf 5%.

Rasio tajuk akar yang diperoleh pada perlakuan *Glomus* sp mengindikasikan bahwa pertumbuhan bibit kakao pada bagian tajuk meningkat (Tabel 8) yang diakibatkan kolonisasi akar yang meningkat (Tabel 4). Hal ini tentu saja berkaitan dengan proses penyerapan air dan unsur hara oleh FMA. Bibit kakao mendapatkan cukup air dan unsur N yang digunakan untuk metabolisme tanaman karena unsur N mempunyai pengaruh yang nyata terhadap rasio tajuk akar. Pertumbuhan pucuk yang baru dirangsang oleh N, sehingga pucuk menjadi tempat pemanfaatan hasil asimilasi yang lebih kuat dibandingkan akar, akibatnya pertumbuhan pucuk lebih besar daripada pertumbuhan akar. Hal ini menyebabkan rasio tajuk akar akan semakin meningkat.

Nilai rasio tajuk akar yang tinggi menunjukkan bahwa bobot kering tajuk yang dihasilkan lebih besar dibandingkan bobot kering akar. Nilai rasio tajuk akar menunjukkan pertumbuhan yang dominan ke tajuk atau ke perakaran. Peranan akar dalam pertumbuhan tanaman sama pentingnya dengan tajuk, kalau tajuk berfungsi untuk menyediakan karbohidrat melalui proses fotosintesis, maka fungsi akar adalah menyediakan unsur hara dan air yang diperlukan dalam metabolisme tanaman.

Perlakuan dosis FMA 10 g/bibit, 20 g/bibit, dan dosis 300 g/bibit masing-masing memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata terhadap rasio tajuk akar bibit kakao, akan tetapi memberikan pengaruh yang berbeda nyata dibandingkan dengan dosis FMA 0 g/bibit. Hal ini mengartikan bahwa pemberian dosis FMA telah mampu meningkatkan rasio tajuk akar bibit kakao dibandingkan tanpa pemberian FMA.

J. Laju Asimilasi Bersih

Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis FMA dan dosis FMA terhadap laju asimilasi bersih bibit kakao, namun faktor tunggal masing-masing memberikan pengaruh nyata terhadap laju asimilasi bersih bibit kakao. Laju asimilasi bersih bibit kakao pada perlakuan berbagai jenis dan dosis FMA saat umur 12 MST dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Laju asimilasi bersih bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula di tanah bekas tambang kapur.

Jenis FMA	Dosis FMA (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(g/cm ² /hari).....				
<i>Glomus</i> sp	0,0058	0,0087	0,0103	0,0076	0,0081 a
<i>Gigaspora</i> sp	0,0042	0,0068	0,0077	0,0096	0,0070 b
<i>Acaulospora</i> sp	0,0056	0,0066	0,0077	0,0054	0,0063 b
Rata-rata	0,0052	0,0074	0,0083	0,0072	
	B	A	A	A	

KK= 19,82 %

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf besar yang sama pada baris yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji *Duncan New Multiple Range Test* pada taraf 5%.

Pada Tabel 12 menunjukkan bahwa perlakuan jenis FMA memberikan pengaruh yang berbeda terhadap laju asimilasi bersih bibit kakao. Perlakuan jenis *Glomus* sp memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan jenis *Acaulospora* sp dan *Gigaspora* sp. Perlakuan jenis *Acaulospora* sp dan *Gigaspora* sp memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata terhadap laju asimilasi bersih bibit kakao.

Perlakuan jenis *Glomus* sp menunjukkan rata-rata dengan nilai tertinggi yakni 0,0086. Hal ini berkaitan dengan kolonisasi akar pada bibit kakao. *Glomus* sp memberikan hasil tertinggi pada kolonisasi akar. sehingga penyerapan air dan unsur hara berlangsung dengan efektif dan bibit kakao dapat tumbuh dengan baik. Sesuai dengan pendapat Rahman (2021) yang menyatakan bahwa apabila tanaman subur, daun atau organ lainnya akan berkembang dengan baik sehingga mempengaruhi laju asimilasi bersih suatu tanaman.

Laju asimilasi bersih merupakan ukuran kemampuan fotosintesis tanaman. Semakin luas daun tanaman maka akan semakin banyak cahaya yang digunakan untuk fotosintesis, sehingga hasil fotosintat yang terbentuk di daun akan semakin banyak ditandai dengan berat kering tanaman. (Safitri *et al* 2018) menyatakan bahwa daun yang semakin luas maka laju asimilasi bersih semakin meningkat. Apabila air dan unsur hara tercukupi maka akan memperlambat proses penuaan daun sehingga akan meningkatkan laju asimilasi bersih tanaman. Namun, apabila air dan unsur hara tidak tercukupi maka akan menyebabkan persaingan dalam pendistribusian air dan unsur hara pada daun tua dan daun muda sehingga daun akan kekurangan air dan unsur hara.

Pada perlakuan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap laju asimilasi bersih bibit kakao didapatkan hasil yang berbeda tidak nyata pada dosis 10 g/bibit, 20 g/bibit, 30 g/bibit. Akan tetapi, masing masing dosis Fungi Mikoriza Arbuskula tersebut memberikan pengaruh yang berbeda nyata dibandingkan dosis 0 g/bibit. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian dosis Fungi Mikoriza Arbuskula dapat meningkatkan laju asimilasi bersih secara nyata dibandingkan tanpa perlakuan Fungi Mikoriza Arbuskula, akan tetapi peningkatan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula dari 10 g/bibit hingga 30 g/bibit belum mampu meningkatkan laju asimilasi bersih secara nyata. Hal ini diduga karena rentang dosis yang diberikan tidak terlalu besar dan hanya berjarak 10 g pada setiap perlakuan sehingga belum mampu memperlihatkan peningkatan laju asimilasi bersih secara nyata.

K. Laju Tumbuh Relatif

Data hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap laju tumbuh relatif bibit kakao. Faktor tunggal masing-masing juga memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata terhadap laju tumbuh relatif bibit kakao. Laju tumbuh relatif bibit kakao pada perlakuan berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula saat umur 12 MST dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Laju tumbuh relatif bibit kakao umur 12 MST pada berbagai jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula di tanah bekas tambang kapur.

Jenis FMA	Dosis FMA (g/bibit)				Rata-rata
	0	10	20	30	
	(g/g/hari).....				
<i>Glomus sp</i>	0,0619	0,0550	0,0554	0,0650	0,0059
<i>Gigaspora sp</i>	0,0537	0,0557	0,0584	0,0560	0,0055
<i>Acaulospora sp</i>	0,0619	0,0594	0,0513	0,0484	0,0045
Rata-rata	0,0556	0,0567	0,0544	0,0562	
KK : 25,74 %					

Keterangan : Angka-angka pada baris dan kolom menunjukkan berbeda tidak nyata menurut uji F taraf 5%

Data Tabel 13 dapat dilihat bahwa perlakuan jenis Fungi Mikoriza Arbuskula menunjukkan pengaruh yang sama terhadap laju pertumbuhan relatif bibit kakao. Namun, rata-rata paling tinggi yaitu pada *Glomus sp*. Perlakuan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula juga menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata terhadap laju pertumbuhan relatif bibit kakao. Namun, rata-rata paling tinggi yaitu pada perlakuan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula 30 g/bibit. Hal ini diduga disebabkan oleh jarak dosis antar perlakuan terlalu dekat sehingga belum mampu meningkatkan laju tumbuh relatif tanaman yang diberikan perlakuan Fungi Mikoriza Arbuskula.

Laju tumbuh relatif sangat dipengaruhi oleh berat kering tanaman. (Fitriyah 2016) menyatakan bahwa berat kering tanaman berkaitan erat dengan laju tumbuh relatif, kenaikan nilai laju tumbuh relatif pada fase pertumbuhan tanaman berkaitan

dengan proses penyerapan unsur hara dan air untuk pembentukan klorofil pada daun dan melakukan proses fotosintesis. Fotosintat yang dihasilkan akan difokuskan untuk pertumbuhan vegetatif tanaman dan menambah bobot kering tanaman.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

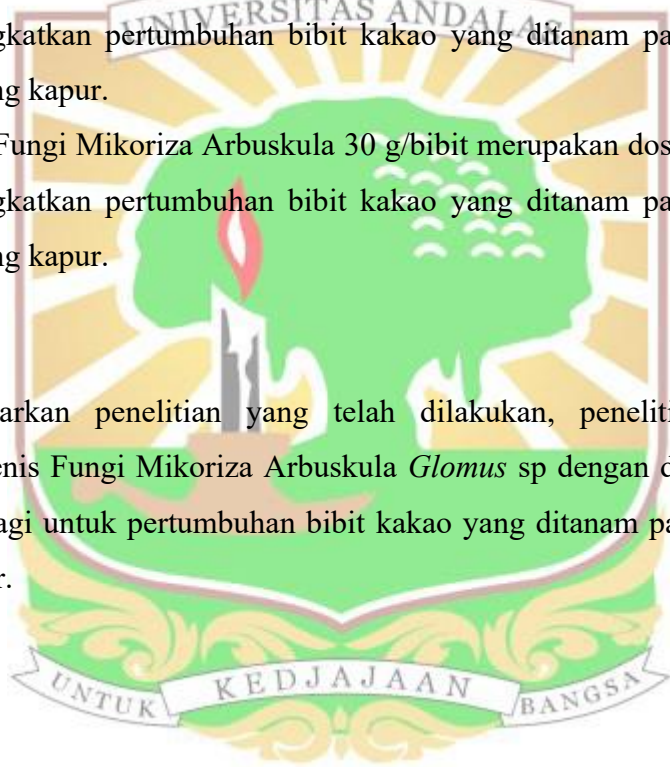
A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa :

1. Tidak terdapat interaksi antara jenis dan dosis Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur.
2. Jenis Fungi Mikoriza Arbuskula *Glomus* sp merupakan jenis terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur.
3. Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula 30 g/bibit merupakan dosis terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada tanah bekas tambang kapur.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan penggunaan jenis Fungi Mikoriza Arbuskula *Glomus* sp dengan dosis yang lebih ditingkatkan lagi untuk pertumbuhan bibit kakao yang ditanam pada lahan bekas tambang kapur.



DAFTAR PUSTAKA

- Adman, B. (2012). *Potensi Jenis Pohon Lokal Cepat Tumbuh Untuk Pemulihan Lingkungan Lahan Pascatambang Batubara (Studi Kasus di PT. Singlurus Pratama. Kalimantan Timur)*. [Tesis]. Semarang. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. 76.
- Alayyka, N. P. & Prasetya, B. (2022). Kepadatan Spora Dan Persen Koloni Mikoriza Vesikula Arbuskula (MVA) Pada Beberapa Tanaman Pangan di Lahan Pertanian Kecamatan Jabung Malang. *Jurnal Tanah Dan Sumber Daya Lahan*, 9(2), 267-276.
- Ali, F. Y. E., Rosdiana., Kusumaningtyas, R. N., & Budianto, A. (2023). Pengaruh Inokulasi Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Bibit Kopi Robusta (*Coffea canephora*). *Agropross. National Conference Proceedings of Agriculture*, 165-172.
- Anastasia, D. (2014). *Studi Efektivitas Berbagai Bahan Pembawa (Carrier) Terhadap Propagul Mikoriza Asal Desa Condro. Kecamatan Pasirian. Lumajang*. [Tugas Akhir]. Surabaya. Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh November. 52.
- Anjani, I. R. D. (2007). Peran, Prospek dan Kendala Dalam Pemanfaatan Endomikoriza. *Makalah. Fakultas Pertanian. Universitas Padjajaran. Jatinangor*.
- Ansyar, A., Fetmi, S., & Murniati. (2017). Pengaruh Pupuk Kascing dan Mikoriza Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *JOM Faperta* 4 (1).
- Aprilia, A., Budi, B., & Cahyo, C. (2019). Aplikasi Ektomikoriza pada Media Tanam Bekas Tambang Kapur untuk Peningkatan Pertumbuhan *Acacia mangium*. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 5(2), 78-90.
- Apria, A. (2020). Ketergantungan Tanaman pada Mikoriza selama Fase Pembibitan. Dalam A. P. Nata (Ed.), *Prosiding Konferensi Nasional Biologi X: Tema Bioremediasi dan Konservasi* Jakarta, Indonesia: Penerbit Biologi Nasional, 215-225.
- Armansyah. (2001). *Uji Efektivitas Dosis Beberapa Jenis Cendawan Mikoriza Arbuskula Terhadap Pertumbuhan Bibit Tanaman Kakao (Uncaria kakao Roxb)*. [Tesis]. Padang. Program Pascasarjana Universitas Andalas. 59 hal.
- Armansyah., Herawati, N., & Kristina, N. (2019). Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) di Rizosfer Tanaman Bengkuang (*Pachyrizhus erosus* L) Mrb) Pada Berbagai Tipe Rotasi Pertanaman. *Jurnal Agroteknologi Universitas Andalas*, 3(1), 8-14.

- Asmi, A., Siti, S., & Saida. (2021). Perbanyak Mikoriza dengan Penggunaan Tanaman Inang Kedelai dengan Berbagai Dosis Kompos. *Jurnal Agrotekmas*, 2(1), 70-80.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2013). *Budidaya dan Pengolahan Kakao*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Utara.
- Badan Pusat Statistik Sumatera Barat. (2023). *Luas Lahan dan Produksi Kakao Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Sumatera Barat 2020-2022*. Sumatera Barat: Padang. <https://sumbar.bps.go.id/> diakses pada 21 September 2023
- Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia. 2017. *Database Peraturan: Pertambangan Mineral dan Batubara*. <https://peraturan.bpk.go.id>.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2010). *The nature and properties of soils* (13th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Bucher, M. (2006). Phosphate transport into plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 9(3), 273-280.
- Bogawa, M., Megadana, H., & Wulandari, S. (2011). Impelementasi Reklamasi Lahan Bekas Tambang Timah di Dalam Kawasan Hutan. *Karya Tulis Bidang Sosial Ekonomi. Jurusan Manajemen Hutan*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Daulay, A. P. (2015). *Eksplorasi Jamur Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) Pada Daerah Perakaran Tumbuhan di Lahan Gambut*. [Skripsi]. Pekanbaru. Fakultas Pertanian Universitas Islam Negeri Sultan Kasim Riau. 42 hal.
- Direktorat Jendral Perkebunan (2023). Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2021-2023. In Direktorat Jendral Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Sekretariat Direktorat jendral perkebunan. <https://ditjenbun.pertanian.go.id/template/uploads/2021/04/BUKUSTATIS-TIK-PERKEBUNAN-2019-2021-OK.pdf> diakses pada 21 September 2023
- Delvian. (2005). Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Infeksi Mikoriza pada Tanaman. *Jurnal Biologi X*, 10(1), 15-25.
- Denian, A., Hadad, M., & Wahyuni, S. (2008). Karakteristik Pohon Induk Kakao (*Uncaria kakao* (Hunter) Roxb.) Di Sentra Produksi Sumatra Barat Dan Riau. *Bul. Littro*, 19(1), 18-38.
- Dewi, N. K. S., Wirawan, G. P., & Sritamin, M. (2014). Identifikasi Mikoriza Arbuskula Secara Mikroskopis pada Rhizosfer Beberapa Jenis Rumputrumputan dan Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 3(4), 259 – 268.
- Ervayenri. (2020). Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskua (FMA) Lahan Kampus Universitas Lancang Kuning (UNILAK). Wahan Foresta: *Jurnal Kehutanan*, 15(2), 79-92.

- Evrina, Y. (2016). *Efektivitas Penambahan EM4 Dan Pupuk Kandang Terhadap Pertumbuhan Calopogonium mucunoides Desv. di Area Bekas Tambang Batubara*. [Skripsi]. Yogyakarta. Fakultas Teknobiologi Universitas Atma Jaya Yogyakarta. 66 hal.
- Fitriyah, N. (2016). *Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair Limbah Tahu terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai Rawit (Capsicum frutescens L.)* [Skripsi]. Universitas Jenderal Soedirman.
- Garg, N., & Chandel, S. (2010). Arbuscular Mycorrhizal Network: Process and Function, A Review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 581-599.
- Ghofar, A. (2017). Kelimpahan Fungi Mikoriza Arbuskular Asal Rhizosfer Fungi Mikoriza Arbuskular Asal Rhizosfer Nanas di Lahan Gambut. *Artikel Ilmiah. Jambi. Fakultas Pertanian Universitas Jambi*. 14 hal.
- Guivin, M. A. C., Agustin, C. M., Juan, C. G. A., Adela, V. T., Gladstone, A. S. & Fritz, O. (2019). *Acaulospora Aspera*, A New Fungal Species in the Glomeromycetes from Rhizosphere Soils of the Inka Nut (*Plukenetia volubilis* L.) In Peru. *Journal Of Applied Botany and Food Quality*, 92(1), 250-257.
- Habibie, M. D., & Prabowo, H. (2020). Estimasi Sumberdaya Batubara menggunakan Perbandingan Metode Polygon dan Cross Section di Pit I Pt. Atoz Nusantara Mining. Pesisir Selatan. Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 5(2), 125-135.
- Hajoeningtjas, O. D. (2009). Ketergantungan Tanaman Terhadap Mikoriza Sebagai Kajian Potensi Pupuk Hayati Mikoriza Pada Budidaya Tanaman Berkelanjutan. *Jurnal Agritech*, 11(2), 125 – 136.
- Hanis, R. N., Bargawa, W. S., & Ernawati, R. (2021). Biaya Reklamasi dan Revegetasi Lahan Bekas Tambang Batubara. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi Tahun 2021 (ReTII)*: 324-329.
- Haryanto, S. 2009. *Ensiklopedi Tanaman Obat Indonesia*. Yogyakarta: Palmal.
- Hasan, A. Denian., A. J. P. Irfan., Tamsin & Burhaman. (2000). *Teknologi Budidaya dan Pengolahan Kakao*. didalam: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sukarami. Deptan. Badan Litbang. 29 hal.
- Havlin, J. L., Beaton J. D., Tisdale, S.L., & Nelson, W. L. (2005). Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. *Seventh Edition. Pearson Education Inc. New Jersey. Upper Saddle River*.
- Hirfan. (2016). Strategi Reklamasi Lahan Pasca Tambang. *Jurnal Ilmiah Ilmu-ilmu Teknik*. 1(1), 101-108.
- INVAM. (2020). International Culture Collection of Vesikular Arbuscular Mychorizal Fungi (US). The Fungi: Classification, Nomenclature and Species Descriptions. <http://invam.caf.wvu.edu>

- INVAM. (2024). International Culture Collection of Vesikular Arbuscular Mychorizal Fungi (US). The Fungi: Classification, Nomenclature and Species Descriptions. <http://invam.caf.wvu.edu>
- Iskandar, Suwardi., & Suryaningtyas, D. T. (2009). Reklamasi Lahan-Lahan Bekas Tambang: Beberapa Permasalahan Terkait Sifat-sifat Tanah dan Solusinya. Dalam Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi. *Prosiding Seminar Nasional Topik Khusus; Bogor: 29-30 Juni 2012*. Bogor. Pusat Studi Reklamasi Tambang. LPPM – IPB. Hal 1-8.
- Islamiyah, D. P., Imam, M., & Pujiastuti. (2017). Pengaruh Mikoriza +MHB Terhadap Serapan Fosfat dan Derajat Infeksi Akar Bibit Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.). *Jurnal Saintifik*, 19(1), 9-18.
- Isnawati, A. (2012). Karakterisasi Tiga Jenis Ekstrak Kakao (*Uncaria cacao* Roxb) dari Sumatera Barat. *Buletin Penelitian Kesehatan*, 40 (4), pp.201-08.
- Kramadibrata, K. (2016). Keanekaragaman Jamur Arbuskula Di Pulau Enggano. *Jurnal Ilmu-ilmu Hayati*. 15(3), 257-265.
- Kartika, E., Lizawati., & Hamzah. (2012). Isolasi, Identifikasi Dan Pemurnian Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) Dari Tanah Bekas Tambang Kapur. *Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Jambi*, 1(4).
- Khanday, M. U. D., Rouf, A. B., Syamsul, H., Moonisa, A. D., Asma, A. B., Menhu, N. & Mohd, R. M. (2016). Arbuskular Mycorrhizal Fungi Boon for Plant Nutrition and Soil Health. *Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives*, 2 (5), 317-332.
- Koramik, P. P., & Graw, A. C. Mc. (1982). Quantification of VA Mycorrhizae in Plant Root. Di dalam: N. C. Schenk (Ed). *Methods and Principles of mycorrhizae research. The American Phytop. Soc.* 46, 37-45
- Kurnia., Gusmiaty & Larekeng, S. H. (2019). Identifikasi Dan Karakterisasi Mikoriza Pada Tegakan Nyatoh (*Palaquium sp.*). *Jurnal Perennial*. 15(1), 51 – 57.
- Kimi. A.P. (2020). Respons Pertumbuhan Beberapa Spesies Gaharu (*Aquilaria* Spp.) Akibat Pemberian Fma (*Fungi Mikoriza Arbuskula*) Pada Media Tanah Bekas Tambang Kapur. Padang. Universitas Andalas
- Lakitan, B. (2011). *Fisiologi Tumbuhan dan Perkembangan Tanaman*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Latifah, S. (2003). Kegiatan Reklamasi Lahan Pada Bekas Tambang. *Makalah USU Digital Library. Program Ilmu Kehutanan*. Jurusan Managemen Hutan. Universitas Sumatera Utara. Medan. 6 hal.
- Lele, A. (2018). *Struktur dan Fungsi Mikoriza Arbuskula*. Airlangga University Press.

- Lubis, N. (2021). Pengaruh Mikoriza Dan Mikroba Pelarut Fosfat Terhadap Serapan P Dan Pertumbuhan Dan Produksi Kacang Hijau (*Vigna radiata*) Pada Bekas Lahan Sawah. *Jurnal Institusi Politeknik Ganesha Medan*, 4 (2), 179-189.
- Lukman, L. (2010). Efek pemberian fosfor terhadap pertumbuhan dan status hara pada bibit manggis. *J. Hortik*, 20(1), 18–26.
- Makarov, M. I. (2019). The Role of Mycorrhiza in Transformation of Nitrogen Compounds in Soil and Nitrogen Nutrition of Plants: A Review. *Soil Biology. Eurasian Soil Science*, 52(2), 193–205.
- Manurung, A. M., Sahar, A., & Guchi, H. (2018). Efektifitas Pemberian Beberapa Jenis Mikoriza Terhadap Osmoregulasi tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) Pada Lahan Dengan Cekaman Kekeringan Yang Telah Diberi Bahan Organik di Desa Aek Godang, Kecamatan Hulu Sihapas, Kabupaten Padang: *Jurnal Online Agroteknologi*. 6(1), 153-157.
- Mardani, D. Y. (2005). Pengaruh Jumlah Ruas dan Komposisi Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Bibit Stek Nilam. *Journal Agronomi Agroswagati*, 3(1).
- Margareththa. (2010). Pemanfaatan Tanah Bekas Tambang Batubara Dengan Pupuk Hayati Mikoriza Sebagai Media Tanaman Jagung Manis. *J. Hidrolitan*, 1(3), 1–10. Staf Pengajar pada Fakultas Pertanian. Universitas Jambi.
- Margareththa. (2011). Eksplorasi Dan Identifikasi Mikoriza Indigen Asal Tanah Bekas Tambang Batubara. *Berita Biologi Jurnal Ilmu-ilmu Hayati* 10 (5).
- Marlina. (2020). Pengembangan Mikoriza dalam Perlindungan Tanaman untuk Mewujudkan Ketahanan pangan. Dalam Tantangan Pengadaan Pangan Masa Depan. Prosiding Webinar Nasional. Aceh; 5 Desember 2020. *Himpunan Mahasiswa Proteksi Tanaman Faperta Unsyiah*. Hal 1 – 20.
- Marlinda. (2018). Identifikasi Kadar Katekin Pada Kakao (*Uncaria Kakao Roxb*). *Jurnal Optimalisasi* 4 (1).
- Mashud, N., & Manaroinson, E. (2014). Pemanfaatan Lahan Bekas Tambang Kapur untuk Pengembangan Sagu. *Jurnal B. Palma*, 15(1), 56 – 63.
- Masria. (2015). Peranan Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) Untuk Meningkatkan Resistensi Tanaman Terhadap Cekaman Kekeringan Dan Ketersediaan P Pada Lahan Kering. *Partner*, 15(1), 48 – 56.
- Maulana, M., & Harahap, D. E. (2023). Peningkatan Produksi Tanaman Okra Akibat Pemberian Beberapa Jenis Mikoriza dan Dosis Rock Phosphat pada Tanah Salin. *Journal AgroLivestock (JAL)*, 1(1), 14-26.
- Melan, S. F. (2019). Aplikasi Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula (*Fma*) Pada Tanah Bekas Tambang Kapur Yang Telah Di Revegetasi Terhadap Sifat Kimia

- Tanah Dan Pertumbuhan Tanaman Cabai (Capsicum annum L.).* [Skripsi]. Padang. Universitas Andalas.
- Miller, R. M., Reinhardt, D. R., & Jastrow, J. D. (1995). External hyphal production of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie. *Oecologia* 103:17-23.
- Miska, M. E. E., Junaedi, A., Wachjar, A., & Mansur, I. (2016). Karakterisasi Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Rhizosfer Aren (*Arenga pinnata* (Wrmbs) Merr.) Dari Jawa Barat Dan Banten. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 7(1), 18-23.
- Munawar, A. (2017). *Pengelolaan Air Asam Tambang: Prinsip – Prinsip dan Penerapannya*. Unib Press. Universitas Bengkulu. Bengkulu. 91 hal.
- Nursanti, I. (2018). Karakteristik Tanah Area Pasca Penambangan Di Desa Tanjung Pauh. *Jurnal Media Pertanian*, 3(2), 54 – 60.
- Nurhayati. (2019). Perbanyak mikoriza dengan metode kultur pot. *Jurnal Wahana Inovasi* 8(1): 1-6.
- Nurtjahyani, S. (2018). Pengaruh Mikoriza terhadap Peningkatan Biomassa Tanaman. *Jurnal Agronomi Tropika*, 12(4), 110-125.
- Nusantara, A. D., Bertham, R.Y.H., & Mansur, H. I. (2012). Bekerja dengan Fungi Mikoriza Arbuskula. *Seameo Biotrop*. IPB. Bogor. Indonesia.
- Oktabrina, G., & Sofyani, R. (2021). Upaya Perbaikan Sifat Kimia Lahan Bekas Tambang Emas Dengan Pemberian Amelioran Terhadap Pertumbuhan Kedelai di Kabupaten Sijunjung. *Jurnal Agrium*, 18(1), 57-62.
- Octavianti, E. N & Ermavitalini, D. (2014). Identifikasi Mikoriza Dari Lahan Desa Poteran Pulau Poteran. Sumenep. *Jurnal Sains Pomits*, 3(2), 53 – 57.
- Osalina, H. (2015). *Pengaruh Pemberian Mikoriza Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jarak Pagar Tomat Dan Lamtoro Yang Ditumbuhkan Pada Media Cekaman Mn Dengan Metode Cawan*. [Tugas Akhir]. Surabaya. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 77 hal.
- Permata, W. (2021). *Kajian Sifat Fisika dan Biologi Tanah Pada Beberapa Umur Revegetasi Lahan Bekas Tambang Batubara di PT. Allied Indo Coal Jaya Sawahlunto*. [Skripsi]. Diploma Universitas Andalas. Padang.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- Prasetyo, R., Sasli, I., & Ramadhan T. H. (2019). Identifikasi Vegetasi dan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) pada Lahan Bekas Tambang. *J. Agron*, 47(2), 217-223.

- Prayudyaningsih, R., & Sari, R. (2016). Aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) dan Kompos untuk Meningkatkan Pertumbuhan Semai Jati (*Tectona grandis* Linn.) pada Media Tanah Bekas Tambang Kapur. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 5(1), 37–46.
- Pujianto. (2001). Pemanfaatan Jasad Mikro Jamur Mikoriza dan Bakteri Dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan di Indonesia: Tinjauan Dari Perspektif Falsafah Sains. *Makalah. Program Pascasarjana. Bogor. Institut Pertanian Bogor*. Bogor. 15 hal.
- Puspitasari, D., K. I. Purwani dan A. Muhibuddin. (2012). Eksplorasi Vesicular Arbuscular Mycorrhiza (VAM) Indigenous pada Lahan Jagung di Desa Torjun. Sampang Madura. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1, 19 – 22.
- Raharja, R. (2015). *Pengaruh inokulasi FMA terhadap pertumbuhan tanaman pada lahan pasca tambang timah*. Fakultas Pertanian, Universitas Bangka Belitung.
- Rahman, A. (2021). *Pengaruh Rhizobium dan Abu Sekam Padi terhadap Pertumbuhan serta Produksi Kacang Panjang (Vigna sinensis L)*. [Skripsi]. Universitas Islam Riau.
- Rahmawan, I. S., Arifin, A. Z., & Sulistyawati, S. (2019). Pengaruh Pemupukan Kalium (K) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kubis (*Brassica oleraceae* var. capitata, L.). *Jurnal Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, 3(1), 18-24.
- Rahmawaty. (2002). Restorasi Lahan Bekas Tambang Berdasarkan Kaidah Ekologi. *Makalah USU Digital Library*. Program Ilmu Kehutanan. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan. 8 hal.
- Rajapakse, D., & Miller Jr J. C. 1992. Methods for Studying Vesicular-Arbuscular Bulgaricus dan Lactobacillus Casei (bakteri asam laktat). *Majalah Formasi Airlangga*, 6(2), 53-56.
- Ramadhano, A. 2022. *Pengaruh Jenis Dan Dosis Inokulan Fma Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Serai Wangi (Cymbopogon Nardus L.) Di Tanah Bekas Lahan Tambang Sawahlunto*. [Tesis]. Padang. Program Pascasarjana Universitas Andalas.
- Rizal, A., Kissinge & Syam'ani. (2020). Analisis Keberhasilan Revegetasi Pasca Tambang Batubara Di Pd. Baramarta Kabupaten Banjar Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scienteae*, 03(1), 13-25.
- Rokhminarsi, E., Begananda., & Utami D. S. (2011). Identifikasi Mikoriza Spesifik Lokasi Lahan Marjinal Sebagai Pupuk Hayati Dalam Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Agritop Ilmu – Ilmu Pertanian*, 12 – 19.
- Rokhminarsi, E., & Utami, D. S. (2020). Yield and Quality of Tomatoes on the Giving of Mikotricho and NPK Fertilizer. *Jurnal Hortikultura Indonesia*. 11(3).

- Rukmi, A., Bratawinata, A., Pitopang, R., & Matius, P. (2017). Sifat Fisik dan Kimia Tanah pada Berbagai Ketinggian Tempat di Habitat Eboni (*Diospyros celebica* Bakh). DAS Sausu Sulawesi Tengah. *Warta Rimba*, 5(1), 28-36.
- Sari, W., Widyastuti, W. N., & Setiabudi, R. (2015). Kandungan senyawa polifenol dan sifat antioksidan pada ekstrak biji kakao fermentasi. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 16(2), 114–122.
- Saputri, Y.E., Noli, Z.A. & Suwirmen. (2016). Respon pertumbuhan tanaman *Desmodium heterophyllum* Willd Dc dengan pemberian fungi mikoriza arbuskular (FMA) pada tanah lahan bekas tambang batubara Sawah Lunto. *Jurnal Biocelebes* 10(2): 52-60.
- Safitri, R., Fuskhah, E., & Karno. (2018). Karakteristik fotosintesis dan produksi kedelai (*Glycine max* L. Merrill) akibat salinitas air penyiraman yang berbeda. *J. Agro Complex*, 2(3), 244–247.
- Syahputra, A. (2015). Peran Sektor Pertambangan dalam Mendorong Perekonomian Nasional Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 23(2), 123-140.
- Sagala, Y., Hanafiah, A. S., & Razali. (2013). Peranan mikoriza terhadap pertumbuhan, serapan P dan Cd tanaman sawi (*Brassica juncea* L.) serta kadar P dan Cd Andisol yang diberi pupuk fosfat alam. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 2(1), 487–500.
- Sasmita, M. W. S., Nurhatika, S., & Muhibuddin, A. (2019). Pengaruh dosis mikoriza arbuskular pada media AMB-P0K terhadap pertumbuhan tanaman tembakau (*Nicotiana tabacum* var. Somporis). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(2), E43-E48.
- Setiadi, Y., & Setiawan, A. (2011). Studi Status Fungi Mikoriza Arbuskula di Areal Rehabilitasi Pasca Penambangan Nikel. *Jurnal Silvi Kultur Tropika*, 3(1), 88-95 hal.
- Setiawan, A. (2007). Pemanfaatan Biji Kakao Sebagai Bahan Baku Industri Makanan dan Non makanan. *Jurnal Agritech*, 27(4), 183–190.
- Simanjuntak, N. K., Muzar, M., & Alby, S. (2023). Respon Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Merril Terhadap Aplikasi Berbagai Dosis Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA). *Agronitas*, 5(2), 372-382.
- Simanungkalit, R. D. M., Suriadikarta, D. A., Saraswati, R., Setyorini, D., & Hartatik, W. (2006). Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Organic Fertilizer and Biofertilizer. Bogor: *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian*. 312 hal.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd Edition. Academic Press. 815 p.

- Sriwinda, H., Edial & Hermon, D. (2018). Reklamasi Lahan Bekas Tambang Bijih Besi di Nagari Lolo Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Solok. *Jurnal Buana*, 2(4), 41 – 55.
- Subiksa, I. G. M. (2002). Pemanfatan Mikoriza Untuk Penanggulangan Lahan Kritis. *Makalah Falsafah Sains Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor*. Bogor.
- Subowo, G. (2011). Penambangan Sistem Terbuka Ramah Lingkungan Dan Upaya Reklamasi Pasca Tambang Untuk Memperbaiki Kualitas Sumberdaya Lahan Dan Hayati Tanah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 5(2), 83–94.
- Suharno., Tanjung R. H. R., & Sufaati, S. (2020). *Fungi Mikoriza Arbuskula (Mempercepat Rehabilitasi Lahan Tambang)*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Sulistiyawati, H. (2011). Pengaruh Lama Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Bibit Kelapa Sawit. *Teknologi Perkebunan dan PSDL*, 1, 8-12.
- Suprpto, S. J. (2008). Tinjauan Reklamasi Lahan Bekas Tambang Dan Aspek Konservasi Bahan Galian. *Buletin Sumberdaya Geologi*, 3(1), 20-32.
- Syaprudin, I. Bakrie & Kamarubayana, L. (2014). Pinjam Pakai Kawasan Hutan dan Realisasi Pemanfaatannya Oleh PT. Mahakam Sumber Jaya di Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Agrifor*, 13(1), 93–104.
- Tuheteru, F. D., Husna, Albasril, Arif, A., Wulan, S.A., & Kramadibrata, K. (2019). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Adaptive Plants in Gold Mine Tailing. *Biodiversitas*, 20(11), 3398-3404.
- Udarno, L & Setiyono, R. T. (2013). Biologi Bunga Dua Varietas Kakao (*Uncaria kakao* (Hunter) Roxb) Di Kebun Pakuwon. *Jurnal Sirinov*. 1(2), 83-88 hal.
- Ulfa, M., Kurniawan, A., Sumardi., & Sitepu, I. (2011). Populasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) Lokal Pada Lahan Pasca Tambang Batubara. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 8(3), 301-309.
- Wahid, I. (2018). *Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskula di Kawasan Manifestasi Geothermal Ie Jueseulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi Tumbuhan*. [Skripsi]. Aceh. Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri ArRaniry. 103 hal.
- Warouw, A., & Kainde, L. (2010). Karakteristik spora fungi mikoriza arbuskula pada berbagai jenis tanah di lahan pertanian. *Jurnal Agrosains*, 12(2), 55-60.
- Widiatma, P. S., Wirawan, I. G. P. & Susrama, I. G. K. (2015). Identifikasi mikoriza vesikular arbuskular (MVA) pada rhizosfer tanaman ubi jalar (*Ipomoea*

batatas L.) dan ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) serta perbanyakannya dengan media zeolit. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 4(4), 253-263.

Widyati, E. (2008). Peranan Mikroba Tanah Pada Kegiatan Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang. *Info Hutan*, 5 (2), 151-160.

Wisnubroto, M. P., Armansyah., Anwar, A., & Suhendra, D. (2023). Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) Pada Rizosfer Beberapa Vegetasi di Lahan Pasca Tambang Kapur Dengan Tingkat Kelerengan Berbeda. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 6(3), 771-782.

Wisnubroto, M. P., Armansyah., Anwar, A., & Suhendra, D. (2024). Eksplorasi dan Identifikasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) serta Karakteristik Tanah Lahan Pasca Tambang Kapur pada Tingkat Kelerengan Berbeda di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. *Jurnal Agrikultura*, 35(1), 112-125.

Yani, M. (2005). Reklamasi Lahan Bekas Pertambangan Dengan Penanaman jarak Pagar (*Jatropha curcas* Linn). *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Jarak Pagar Untuk Biodiesel dan Minyak Bakar*. Bogor; 22 Desember 2005 Bogor. Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi LPPm – IPB. Hal 1- 10.

Zulkoni, A., Rahyuni, D., & Nasirudin, N. (2020). Pengaruh Bahan Organik Dan Jamur Mikoriza Arbuskula Terhadap Harkat Tanah Pasir Pantai Selatan Yogyakarta Yang Menjadi Medium Pertumbuhan Jagung (*Zea mays*). *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 5(1), 8–15.

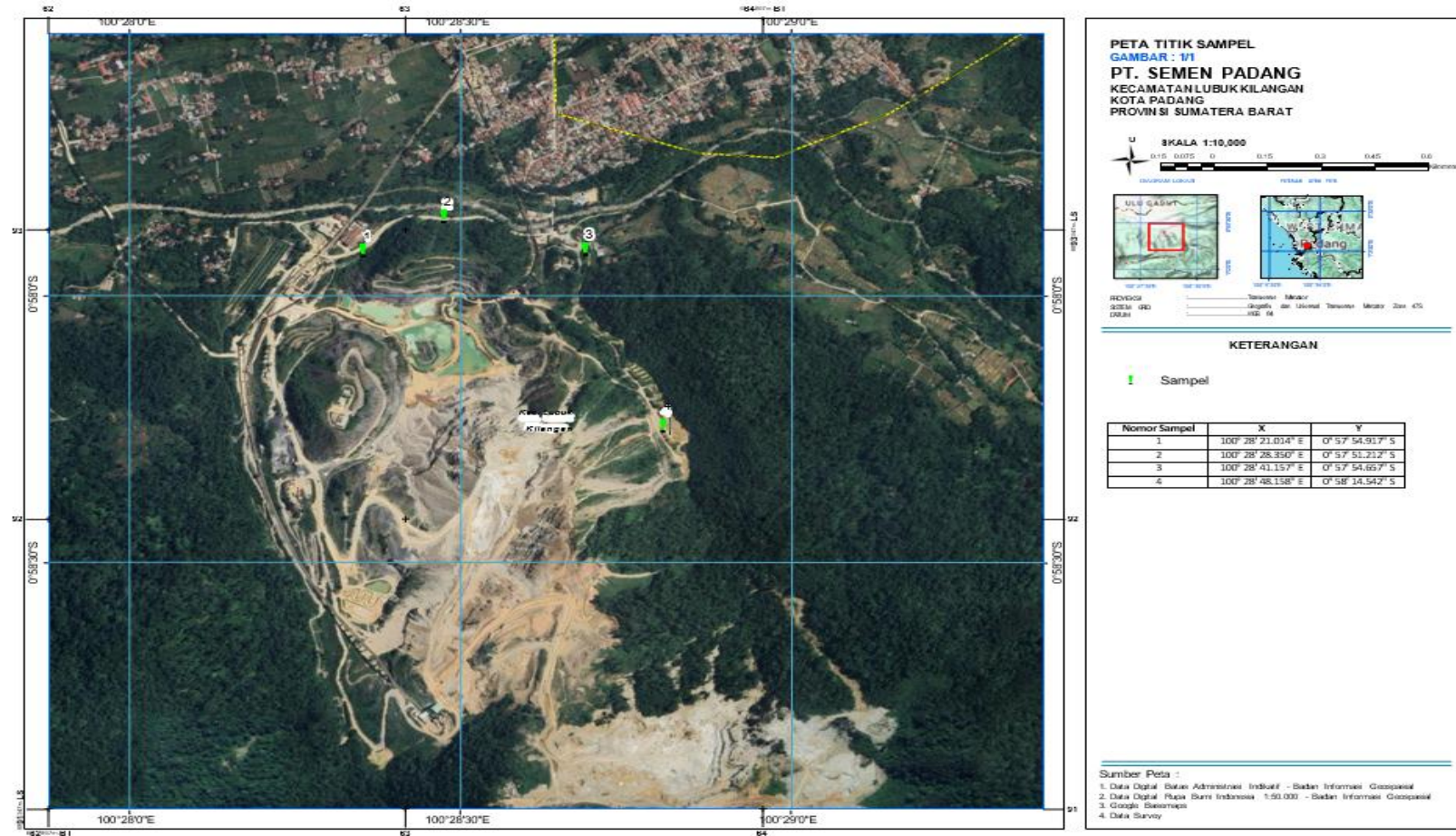




LAMPIRAN

[illegible]

Lampiran 2. Peta Pengambilan Sampel Tanah di PT Semen Padang

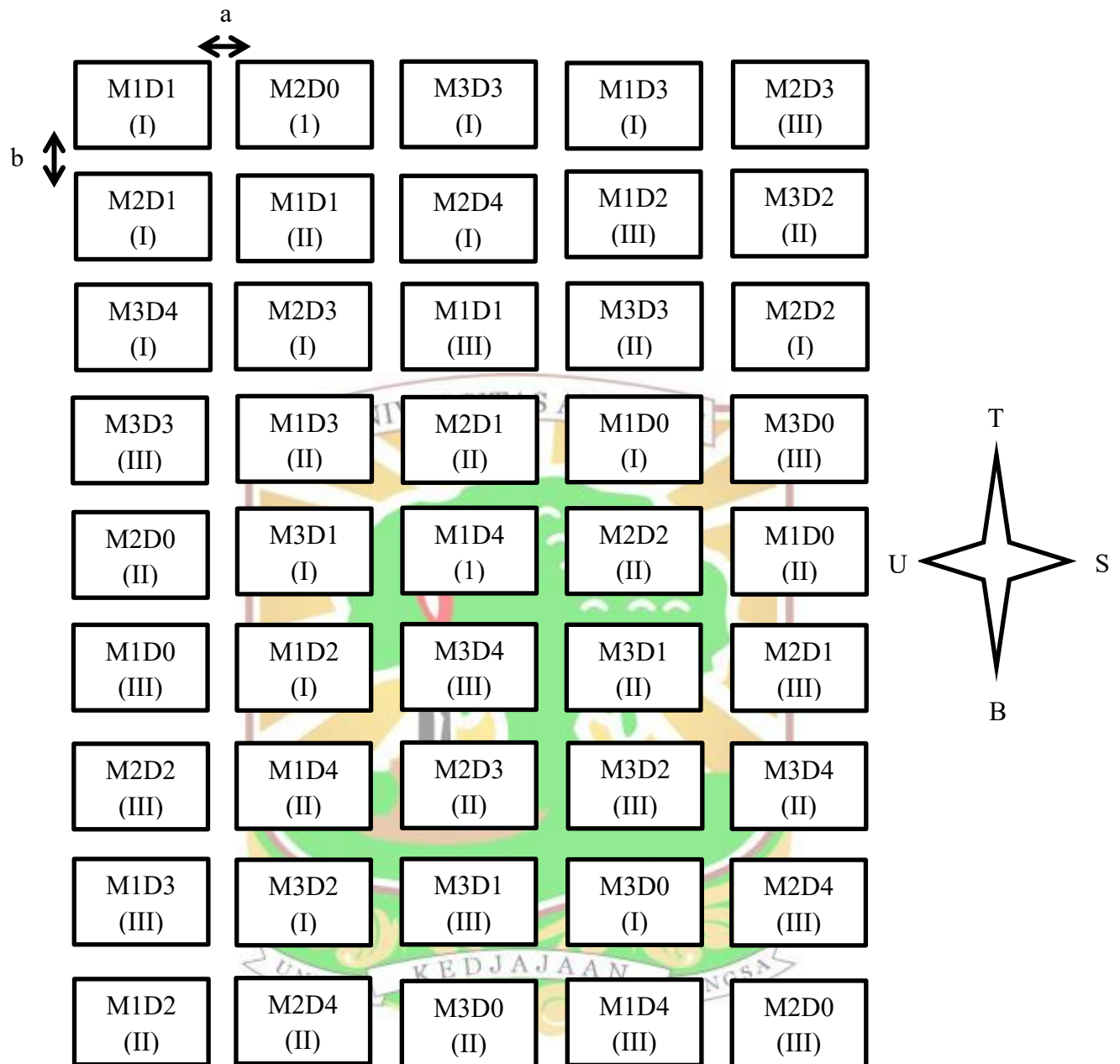


Lampiran 3. Deskripsi Kakao Varietas Kakao BL-50

Asal	: Hasil perbanyakan klonal dari pohon induk tunggal hasil seleksi dalam populasi asal biji oleh petani di jorong Balubus, Kecamatan Guguak, Kabupaten Limapuluh Kota, Provinsi Sumatera Barat.
Tipe varietas	: Klon
Bentuk percabangan	: Agak tegak horizontal
Bentuk daun	: jorong
Bentuk bunga	: Bintang
Bentuk buah	: Lonjong besar
Bentuk biji	: Lonjong
Produksi biji kering/ pohon (kg/tahun)	: 3,36 kurang lebih 0,27
Tingkat serangan hama dan penyakit	: Persentase serangan penggerek buah kakao (PBK) : 0,46%, Keparahen penyakit busuk buah kakao (BBK) : 9,36%; Keparahen penyakit <i>vascular streak dieback</i> (VSD) : 41,66%
Nama Pemulia	: Syafaruddin, Edi Syafianto, Laba Udarso, Rudi T. Setiyono, Budi Martono dan Dani
Sifat- sifat lainnya	:
• Kadar kulit ari (%)	: 18,43
• Kadar lemak (%)	: 44
Pemilik Varietas	: Pemerintah Daerah Kabupaten Lima Puluh Kota dan Balai Penelitian Tanaman Insustri dan Penyegar (Balittri)

(SK Mentan No : 649/Kpts/KB.010/10/2017)

Lampiran 4. Denah Penempatan Satuan Percobaan

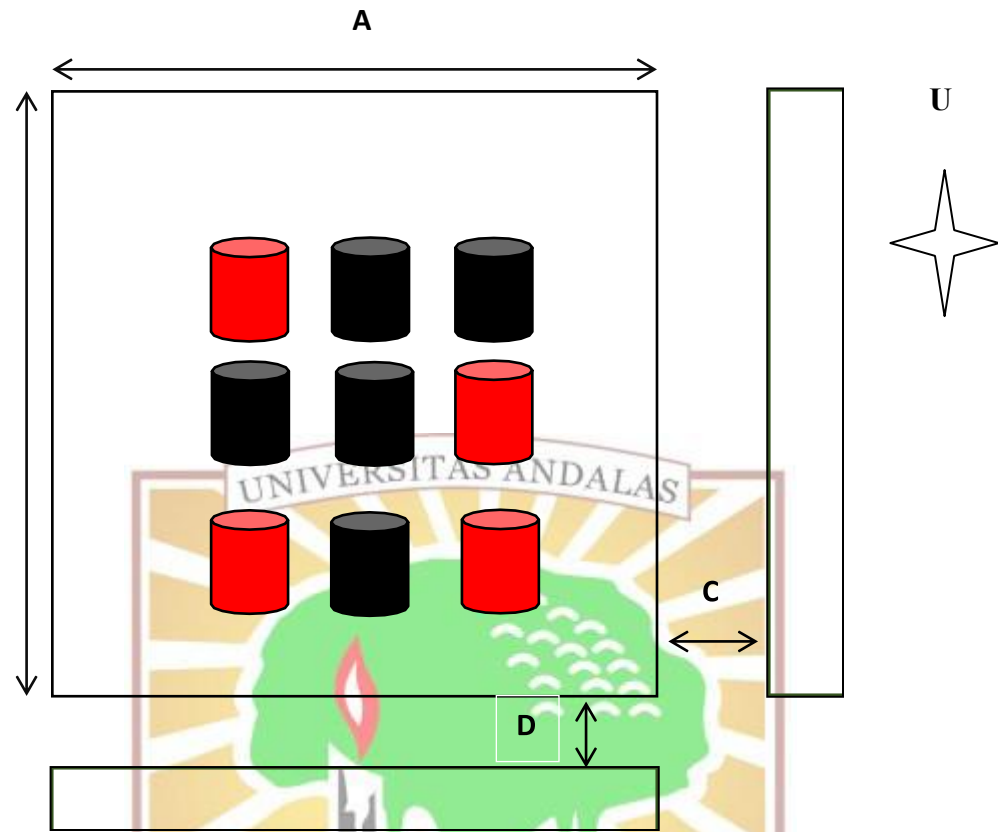


Keterangan :

M1 = FMA jenis *Glomus* sp
 M2 = FMA jenis *Gigaspora* sp
 M3 = FMA jenis *Acaulospora* sp
 D0 = 0 g FMA/bibit
 D1 = 10 g FMA/bibit
 D2 = 20 g FMA/bibit
 D3 = 30 g FMA/bibit

I,II,III = Ulanagan
 a.b = Jarak antar polibag
 (a = 50 cm, b = 50 cm)

Lampiran 5. Denah Penempatan Tanaman Sampel dalam Satuan Percobaan



Keterangan:

A : Panjang satu satuan percobaan (35 cm)

B : Lebar satu satuan percobaan (35 cm)

C : Jarak antar satuan percobaan (35 cm)

D : Jarak antar satuan percobaan (35 cm)

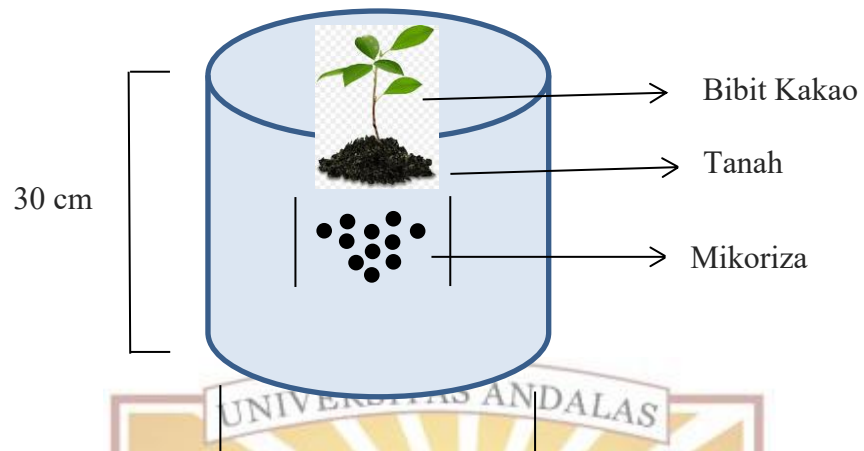


: Tanaman sampel destruktif



: Tanaman sampel non destruk

Lampiran 6. Gambar Penempatan Mikoriza Pada Lubang Tanam



Lampiran 7. Tabel Hasil Sidik Ragam

A. Tinggi Bibit

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	167.0139	83.5069	7.45*	3.40
Dosis FMA	3	65.2431	21.7477	1.94 ^{tn}	3.01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	96.8194	16.1366	1.44 ^{tn}	2.51
Galat	24	269.1667	11.2153		
Total	35	598.2431			

KK = 13,27 %

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%

B. Jumlah Daun

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	47.7222	23.8611	1.35 ^{tn}	3.40
Dosis FMA	3	666.0000	222.0000	12.59*	3.01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	149.8333	24.9722	1.42 ^{tn}	2.51
Galat	24	423.3333	17.6389		
Total	35	1286.8889			

KK = 14,26 %

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%

C. Bobot Segar Tajuk

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	33,2720	16,6360	3,91*	3,40
Dosis FMA	3	703,6286	175,9071	41,32*	3,01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	34,7139	4,3392	1,02 ^{tn}	2,51
Galat	24	127,7067	4,2569		
Total	35	899,3211			

KK = 13,94%

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%

D. Bobot Kering Tajuk

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	10,0728	5,0364	16,15*	3,40
Dosis FMA	3	42,8019	10,7005	34,32*	3,01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	3,3429	0,4179	1,34 ^{tn}	2,51
Galat	24	9,3539	0,3118		
Total	35	65,5715			

KK = 19,19%

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
 tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%

E. Bobot Segar Akar

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	8,9880	4,4940	3,81*	3,40
Dosis FMA	3	309,1823	77,2956	65,59*	3,01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	7,8280	0,9785	0,83 ^{tn}	2,51
Galat	24	35,3562	1,1785		
Total	35	361,3545			

KK = 14,60%

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
 tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%

F. Bobot Kering Akar

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	0,0116	0,0058	0,34 ^{tn}	3,40
Dosis FMA	3	0,2209	0,0552	3,28*	3,01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	0,0665	0,0083	0,49 ^{tn}	2,51
Galat	24	0,5050	0,0168		
Total	35	0,8040			

KK = 10,85%

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
 tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%

G. Rasio Tajuk Akar

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	0,7277	0,3638	4,43*	3,40
Dosis FMA	3	1,4787	0,3697	4,50*	3,01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	0,5521	0,0690	0,84 ^{tn}	2,51
Galat	24	2,4664	0,0822		
Total	35	5,2248			

KK = 16,35%

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
 tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%

H. Laju Asimilasi Bersih

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	0,0000	0,0000	6,22*	3,40
Dosis FMA	3	0,0001	0,0000	4,16*	3,01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	0,0000	0,0000	0,44 ^{tn}	2,51
Galat	24	0,0001	0,0000		
Total	35	0,0002			

KK = 19,82 %

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
 tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%

I. Laju Tumbuh Relatif

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel 5%
Jenis FMA	2	0,0002	0,0001	0,92 ^{tn}	3,40
Dosis FMA	3	0,0000	0,0000	0,08 ^{tn}	3,01
Jenis FMA : Dosis FMA	6	0,0004	0,0000	0,41 ^{tn}	2,51
Galat	24	0,0036	0,0001		
Total	35	0,0043			

KK = 25,74 %

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%
 tn = berbeda tidak nyata pada taraf 5%