

MENGENAL SPORA **MIKORIZA**

HUTAN KAMPUS UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
BERBASIS LITERASI SAINS

Buku ini ditujukan sebagai bacaan bagi masyarakat umum dan mahasiswa. Dengan menggunakan buku ini penulis berharap pembaca dapat mengenal lebih dalam dan menambah pengetahuan pembaca mengenai spora mikoriza di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan.

Penyajian data dalam buku ini berdasarkan hasil riset mencakup morfologi spora mikoriza, jenis mikoriza, bentuk mikoriza, warna mikoriza, jumlah dinding sel spora mikoriza, permukaan spora mikoriza, metode pengambilan sampel, beberapa tahapan ekstraksi spora mikoriza dan identifikasi spora mikoriza. Lokasi yang digunakan pada Hutan Kampus Universitas Negeri Medan di jalan Williem Iskandar Psr V Medan Estate Kota Medan.

MENGENAL SPORA **MIKORIZA** (HUTAN KAMPUS UNIVERSITAS NEGERI MEDAN) BERBASIS LITERASI SAINS

MENGENAL SPORA **MIKORIZA**

HUTAN KAMPUS UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
BERBASIS LITERASI SAINS



Gloria Sirait, S.Pd
Dr. Ashar Hasairin, M.Si
Dr. Syahmi Edi, M.Si

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul “Mengenal Spora Mikoriza di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan Berbasis Literasi Sains”. Buku ini dikembangkan berdasarkan penelitian tesis yang berjudul Pengembangan Buku Suplemen Spora Mikoriza di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan.

Penyajian data dalam buku ini berdasarkan hasil riset mencakup morfologi spora mikoriza, jenis mikoriza, bentuk mikoriza, warna mikoriza, jumlah dinding sel spora mikoriza, permukaan spora mikoriza, metode pengambilan sampel, beberapa tahapan ekstraksi spora mikoriza dan identifikasi spora mikoriza. Lokasi yang digunakan pada Hutan Kampus Universitas Negeri Medan di jalan Williem Iskandar Psr V Medan Estate Kota Medan.

Buku ini ditujukan sebagai bacaan bagi masyarakat umum dan mahasiswa. Dengan menggunakan buku ini penulis berharap pembaca dapat mengenal lebih dalam dan menambah pengetahuan pembaca mengenai spora mikoriza di hutan kampus Universitas Negeri Medan.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku ini. Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak.

Medan, Maret 2022

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i	
Daftar Isi	ii	
Daftar Gambar	iii	
Daftar Tabel	iv	
BAB I	Sains Sebagai Batang Tubuh Pengetahuan (<i>a body of knowledge</i>)	1
	Ayo Mengenal Mikoriza	
1.1.	Apa Saja Ciri-ciri Mikoriza	1
1.2.	Pengelompokan Mikoriza	8
1.3.	Pemanfaatan Mikoriza	21
1.4.	Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikoriza	30
BAB II	Sains Sebagai Cara Menyelidiki (<i>a way of investigating</i>)	35
	Ayo Melakukan Pengamatan Spora Mikoriza	
2.1.	Pengambilan Sampel Tanah	35
2.2.	Beberapa Tahapan Isolasi Spora	40
2.3.	Identifikasi Spora Mikoriza	47
2.4.	Hasil dan Pembahasan Pengamatan Spora Mikoriza di Hutan Kampus Unimed	55
BAB III	Sains Sebagai Cara Berpikir (<i>way of thinking</i>)	84
	Ayo Berpikir Kritis	
3.1.	Mikoriza pada Perbaikan Lahan Kritis	84
3.2.	Mikoriza pada Lahan Bekas Tambang Emas	89
BAB IV	Interaksi Sains, Teknologi dengan Masyarakat (<i>Interaction of science, technology and society</i>)	94
4.1.	Regenerasi Lahan Kritis Menjadi Lahan Subur	94

	Dengan Mikoriza	
4.2.	Pupuk Hayati Mikoriza, Pengganti Pupuk Kimia Urea Demi Melindungi Lingkungan	97
	Daftar Pustaka	102
	Glosarium	108
	Biografi Penulis	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	<i>Pinus sylvestris</i> yang diinfeksi oleh ektomikoriza	2
Gambar 2.	Akar Tanaman Terinfeksi Mikoriza	6
Gambar 3.	(a) Vesikel ; (b) Arbuskula pada akar	7
Gambar 4.	Ektomikoriza	9
Gambar 5.	Ektendomikoriza	11
Gambar 6.	Endomikoriza	12
Gambar 7.	Mekanisme Infeksi oleh MVA	15
Gambar 8.	Struktur Utama dari Lima Jenis Mikoriza	19
Gambar 9.	Teknik Pengambilan Sampel Tanah Secara Proporsional dan Tidak Proporsional	36
Gambar 10.	Pengambilan Sampel Tanah di Unimed	37
Gambar 11.	Hasil Penimbangan Sampel Tanah	41
Gambar 12.	<i>Glomus multicaule</i>	51
Gambar 13.	<i>Gigaspora gigantea</i>	51
Gambar 14.	<i>Scutellospora calospora</i>	52
Gambar 15.	<i>Acaulospora iaevis</i>	53
Gambar 16.	<i>Enterophospora infrequens</i>	54
Gambar 17.	<i>Sclerocystis sinuosum</i>	55
Gambar 18.	Perkembangan Spora Glomus	55
Gambar 19.	Sporokarp <i>Glomus</i> sp.	57
Gambar 20.	Dinding Sel <i>Glomus</i> sp. dalam Pewarna PVLG	58
Gambar 21.	Dinding Sel <i>Glomus</i> sp. dalam Pewarna Melzer	58

Gambar 22.	Hifa Sel <i>Glomus</i> sp. dalam Pewarna Melzer	59
Gambar 23.	Perkembangan Spora <i>Gigaspora</i> sp.	68
Gambar 24.	Dinding spora dengan PVLG dan dengan PVLG + Reagen Melzer	69
Gambar 25.	Dinding Spora <i>Gigaspora</i> sp.	70
Gambar 26.	Perkembangan Spora <i>Acaulospora</i> sp.	74
Gambar 27.	Spora <i>Acaulospora</i> sp.	75
Gambar 28.	Dinding Spora <i>Acaulospora</i> sp.	75
Gambar 29.	Dinding Spora <i>Acaulospora</i> sp. dalam PVLG dan Reagen Melzer	76
Gambar 30.	Lahan Kritis Sekitaran Danau Toba yang disebabkan oleh Pembakaran Lahan	84
Gambar 31.	Area Bekas Tambang Emas Ilegal di Kawasan Ekosistem Lauser (KEL) , Kabupaten Nagan Raya, Aceh	89
Gambar 32.	Lahan Kritis	94
Gambar 33.	Ilustrasi Pemberiaan Pupuk Urea pada Tanaman	97

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Rangkuman Karakteristik dari Tujuh Tipe Mikoriza	20
Tabel 2.	Pengaruh Mikoriza terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Fosfor dalam Berbagai Jaringan Tanaman pada Tanah Steril	23
Tabel 3.	<i>Glomus</i> sp. pada Pohon Mahoni di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan	60
Tabel 4.	<i>Gigaspora</i> sp. pada Pohon Mahoni di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan	72
Tabel 5.	<i>Acaulospora</i> sp. pada Pohon Mahoni di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan	78

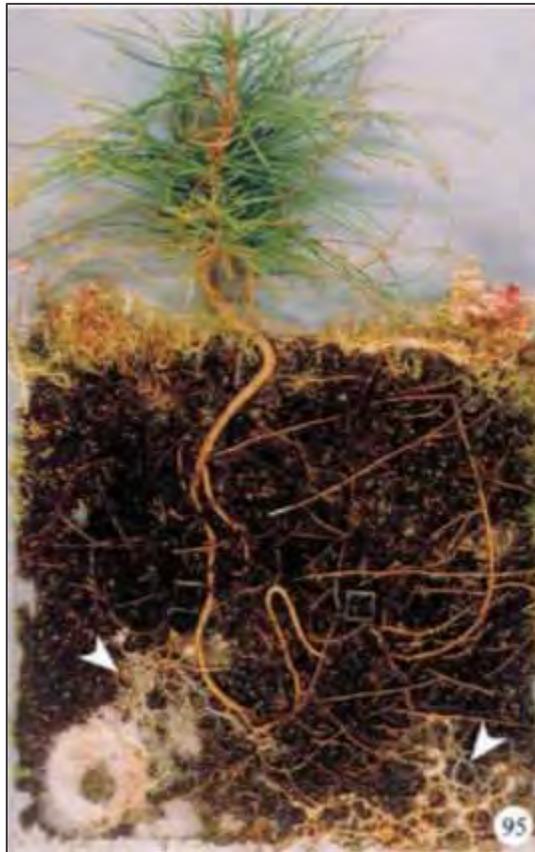


PENDAHULUAN

Apakah anda pernah melihat akar tanaman yang diselimuti oleh serabut berwarna putih? atau bagian akar tanaman yang mengalami pembengkakan seperti bentolan?, perlu anda ketahui bahwa hal itu disebut dengan mikoriza. Mikoriza merupakan bentuk simbiosis mutualisme antara jamur dengan akar tumbuhan tingkat tinggi (inang). Mikoriza sering juga disebut dengan jamur tanah atau jamur akar.

Nama mikoriza pertama kali dikemukakan oleh seorang botaniawan Jerman Frank pada tanggal 17 April 1885. Tanggal ini kemudian disepakati oleh para pakar sebagai titik awal sejarah mikoriza. Mikoriza sesungguhnya berasal dari bahasa Yunani yaitu Mykes yang artinya cendawan, dan Rhiza artinya akar, sehingga secara harfiah berarti cendawan akar (Talanca, 2010).

Awal ditemukan mikoriza adalah dari akar tanaman hutan seperti pinus. Pada awalnya cendawan MVA kurang mendapat perhatian, karena cendawan ini tidak membentuk unit alamiah yang nyata sehingga tidak mudah dikenali. Subiksa (2002) mengatakan bahwa mikoriza adalah suatu struktur yang khas yang mencerminkan adanya interaksi fungsional yang saling menguntungkan antara suatu autotrof/tumbuhan tertentu dengan satu atau lebih galur mikrobion dalam ruang dan waktu.



Gambar 1. *Pinus sylvestris* yang diinfeksi oleh ektomikoriza (Semanticscholar.com)

Struktur yang terbentuk dari asosiasi ini tersusun secara beraturan dan memperlihatkan spektrum yang sangat luas, baik dalam hal tanaman inang, jenis cendawan maupun penyebarannya.

Mikoriza tersebar dari artictundra sampai ke daerah tropis dan dari daerah bergurun pasir sampai ke hutan hujan yang melibatkan 80% dari jenis tumbuhan yang ada. Dengan melihat persentase di atas, menunjukkan bahwa sebagian besar tumbuhan berpotensi terlibat dengan mikoriza. Keterlibatan ini ternyata tidak semata-mata interaksi

biasa, tetapi dari uraian berikut ini akan nampak betapa pentingnya adanya mikoriza bagi tumbuhan. Tetapi tentu saja hal ini akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya yang dapat dilihat melalui ketergantungan tumbuhan terhadap mikoriza itu sendiri (Hajoeningtjas, 2009).

Mikoriza memiliki kemampuan membantu tanaman untuk menyerap unsur hara terutama unsur *Phosphate* (P), memperbaiki nutrisi tanaman, sebagai pelindung hayati, terlibat dalam siklus Bio-Geo-Kimia, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan kelembapan yang ekstrim.

Kolonisasi mikoriza pada akar tumbuhan dapat memperluas bidang serapan akar dengan adanya hifa eksternal yang tumbuh dan berkembang melalui bulu akar. Ekosistem alami mikoriza adalah daerah *Tropical rain forest* yang dicirikan memiliki keragaman spesies keberagaman spesies tumbuhan ini sangat mendukung perkembangan mikoriza. Berdasarkan penyerapan hifanya mikoriza dibagi menjadi endomikoriza, ektomikoriza dan ektendomikoriza. Endomikoriza memiliki jaringan hifa yang masuk ke dalam sel akar. Sedangkan ektomikoriza tidak sampai masuk ke dalam sel tapi berkembang diantara sel kortek akar membentuk hartig net dan mantel dipermukaan akar. Ektendomikoriza merupakan bentuk antara endomikoriza dan ektomikoriza.

Cendawan ini apabila menginfeksi tanaman inang, maka pada tanaman tersebut tidak menimbulkan kerusakan. Bahkan pada beberapa tanaman yang mempunyai nilai ekonomi seperti tanaman family *gramineae* dan *leguminosa* umumnya mempunyai cendawan

mikoriza. Pada tanaman pinus pertumbuhannya sangat ditentukan oleh adanya cendawan MVA.

Topik-topik yang dibahas di dalam buku ini meliputi ciri-ciri mikoriza, peranan mikoriza, metode pengamatan dan beberapa isu terkait penggunaan mikoriza di lingkungan yang diulas sesuai dengan empat aspek literasi sains oleh Chiapetta *at al* (1991) antara lain sains sebagai batang tubuh pengetahuan (*a body of knowledge*), sains sebagai cara untuk menyelidiki (*way of investigating*), sains sebagai cara berpikir (*way of thinking*), interaksi sains, dan teknologi dengan masyarakat (*interaction of science, technology and society*). Tujuan dari buku ini, diharapkan agar pembaca dapat mengidentifikasi spora mikoriza, memahami pemanfaatan mikoriza bagi tanaman dan memecahkan permasalahan lingkungan sekitar dengan menggunakan spora mikoriza sebagai solusi.

BAB I

Sains Sebagai Batang Tubuh Pengetahuan (*a body of knowledge*)

Ayo Mengenal Mikoriza!!!

1.1 Apa Saja Ciri-ciri Umum Mikoriza

Mikoriza merupakan bentuk dari asosiasi simbiotik mutualisme antara akar tumbuhan tingkat tinggi dan jamur tertentu. Catatan fosil menunjukkan asosiasi ini telah ada sejak zaman karbon. Sekitar 90% dari suku tumbuhan (mencakup 80% spesies tumbuhan) memiliki asosiasi simbiotik ini.

Interaksi antara mikoriza dan akar mencerminkan adanya simbiosis mutualisme antara suatu tumbuhan tertentu dengan satu atau lebih galur mikobion. Struktur asosiasi ini memperlihatkan spektrum yang sangat luas baik dalam tanaman inang, jenis jamur maupun penyebarannya. Dalam hal ini, tanaman terutama menerima nutrisi mineral dan air dari jamur, dan jamur memperoleh karbohidrat dan vitamin dari tanaman yang tidak dapat disintesis dengan sendirinya. sementara itu dapat dilakukan berkat fotosintesis dan reaksi internal lainnya.

Cendawan mikoriza mampu menyerang organ-organ tanaman di bawah tanah, hidup bertahan dengan unsur-unsur organiknya, tetapi sel-sel tanaman akan pulih kembali dan pada gilirannya akan mempersingkat miselium cendawan (Mulyani, *dkk.*, 1996). Dalam hubungan ini bagian-bagian tanaman yang ada di bawah tanah (akar tanaman) dan miselium cendawan seakan-akan membentuk suatu asosiasi seperti jalinanan berwarna putih, yang seringkali menguntungkan kedua pihak.



Gambar 2. Akar Tanaman Terinfeksi Mikoriza
(Tipstani.com, 2021)

Jamur ini juga membentuk vesikel dan arbuskular di dalam korteks tanaman. Vesikel merupakan ujung hifa berbentuk bulat yang berfungsi sebagai organ penyimpan dan arbuskular merupakan hifa yang memiliki struktur dan fungsi sama dengan houstoria dan terletak di dalam sel tanaman. Famili ini memiliki sembilan genus yaitu; *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocytis*, *Glaziella*, *Complexiples*, *Modecila*, *Entrospora* dan *Endogone*. *Acaulospora*,

Gigaspora, Glomus, Sclerocytis, merupakan genus yang mampu membentuk MVA.



(a) (b)
Gambar 3. (a) Vesikel ; (b) Arbuskula pada akar (INVAM, 2017)

Jamur mikoriza diketahui dapat berfungsi sebagai pupuk hayati. Sekalipun keberadaan jamur mikoriza sudah diketahui lebih dari 100 tahun yang lalu, namun sebagai pupuk hayati mungkin baru sejak Mosse 1957 mengetahui peran jamur mikoriza dalam penyerapan fosfat oleh tanaman (Mosse, 1981). Kecepatan masuknya P ke dalam hifa VAM dapat mencapai enam kali lebih cepat daripada kecepatan masuknya P melalui rambut akar (Bolan, 1991). Selain itu mikoriza juga mampu menghasilkan hormon pengatur tumbuh seperti auksin, sitokinin, dan giberelin dan juga menghasilkan antibiotik yang dapat melindungi tanaman dari pantogen akar.

Selain meningkatkan penyerapan unsur hara terutama *Phosphate* (p) mikoriza juga memiliki kemampuan untuk mempercepat pertumbuhan tanaman, meningkatkan ketahanan tanaman baik dari pantogen maupun kondisi ekstrem seperti kekeringan, pH rendah, dan

unsur logam berat yang tinggi di dalam tanah (Prasetya & Prayoga, 2021).

Asosiasi antara jamur dan tanaman ini mengkolonisasi jaringan korteks akar tanaman, untuk melengkapi daur hidupnya yang terjadi selama masa pertumbuhan aktif tanaman tersebut. Jenis jamur ini sering ditemukan berasosiasi dengan tanaman di alam misalnya pada tanaman tomat, padi gogo, gandum, kelapa sawit, cabe dan melon. Beberapa jenis tumbuhan tidak tumbuh atau terhambat pertumbuhannya tanpa kehadiran mikoriza di akarnya. Misalnya semaian pinus biasanya gagal tumbuh setelah pemindahan apabila tidak terbentuk jaringan mikoriza di sekitar akarnya.

Secara umum tanaman yang bermikoriza mempunyai pertumbuhan yang lebih baik. Hubungan timbal balik antara cendawan mikoriza dengan tanaman inangnya mendatangkan manfaat positif bagi keduanya. Karenanya inokulasi cendawan mikoriza dapat dikatakan sebagai '*biofertilization*', baik untuk tanaman pangan, perkebunan, kehutanan maupun tanaman penghijauan (Widada, 1994).

1.2 Pengelompokan Mikoriza

Berdasarkan struktur tubuh dan cara infeksi terhadap tanaman inang, mikoriza dapat digolongkan menjadi 2 kelompok besar yaitu Ektomikoriza dan Endomikoriza.

1. Ektomikoriza

a. Ektomikoriza

Ektomikoriza memiliki jaringan hifa cendawan yang tidak sampai masuk ke dalam sel tapi berkembang diantara sel kortek akar, memasuki akar dan mengganggu sebagian lamella tengah hingga akhirnya membentuk *hartig net* atau mantel dipermukaan akar yang tersusun dari hifa.



Gambar 4. Ektomikoriza
(Sumber: Russulales, 2010)

Struktur ektomikoriza merupakan jamur yang pendek, bercabang dua dan terkadang seperti tandan yang rapat. Beberapa jamur ektomikoriza memproduksi badan buah dari divisi Glomeromycota, Basidiomycota dan Ascomycota dan dapat diinokulasi secara buatan dalam laboratorium. Namun, inokulasi mikoriza asing memerlukan bantuan mikoriza lokal, misalnya dengan menambahkan tanah dari tempat asal tumbuhan.

Ektomikoriza menginfeksi permukaan luar tanaman dan di antara sel-sel ujung akar. Akibatnya terlihat jalinan miselia berwarna putih pada bagian rambut-rambut akar (Hartig). Di sinilah di jaringan

Hartig di mana pertukaran nutrisi, mineral dan air terjadi: jamur menyerap air dan mineral yang kemudian dipindahkan ke pabrik dan sebagai gantinya pasokan tanaman gula dan produk-produk fotosintesis lainnya ke jamur. Di antara beberapa efek positif yang diberikan oleh jamur ektomikoriza kepada inangnya, yang paling penting dikaitkan dengan miselium ekstraradikal yang meningkatkan jumlah asupan mineral terlarut.

Mobilisasi nutrisi dapat terjadi melalui rute enzimatik yang memungkinkan jamur untuk menggunakan nitrogen organik dan fosfor, atau dengan melepaskan asam organik, memobilisasi kalsium, magnesium, dan kalium, antara lain. Hifa terutama mengeluarkan asam oksalat yang membantu melemahkan permukaan berbatu; Selain itu, diameter puncak hifa dibandingkan dengan puncak akar, memberikan tanaman keuntungan besar karena memungkinkannya untuk mengeksplorasi substrat yang tidak dapat dijangkau tanpa hubungan dengan ektomikoriza. Serangan ini dapat menyebabkan perubahan morfologi akar. Akar-akar memendek, membengkak, bercabang dikotom dan dapat membentuk pigmen.

b. Ektendomikoriza

Ektendomikoriza adalah nama deskriptif murni untuk akar mikoriza yang menunjukkan karakteristik ektomikoriza dan endomikoriza. Ektendomikoriza merupakan bentuk antara (intermediet) kedua mikoriza yang lain. Ciri-cirinya antara lain adanya selubung akar yang tipis berupa jaringan hartig, hifa dapat menginfeksi dinding sel korteks dan juga sel-sel korteknya.

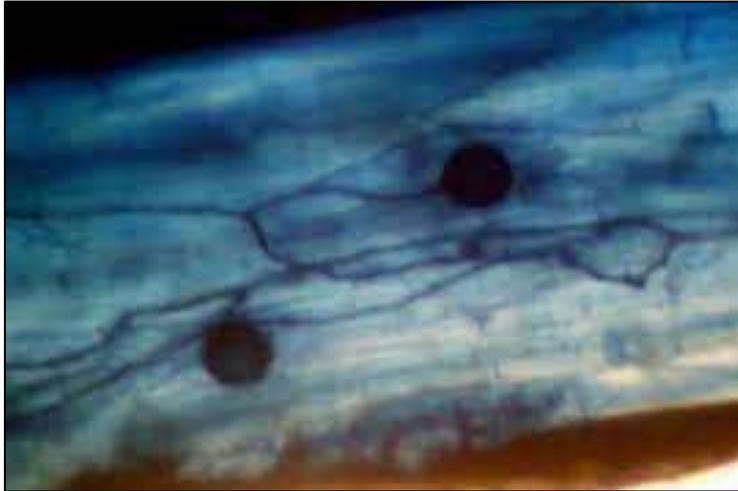
Ektendomikoriza pada dasarnya terbatas pada genus tanaman *Pinus* (pinus), *Picea* (cemara) dan, pada tingkat lebih rendah, *Larix* (larch). Ektendomikoriza memiliki karakteristik yang sama seperti ektomikoriza tetapi menunjukkan penetrasi intraseluler yang luas dari hifa jamur ke dalam sel-sel hidup dari akar inang.



Gambar 5. Ektendomikoriza (Simanungkalit, 2004)
Ket: a. Hifa menginfeksi dinding sel korteks akar;
b. Jaringan hartig menyelubungi akar

2. Endomikoriza

Endomikoriza memiliki jaringan hifa cendawan yang masuk sampai ke dalam sel kortek akar dan membentuk struktur yang khas berbentuk oval yang disebut *vesicle* dan sistem percabangan hifa yang disebut *arbuscule*, sehingga endomikoriza disebut juga *Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM)*.



Gambar 6. Endomikoriza
(Sumber: INVAM, 2017)

MVA mempunyai struktur yang terdiri dari hifa eksternal, internal, gelung, vesicular dan arbuskular. Hifanya tidak bersekat, dan tumbuh diantara sel-sel korteks dan didalamnya bercabang-cabang. Hifa MVA tidak masuk sampai jaringan stele, dan didalam sel yang terinfeksi terbentuk hifa yang bergelembung dan apabila bercabang-cabang maka disebut arbuskular.

a. Mikoriza Vesikel Arbuskular (MVA)

- **Struktur Mikoriza Vesikel Arbuskular (MVA)**

1. Arbuskular

Arbuskular adalah struktur hifa yang bercabang - cabang seperti pohon - pohon kecil yang mirip haustorium (membentuk pola dikotom) berfungsi sebagai tempat pertukaran nutrisi antara tanaman inang dengan jamur. Struktur ini mulai terbentuk 2-3 hari setelah infeksi,

diawali dengan penetrasi cabang hifa lateral yang dibentuk oleh hifa ekstraseluler dan intraseluler ke dalam dinding sel inang.

2. Vesikel

Pada struktur yang menggelembung dibentuk secara apikal dan sering kali terdapat pada hifa-hifa utama sehingga struktur ini disebut vesikel. Vesikel merupakan suatu struktur berbentuk lonjong atau bulat, mengandung cairan lemak, yang berfungsi sebagai organ penyimpanan makanan atau berkembang menjadi klamidospora, yang berfungsi sebagai organ reproduksi dan struktur tahan. Pembentukan vesikel diawali dengan adanya perkembangan sitoplasme 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). Vesikel biasanya dibentuk lebih banyak di luar jaringan korteks pada daerah infeksi yang sudah tua dan terbentuk setelah pembentukan arbuskul. Apabila korteks mengelupas, beberapa vesicular keluar dari jaringan akar dan berada dalam tanah serta dapat berkecambah dan bertindak sebagai propagul infeksi.

3. Hifa Eksternal

Hifa eksternal merupakan struktur lain dari cendawan mikoriza yang berkembang di luar akar. Hifa ini berfungsi menyerap hara dan air di dalam tanah. Terbentuknya hifa eksternal yang berasosiasi dengan tanaman berperan penting dalam perluasan bidang adsorpsi

akar sehingga memungkinkan akar menyerap hara dan air dalam jangkauan yang lebih luas (Mosse, 1981).

4. Hifa Internal

Hifa internal adalah hifa yang menembus ke dalam sel korteks dari satu sel ke sel yang lain. Hifa internal sangat penting untuk mengetahui adanya kolonisasi mikoriza dalam akar tanaman (Pujiyanto, 2001).

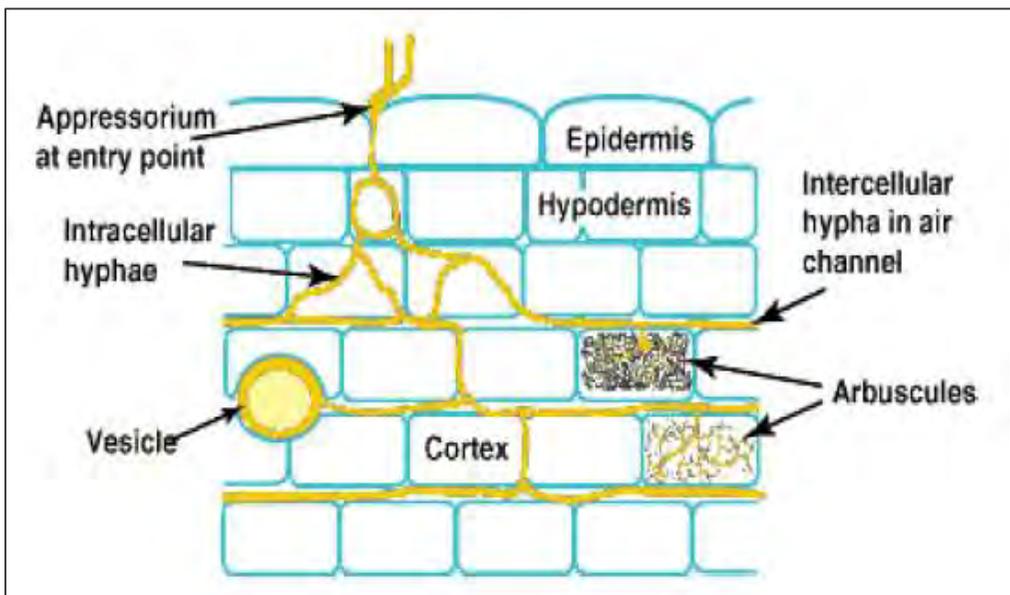
5. Spora

Spora yang dihasilkan oleh cendawan Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) terbentuk di atas eksternal hifa yang melewati permukaan akar. Spora terdapat pada ujung hifa eksternal dan dapat hidup selama berbulan-bulan, bahkan bertahun-tahun. Perkecambahan spora bergantung pada lingkungan seperti pH, temperatur, dan kelembaban tanah serta kadar bahan organik (Jolocoour dkk, 1998). Spora ini dapat terbentuk dan bersatu di dalam tanah dalam bentuk kelompok-kelompok spora yang bebas atau dalam bentuk kumpulan sporokarp. FMA mempunyai peran biologis yang cukup penting khususnya bagi tanaman yaitu (1) meningkatkan penyerapan hara, (2) sebagai elindung hayati (bioprotektor), (3) meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan, dan (4) berperan sinergis dengan mikroorganisme lain. Spora cendawan MVA bermacam-macam dalam warna dan ukuran, ada yang berdiameter 10-400 *um*, tetapi kebanyakan antara 40-200 *um* (Fitler 1989).

Terdapat sembilan genus Vesikular Arbuskular yang masuk dalam family *Endogonaceae* yaitu: 1). *Endogone*, 2). *Gigaspora*, 3).

Acaulospora, 4). *Entrophospora*, 5). *Glomus*, 6). *Sclerocystis*, 7). *Glaziella*, 8). *Modicella* dan 9). *Complekxipes*. Untuk membedakan genusnya berdasarkan pada cara pembentukan spora dan cara spora muncul diatas hifa. Sedangkan jenis spesiesnya berdasarkan ukuran spora, warna, ketebalan dinding, jumlah dan tipe lapisan (Talanca, 2010).

Infeksi VAM dimulai dengan terbentuknya apresorium pada permukaan akar, menembus sel-sel epidermis akar tanaman. Setelah proses penetrasi, hifa tumbuh secara intraseluler atau ekstraseluler di dalam kortek dan pada inang-inang tertentu, hifa membentuk koil hifa di luar kortek. Hifa yang berada di rhizosfer mampu meningkatkan pengambilan fosfor dari dalam tanah dengan cara memperluas permukaan yang bersinggungan dengan tanah.



Gambar 7. Mekanisme infeksi Oleh MVA (Basri, 2018)

Pengambilan nutrisi oleh mikoriza melibatkan hifa yang berada di dalam tanah yang akhirnya dipindahkan ke dalam sel akar. Aliran fosfor di dalam hifa mengikuti aliran sitoplasma sedangkan pemindahan nutrisi dari jamur ke tanaman inang diduga melalui arbuskular. MVA mempunyai spektrum penyebaran yang luas, seperti tumbuhan Angiospermae sampai Briophyta, secara geografis penyebarannya dari kutub sampai hutan basah.

Hifa eksternal pada mikoriza dapat menyerap unsur fosfat dari dalam tanah, dan segera diubah menjadi senyawa polifosfat. Senyawa polifosfat kemudian dipindahkan ke dalam hifa dan dipecah menjadi fosfat organik yang dapat diserap oleh sel tanaman. Efisiensi pemupukan P sangat jelas meningkat dengan penggunaan mikoriza. Infeksi mikoriza pada akar tanaman dapat dilihat dengan jelas melalui pewarnaan dengan bahan kimia. Sel akar yang terinfeksi menjadi lebih besar dan mengembang tetapi tidak sampai merusak sel akar yang terinfeksi, penampakan luarnya bahkan tidak perubahan.

- **Mekanisme Penyerapan Fosfat oleh MVA**

Mekanisme Penyerapan Fosfat oleh Mikoriza Peranan MVA tersebut dalam meningkatkan ketersediaan dan serapan P dan unsur hara lainnya melalui proses sebagai berikut :

1. Modifikasi Kimia oleh mikoriza dalam proses kelarutan P tanah
Pengaruh Mikoriza Arbuskula Pada Ketersediaan dan Penyerapan Unsur Hara Pada tahap ini, terjadi modifikasi kimia oleh mikoriza terhadap akar tanaman, sehingga tanaman mengeksudasi asam-

asam organik dan enzim fosfatase asam yang memacu proses mineralisasi P. Eksudasi akar tersebut terjadi sebagai respon tanaman terhadap kondisi tanah yang kahat P, yang mempengaruhi kimia rizosfer.

2. Perpendekan jarak difusi oleh tanaman bermikoriza. Mekanisme utama bagi pergerakan P ke permukaan akar melalui difusi yang terjadi akibat adanya gradien konsentrasi, serta merupakan proses yang sangat lambat. Jarak difusi ion-ion fosfat tersebut dapat diperpendek dengan hifa eksternal CMA, yang juga dapat berfungsi sebagai alat penyerap dan translokasi fosfat.
3. Penyerapan P tetap terjadi pada tanaman bermikoriza meskipun terjadi penurunan konsentrasi minimum P. Konsentrasi P yang ada di larutan tanah dapat menjadi sangat rendah dan mencapai konsentrasi minimum yang dapat diserap akar, hal ini terjadi sebagai akibat terjadinya proses penyerapan ion fosfat yang ada di permukaan akar. Di bawah konsentrasi minimum tersebut akar tidak mampu lagi menyerap P dan unsur hara lainnya, sedangkan pada akar bermikoriza, penyerapan tetap terjadi sekalipun konsentrasi ion fosfat berada di bawah konsentrasi minimum yang dapat diserap oleh akar.

b. Endomikoriza Ericoid

Endomikoriza Ericoid adalah mikoriza Erica (heather), Calluna (ling) dan Vaccinium (bilberry), yaitu tanaman yang bertahan di padang rumput dan lingkungan yang menantang. Jamur adalah anggota Ascomycota (contohnya *Hymenoscyphus ericae*). Akar kecil tanaman

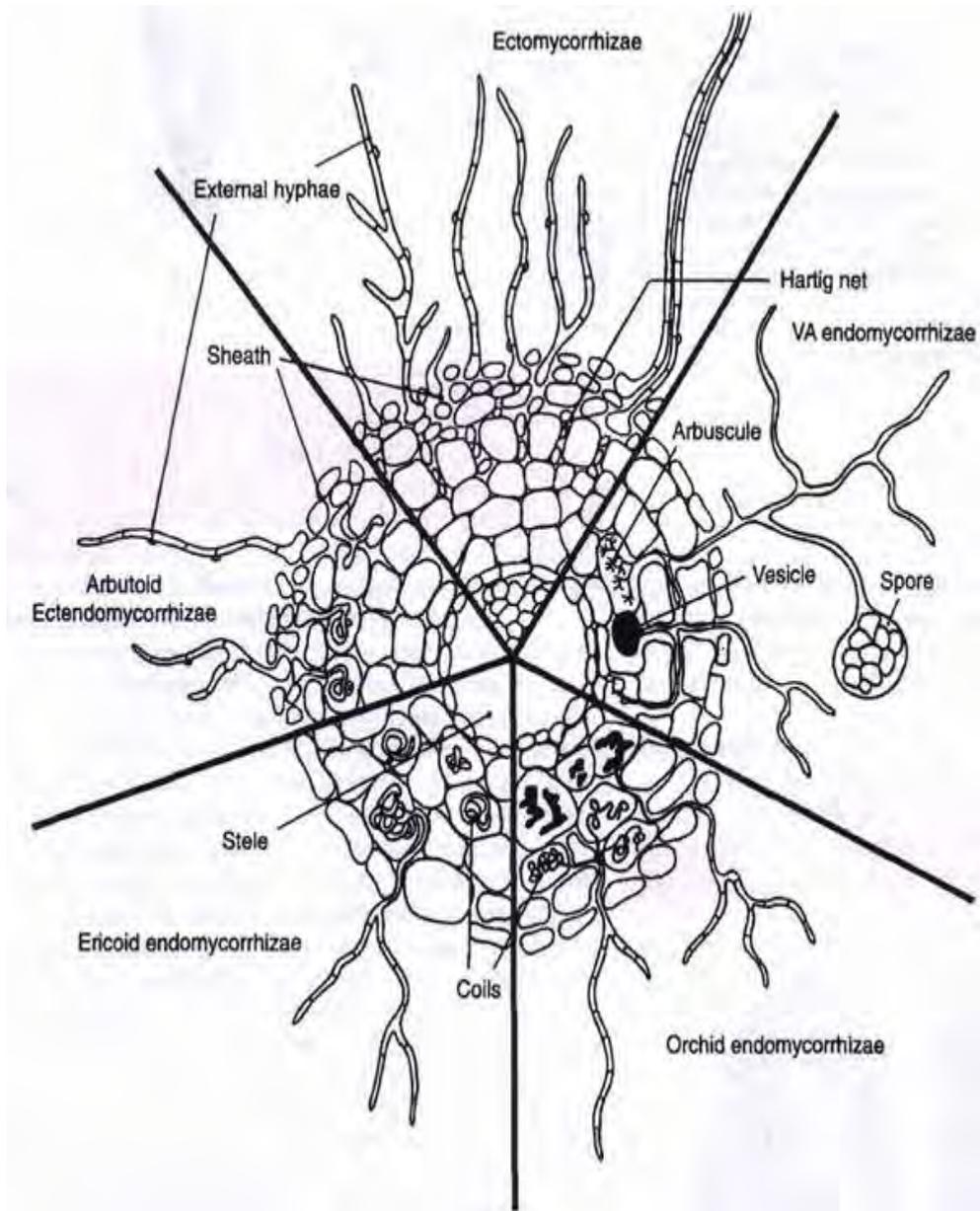
ditutupi dengan jaringan hifa yang jarang; jamur mencerna polipeptida secara saprotrofik dan meneruskan nitrogen yang diserap ke inang tanaman; dalam kondisi yang sangat keras, mikoriza bahkan dapat menyediakan sumber karbon bagi inangnya (dengan memetabolisme polisakarida dan protein untuk kandungan karbonnya).

Dua subkelompok khusus dapat dipisahkan dari kelompok endomikoriza ericoid:

- Endomikoriza arbutoid, dan
- Endomycorrhizas monotropoid (asosiasi mikoriza yang dibentuk oleh tanaman achlorophyllous dari Montropaceae).

Endomikoriza Orchid mirip dengan mikoriza erikoid tetapi nutrisi karbonnya bahkan lebih ditujukan untuk mendukung tanaman inang karena bibit anggrek muda bersifat nonfotosintetik dan bergantung pada mitra jamur yang memanfaatkan sumber karbon kompleks di dalam tanah, dan menyediakan karbohidrat bagi yang muda.

- Orchid. Semua Orchid bersifat achlorophyllous pada tahap awal pembibitan, tetapi biasanya chlorophyllous saat dewasa, sehingga dalam hal ini anggrek tahap pembibitan dapat diartikan sebagai parasitisasi cendawan. Contoh jamur yang khas adalah genus basidiomycete *Rhizoctonia* (walaupun ini adalah genus kompleks yang dapat dibagi menjadi beberapa jenis baru).



Gambar 8. Struktur Utama dari Lima Jenis Mikoriza (Anthony P.J. Trinci, 2011)

Tabel 1. Rangkuman Karakteristik dari Tujuh Tipe Mikoriza

Ciri	Tipe Mikoriza						
	Endomikoriza					Ektomikoriza	
	AM	Eric-oid	Arbu-toid	Monotr-o-poid	Orch-id	Ekto	Ektendo
Septa Jamur	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Aseptas Jamur	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
Kolonisasi Intraseluler	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
Selubung Jamur (Pseudoparenkim)	Tidak	Tidak	Ya Atau Tidak	Ada	Tidak	Ya	Ya Atau Tidak
Jaring Hartig	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
Vesikel	Ya Atau Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
Tanaman Inang Berklorofil*	Ya (? Tidak)	Ya	Ya	Tidak	Tidak*	Ya	Ya
Takson Jamur	Glomeromycota	Ascomycota	Basidiomycota	Basidiomycota	Basidiomycota	Basidiomycota Ascomycota	Basidio Asco (Glomeromycota)
Takson Tumbuhan	BryopteridogymnoAngio	Ericales Bryo	Ericales	Monotropaceae	Orchidaceae	GymnoAngio	GymnoAngio
*Semua Orchid adalah Achlorophyllous di tahap awal pembibitan, tetapi biasanya menjadi Chlorophyllous ketika dewasa.							
*Bryo = Bryophyta, Pterido=Pteridophyta, Gymno= Gymnospermae, Angio = Angiospermae.							

Sumber: Moore *et al*, 2011

1.3. Pemanfaatan Mikoriza

1. Penyerapan Unsur Hara

Cendawan MVA adalah salah satu jenis mikroba tanah yang mempunyai kontribusi penting dalam kesuburan tanah dengan jalan meningkatkan kemampuan tanaman dalam penyerapan unsur hara seperti fosfat, air, dan nutrisi lainnya. Menurut Aldeman dan Morton, (1986) bahwa infeksi MVA dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kemampuannya memanfaatkan nutrisi terutama unsur P, Ca, N, Cu, Mn, K, dan Mg.

Hal ini disebabkan karena kolonisasi mikoriza pada akar tanaman dapat memperluas bidang serapan akar dengan adanya hifa eksternal yang tumbuh dan berkembang melalui bulu akar. Selanjutnya miselia cendawan MVA dapat tumbuh dan menyebar keluar akar sekitar lebih 9 cm, dengan total panjang hifanya dapat mencapai 26-54 m/g tanah.

Menurut Hayman (1983) dalam Suciatmih (1996) akar yang bermikoriza dapat menyerap P dari larutan tanah pada konsentrasi dimana akar tanaman tidak bermikoriza, tidak dapat menjangkaunya. Hal ini disebabkan karena akar yang terinfeksi mikoriza mempunyai metabolisme energi lebih besar, sehingga aktif dalam pengambilan P pada konsentrasi 10^{-7} - 10^{-6} didalam larutan tanah hingga menjadi 10^{-3} - 10^{-2} didalam akar tanaman. Selain itu diameter hifa cendawan MVA sangat kecil yaitu 2-5 μm , sehingga dengan mudah menembus pori-pori tanah yang tidak bisa ditembus oleh akar tanaman yang berdiameter 10-20 μm . Pada tanah ada sekitar 95-99% unsur P

dijumpai tidak larut, sehingga tidak tersedia atau susah diserap oleh akar tanaman (Hayman, 1983).

Infeksi MVA pada akar tanaman menyebabkan tanaman mampu memanfaatkan unsur-unsur P yang tidak tersedia tersebut menjadi tersedia. Fakta ini menunjukkan bahwa pada tanaman yang terinfeksi cendawan MVA memperlihatkan pertumbuhan tanaman yang baik bila dibandingkan dengan tanaman yang tidak terinfeksi mikoriza, karena MVA juga menghasilkan hormon seperti auksin, sitokinin, dan giberlin. De la Cruz (1981) menyatakan bahwa cendawan endomikoriza secara efektif menghasilkan hormon pertumbuhan terutama auksin. Sedangkan Krikun (1991) menemukan bahwa tanaman yang terinfeksi mikoriza mengandung sitokinin dengan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tidak terinfeksi. Pengaruh fisiologis sitokinin adalah mendorong pembesaran sel dan penghambatan penuaan daun sedangkan auksin terhadap pemanjangan sel.

Menurut Suciatmih (1996), asosiasi mikoriza menyebabkan tanaman mampu memanfaatkan unsur-unsur P yang tidak tersedia menjadi tersedia. Hal ini dapat dilihat pada tanaman cow pea, ketela pohon, jeruk, jambu biji, dan kedelai, dapat bertahan atau toleran pada kondisi tanah mineral asam seperti tanah oxisol dan ultisol. Keadaan ini diduga cendawan MVA dapat melakukan perubahan PH rhizosfer menjadi 6,3.

Tabel 2. Pengaruh Mikoriza Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Fosfor Dalam Berbagai Jaringan Tanaman pada Tanah Steril

Tanaman	Tidak terinfeksi	Terinfeksi
Bobot Kering (g)		
Jagung	3.70	13.70
Singkong	1.20	11.20
Sorgum	2.90	5.90
Kedelai		
Biomassa per m ²	2.567	3.450
Biomassa biji per m ²	812	1.161
Padi		
Biomassa per m ²	31	29
Biomassa biji per m ²	8.31	12.60
Kandungan Fosfor (%)		
Jagung	0.10	0.14
Singkong	0.47	0.74
Sorgum	0.09	0.35

Sumber: (Mosse, 1981)

Tanaman *akasia mangium* yang terinfeksi cendawan MVA, maka mampu menghemat penggunaan unsur P 180 kr/ha/tahun. MVA dapat pula meningkatkan kandungan khlorofil tanaman, dan zat perangsang tum-buh dengan diproduksinya substansi zat per-angsang tumbuh, sehingga tanaman dapat lebih toleran terhadap sifat shok atau stress saat dipindahkan.

Mikoriza juga diketahui berinteraksi sinergis dengan bakteri pelarut fosfat atau bakteri pengikat N. Inokulasi bakteri pelarut fosfat (PSB) dan mikoriza dapat meningkatkan serapan P oleh tanaman tomat dan pada tanaman gandum. adanya interaksi sinergis antara VAM dan bakteri penambat N₂ dilaporkan oleh Azcon dan Altrash (1997) bahwa pembentukan bintil akar meningkat bila tanaman alfalfa diinokulasi

dengan *Glomus moseae*. Sebaliknya kolonisasi oleh jamur mikoriza meningkat bila tanaman kedelai juga diinokulasi dengan bakteri penambat N, *B Japonicum*.

2. Pengendalian Patogen

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa MVA mempunyai peranan dalam pengendalian penyakit tanaman. Linderman *dalam* Talanca (2005) menduga bahwa mekanisme perlindungan MVA terhadap patogen berlangsung sbb: 1). Cendawan MVA memanfaatkan karbohidrat lebih banyak dari akar sebelum dikeluarkan dalam bentuk eksudat akar, sehingga patogen tidak dapat berkembang. 2). Terbentuknya substansi yang bersifat antibiotik yang disekresikan untuk menghambat perkembangan patogen. 3). Memacu perkembangan mikroba saprofit disekitar perakaran (rhizosfer).

Luasnya jaringan hifa di tanah membantu akar menyerap air. MVA memengaruhi ketahanan tumbuhan inang terhadap serangan penyakit. AM, tergantung jenisnya, dapat mengurangi pengaruh serangan jamur patogen. Demikian pula, juga dapat mengurangi serangan nematoda. Sebaliknya, tumbuhan mengurangi serangan nematoda. Sebaliknya, tumbuhan yang terinfeksi AM menurun ketahanannya terhadap serangan virus. Pengaruh AM lain yang pernah teramati adalah dukungannya terhadap simbiosis antara bakteri bintil akar dan polong-polongan, produksi giberelin oleh *Gibberella mosseae*, memengaruhi sintesis fitohormon tertentu, dan memperbaiki struktur agregasi tanah.

Cendawan MVA dapat pula bersimbiosis dengan akar tanaman inang, dan mempunyai pengaruh yang luas terhadap mikroorganisme yang bersifat patogen. Akar tanaman inang yang terinfeksi MVA mempunyai eksudat akar yang berbeda dengan eksudat akar yang tidak terinfeksi MVA. Perubahan eksudat akar tanaman inang mempengaruhi perubahan dalam rhizosfer yang mengakibatkan meningkatnya ketahanannya, sehingga terhindar dari serangan patogen. Ketahanan ini lebih meningkat karena adanya produksi antibiotik dari MVA.

Cendawan patogen ini perkembangannya dapat ditekan dengan MVA apabila telah terjadi simbiotik antara tanaman inang terlebih dahulu. Jika patogen menginfeksi tanaman sebelum infeksi cendawan MVA, maka MVA tidak dapat berkembang dan berfungsi sebagai penekan dalam perkembangan cendawan patogen pada tanaman inang.

Infeksi MVA pada akar tanaman kedelai akan merangsang terbentuknya senyawa *isoflavonoid*, sehingga membentuk endomikoriza, yang mengakibatkan meningkatnya ketahanan tanaman dari serangan cendawan patogen dan nematode. Selanjutnya Setiadi, (2000) melaporkan bahwa asosiasi mikoriza berpengaruh terhadap perkembangan dan reproduksi nematode *Meloidogyne* sp.

Selanjutnya pada tanaman jagung yang terinfeksi cendawan MVA kandungan asam aminonya meningkat 3-10 kali lipat lebih besar dibandingkan dengan tanaman jagung yang tidak terinfeksi MVA. Menurut Soenartiningih dalam Talanca (2001) aplikasi cendawan MVA saat tanam jagung pada tanah podsolik (sangat masam), dan diinokulasi cendawan patogen *Rhizoctonia solani* 2 mst.,

maka persentase serangan hanya 40%, dibandingkan dengan tanpa pemberian MVA mencapai 86,66%. Hal ini dapat dilihat pada cendawan patogen tanah (*soil borne disease*) yang menyerang akar seperti cendawan *Phytophthora*, *Phytium*, *Fusarium*, dan *Rhizoctonia* dapat terhindar karena adanya MVA.

3. Sebagai Pelindung Hayati (*Bioprotektor*)

Selain perbaikan nutrisi, telah banyak dilaporkan bahwa MVA juga mampu meningkatkan daya tahan tanaman terhadap serangan patogen tular tanah dan juga dapat membantu pertumbuhan tanaman pada tanah yang tercemar logam berat seperti lahan bekas tambang (*bioremediator*) (Linderman, 1996; Setiadi, 2000).

Tanaman yang berasosiasi dengan MVA akan mengalami perubahan dalam morfologi dan fisiologi untuk menahan serangan patogen akar. Meningkatnya ketahanan tumbuhan terhadap infeksi patogen dan parasit akar disebabkan oleh kemampuan MVA memproduksi antibiotika guna menghadang patogen tanah (Quimet dkk, 1996). Lignifikasi dinding sel tanaman inang akan menghambat serangan patogen akar dan perubahan secara fisiologis pada tanaman yang bermikoriza meningkatkan konsentrasi P dan K serta hara lain sehingga akan menurunkan kepekaan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Pada tanaman yang bermikoriza, mengandung isoflavonoid lebih tinggi sehingga tanaman lebih tahan terhadap serangan karena senyawa tersebut dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen tanah.

Kontrol biologis terhadap penyakit tanaman mungkin sangat dipengaruhi oleh FMA melalui satu atau lebih mekanisme antara lain : (a) meningkatkan hara tanaman, (b) kompetisi pada fotosintat inang dan daerah infeksi, (c) perubahan morfologi pada akar dan jaringan akar, (d) perubahan pada unsur kimia dan jaringan tanaman, (e) pengurangan stress abaiotik, dan (f) perubahan mikroorganisme pada rizosfer. Menurut Miller dan Jastrow (1996) kontribusi MVA tanaman disamping perannya dalam pelapukan hara tanah juga berperan dalam siklus biokimia melalui pertukaran rasio konsentrasi unsur hara antara tanah, MVA, dengan tanaman. MVA juga bertindak menurunkan mobilitas hara melalui suplai hara lebih besar kepada tanaman inang. Di samping itu, MVA menjaga stabilitas agregasi tanah pada penambahan bahan organik yang cukup tinggi.

Mikoriza dari anggrek adalah endomikoriza, yaitu hifa simbiosis yang menembus sel dan sangat erat asosiasinya dengan sitoplasma. Jamur endomikoriza jelas mempunyai enzim yang dapat menghancurkan selulose dinding sel. Hasil penelitian Krupa dan Fries (1971), menunjukkan bahwa akar yang bermikoriza dapat memproduksi bahan atsiri yang bersifat fungistatik yang jauh lebih banyak dibanding dengan akar yang tidak bermikoriza. Bahan ini bila terdapat dalam jumlah cukup banyak dapat membatsi perkembangan jamur ektomikoriza hingga keadaan simbiotik terjadi. Dengan demikian bahan atsiri dan bukan atsiri dapat menahan patogen dalam akar, sedang bahan atsiri dapat menahan patogen di dalam rhizosfer.

4. Meningkatkan Ketahanan Tanaman terhadap Kekeringan

Peran FMA sebetulnya secara tidak langsung meningkatkan ketahanan terhadap kadar air yang ekstrim. Cendawan mikoriza dapat mempengaruhi kadar air tanaman inang (Morte dkk., 2000). Ada beberapa dugaan tanaman bermikoriza lebih tahan terhadap kekeringan, antara lain :

1. Adanya mikoriza menyebabkan resistensi akar terhadap gerakan air menurun sehingga transpor air ke akar meningkat.
2. Peningkatan status P tanaman sehingga daya tahan tanaman terhadap kekeringan meningkat. Tanaman yang mengalami kahat P cenderung peka terhadap kekeringan.
3. Pertumbuhan yang lebih baik serta ditunjang adanya hifa eksternal cendawan yang dapat menjangkau air jauh ke dalam tanah sehingga tanaman dapat bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Auge, 2001).
4. Pengaruh tidak langsung karena adanya hifa eksternal yang menyebabkan FMA efektif dalam mengagregasi butir tanah sehingga kemampuan tanah menyimpan air meningkat.

5. Perbaikan Struktur Tanah

Cendawan mikoriza melalui jaringan hifa eksternal dapat memperbaiki dan memantapkan struktur tanah. Sekresi senyawa-senyawa polisakarida, asam organik dan lender oleh jaringan hifa eksternal yang mampu mengikat butir-butir primer menjadi agregat

mikro. “*Organic binding agent*” ini sangat penting artinya dalam stabilisasi agregat mikro. Kemudian agregat mikro melalui proses “*Mechanical binding action*” oleh hifa eksternal akan membentuk agregat makro yang mantap. Cendawan MVA menghasilkan senyawa *glycoprotein glomalin* yang sangat berkorelasi dengan peningkatan kemantapan agregat. Konsentrasi glomalin lebih tinggi ditemukan pada tanah-tanah yang tidak diolah dibandingkan dengan yang diolah. Glomalin dihasilkan dari sekresi hifa eksternal bersama enzim-enzim dan senyawa polisakarida lainnya. Pengolahan tanah menyebabkan rusaknya jaringan hifa sehingga sekresi yang dihasilkan sangat sedikit.

Pembentukan struktur yang mantap sangat penting artinya terutama pada tanah dengan tekstur berliat atau berpasir. Cendawan MVA pada tanaman bawang di tanah bertekstur lempung liat berpasir secara nyata menyebabkan agregat tanah menjadi lebih baik, lebih berpori dan memiliki permeabilitas yang tinggi, namun tetap memiliki kemampuan memegang air yang cukup untuk menjaga kelembaban tanah. Struktur tanah yang baik akan meningkatkan aerasi dan laju infiltrasi serta mengurangi erosi tanah, yang pada akhirnya akan meningkatkan pertumbuhan tanaman. Dengan demikian cendawan mikoriza bukan hanya simbiosis bagi tanaman, tapi juga bagi tanah.

6. Proteksi Dari Unsur Toksik

Mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui perlindungan tanaman dari patogen akar dan unsur toksik. Imas *et al* (1993) menyatakan bahwa struktur mikoriza dapat berfungsi sebagai

pelindung biologi bagi terjadinya pantogen akar. Mekanisme perlindungan dapat diterangkan sebagai berikut:

- a. Adanya selaput hifa dapat berfungsi sebagai *barrier* masuknya pantogen
- b. Mikoriza menggunakan hampir semua kelebihan karbohidrat dan eksudat lainnya, sehingga tercipta lingkungan yang tidak cocok untuk pantogen.
- c. Cendawan mikoriza dapat mengeluarkan antibiotik yang dapat mematikan pantogen
- d. Akar tanaman yang sudah diinfeksi cendawan mikoriza tidak dapat diinfeksi oleh cendawan pantogen yang menunjukkan adanya kompetisi.

Namun demikian tidak selamanya mikoriza memberikan pengaruh yang menguntungkan dari segi pantogen. Pada tanaman tertentu, adanya mikoriza menarik perhatian zoospora phytophthora, sehingga tanaman menjadi lebih peka terhadap penyakit busuk akar.

Mikoriza juga dapat melindungi tanaman dari eksese unsur tertentu yang bersifat racun seperti logam berat. Mekanisme perlindungan terhadap logam berat dan unsur beracun yang diberikan mikoriza dapat melalui efek filtrasi, menonaktifkan secara kimiawi atau penimbunan unsur tersebut dalam hifa cendawan. VAM dapat terjadi secara alami pada tanaman *pioneer* di lahan buangan limbah industri, *tailing* tambang batu bara, atau lahan terpolusi lainnya. Inokulasi dengan inokulan yang cocok dapat mempercepat usaha penghijauan kembali tanah tercemar unsur toksik.

1.4. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan

Mikoriza

1. Suhu

Berpengaruh terhadap perkembangan spora, penetrasi hifa serta perkembangannya pada kortek akar. Suhu optimum untuk perkecambahan spora sangat beragam tergantung pada jenisnya (Kusuma, 2018). Suhu yang relatif tinggi akan meningkatkan aktivitas cendawan. Untuk daerah tropika basah, hal ini menguntungkan. Proses perkecambahan pembentukan melalui 3 tahap yaitu perkecambahan spora di tanah, penetrasi hifa ke dalam sel akar dan perkembangan hifa di dalam korteks akar.

Suhu yang tinggi pada siang hari 35°C tidak menghambat perkembangan akar dan aktivitas fisiologi mikoriza. Peran mikoriza hanya menurun pada suhu di atas 40°C. Suhu bukan merupakan faktor pembatas utama bagi aktivitas CMA. Suhu yang sangat tinggi lebih berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman inang.

2. Kadar Air Tanah

Keberadaan mikoriza pada tanaman yang tumbuh di daerah kering sangat menguntungkan karena dapat meningkatkan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan bertahan pada kondisi yang kurang air. Ada beberapa dugaan mengapa tanaman bermikoriza lebih tahan terhadap kekeringan di antaranya adalah:

1. Adanya mikoriza menyebabkan resistensi akar terhadap gerakan air menurun sehingga transport air ke akar meningkat.

2. Tanaman memiliki P lebih peka terhadap kekeringan, adanya mikoriza menyebabkan status P tanaman meningkat, sehingga menyebabkan daya tahan terhadap kekeringan meningkat.
3. Adanya hifa eksternal menyebabkan tanaman bermikoriza lebih mampu mendapatkan air dari pada yang tidak bermikoriza.
4. Tanaman bermikoriza lebih tahan terhadap kekeringan barangkali karena pemakaian air yang lebih ekonomis
5. Pengaruh tidak langsung karena adanya miselium eksternal menyebabkan CMA mampu dalam mengagregasi butir-butir tanah sehingga kemampuan tanah menyimpan air meningkat.

3. Jenis dan pH Tanah

Jenis tanah merupakan faktor yang berpengaruh terhadap jenis mikoriza. Hal ini dapat terjadi karena setiap jenis tanah memiliki tekstur, kandungan organik dan pH tanah berbeda. Meskipun demikian daya adaptasi masing-masing spesies CMA terhadap pH tanah berbeda-beda karena pH tanah mempengaruhi perkecambahan, perkembangan dan peran mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman.

Menurut Kurnia dkk (2019), *Glomus* sp. lebih mudah ditemukan pada tanah pada fraksi lempung sementara *Gigaspora* sp. dan *Scutellospora* sp. lebih mudah ditemukan pada tanah berpasir. *Gigaspora* sp., *Scutellospora* sp. dan *Acaulospora* sp. umumnya hanya ditemukan pada tanah dengan pH asam sementara *Glomus* sp. dapat ditemukan pada tanah dengan pH asam hingga netral.

4. Bahan Organik

Jumlah spora mikoriza tampaknya berhubungan dengan kandungan bahan organik di dalam tanah. Jumlah maksimum spora ditemukan pada tanah - tanah yang mengandung bahan organik 1-2% sedangkan pada tanah-tanah berbahan organik kurang dari 0,5% kandungan spora sangat rendah.

Residu akar mempengaruhi ekologi mikoriza, karena serasah akar yang terinfeksi mikoriza merupakan saran penting untuk mempertahankan generasi mikoriza dari satu tanaman ke tanaman berikutnya. Serasah tersebut mengandung hifa, vesikel dan spora yang dapat menginfeksi CMA. Disamping itu juga berfungsi sebagai inokulan untuk generasi tanaman berikutnya.

5. Cahaya dan Ketersedian Hara

Intensitas cahaya yang tinggi dengan kandungan nitrogen ataupun fosfor sedang akan meningkatkan jumlah karbohidrat di dalam akar sehingga membuat tanaman lebih peka terhadap infeksi oleh cendawan mikoriza. Peran mikoriza yang erat dengan penyediaan P bagi tanaman menunjukkan keterikatan khusus antara mikoriza dan status P tanah. Pada wilayah beriklim sedang konsentrasi P tanah yang tinggi menyebabkan menurunnya infeksi mikoriza yang mungkin disebabkan konsentrasi P internal yang tinggi dalam jaringan inang.

6. Pengaruh Logam Berat dan Unsur Lain

Pada percobaan dengan menggunakan tiga jenis tanah dari wilayah iklim sedang didapatkan bahwa pengaruh menguntungkan

karena adanya mikoriza menurun dengan naiknya kandungan Al di dalam tanah. Aluminium (Al) diketahui menghambat muncul, jika ke dalam larutan tanah ditambahkan kalsium (Ca). Jumlah Ca di dalam larutan tanah rupa-rupanya mempengaruhi perkembangan mikoriza. Tanaman yang ditumbuhkan pada tanah yang memiliki derajat infeksi mikoriza yang rendah. Hal ini karena peran Ca^{2+} dalam memelihara integritas membran sel.

7. Fungisida

Fungisida merupakan racun kimia yang dirakit untuk membunuh fungsi penyebab penyakit dan tanaman. Disamping mampu membrantas fungsi penyebab penyakit fungisida Agrosan, Benlate, Plantavax meskipun dalam konsentrasi yang sangat rendah (2,5 μg per gram tanah) kolonisasi mikoriza yang mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan tanaman dan pengambilan P.

Pemakaian fungisida masih dalam pertimbangan karena jika fungisida tidak dipakai maka tanaman yang terserang cendawan bisa mati atau merosot hasilnya, tetapi jika tidak dipakai membunuh cendawan mikoriza yang sangat berguna bagi pertumbuhan tanaman. Pada masa depan perlu dicari satu cara untuk mengendalikan penyakit tanaman tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan terhadap jasad renik berguna di dalam tanah.

BAB II

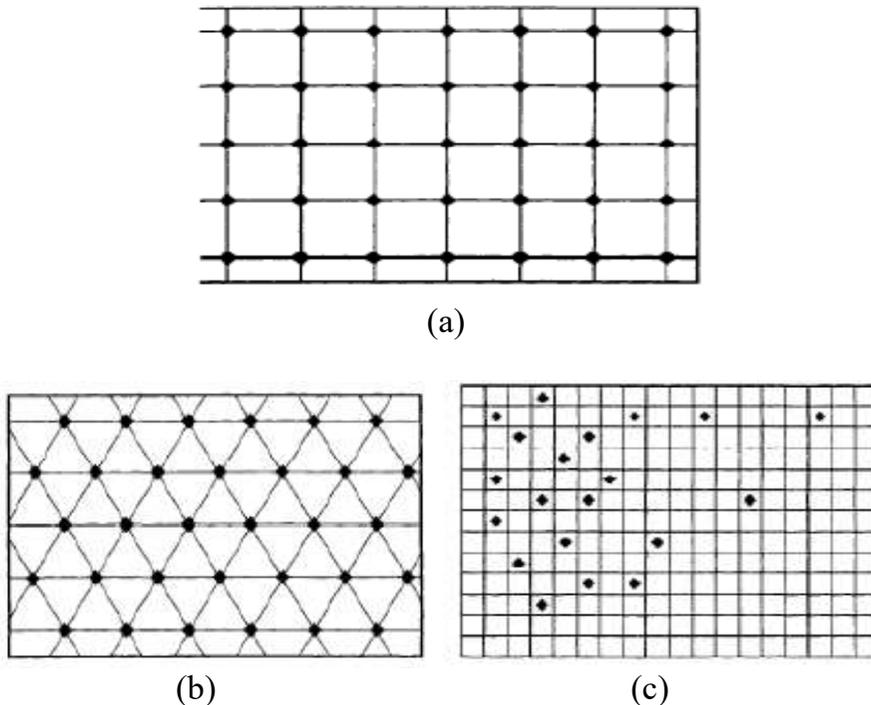
Sains Sebagai Cara Menyelidiki (*a way of Investigating*)

Ayo Melakukan Pengamatan Spora Mikoriza

2.1 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dari lapangan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menyiapkan bahan yang akan digunakan untuk melakukan pengamatan spora mikoriza. Prinsip pengambilan sampel tanah pada kegiatan ini memiliki prinsip yang sama dengan pengambilan tanah untuk analisis kimia, fisika dan biologi tanah. Perkecambahan spora dan perkembangan mikoriza oleh jamur yang berbeda dapat dipengaruhi oleh keragaman pH dalam tanah.

Terdapat dua metode pengambilan sampel tanah yang pertama diambil secara proporsional dilakukan berdasarkan pola geometris tertentu, sehingga jarak yang pasti antara satu titik pengamatan dan titik lainnya. Umumnya pola tersebut dibuat berdasarkan peta yang ada dan tidak terlalu mempertimbangkan kondisi lapangan. Sedangkan pengambilan sampel tanah yang kedua adalah dengan cara nonproporsional ditentukan berdasarkan kondisi lapangan yang ada. Teknik pengambilan sampel tanah dapat diambil secara proporsional ataupun nonproporsional (Gambar 9).



Gambar 9. Teknik Pengambilan Sampel Tanah Secara Proporsional (a,b) dan Tidak Proporsional (c) (Nusantara dkk, 2012)

Prayogo dan Prasetya (2021) melakukan pengamatan mikoriza pada vegetasi lahan pascatambang batu bara dimana dengan mempertimbangkan tipe iklim Schmidt dan Ferguson, curah hujan, serta suhu udara. Pengamatan vegetasi lokal lahan pasca tambang batu bara ditemukan jenis vegetasi *Paspalum conjugatum*, *Rhodomyrtus tomentosa*, dan *Chromolaena odorata*.

Vegetasi ini mampu tumbuh pada lahan kritis dan dapat berpotensi sebagai bioremediator yang baik karena mampu mengakumulasi logam Pb dan Cd pada akarnya serta dapat dimanfaatkan sebagai tumbuhan revegetasi karena mampu hidup pada lahan pasca tambang batubara dengan baik. Karakteristik tanah lahan pasca tambang batubara ini haruslah terlebih dahulu dilakukan

pengukuran unsur P tersedia, C organik tanah dan pH tanah yang tersedia agar dapat menentukan lokasi sampling yang tepat.

Purba dan prasetya (2021) juga melakukan pengamatan vegetasi lapangan berdasarkan keadaan vegetasi yang ada dilahan. Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan seperti melakukan pengukuran Luas Bidang Dasar (LBD) dan pengukuran ketebalan seresah. Pengukuran ini dilakukan untuk melihat tingkat C-organik dalam mempengaruhi keberadaan mikoriza. Sampel tanah yang diambil dari *Gliricidia sepium*, *Albicia fakataria*, dan *theobroma cacao* akan dilakukan analisis fisio-kimia tanah untuk menentukan perbedaan sebaran mikoriza setiap vegetasi yang diteliti. Sifat fisio-kimia yang dianalisis meliputi pH, C-organik, serapan P pada akar.



Gambar 10. Pengambilan Sampel Tanah di Unimed
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Setelah mengetahui teknik pengambilan sampel tanah dan vegetasi yang tepat. Anda siap untuk melakukan pengamatan secara

mandiri terdapat beberapa tahapan yang anda perlu di perhatikan pada saat melakukan pengambilan sampel tanah sebagai berikut:

ALAT DAN BAHAN :

1. Lokasi pengamatan dan sampel tanah
2. Kantong plastik sebagai wadah, tali raffia, sekop tanah atau pacul dan kertas label
3. Larutan FAA (Formalin Aseto Alkohol). Larutan FAA merupakan larutan fiksatif yang dibuat dengan mencampurkan alcohol 70% sebanyak 90 ml, formalin 5 ml, dan asam asetat glasial (AAG) 5 ml ke dalam gelas beker lalu dituang dalam botol dan di kocok.

CARA KERJA :

1. Tentukan titik lokasi pengamatan sesuai dengan sebaran vegetasi dan inang tumbuhan yang diinginkan. Luas bidang dasar dan kerapatan tumbuhan berpengaruh nyata terhadap keberadaan spora (Purba dan Prasetya, 2021). Ketebalan seresah yang ada di sekitara vegetasi juga mempengaruhi sebaran MA (Nannipieri dkk, 2003).
2. Tentukan faktor-faktor penunjang pengamatan mikoriza seperti pH, sifat Fisio-kimia dan lain sebagainya. Pemberian bahan organik ke dalam tanah baik dari bahan tanaman maupun kotoran hewan dapat menaikkan pH tanah pada tanah masam, dengan jalan menghambat proses hidrolisis MA sehingga membuat kondisi tidak tersedia di dalam tanah.

3. Lakukan pengukuran lokasi pengamatan. Ukuran lokasi pengamatan sebaiknya tidak terlalu luas karena dapat menyebabkan perbedaan struktur tanah maupun tumbuhan penunjang di sekitarnya yang dapat mempengaruhi mikoriza yang ingin diamati.
4. Sediakan pacul atau sekop tanah yang dapat digunakan untuk menggali sampel tanah serta kantong plastik sebagai wadah. sampel tanah dan akar harus dimasukkan secara bersama-sama ke dalam kantong plastik yang telah disediakan.
5. Ambil dari beberapa titik pengamatan yang memiliki vegetasi sama dan jadikan menjadi satu agar menjadi contoh komposit. Setiap tanaman inang memiliki satu contoh komposit tanah dan akar. Namun jika ingin mengamati keanekaragaman FMA pada individu tanaman atau jenis pohon tertentu yang sama, maka satu kantong plastik berisi satu tanaman saja.
6. Berikan label pada bagian luar kantong plastik. Yang mana label tersebut bertuliskan informasi mengenai tanggal dan lokasi pengambilan sampel tanah dan akar, jenis tanaman inang, jenis tanah dan informasi lain yang dianggap perlu. Pastikan tulisan pada label tidak mudah hilang karena basah atau gesekan.
7. Biarkan kantong plastik tetap terbuka selama beberapa saat. Hal ini bertujuan agar membiarkan sampel tanah sudah cukup dingin dan respirasinya telah berkurang. Uap air pada permukaan dalam plastik menunjukkan sampel tanah masih aktif melakukan respirasi.

8. Sampel tanah dan akar harus segera diproses sesaibainya di laboratorium atau dimasukkan ke dalam lemari pendingin jika tidak dapat langsung diproses jika di dalam lemari pendingin tanah dapat bertahan hingga dua minggu.
9. Sampel tanah dan akar dapat dihancurkan dengan mesin penggiling jika akan digunakan untuk kultur penangkaran atau ekstraksi spora.
10. Sebagian akar dicuci bersih kemudian disimpan dalam larutan FAA (Formalin + Aseton + Alkohol 50%). Simpanan akar ini dapat digunakan untuk menganalisis karakter-karakter morfologi MVA dalam akar, tetapi tidak dapat digunakan untuk analisis keheraan dan biokimia (Nusantara dkk, 2021).

2.2. Beberapa Tahapan Isolasi Spora

Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) berfungsi sebagai mikroorganisme tanah yang dapat membantu dalam siklus unsur hara (Muryati dkk, 2016). Dengan struktur hifa yang halus dan panjang dapat menjelajah ke dalam tanah untuk menyerap air, unsur hara makro dan mikro yang tidak dapat dijangkau oleh akar (Simanungkalit, 2006). Simbiosis MVA dengan tanaman inangnya dapat menyebabkan meningkatnya ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit akar.

Bentuk keberhasilan asosiasi MVA dengan akar dapat dilihat dari koloniasasi akarnya. Namun tingkat efektivitas setiap tanaman inang berbeda, karena setiap MA memiliki spesifikasi dalam memilih dan berasosiasi dengan jenis tanaman tertentu. Jenis tanaman yang tepat dan kondisi lingkungan yang tepat sangat menentukan

koloniasasi akar, jumlah spora dan keragaman jenis spora (Horrison, 2005). Anda dapat melakukan ekstraksi spora mikoriza dari sampel tanah dilakukan dengan metode tuang dan saring basah (Pacioni, 1992) dan dilanjutkan dengan teknik sentrifugasi (Brundett *et al*, 1996).



Gambar 11. Hasil Penimbangan Sampel Tanah
(Sumber : Dokumen Pribadi)

ALAT DAN BAHAN:

1. Timbangan
2. Contoh tanah
3. Ember, gelas beaker 1000 ml dan 500 ml, cawan petri, botol semprot
4. Sentrifug
5. Sukrosa 60%. Pembuatanya dengan cara melarutkan 60 gram gula pasir dengan 100 ml air.
6. Sukrosa 80%. Pembuatannya dengan cara melarutkan 80 gram gula pasir dengan 100 ml air.

7. Satu set penyaring bertingkat (sieve) dengan ukuran garis tengah mata saring 700 μm , 250 μm , 125 μm , 63 μm , dan 45 μm . Alat penyaring yang digunakan dapat disesuaikan berdasarkan ketersediaan di laboratorium.
8. Aquades
9. Mikroskop stereo

CARA KERJA I

1. Masukkan contoh tanah ke dalam ember dan kemudian tambahkan air secukupnya. Aduk dan remas dengan tangan untuk menghancurkan agregat tanah. Keluarkan akar-akar tanaman yang tadinya tersekap di dalam agregat atau bongkah tanah.
2. Akar lebih baik tidak dibuang, harus diikuti untuk prosedur berikutnya, karena hampir semua FMA membentuk spora intraradikal kecuali *Gigaspora*
3. Masukkan suspensi tanah dan akar ke dalam tabung blender, khususnya untuk bongkah tanah yang sulit dihancurkan dengan tangan. Hancurkan contoh tanah tersebut dengan menekan tombol *start* agar spora terlepas dari agregat hifa yang menempel pada akar atau tanah.
4. Waktu yang digunakan untuk memblender tidak boleh terlalu lama karena justru akan menghancurkan akar yang membuat ekstrak menjadi semakin keruh.
5. Tuangkan suspensi tanah dan akar ke penyaring bertingkat. Bagian teratas ialah penyaring dengan ukuran mata saring

terbesar (500 μm) dan yang paling bawah ialah penyaring dengan ukuran mata saring terkecil (38 μm). ukuran mata saring 38-63 μm sudah mampu menangkap sebagian besar spora FMA. Biasanya partikel-partikel liat masih terikut, sehingga mengotorkan hasil penyaringan.

6. Endapan yang ada pada penyaring terbawah (ukuran lubang paling kecil) dipindahkan ke gelas beaker dengan bantuan air dari botol semprot.
7. Aduk dan tuangkan ke tabung sentrifugasi. Tinggi ekstrak sebaiknya tidak melebihi 1 cm dan harus tersedia cukup ruangan agar suspensi tidak tumpah.
8. Tuangkan larutan gula 60% ke dalam suspensi tanah sebanyak 2 kali volume ekstrak.
9. Lakukan sentrifugasi dengan kecepatan 3.000 rpm selama kurang lebih 3 menit atau 2.500 rpm selama 5 menit.
10. Spora akan mengapung pada larutan gula atau bagian atas suspensi jernih.
11. Tuangkan suspensi jernih ke permukaan penyaring berukuran 38 μm , segera bersihkan dengan air mengalir untuk mencegah terjadinya lisis spora.
12. Dengan bantuan semprotan air dari botol semprot, pindahkan spora ke wadah plastik atau cawan petri .

CARA KERJA II

1. Timbanglah sampel tanah sebanyak 100 gram kemudian dimasukkan dalam gelas beaker 1000 ml dan ditambah air

sampai volume 1 liter. Tanah diaduk selama \pm 10 menit sampai homogen dan agregat tanah dipecah dengan tangan supaya spora terbebas dari tanah.

2. Suspensi tanah tersebut di diamkan selama \pm 1 menit sampai partikel-partikel yang besar mengendap dan memisahkan akar dari tanah.
3. Tuangkan cairan supernatan ke dalam saringan bertingkat dengan diameter lubang 1 mm, 425 μm , 106 μm , 45 μm , 25 μm . Prosedur ini diulang sebanyak 2-3 kali.
4. Residu masing-masing saringan dibilas dengan air keran untuk menjamin bahwa semua partikel yang kecil sudah terbawa.
5. Residu saringan yang berukuran 106 μm , 45 μm , 25 μm dituangkan ke dalam cawan petri dengan bantuan botol semprot yang berisi aquades untuk dilakukan pengamatan spora di bawah mikroskop (Sukmawaty dkk, 2016).

CARA KERJA III

1. Timbanglah sampel tanah sebanyak 50 gram dan di tambahkan aquades sebanyak 500 ml dan diaduk sampai butiran-butiran tanah tersuspensi.
2. Kemudian tuangkan ke dalam satu set saringan 700 μm , 250 μm , 125 μm , 63 μm , dan 45 μm .
3. Tanah yang diambil adalah tanah yang ada pada saringan 63 μm dan 45 μm . dengan bantuan botol semprot yang berisikan aquades sebanyak 30 ml cairan dimasukan ke dalam botol sentrifuge. Berikan label pada botol tersebut agar tidak tertukar.

4. Sentrifugasi dengan kecepatan 2000 rpm selama 5 menit. Pastikan tutup sentrifuge tertutup rapat.
5. Botol hasil sentrifugasi di tetesi dengan sukrosa 80% sebanyak 15 ml dan di sentrifugasi kembali dengan kecepatan 2000 rpm selama 1 menit.
6. Setelah selesai supernatant di tuangkan ke dalam cawan petri untuk diamati di bawah mikroskop (Faiza dkk, 2013).

CARA KERJA IV

1. Timbanglah sampel tanah sebanyak 50 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker dan dilarutkan dengan air sebanyak 500 ml kemudian di aduk hingga homogeny dan didiamkan selama 30 menit.
2. Suspense media dituangkan ke dalam saringan mikro berukuran 600 μm , 160 μm , 53 μm dan 45 μm yang disusun secara bertingkat dengan ukuran yang paling besar berada paling atas.
3. Kemudian dicuci dengan air keran mengalir hingga air jernih.
4. Hasil penyaringan masing-masing saringan (160 μm , 53 μm dan 45 μm) dipindahkan ke dalam tabung sentrifug sebanyak 100 ml. kemudian di sentrifugasi selama 3 menit dengan kecepatan 2500 rpm.
5. Hasil saringan dalam tabung sentrifuge di tambahkan dengan sukrosa 60% yang diletakkan pada bagian bawah larutan dengan menggunakan pipet tetes.
6. Tabung sentrifuge ditutup rapat dan di sentrifugasi kembali dengan kecepatan 2500 rpm selama 30 detik. Nantinya akan

menghasilkan 2 fase larutan supernatant (bening) dan endapan (keruh).

7. Supernatant yang mengandung spora ditampung pada saringan berukuran 45 μm dan dicuci sampai bersih. Kemudian spora dapat di hitung dan diamati di bawah mikroskop.

CARA KERJA V

1. Timbanglah sampel tanah sebanyak 50 gram ditambah dengan 200-300 ml air, lalu diaduk sampai butiran-butiran tanah hancur, kemudian didiamkan selama \pm 2-5 menit.
2. Prosedur kerja teknik penyaringan basah adalah mencampurkan sampel tanah sebanyak 200 gram dengan 1000-1200 ml air dan diaduk merata.
3. Selanjutnya disaring dalam satu set saringan bertingkat dengan ukuran 550 μm , 250 μm , dan 125 μm secara berurutan dari atas ke bawah.
4. Dari saringan bagian atas disemprot dengan air keran untuk memudahkan bahan saringan lolos.
5. Kemudian saringan paling atas dilepas dan saringan kedua kembali disemprot dengan air keran.
6. Tanah yang tersisa pada saringan 250 μm , 125 μm dipindahkan ke dalam tabung sentrifuge.
7. Kemudian ditambahkan aquades sebanyak 25 ml dan disentrifug dengan kecepatan 2000 rpm selama 5 menit.
8. Tambahkan glukosa 60% ke Hasil sentrifuse dibuang supernatannya.

9. Tutup rapat Tabung sentrifus dan disentrifugasi kembali dengan kecepatan 2000 rpm selama 1 menit.
10. Selanjutnya larutan supernatant tersebut dihisap dengan pipet hisap dan dituangkan ke dalam saringan 45 μm , dicuci dengan air mengalir (air kran) untuk menghilangkan glukosa. Endapan yang tersisa dalam saringan di atas dituangkan ke dalam cawan petri plastic dan kemudian diamati di bawah stereoskop untuk identifikasi dan jumlah spora (Bernada, 2016).

2.3 Identifikasi Spora Mikoriza

Spora dalam satu genus dibedakan atas beberapa tipe berdasarkan bentuk, warna dan reaksinya dengan larutan Melzer's sebagai pewarna spora dan PVLG sebagai pengawet sporanya. Identifikasi jamur MVA dilakukan berdasarkan karakteristik ciri-ciri umum dari spora yang ditemukan meliputi bentuk spora, warna spora, jumlah dinding spora, reaksi spora ketika diberi larutan melzer. Spora yang ditemukan dicatat karakteristiknya dan diambil gambarnya, karakterisasi spora jamur MVA dilakukan dengan menggunakan buku identifikasi jamur mikoriza menurut Schenck dan Perez (1990) yang berjudul *„Manual for identification Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM, 2018).*

Bahan dan alat :

1. Spora hasil penyaringan.
2. Larutan PVLG (*Polyvinil lactoglycerol*): Larutkan 8,33 gram polivinil alcohol dalam campuran 50 ml asam laktat, 5 ml gliserin, dan 50 ml air destilata.

3. Larutan Melzer: Larutkan 1,5 gram Iodine dan 5 gram KI (*Potassium iodine*) dengan 100 ml air destilat. Campurkan larutan tersebut dengan larutan PVLG dengan perbandingan 1:1 (Volume:Volume).
4. Pinset spora, pipet mikro, gelas objek, *cover slip*, piala gelas, dan tusuk gigi.
5. Mikroskop stereo.
6. Mikroskop *compound*.

Cara Kerja:

1. Populasi spora

1. Populasi spora ditentukan berdasarkan jumlah spora hasil penyaringan (*sieving*).
2. Siapkan cawan petri dan buat garis *grid* pada bagian bawahnya, masing-masing selebar 0,5 cm atau 1 cm bergantung kepada jumlah spora. Garis *grid* juga dapat dibuat pada selembar kertas putih yang kemudian dijadikan alas cawan petri.
3. Tuangkan hasil penyaringan spora (air bercampur spora) ke cawan petri tersebut.
4. Hitung jumlah spora dengan bantuan mikroskop pada setiap bidang pandang sampai seluruh cawan petri teramati. Jumlah spora dinyatakan dalam jumlah spora ke 100 gram tanah.

2. Pengelompokan (*Grouping*)

1. Siapkan cawan petri dan buat garis *grid* pada bagian dalamnya, masing-masing selebar 0,5 cm atau 1 cm bergantung pada

jumlah spora. Garis *grid* juga dapat dibuat pada selembar kertas putih yang kemudian dijadikan alas cawan petri.

2. Tuangkan hasil penyaringan spora (air bercampur spora) ke cawan petri tersebut.
3. Amati spora dan kemudian ambil spora dengan pinset spora atau tusuk gigi berdasarkan ciri morfologi kelompoknya (ukuran, warna, lapisan dinding sel, ornamen, dan bentuk hifa yang melekat pada dinding spora).
4. Letakkan setiap kelompok spora pada cawan petri yang berbeda.
5. Hasil pengelompokan dapat diberi nama sementara genus FMA dengan ciri spesifik misalnya *Acaulospora* kemerahan, *Gigaspora* kuning, *Glomus* kecil cokelat atau *Glomus* besar kekuningan.

3. Pembuatan Preparat Kering (*Mounting*)

1. Siapkan *object glass* pada bagian sebelah kiri, teteskan larutan PVLG dan bagian sebelah kanan teteskan larutan Melzer.
2. Letakkan 5-10 spora sejenis pada setiap tetes larutan tersebut, kemudian masing-masing bagian ditutup dengan *cover slip*.
3. Pecahkan spora dengan cara menekan permukaan *cover slip* dengan tusuk gigi.
4. Letakkan *object glass* di bawah mikroskop *compound*.
5. Bila sudah kering, olesi tepi *cover slip* dengan *cutex* jernih agar *cover slip* tidak lepas, sekaligus mencegah masuknya kotoran.

6. Amati ciri morfologi spora yaitu berdasarkan ukuran, warna, lapisan dinding sel spora, dinding sel, ornamen, dan bentuk hifa yang melekat pada dinding spora (*Bulbous suspensor*, *dudukan hifa* , atau *subtending hyphae*).
7. Ambil gambar spora dengan kamera digital.

4. Identifikasi Mikoriza

1. Berdasarkan identitas morfologinya, mikoriza dapat diidentifikasi sampai proses pembuatan karakterisasinya.
2. Lakukan pengamatan dibawah mikroskop stero dengan perbesaran 40x.

➤ *Glomus*

- Ukuran spora 20 – 200 μm
- Dinding spora lebih dari 1 lapis
- Spora dalam bentuk tunggal tidak saling melekat
- Berbentuk bulat sampai dengan bulat lancip
- Berwarna kuning kecoklatan, coklat muda, coklat tua kehitaman, ungu hingga hitam
- Memiliki tanda spora (*Sporocarp*)
- terbentuk dari perkembangan hifa (*chlamydospora*)



Gambar 12. *Glomus multicaule*
(Sumber: INVAM, 2017)

➤ *Gigaspora*

- Berbentuk bulat, oval dan iregular
- Berwarna hitam kekuningan dan kuning kecoklatan, kuning kehijauan, hijau kekuningan hingga hitam.
- Memiliki hifa membentuk *Bulbous suspensor*
- Tidak memiliki lapisan dinding dalam
- tidak membentuk struktur vesikula didalam akar melainkan hanya terdapat arbuskula dan hifa.



Gambar 13. *Gigaspora gigantea*
(Sumber : INVAM, 2022)

➤ *Scutellospora*

- Ukuran spora 100-250 μm
- Bentuk spora bulat, elips, dan terkadang irregular
- Lapisan dinding spora tipis (± 2 lapis).
- Bereaksi dengan Melzer secara menyeluruh.
- Memiliki ornament berupa *germinaton shield*.
- Hifa membentuk *Bulbous supensor* atau dudukan hifa yang membulat.
- Memiliki sel auksilari (*auxiliary cell*) yang dapat dikatakan sebagai perwujudan vesikula eksternal
- Warna dinding spora kuning, biru, coklat hingga kehitaman



Gambar 14. *Scutellospora calospora*
(Sumber: INVAM, 2022)

➤ *Acaulospora*

- Ukuran spora 100 -200 μm
- Bentuk bulat, irregular, dan elips
- Lapisan luar tidak bereaksi dengan Melzer.

- Lapisan dalam bereaksi dengan Melzer (warna lebih gelap-merah keunguan).
- Memiliki beraneka ornament bergantung kepada spesiesnya, misalnya berbentuk duri pada *Acaulospora spinosa* dan berbentuk tabung pada *A. tuberculata*.
- Warna bervariasi dari transparan, kuning, merah muda transparan, hingga putih.



Gambar 15. *Acaulospora laevis*
(Sumber: INVAM, 2017)

➤ *Enterophospora*

- Ukuran 100 – 200 μm
- Memiliki lapisan dinding spora, luar dan dalam.
- Warna kuning cokelat.
- Memiliki dua buah cystalloid sebagai tanda.



Gambar 16. *Enterophospora infrequens*
(Sumber: INVAM, 2017)

➤ *Sclerocystis*

- Memiliki tandan spora (*Sporocarp*).
- Ukurannya sama dengan *Acaulospora*.
- Lapisan dinding menggerombol.
- Tidak bereaksi dengan larutan Melzer.
- Ornament berlapis dan tidak berlapis.
- Lapisan dalam bereaksi dengan Melzer (warna lebih gelap-merah keunguan).
- Memiliki beraneka ornament bergantung kepada spesiesnya, misalnya berbentuk duri pada *Acaulospora spinosa* dan berbentuk tabung pada *A. tuberculata*.
- Warna dominan merah .
- Memiliki satu *Cycatrix* sebagai tanda.

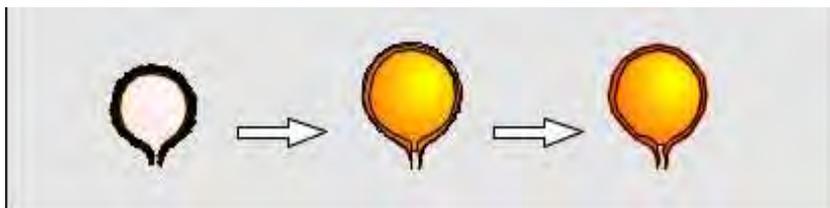


Gambar 17. *Sclerocystis sinuosum*
(Sumber: INVAM, 2017)

2.4 Hasil dan Pembahasan Pengamatan Spora Mikoriza di Hutan Kampus Unimed

1. *Glomus* sp.

Spora MVA genus *Glomus* umumnya berwarna kuning kecoklatan, kuning terang dan coklat tua, selain itu juga ditemukan warna putih susu dalam jumlah paling sedikit. Spora berbentuk bulat sampai bulat lancip, pada salah satu ujungnya terdapat hifa yang berbentuk lurus atau bengkok, terdapat pula *Glomus* berbentuk sporokap (Warouw dan Kainde., 2010).



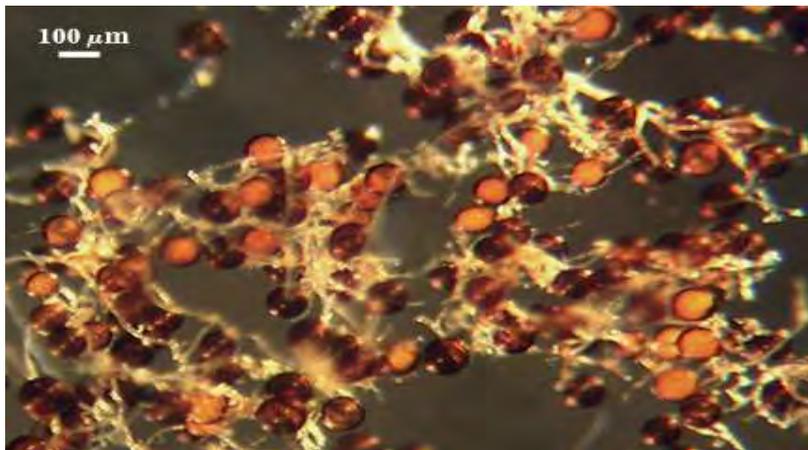
Gambar 18. Perkembangan Spora *Glomus*
(Sumber : Schüßler, A and C. Walker C. 2010)

Proses perkembangan spora genus *Glomus* sp. adalah dari ujung hifa yang membesar sampai ukuran maksimal dan terbentuk spora. Karena sporanya berasal dari perkembangan hifa maka disebut chlamydospora, kadang hifa bercabang-cabang dan tiap cabang terbentuk chlamydospora dan membentuk *sporocarp*. Pada saat dewasa, spora dipisahkan dari hifa pelekak oleh sebuah sekat, spora bentuk globos, subglobos, ovoid ataupun obovoid dengan dinding spora terdiri atas lebih dari satu lapis, Spora genus *Glomus* dapat ditemukan dalam bentuk tunggal atau agregat lepas, *sporocarp* tidak seperti pada *Sclerocystis* dan *sporocarp* terdiri dari spora dengan dinding lateral yang saling melekat satu sama lainnya.

Spora *Glomus* yang ditemukan rata-rata memiliki bentuk bulat sampai bulat lonjong, permukaan dinding spora relatif halus, dan memiliki dinding spora yang tipis. Namun, masing-masing spesies memiliki ciri-ciri tersendiri mulai bentuk spora bulat sampai bulat lonjong. Spora yang ditemukan ada yang melekat dengan hifa dan ada pula yang tidak. Hifa pada spora yang ditemukan langsung menyatu dengan dinding spora dengan warna yang hampir sama dengan dinding spora.

Menurut Margaretha (2011) bahwa mikoriza (*Glomus* sp.) tidak dapat berkembang baik pada pH basa, karena suhu berpengaruh terhadap pertumbuhan dan pembentukan koloni spora mikoriza. *Glomus* dapat berkembang pada tanah yang didominasi fraksi lempung (clay), Mikoriza genus *Glomus* sp. mampu menunjukkan eksistensinya untuk bertahan hidup dan berkembang di lingkungan yang terbentuk akibat penimbunan tanpa *top soil* di areal bekas tambang batubara.

Spora *Glomus* terbentuk dari perkembangan hifa (chlamydospora) yang terkadang bercabang dan membentuk *sporocarp*. Saat dewasa spora dipisahkan dari hifa pekat. *Glomus* mempunyai tingkat adaptasi yang cukup tinggi terhadap lingkungan baik pada kondisi tanah yang masam maupun netral. Ukuran spora *Glomus* antara 20-200 μm , ukuran tersebut lebih kecil dibanding genus *Gigaspora* (Nurhalimah dkk, 2014).

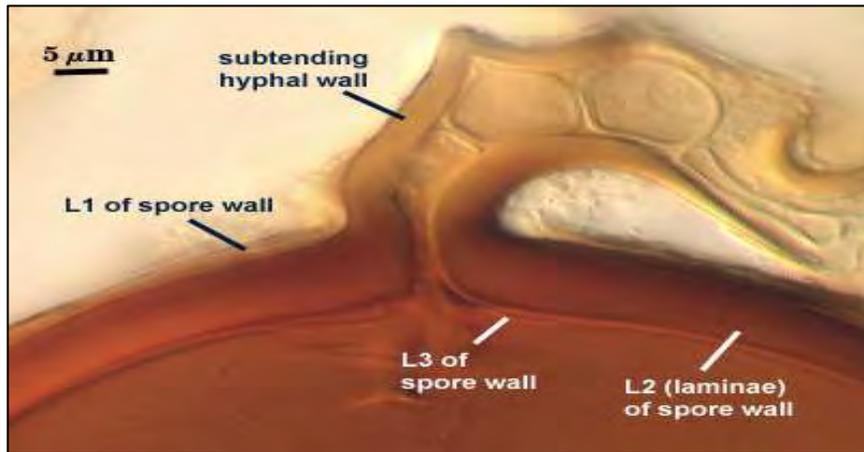


Gambar 19. Sporokarp *Glomus* sp.
(Sumber : INVAM, 2017)

Sporocarp berwarna coklat kehitaman, berbentuk subglobos hingga berbagai variasi bentuk, dengan ukuran 315–690 x 424-776 μm , terdiri dari satu lapis spora yang berasal dari inti tengah hifa yang terjalin tebal, tidak terdapat peridium. Beberapa sporocarps berasal dan dihubungkan dengan hifa yang lebarnya 20 μm dan tebalnya 3 μm .

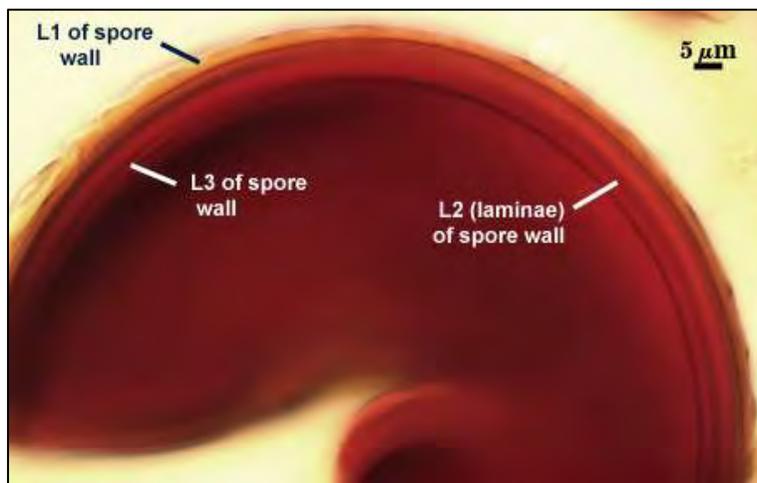
Dinding spora terdiri dari tiga lapis. Lapisan luar (L1) adalah subyaline, tebalnya 2-4 μm , memanjang sepanjang perlekatan dengan hifa ke pusat sporocarp. Permukaannya retikulat yang digambarkan terdiri dari susunan teratur dengan lebar 3-9 μm sering patah di dekat

titik perlekatan hifa, spora terpisah cairan pewarna yang membatasi perlekatan.



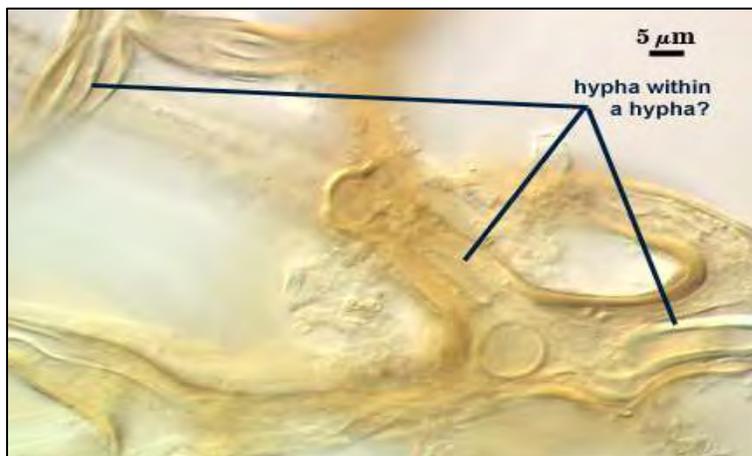
Gambar 20. Dinding Sel *Glomus* sp. dalam pewarna PVLG
(Sumber : INVAM, 2017)

Lapisan tengah (L2) terdiri dari sublapisan halus atau Laminae dengan tebal 3-14 μm, berwarna coklat tua sampai hitam dengan perlekatan hifa. Lapisan terdalam (L3) bentuknya tipis dan fleksibel dengan tebal <1 μm berasal dari sublappisan terdalam dari dinding hifa kelanjutan dari dinding spora.



Gambar 21. Dinding Sel *Glomus* sp. dalam Pewarna Melzer
(Sumber : INVAM, 2017)

Spora terbentuk secara tunggal atau dalam sporokarp yang tidak teratur di dalam akar atau di jaringan tanaman yang mati yang di gambarkan sebagai subhialin hingga hialin, globose ellipsoid atau bentuknya sangat bervariasi dengan diameter 54-197 x 44-163 μm . Dinding spora terdiri dari dua lapisan dimana keduanya reaktif terhadap reagen Melzer. Lapisan luar (L1) adalah hialin sampai subhialin, dimana terdiri dari sublapisan halus (lamina) hingga tebalnya 4 μm , yang akan hancur dan mengelupas seiring bertambahnya usia. Lapisan dalam (L2) adalah hialin sampai subhialin, semi fleksibel dengan tebal 0,4 1 μm . Dilihat dari struktur hifa yang melekat pada specimen lapisan ini tampaknya berlanjut sebagai bagian dari dinding hifa.



Gambar 22. Hifa Sel *Glomus* sp dalam Pewarna Melzer
(Sumber : INVAM, 2017)

Gambar hifa dengan titik pelebaran hingga 5-10 μm menunjukkan bahwa terdiri dari dua lapisan dinding yang merupakan kelanjutan dari dinding spora.

Glomus sp. dengan berbagai dosis memberikan pengaruh yang lebih terhadap tinggi tanaman dibandingkan dengan tanpa pemberian jenis mikoriza dari jenis lainnya meskipun adanya patogen yang menyerang tanaman dan mikoriza dapat bekerja lebih efektif jika kondisi tanaman kurang menguntungkan dari segi cekaman faktor biotik. Pada awal penambahan mikoriza tidak terlihat perubahan atau pengaruh pada tanaman karena pendugaan bahwa mikoriza menjalankan fungsi yang lain terhadap tanaman, yaitu meningkatkan ketahanan tanaman dari serangan patogen sehingga mendorong akar tanaman mengeluarkan karbohidrat lebih banyak untuk mikoriza sebelum dikeluarkan dalam bentuk eksudat akar dan menjadikan patogen tidak dapat berkembang. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada table 1 berbagai spora *Glomus* sp. yang terdapat di hutan kampus Universitas Negeri Medan.

Tabel 3. *Glomus* sp. pada Pohon Mahoni di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan

No	<i>Glomus</i> sp. di Pohon Mahoni	Ciri-ciri
1.		<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk : Bulat • Warna : Coklat tua • Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm • Jumlah dinding spora 3 dan sporocarp coklat kehitaman • Permukaan spora halus <p style="text-align: right;"><i>Glomus</i> sp. 1 (10 x 40)</p>

2.



- Bentuk : Oval
- Warna : Coklat muda
- Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 2 (10 x 40)

3.



- Bentuk : Bulat lancip
- Warna: Coklat kekuningan
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 3 , memiliki sporocarp dan sporocarp coklat kehitaman
- Permukaan spora halus
- Memiliki *Bulbous supensor*

Glomus sp. 3 (10x 40)

4.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat tua
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora iregular

Glomus sp. 4 (10x 40)

5.



- Bentuk : Bulat lancip
- Warna : Kuning kecoklatan
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora iregular

Glomus sp. 5 (10x 40)

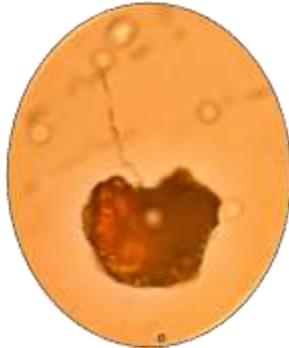
6.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat muda
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 1 lapis memiliki chlamydospora
- Permukaan spora irregular

Glomus sp. 6 (10x 40)

7.



- Bentuk : Oval
- Warna : Coklat muda
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 3 lapis
- Permukaan spora irregular
- Memiliki *bulbous supensor*

Glomus sp. 7 (10x 40)

8.



- Bentuk : Bulat lancip
- Warna : Coklat bening
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2 lapis
- Permukaan spora halus

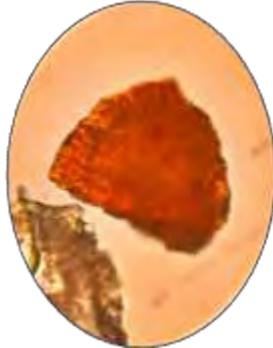
Glomus sp. 8 (10 x 40)

9.



- Bentuk : Bulat
 - Warna : Hitam selaput bening
 - Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
 - Jumlah dinding spora 2 lapis
 - Permukaan spora irregular
- Glomus* sp. 9 (10 x 40)

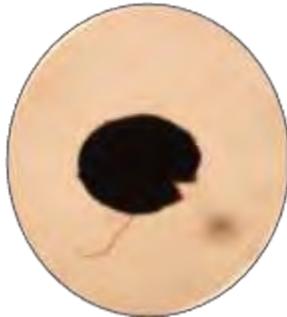
10.



- Bentuk : Oval
- Warna: Coklat keemasan
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 10 (10 x 40)

11.



- Bentuk : Bulat
- Warna: Hitam
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora halus
- Memiliki *bulbous suspensor*

Glomus sp. 11 (10 x 40)

12.



- Bentuk : Bulat
- Warna: Coklat muda
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 3 , memiliki sporocarp dan memiliki chlamydospora
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 12 (10 x 40)

13.



- Bentuk : Bulat lancip
- Warna : Hitam
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora halus
- Memiliki *bulbous suspensor*
- Ciri khas: menempel dengan hifa

Glomus sp. 13 (10 x 40)

14.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat Kekuningan
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 3, memiliki sporocarp dan memiliki chlamydospora
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 14 (10x 40)

15.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat bening
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2 memiliki chlamydospora dan menempel dengan hifa
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 15 (10 x 40)

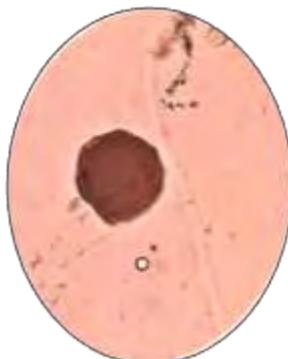
16.



- Bentuk : Oval
- Warna : Hitam
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 3 dan memiliki sporocarp
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 16 (10 x 40)

17.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat tua
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora halus
- Ciri khas: menempel dengan hifa

Glomus sp. 17 (10 x 40)

18.



- Bentuk : Oval
- Warna : Coklat
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora halus
- Memiliki chlamydospora
- Ciri khas: menempel dengan hifa

Glomus sp. 18 (10 x 40)

19.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Kuning
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2 dan memiliki sporocarp
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 19 (10 x 40)

20.



- Bentuk : Bulat lancip
- Warna : Bening
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2 dan memiliki sporocarp
- Permukaan spora irregular
- Pinggiran spora bergelombang

Glomus sp. 20 (10 x 40)

21.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat tua
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2 dan memiliki sporocarp
- Permukaan spora halus
- Memiliki chlamydospora

Glomus sp. 21 (10 x 40)

22.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat tua
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 1
- Permukaan spora halus
- Ciri khas: menempel dengan hifa

Glomus sp. 22 (10 x 40)

23.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Hitam
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 1
- Permukaan spora halus
- Memiliki chlamydospore
- Ciri khas: menempel dengan hifa

Glomus sp. 23 (10 x 40)

24.



- Bentuk : Bulat lancip
- Warna : Coklatan
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 24 (10 x 40)

25.



- Bentuk : Bulat lancip
- Warna : Kuning
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 3 memiliki chlamydospore
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 25 (10 x 40)

26.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Kuning
- Ukuran : Lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 3
- Permukaan spora halus
- Memiliki chlamydospore dan sporocarp
- Permukaan spora bergranula

Glomus sp. 26 (10 x 40)

27.



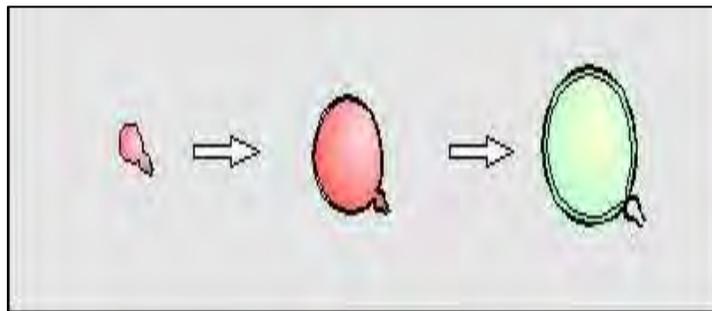
- Bentuk : Bulat
- Warna : Kuning
- Ukuran : lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2
- Permukaan spora halus

Glomus sp. 27 (10 x 40)

2. *Gigaspora* sp.

Spora *Gigaspora* sp. merupakan salah satu anggota Endomikoriza yang dihasilkan secara tunggal didalam tanah, dengan ukuran yang relatif besar dan memiliki bentuk globos atau subglobos.

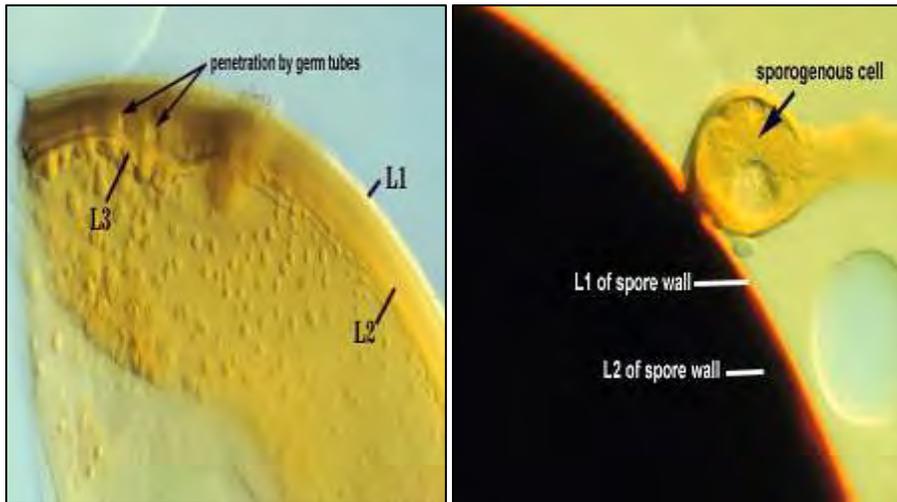
Berbentuk bulat dan permukaan dinding spora relatif kasar dan dinding spora berwarna hitam, namun tidak terdapat hifa yang menempel pada dinding spora sehingga bulbous suspensor tidak terlihat. Warna spora pada genus ini bervariasi mulai dari kuning, kuning kehijauan, hijau kekuningan, kuning kecoklatan, hingga coklat kekuningan (Sari, Ermavitalini, 2014) Spora berukuran lebih besar dari pada spora *Glomus*. *Gigaspora* merupakan salah satu tipe mikoriza vesikular-arbuskular yang memproduksi zygospora dalam tanah sehingga mampu membantu dalam serapan P dalam tanah ke sistem perakaran tanaman.



Gambar 23 Perkembangan Spora *Gigaspora* sp.
(Sumber : Bentivenga, S.P. and Morton, J.B. 1995)

Spora berkembang secara blastik dari ujung hifa, yang membengkak dan menjadi “sel sporogen”. Setelah sel sporogen mencapai ukuran penuhnya (biasanya sekitar 25-50 μm pada sebagian besar spesies), spora mulai berkembang di ujungnya. Lapisan luar dan lapisan laminasi berkembang secara bersamaan, dan seringkali tidak dapat dibedakan dalam spora remaja tanpa bantuan reagen Melzer.

Lamina kemudian menebal dan akhirnya mengembangkan lapisan dalam berkulit, dari mana beberapa tabung kuman muncul.



(a)

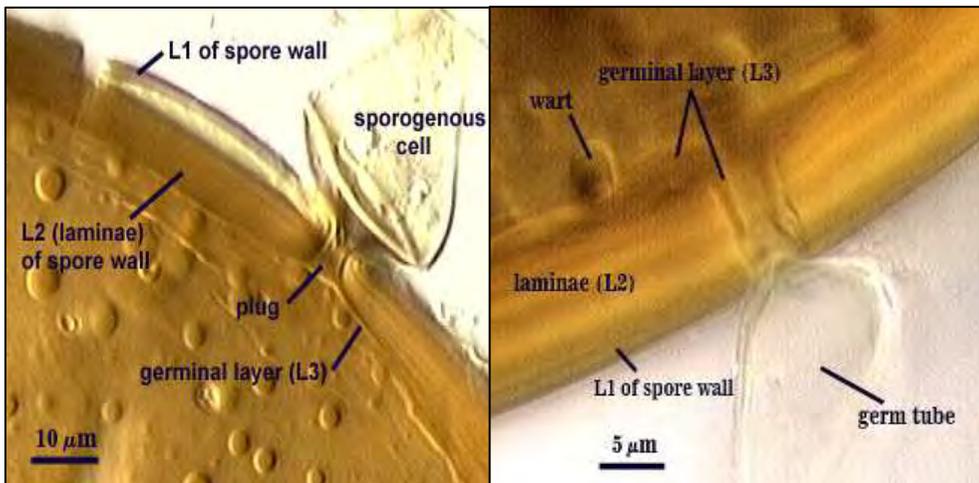
(b)

Gambar 24 Dinding Spora (a) Dengan PVLG;
 (b) Dengan **PVLG** + Reagen Melzer
 (Sumber: INVAM,2017)

- L1: Lapisan luar kaku permanen, hialin, tebal 1,5-2,2 μm . Permukaannya halus, meskipun puing-puing mungkin menempel pada spora yang lebih tua, terutama yang dikumpulkan dari lapangan.
- L2: Lapisan yang terdiri dari sublapisan hialin (atau lamina) yang bertambah banyak dengan ketebalan; sangat bervariasi dalam ketebalan spora dewasa; Tebal 8-29 μm (18-27 μm hanya dalam satu spora). Variasi ini dikaitkan dengan plastisitas sublapisan yang menyebabkan penyebaran serta kerusakan dengan tekanan yang diberikan pada slide. Sublapisan berwarna coklat pucat (0-10-60-0) di PVLG, diwarnai merah-coklat tua

(20-80-100-0) hingga merah-ungu yang sangat gelap (60-80-70-10) dalam reagen Melzer.

- L3: Lapisan “germinal” yang berwarna dengan lapisan laminasi (L2). L3 sering paling berbeda pada tingkat ultrastruktural, di mana ia tampak padat elektron. Di bawah mikroskop majemuk, lapisan melekat pada L2. Banyak "kutil" atau "papil" terbentuk di permukaan bagian dalam lapisan ini, dan terkonsentrasi di daerah di mana tabung germinal terbentuk (biasanya di dekat sel suspensor); kutil setinggi 1,2-5 μm dalam spora berkecambah.



Gambar 25. Dinding Spora *Gigaspora* sp.

Sumber : (INVAM, 2006)

Wachjar, dkk (1998) mengatakan bahwa pemberian inokulum cendawan *Gigaspora rosea* dengan beberapa dosis yang berbeda memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah daun, luas daun dan bobot kering daun pada bibit kopi Robusta (*Coffea canephora*). Dosis inokulum cendawan hingga 5 g/bibit dapat meningkatkan tinggi bibit,

diameter batang dan jumlah daun. Namun tidak mempengaruhi kadar N dan P dalam bibit kopi. Krikun (1991) menemukan bahwa tanaman yang terinfeksi mikoriza mengandung sitokinin dengan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tidak terinfeksi. Pengaruh sitokinin ini adalah mendorong pembesaran sel dan pemanjangan sel. Pemberian dosis tinggi pada tanaman kopi tersebut menyebabkan terjadi laju perkembangan infeksi maksimum pada akar bibit kopi. Tanaman mendapatkan serapan hara yang lebih baik, tahan terhadap kekeringan dan pantogen, akar serta dapat meningkatkan kandungan hormon tanaman dari mikoriza.

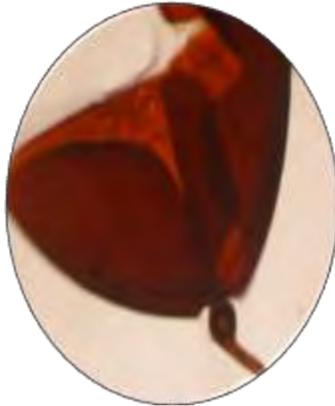
G. margarita salah satu jenis dari Mikoriza Vesikula Arbuskula (MVA) memiliki hifa berfungsi untuk menginfeksi akar membantu dalam menyerap posfor (P) yang tidak tersedia bagi tanaman pada daerah yang tidak dapat terjangkau oleh akar di tanah dan melindungi perakaran dari serangan pantogen. Pemberian *G. margarita* dengan konsentrasi 15 g pada tanaman cabai (*Capsicum annuum*) dapat meningkatkan berat basah sebesar 96,77 g (Merdekawati, dkk, 2014). Berat basah tanaman berhubungan erat dengan penyerapan air dan unsur hara yang diserap oleh akar tanaman yang digunakan untuk proses fotosintesis. Tanaman yang bersimbiosis dengan jamur MVA akan mampu menyerap air dan hara yang lebih baik sehingga laju fotosintesis akan meningkat dan fotosintat yang dihasilkan akan meningkat pula. Infeksi *G. margarita* juga mempengaruhi berat kering tanaman hingga 10,15 g. Berat kering tanaman menunjukkan dari banyaknya unsur hara yang diserap persatuan biomassa dan bahan organik yang dihasilkan dari fotosintesis. Inokulasi jamur

MVAberpengaruh terhadap berat kering tanaman karena jamur MVA mempunyai hifa-hifa yang berasosiasi dengan perakaran tanaman sehingga pengambilan unsur hara menjadi lebih baik. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 1 berbagai spora *Gigaspora* sp. yang terdapat di hutan kampus Universitas Negeri Medan.

Tabel 4. *Gigaspora* sp. pada Pohon Mahoni di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan

No	<i>Gigaspora</i> sp. di Pohon Mahoni	Ciri-ciri
1.		<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk : Bulat • Warna : Hitam • Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm • Jumlah dinding spora 1 dan memiliki tabung germinal • Permukaan spora halus <p><i>Gigaspora</i> sp. 1 (10 x 40)</p>
2.		<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk : Bulat • Warna : Kuning bening • Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm • Jumlah dinding spora 1 dan memiliki tabung germinal • Permukaan spora halus <p><i>Gigaspora</i> sp. 2 (10 x 40)</p>

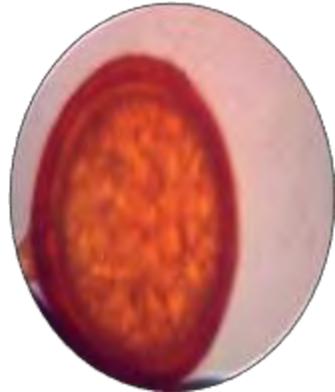
3.



- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat tua
- Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 1 dan memiliki tabung germinal
- Permukaan spora halus

Gigaspora sp. 3 (10 x 40)

4.



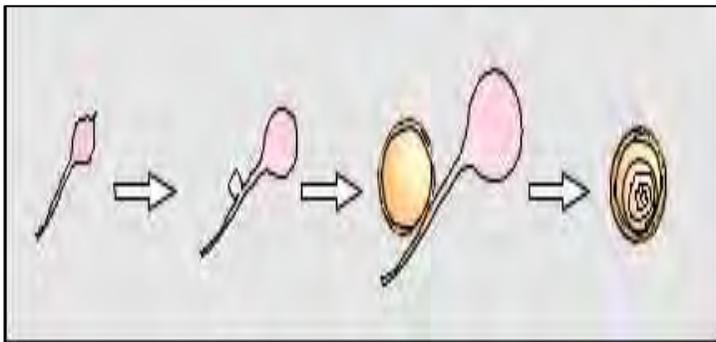
- Bentuk : Bulat
- Warna : Coklat kekuningan
- Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm
- Jumlah dinding spora 2 memiliki tabung germinal
- Permukaan spora halus
- Memiliki bulbous (penyangga spora)

Gigaspora sp. 4 (10 x 40)

3. *Acaulospora* sp.

Genus *Acaulospora* termasuk ke dalam family Acaulosporaceae. Genus ini memiliki beberapa ciri yaitu berbentuk globus hingga elips, berwarna hitam, merah, orange, kuning, memiliki 2-3 dinding spora dengan ukuran rata-rata 121 μm . Genus ini beradaptasi dengan kondisi tanah masam dengan pH kurang dari 5 hingga netral. Proses perkembangan spora *Acaulospora*, yaitu diantara hifa terminus dengan subtending hifa. Perkembangan spora Genus

Acaulospora seolah-olah dari ujung hifa. Genus ini berbentuk bulat, berwarna putih bening, dinding spora berornamen, permukaan spora relatif halus. Pada umumnya jenis *Acaulospora* jika diberi larutan Melzer's akan berubah warnanya pada bagian dalamnya (*germination wall*) yang berwarna lebih gelap dibandingkan dengan bagian luarnya yang dapat dijadikan ciri khas dari jenis *Acaulospora* (Naulfa, 2018).



Gambar 26. Perkembangan Spora *Acaulospora* sp.
(Sumber: ASchüßler dan Walker, 2010)

Proses berkembangnya spora *Acaulospora* secara blastik dari ujung hifa. Setelah sakulus telah berkembang penuh, spora mulai berkembang dari sisi hifa subtending (disebut "leher sakulus"). Saat spora matang, kantung kehilangan isinya (tidak mengosongkan ke dalam spora) dan akhirnya mengelupas sehingga seringkali tidak menempel pada spora yang matang sepenuhnya

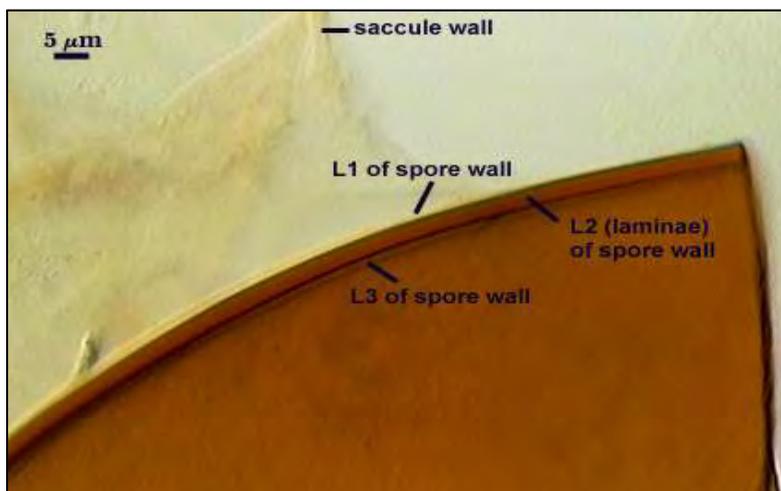
Perbedaan antara *Acaulospora* dan genus saudaranya, *Entrophospora*, terletak secara eksklusif pada posisi spora saat berkembang dari leher sakulus. Pada kenyataannya, sifat ini telah berevolusi beberapa kali dan tidak dapat menentukan clade monofiletik yang unik karena sifat tersebut adalah produk dari evolusi konvergen.

Dalam terminologi filogenetik, menempatkan semua spesies dalam spora di dalam leher saccule dalam satu genus (*Entrophospora*) (Schüßler dan Walker, 2010).



Gambar 27. Spora *Acaulospora* sp.
(Sumber: *Archaeospora* (Schüßler dan Walker, 2010))

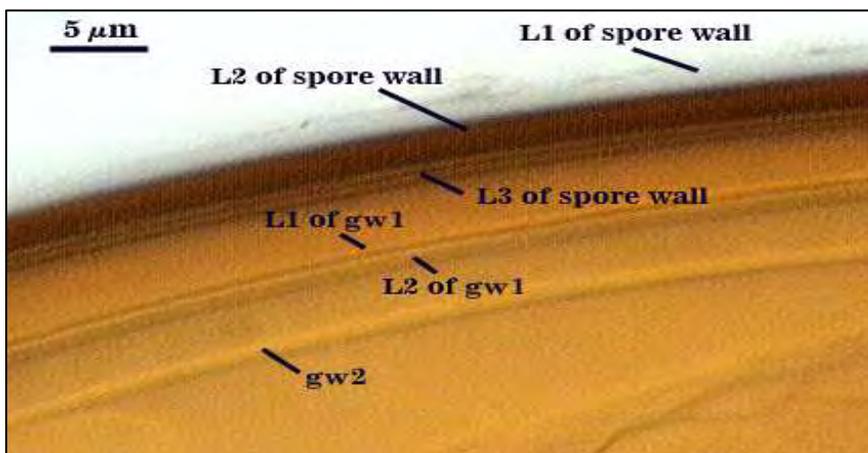
Spora terdiri dari dinding spora tiga lapis dan dua dinding germinal fleksibel dua lapis. Lapisan dinding spora berdiferensiasi secara berurutan (L1 hingga L3), setelah itu masing-masing dinding germinal berdiferensiasi secara berurutan (gw1 hingga gw2).



Gambar 28. Dinding Spora *Acaulospora* sp.
(Sumber: Schüßler dan Walker, 2010)

Dinding spora terdiri dari tiga lapisan (L1, L2, dan L3), yang terluar menyambung dengan dinding leher sakulus sporiferus induk dan dua lapisan dalam disintesis saat spora berkembang dari leher sakulus. L2 dan L3 terbentuk secara berurutan selama diferensiasi dinding spora.

- L1: Hialin, halus, tebal 1,2-2,0 μm pada spora juvenil; bersambung dengan dinding leher sakulus. Ini terdegradasi atau terkelupas saat spora terlepas dari leher sakulus.
- L2: Lapisan yang terdiri dari sublapisan yang sangat halus dan sering melekat, oranye pucat-coklat (0-30-100-0) hingga oranye-coklat tua (0-20-100-0), tebal 1,6-2,8 μm (rata-rata 1,9 μm). Permukaan lapisan ini halus, tanpa reaksi dalam reagen Melzer.
- L3: Lapisan lain berwarna kuning-coklat muda (0-10-40-0), terdiri dari sublapisan yang sangat halus dan melekat erat, tebal 1,2-1,6 μm (rata-rata = 1,4 μm). Tidak ada reaksi dalam reagen Melzer.



Gambar 29. Dinding Spora *Acaulospora* sp. dalam PVLG dan Reagen Melzer (1:1) (Sumber: Schüßler dan Walker, 2010)

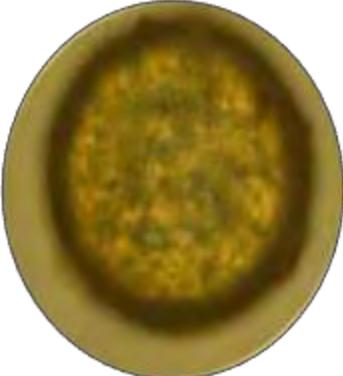
Dinding germinal terdapat dua dinding bagian dalam hialin yang fleksibel (gw1 dan gw2).

- GW1: Dua lapisan hialin yang melekat erat (L1 dan L2) terbentuk. L1 tebalnya kurang dari 0,5m. L2 tebalnya 1,0-1,8 m.
- GW2: Dua lapisan hialin yang melekat erat (L1 dan L2) terbentuk. L1 setebal 0,5-0,8 m dan dilapisi pada permukaannya dengan butiran granular (atau "manik-manik") yang cenderung copot dan hanyut saat diberi tekanan.

"Manik-manik" ini distabilkan setelah pengawetan dalam formalin, tetapi sebaliknya mungkin tidak ada pada spora yang dipasang dalam beberapa minggu hingga bulan penyimpanan. L2 tebalnya 0,5-1,0 m dan umumnya tidak reaktif dalam reagen Melzer (kadang-kadang menghasilkan reaksi merah muda yang sangat pucat).

Untuk lebih jelas dapat di lihat pada table 3 berbagai spora *Acaulospora* sp. yang terdapat di hutan kampus Universitas Negeri Medan.

Tabel 5. *Acaulospora* sp. pada Pohon Mahoni Di Hutan Kampus Universitas Negeri Medan

No	<i>Acaulospora</i> sp. di Pohon Mahoni	Ciri-ciri
1.		<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk : Bulat • Warna : Cokelat • Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm • Jumlah dinding spora 2 memiliki warna germinal lebih coklat tua • Permukaan spora granul • Memiliki bulbous (penyangga spora) • <p><i>Acaulospora</i> sp. 1 (10 x 40)</p>
2.		<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk : Bulat • Warna : Kuning • Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm • Jumlah dinding spora 2 memiliki warna germinal kuning tua • Permukaan spora granul <p><i>Acaulospora</i> sp. 2 (10 x 40)</p>
3.		<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk : Bulat • Warna : Kuning • Ukuran lolos pada saringan 0.041 mm • Jumlah dinding spora 2 • Permukaan spora granul • Memiliki sakulus (perkembangan spora) <p><i>Acaulospora</i> sp. 3 (10 x 40)</p>

Soal Pilihan Berganda

Gunakan informasi berikut untuk menjawab pertanyaan no 1

Kolonisasi mikoriza pada akar tumbuhan dapat memperluas bidang serapan akar dengan adanya hifa eksternal yang tumbuh dan berkembang melalui bulu akar.

1. Kolonisasi mikoriza merupakan asosiasi antara jamur dengan...
 - a. Akar
 - b. Batang
 - c. Daun
 - d. Ranting
 - e. Tanah

(Kunci Jawaban: a)

Gunakan informasi berikut untuk menjawab pertanyaan no 2-4!

Kemampuan mikoriza untuk mempercepat pertumbuhan tanaman, meningkatkan penyerapan unsur hara terutama Phosphate (p), meningkatkan ketahanan tanaman baik dari patogen maupun kondisi ekstrem seperti kekeringan, pH rendah, dan unsur logam berat yang tinggi di dalam tanah.

(Prasetya, B., Pravoga. H. M., 2021).

2. Pernyataan berikut yang *bukan* merupakan peran mikoriza bagi tanaman adalah...
 - a. Membantu pertumbuhan bintil akar
 - b. Mengoptimalkan penyerapan air dan unsur hara
 - c. Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan
 - d. Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap radiasi tinggi

- e. Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan cendawan pantogen

(Kunci Jawaban: b)

3. Bagaimana mikoriza menguntungkan tumbuhan ...

- a. Dengan cara meningkatkan kapasitas penyerapan hara oleh akar dan memberikan perlindungan terhadap serangan berbagai jenis patogen dan stres abiotik di sekitar rhizosfer.
- b. Dengan cara menurunkan penyerapan air dan memberikan penyerapan hara sempurna di sekitar rhizosfer
- c. Dengan cara meningkatkan pemanjangan akar hingga sampai menemukan letak air dan zat hara sempurna
- d. Dengan cara meningkatkan penyerapan air dan hasil fotosintesis dari daun secara sempurna
- e. Dengan cara menurunkan fungsi kerja patogen yang menyerang di sekitar rhizosfer tumbuhan

(Kunci Jawaban: a)

4. Fungsi mikoriza dalam program reboisasi hutan adalah...

- a. Membantu percepatan perbaikan unsur hara pada tanah
- b. Membantu penyuburan tanah dan pertumbuhan tanaman
- c. Mengubah struktur tanah yang kapur menjadi subur
- d. Menghalangi pertumbuhan pantogen
- e. Mengurangi kebutuhan tanaman akan air

(Kunci Jawaban: a)

Gunakan informasi berikut untuk menjawab pertanyaan no 5- 7!

Berdasarkan penyerapan hifanya Mikoria dibagi menjadi Endomikoriza dan Ektomikoriza. Endomikoriza memiliki jaringan hifa yang masuk ke dalam sel akar. Sedangkan Ektomikoriza tidak sampai masuk ke dalam sel tapi berkembang diantara sel kortek akar membentuk hartig net dan mantel dipermukaan akar.

5. Bagaimana tanda tumbuhan yang sudah terinfeksi oleh ektomikoriza...

- a. Akar akan menjadi memanjang dan menyebar
- b. Akar akan mengalami perubahan warna menjadi merah keputihan
- c. Batang dan akar tumbuhan menjadi sangat panjang
- d. Akar akan mengalami pemendekan dan pembengkakan
- e. Batang tumbuhan akan di tumbuhi oleh bulu halus demikian juga dengan akar

(Kunci Jawaban: d)

6. Salah satu sifat fungi mikoriza yang biotrop obligat adalah...

- a. Dapat membentuk hubungan merugikan antara simbiosis dengan inang
- b. Dapat mempertahankan persediaan nutrient yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman
- c. Dapat membentuk hubungan biotik yang kuat antara tanaman dan struktur komunitas fungi
- d. Dapat memiliki dampak maupun tidak terhadap inang yang di tumpang
- e. Dapat membantu penyerapan hara dan nutrisi bagi dua jenis tumbuhan berbeda

(Kunci Jawaban: c)

7. Manakah dibawah ini merupakan identitas dan klasifikasi infeksi mikoriza sesuai dengan pengelompokannya :

	Identitas	Klasifikasi
A	Membentuk <i>hartig net</i>	Endomikoriza
B	Membentuk <i>hartig net</i>	Ektomikoriza
C	Mantel Hifa di permukaan akar	Endomikoriza
D	Membentuk Arbuskula	Ektomikoriza
E	Akar membengkak	Endomikoriza

(Kunci Jawaban: c)

Gunakan informasi berikut untuk menjawab pertanyaan no 8!

Vesicular-Arbuscular Micorrhiza (VAM) membentuk struktur yang khas berbentuk oval yang disebut *vesicle* dan sistem percabangan hifa yang disebut *arbuscule* yang masuk sampai ke dalam sel kortek akar.

8. Sebuah akar inang terlihat vesicle di dalamnya merupakan ...

- a. Infeksi oleh Spora Endomikoriza
- b. Infeksi oleh spora Ektomikoriza
- c. Diduga terinfeksi oleh pantogen
- d. Dibentuk oleh hifa ekstraseluler dalam dinding sel inang
- e. Dibentuk oleh hifa intraseluler dalam dinding sel inang

(Kunci Jawaban: a)

Gunakan informasi berikut untuk menjawab pertanyaan no 9!

Glomus lebih mudah ditemukan pada tanah pada fraksi lempung sementara *Gigaspora* dan *Scutellospora* lebih mudah ditemukan pada tanah berpasir. *Gigaspora*, *Scutellospora* dan *Acaulospora* umumnya hanya ditemukan pada tanah dengan pH asam. Sementara *Glomus* dapat ditemukan pada tanah dengan pH asam hingga netral.

9. Spora mikoriza yang memiliki kemampuan hidup sama seperti *Gigaspora*...

- a. *Acaulospora*
- b. *Scutellospora*
- c. *Glomus*
- d. *Glomus* dan *Scutellospora*
- e. *Scutellospora* dan *Acaulospora*

(Kunci Jawaban: b)

Gunakan informasi berikut untuk menjawab pertanyaan no 10!

Dalam sebuah penelitian, Pemberian mikoriza FMA (*Gigaspora* dan *Glomus*) yang dikombinasi dengan pupuk kandang berpengaruh terhadap tinggi tanaman, bobot kering tanaman, dan serapan NPK kedelai umur 45 hari setelah tanam. Hal ini menunjukkan bahwa inokulasi FMA yang dikombinasi dengan pupuk kandang mampu memperbaiki kualitas tanah pada lahan kritis (terdegradasi) sehingga dapat memacu pertumbuhan kedelai pada tanah kritis.

Surfardi., Muyassir., Wulandari, S., (2018)

10. Kesimpulan yang tepat mengenai penggunaan mikoriza FMA pada kedelai diatas

- a. *Gigaspora* dan *glomus* mampu meningkatkan pertumbuhan kedelai
- b. Pupuk kandang tanpa FMA dapat meningkatkan kualitas tanah
- c. Respon dari FMA dan Pupuk kandang terhadap inang dapat dilihat dari tinggi tanaman, bobot kering dan serapan NPK
- d. Kualitas lahan terdegradasi dapat meningkat tanpa adanya FMA
- e. Kombinasi pupuk kandang dan FMA formulasi yang tepat untuk lahan kritis

(Kunci Jawaban: e)

BAB III

Sains Sebagai Cara Berpikir (*way of thinking*)

Ayo Berpikir Kritis!!!

3.1 Mikoriza pada Perbaikan Lahan Kritis

Perhatikan Gambar Berikut Ini!



Gambar 30. Lahan Kritis Sekitaran Danau Toba yang Disebabkan oleh Pembakaran Lahan (Onrizal, 2012)

Praktek pembakaran hutan dan lahan masih menjadi “budaya”, misalnya di daerah dataran tinggi Toba. Hal ini menyebabkan lahan

menjadi kritis karena dapat mengurangi kapasitas hutan dan lahan dalam menyerap air ke dalam tanah, hilangnya keanekaragaman hayati. Pada akhirnya, praktek ini merugikan secara ekonomi dan ekologi bagi kehidupan kita dan alam sekitar.

Lahan kritis merupakan lahan yang telah mengalami degradasi akibat pengolahan atau penggunaan tanah yang tidak atau kurang memperhatikan syarat-syarat konservasi tanah dan air (Arsyad, 2010). Tanah-tanah yang terdegradasi akan kehilangan atau berkurang fungsinya sehingga tidak optimal lagi dalam mendukung usaha pertanian. Meluasnya lahan kritis diberbagai wilayah disebabkan oleh proses-proses seperti erosi, penurunan kualitas fisik dan kimia dan dampak dari kekritisian lahan tersebut mengakibatkan menurunnya produktivitas lahan. Penurunan produktivitas biasanya ditandai dengan penurunan kualitas sifat-sifat fisik seperti *bulk density*, kompaksi, erosi dan menipisnya solum tanah (Bruand, *et al*, 2011).

Degradasi tanah juga dapat terjadi karena semakin intensifnya penggunaan lahan yang menyebabkan penurunan kadar unsur hara dalam tanah baik karena penyerapan oleh tanaman maupun hilang dibawa bersama panen, hilang karena erosi, tercuci oleh *subsoil* dan lain-lain. Akibatnya dapat menimbulkan rendahnya produktivitas lahan sehingga hasil tanaman yang salah satunya yaitu hasil pertanian yang diusahakan diatasnya akan menurun.

Persoalan lahan kritis dan masalah kerawanan sumber daya air di Indonesia sampai saat ini terus terjadi seiring bertambahnya jumlah penduduk dan kegiatan pembangunan. Pertambahan penduduk menimbulkan konsekuensi meningkatkan kebutuhan hidup terutama

pangan, sehingga perluasan areal pertanian dan pemanfaatan teknologi pertanian sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pangan tersebut. Tanah yang mengalami degradasi yang parah (kritis) dapat berakibat terhadap penurunan kualitas fisik, kimia dan biologi serta terganggunya keadaan hidrologinya. Menurut Turgay *et al* (2012), tanah kritis adalah tanah yang erosinya tinggi dan dapat mengakibatkan produktivitas tanah cepat sehingga merusak mutu lingkungan hidup sekitarnya. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kesuburan tanah dan kurangnya bahan organik didalam tanah tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Surfardi., Muyassir., Wulandari, S., (2018), dengan memanfaatkan Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) sebagai pupuk hayati dan dikombinasikan dengan pupuk kandang berbagai konsentrasi dalam meningkatkan penyerapan unsur hara dan hasil kedelai pada lahan kritis Aceh Besar. Menggunakan percobaan pot (*polybag*) pada media tanah *Lithic Troporthent* (Entisol) terdegradasi yang berasal dari Desa Ie Seuúm Krueng Raya (Aceh Besar). Kombinasi perlakuan diperoleh dari tiga perlakuan jenis FMA (tanpa FMA, *Gigaspora* sp., dan *Glomus* sp.) dan tiga dosis pupuk kandang sapi (0, 100, dan 150 g *polybag*-1 atau setara 0,10 ha⁻¹, dan 20 ha⁻¹). Benih kedelai varietas Anjasmoro ditanam dalam *polybag* yang berisi 10 kg tanah kemudian FMA (*Glomus* sp. atau *Gigaspora* sp.) diberikan dalam bentuk spora ke dalam lubang tanam pada tanah dalam *polybag* waktu penempatan benih kedelai, sementara pupuk kandang kotoran sapi diberikan dengan cara pencampuran dengan tanah.

Tanah *Lithic Trophent* (Entisol) lapisan atas (0-20 cm) yang dikaji sebagai media bagi pertumbuhan tanaman kedelai di dapat bahwa pH tanah tergolong agak masam (pH 6,08), kandungan C organik, N total, dan kalium dapat ditukar (K-dd) tergolong dalam kriteria rendah, P tersedia sangat rendah, sedangkan kalsium dan magnesium dapat ditukar (Ca-dd, Mg-dd), serta Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah tergolong sedang. Tanah dengan reaksi masam (pH rendah) termasuk tanah yang kurang produktif karena pH tanah mencerminkan ketersediaan hara di dalam tanah, aktifitas mikroorganisme dan berbagai reaksi yang terlibat dalam metabolisme tanaman berhubungan dengan pH tanah (Sufardi, 2012). Demikian juga, kandungan C organik dan N total tanah yang rendah akan menghambat pertumbuhan tanaman dan tidak dapat mencapai produksi yang optimum karena bahan organik dan nitrogen di dalam tanah mempunyai hubungan yang erat dengan ciri tanah dan kualitasnya. Unsur N, P, K, Ca, dan Mg merupakan unsur-unsur yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang tinggi setelah unsur H, C, dan O, sehingga penting diketahui dalam bentuk tersedia serta kecukupan jumlahnya. Unsur-unsur ini esensial bagi tanaman karena tidak dapat diganti fungsinya oleh unsur lain (Hasairin, 2014).

Pemberian mikoriza FMA (*Gigaspora* dan *Glomus*) yang dikombinasi dengan pupuk kandang berpengaruh terhadap tinggi tanaman, bobot kering tanaman, dan serapan NPK kedelai umur 45 hari setelah tanam. Hal ini menunjukkan bahwa inokulasi FMA yang dikombinasi dengan pupuk kandang mampu memperbaiki kualitas tanah pada lahan kritis (terdegradasi) sehingga dapat memacu

pertumbuhan kedelai pada tanah kritis. Keunggulan yang diperoleh dengan aplikasi FMA untuk perbaikan kualitas tanah karena aplikasi mikoriza (FMA) dapat memperluas daerah jangkauan perakaran tanaman dalam menyerap unsur hara dan air untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai (Wang *et al.*, 2017). Disamping itu ukuran hifa yang lebih halus dari bulu-bulu akar memungkinkan hifa bisa menyusup ke pori-pori tanah yang paling kecil (mikro) sehingga hifa bisa menyerap air pada kondisi kadar air tanah sangat rendah . Serapan air yang lebih besar oleh tanaman bermikoriza, juga membawa unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran masa seperti N, P, K dan S, sehingga serapan unsur tersebut juga makin meningkat (Surfardi dkk, 2018). Dengan meningkatnya serapan air dan unsur hara, maka akan terjadi peningkatan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai.

Terdapat pengaruh FMA yang semakin tinggi dengan penambahan pupuk kandang membuktikan bahwa pupuk kandang merupakan bahan utama tanah yang baik dalam memperbaiki kualitas karena selain dapat mengurangi berbagai kendala buruk pada tanah terdegradasi yaitu meningkatkan kadar bahan organik tanah juga pupuk kandang dapat memperbaiki sifat-sifat fisika, kimia dan biologi tanah sehingga berdampak baik terhadap pertumbuhan tanaman. Pupuk kandang selain memperbaiki kesuburan tanah, juga meningkatkan bahan organik dan sumber hara makro dalam tanah. Pupuk kandang juga berperan sebagai penyumbang C ke tanah (Tawaraya, 2013) dan menjadi sumber energi bagi mikroorganisme di dalam tanah. (Wang *et al.*, 2017).

3.2. Mikoriza pada Lahan Bekas Tambang Emas

Perhatikan gambar Berikut!



Gambar 31. Area Bekas Tambang Emas Illegal di Mandailing Natal (Mongabay.com, 2022)

Tambang emas ilegal di Mandailing Natal ditinggalkan begitu saja. Kegiatan tersebut berdampak ada kerusakan lingkungan seperti banyaknya lubang galian bekas tambang yang ditinggalkan begitu saja.

Industri pertambangan di Indonesia saat ini meninggalkan masalah sosial terhadap warga Indonesia. Tidak hanya di Aceh, Berdasarkan laporan BBC Indonesia setidaknya 36 orang meregang nyawa di lubang tambang bekas galian batu bara di berbagai wilayah Kalimantan Timur. Pegiat lingkungan menyebut saat ini 1.735 lubang tambang dibiarkan menganga oleh perusahaan. Pemerintah kini mengeluarkan hukum bahwa lahan bekas tambang harus di reklamasi agar lahan tersebut dapat digunakan kembali sebagai lahan pertanian.

Kegiatan penambangan emas tanpa izin terbukti mengakibatkan kerusakan ekosistem. Kerusakan tersebut sebagai akibat permukaan tanah (*top soil*) tertimbun tanah hasil galian (*tailing*) sumur tambang dengan kedalaman hingga puluhan meter. Penimbunan hasil galian tersebut menyebabkan kondisi fisik, kimia dan biologis tanah menjadi buruk, sehingga terjadi penurunan populasi mikroba tanah (Ahwal, 2014).

Lahan bekas tambang memiliki karakteristik berpasir dan berbatu yang berasal dari dalam tanah hasil galian. Disekitar lokasi terdapat kolam-kolam besar yang merupakan lubang galian para penambang mencari emas. Umumnya masyarakat melakukan penambangan cara tradisional, yakni dengan cara mendulang untuk mengambil emas yang ada didalam tanah. Proses penambangan berlanjut dengan cara modern menggunakan mesin-mesin berkekuatan besar sehingga hasil yang didapat penambang cukup besar. Setelah penambangan dilakukan, lokasi penambangan ditinggalkan dengan kondisi tanah yang sudah rusak sehingga lokasi tersebut dalam keadaan berpasir dan berbatu serta lubang-lubang bekas galian.

Masalah yang sering terjadi ialah sulitnya lahan pascatambang ditumbuhi tanaman karena kurangnya kandungan unsur hara hingga berdampak pada kematian pada tanaman (Anggreiny *et al.*, 2017; Juliarti *et al.*, 2020). Sehingga menjadi kewajiban oleh setiap perusahaan penambangan untuk melakukan kegiatan rehabilitasi lahan yang telah di tambang/ dieksploitasi.

Teknik rehabilitasi pada lahan bekas penambangan memerlukan pendekatan edaphik dan silvikultur, karena lahan bekas tambang

umumnya telah mengalami perubahan dari pembentukan tanah yang terbentuk secara alamiah sehingga secara fisik, kimia dan biologi kurang mendukung pertumbuhan tanaman. Ciri - ciri pedogenetik pada lahan - lahan bekas tambang tidak dapat diidentifikasi dan umumnya bersifat kritis karena hilangnya vegetasi penutup tanah, adanya tekanan yang berat dari pukulan air hujan, erosi, sentuhan langsung cahaya matahari maupun aktifitas alat berat.

Rehabilitasi pada lahan tambang yang rusak adalah kegiatan yang bersifat holistik dengan perencanaan yang matang, agar masalah lahan tambang ini dapat terpulihkan. Pulih disini bermakna kembalinya keadaan ekosistem seperti mendekati ke kondisi sebelum mengalami kerusakan, dengan kata lain seluruh komponen penyusun ekosistem baik yang biotik, abiotik, makro, maupun mikro beserta seluruh interaksi diantara komponen tersebut dapat berfungsi dengan baik, serta menuntut pemahaman yang menyeluruh tentang ekosistem dari lahan, dan tidak dapat diatasi secara terpisah-pisah (Jordan *et al.*, 1987).

Alternatif perlakuan yang dapat digunakan untuk membantu pertumbuhan tanaman pada lahan - lahan yang memiliki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang buruk, seperti halnya pada tanah pascatambang adalah dengan menciptakan kondisi tanah supresif. Tanah supresif adalah tanah yang kaya akan mikroba tanah, sehingga kondusif untuk pertumbuhan tanaman, dan dapat menekan perkembangan mikroba patogen (Biwas, 2000). Penggunaan mikroba tanah dalam pertanaman dapat membantu penyediaan nitrat, fosfat dan

kalium serta unsur hara lainnya sehingga dapat meningkatkan kualitas pertumbuhan tanaman di lapangan.

Salah satu upaya untuk meningkatkan kesuburan tanah bekas tambang tersebut adalah dengan introduksi pupuk hayati (biofertilizer) atau pemanfaatan mikroba potensial lokal yang terdapat pada lahan pascatambang. Mikroba potensial ini bisa didapatkan di lokasi/site tambang atau intoduksi dari luar areal tambang. Namun dalam rehabilitasi lahan tambang lebih diprioritaskan pemanfaatan FMA potensial lokal karena secara ekologi dan alamiah FMA lokal ini sudah mampu hidup dan beradaptasi dengan kondisi lingkungan tambang tersebut. Untuk mendapatkan sumber inokulan (FMA) potensial tersebut maka perlu dilakukan identifikasi terhadap keragaman mikroba potensial (FMA) yang terdapat pada lahan pascatambang.(Asmarahman dkk, 2018)

Hal ini sesuai dengan penelitian Ekawati et al., (2016) bahwa pemberian mikoriza pada tanah pascatambang nikel berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman *Nauclea orientalis*, penelitian ini menunjukkan kemampuan tanaman dalam menyerap logam pada tanah pascatambang nikel yang diakumulasi pada jaringan akar dan daun.

Simbiosis mutualisme yang terbentuk antara FMA dengan perakaran tanaman dapat membentuk luas serapan unsur hara yang besar (Karti, 2004; Luthfiana et al., 2020). Pemanfaatan mikoriza di bidang kehutanan dapat meningkatkan pertumbuhan semai tanaman kehutanan sehingga semakin luas diaplikasikan, terutama pada lahan marginal serta meningkatkan ekosistem daratan (Hardiatmi, 2008). Hal ini sejalan dengan pendapat Asmarahman et al., (2018) dimana secara

ekologi dan alamiah pemanfaatan FMA potensial lokal lebih diprioritaskan dikarenakan sudah mampu hidup dan beradaptasi dengan kondisi lingkungan tambang tersebut.

Berdasarkan Addendum Andal, RKL-RPL tahun 2018, lahan pascatambang permukaan akan direklamasi yang dimulai dari penataan lahan. Kondisi yang diharapkan lahan lebih stabil untuk dilakukan revegetasi. Pemasangan corinet dalam penanganan menata lahan dan lereng yang selanjutnya dilakukan *hydroseeding*.

Hydroseeding merupakan suatu teknologi revegetasi yang berarti campuran antara bibit dan air yang dikombinasikan. Teknik ini menstimulasi perkecambahan lebih cepat, penutupan tanah yang lebih luas, dan mengurangi erosi tanah. Jenis tanaman yang digunakan adalah tanaman pioneer yaitu sengon buto dan sengon laut. Selain itu, tanaman akan diselingi dengan tanaman kayu lokal meliputi cempaka, bayur, medang, trembesi, mindi, sungkai, mahoni, kayu afrika, gmelina (PT Natarang Mining, 2019).

Pemanfaatan teknologi mikroorganisme seperti mikoriza terbukti bisa membantu dalam usaha reklamasi lahan yang terdegradasi akibat kegiatan eksploitasi seperti tambang. Dengan penggunaan mikoriza dapat mempercepat perbaikan struktur dan unsur hara pada tanah, hingga pada akhirnya di buktikan bahwa pertumbuhan tanaman di tanah yang telah di reklamasi dengan bantuan mikoriza dapat tumbuh dengan baik dibandingkan dengan yang tidak memakai mikoriza. Inokulan mikoriza membuat tanaman dan ekosistem, di *below ground* terutama, menjadi suatu yang stabil kembali dengan menyerap nitrogen (N) dan fosfor (P).

BAB IV

Interaksi Sains, Teknologi dengan Masyarakat (*Interaction of science, technology and society*)

Aplikasi Mikoriza di Dalam Kehidupan

4.1. Regenerasi Lahan Kritis Menjadi Lahan Subur Dengan Mikoriza



Gambar 32. Lahan Kritis (Distanbund NTB, 2019)

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) penyebaran lahan kritis di provinsi Sumatera Utara sejak 2011 hingga 2018 terus

meningkat, hingga saat ini total luas lahan kritis 1.338.810 Hektar di 2018 pada level kritis dan sangat kritis.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 37 Tahun 2014 tentang Konservasi Tanah dan Air Lahan kritis adalah lahan yang fungsinya kurang baik sebagai media produksi, baik untuk menumbuhkan tanaman yang dibudidayakan maupun yang tidak dibudidayakan. Lahan kritis di Indonesia umumnya disebabkan oleh degradasi lahan atau penurunan kualitas tanah. Hal ini diakibatkan oleh ulah manusia melalui aktivitas tertentu terhadap suatu lahan.

Degradasi sifat lahan bisa menurun baik dari segi fisik, kimia, dan biologi tanah. Degradasi lahan dari sifat fisiknya meliputi erosi tanah, pemadatan tanah akibat penggunaan alat-alat mesin dan pertanian atau proses eluviasi, serta adanya genangan yang terlampaui banyak hingga banjir. Degradasi lahan dari sifat kimia tanah meliputi proses pengasaman (*acidification*), penggaraman (*salinization*), pencemaran (*pollution*) dari bahan agrokimia, serta pengurasan unsur hara tanaman. Degradasi lahan dari sifat biologi adalah erosi hujan hingga lapisan tanah bagian atas, sehingga tanah kehilangan bahan organik dan unsur hara dalam jumlah besar. Dampak dari lahan kritis ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem. Regenerasi tanah menjadi solusi dari permasalahan tersebut.

Regenerasi tanah merupakan sebagai bentuk khusus dari regenerasi ekologi menciptakan tanah baru dan meremajakan kesehatan tanah dengan meminimalkan hilangnya lapisan atas tanah, menahan lebih banyak karbon daripada yang terkuras, meningkatkan keanekaragaman hayati dan mempertahankan siklus air dan nutrisi

yang tepat. Salah satu cara melakukan regenerasi tanah adalah dengan memanfaatkan mikoriza. Agen hayati ini mampu meningkatkan serapan unsur hara dan air untuk tanaman serta meningkatkan stabilitas agregat tanah melalui struktur hifa yang dibentuknya. Hifa cendawan ini mengeluarkan enzim fosfatase yang mampu melepaskan P yang terikat unsur Al dan Fe pada lahan masam dan Ca pada lahan berkapur, sehingga dapat menyuburkan tanah.

Mikoriza melalui akar eksternalnya menghasilkan senyawa glikoprotein glomalin dan asam-asam organik yang akan mengikat butir-butir tanah menjadi agregat mikro. Selanjutnya melalui proses mekanis oleh hifa eksternal, agregat mikro akan membentuk agregat makro yang mudah diserap tanaman. Interaksi mikoriza dengan bakteri pelarut fosfat atau bakteri pengikat N dapat meningkatkan serapan P oleh tanaman tomat dan pada tanaman gandum. Adanya interaksi sinergis antara VAM dan bakteri penambat N₂, pembentukan bintil akar meningkat bila tanaman alfalfa diinokulasi dengan *Glomus moseae*. pada tanaman kacang-kacangan pemberian spora mikoriza dapat meningkatkan serapan unsur mikro Cu dan Zn.

Selain itu juga dapat dimanfaatkan untuk bidang perkebunan, kehutanan, pertanian hingga ekonomi. dengan kualitas tanah yang baik dan asosiasi mikoriza pada akar tanaman tentulah dapat meningkatkan hasil panen petani.

Salah satunya dengan menggunakan mikoriza menjadi solusi dalam meningkatkan produksi cabai di Indonesia. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Adetya dkk (2018) bahwa inokulasi mikoriza pada tanaman cabai sangat berpengaruh positif terhadap

tinggi tanaman, luas daun dan berat kering tanaman di bandingkan dengan yang tidak menggunakan mikoriza. Peningkatan tinggi tanaman, luas daun dan berat kering dapat mempengaruhi kuantitas produksi cabai. Menurut Agustin (2010) Inokulasi FMA mampu meningkatkan hasil (jumlah dan produksi buah, produksi benih) dan inokulasi ini dipengaruhi oleh jenis genotipe cabai dan level pemupukan mikoriza.

4.2. Pupuk Hayati Mikoriza, Pengganti Pupuk Kimia Urea Demi Melindungi Lingkungan Pertanian



Gambar 33. Ilustrasi pemberian pupuk urea pada tanaman
(Kompas.com, 2021)

Saat ini, banyak lahan pertanian di Indonesia kondisinya sangat memprihatinkan, karena mengalami kerusakan dan miskin unsur hara.

Salah satu penyebab utamanya adalah akibat penggunaan pupuk anorganik (non hayati), yang pemberiannya tidak memperhatikan takaran atau berlebihan.

Parahnya, penggunaan pupuk non hayati ini sudah berlangsung sejak adanya gerakan revolusi hijau di Indonesia. „Mulanya memang terlihat bagus. Era 1980-an, Indonesia bisa swasembada beras. Namun itu tidak berlangsung lama, karena 1990-an hingga kini, petani mulai merasakan dampak negatif penggunaan pupuk anorganik (non hayati) yang diberikan secara berlebihan itu (Hendro, 2020).

Dampak negatif dari penggunaan pupuk anorganik itu, antara lain ditandai dengan terjadi penurunan produksi dan kemerosotan kesuburan tanah. Kandungan pupuk anorganik (pupuk kimia), ini sangat berdampak buruk bagi kesuburan tanah. Selain itu, tidak semua zat kimia substitusi (pengganti hara), bisa diserap oleh tanaman.

Dikutip dari laman Cybex Kementerian Pertanian, November 2021, pupuk urea kerap kali disalahartikan sebagai satu-satunya pupuk yang dibutuhkan oleh tanaman. Petani atau orang yang merawat tanaman beranggapan tanaman yang sehat memiliki daun yang hijau berlebihan, sehingga mereka menggunakan pupuk urea dalam porsi atau takaran yang besar. Pupuk urea memang memberikan nutrisi ke tanaman dengan lebih cepat. Akan tetapi, menurut penelitian yang sudah dilakukan urea diserap hanya 50 persen sisanya menguap atau masuk ke air jadi cemari lingkungan, urea yang diaplikasikan petani seringkali terbuang percuma karena penguapan akibat terik matahari dan/atau akibat hanyut karena hujan.

Padahal, nyatanya tidak demikian. Penggunaan pupuk urea secara berlebihan akan membuat tanaman layu dan membangun konsentrasi garam beracun dalam tanah. Ini akhirnya akan menyebabkan ketidakseimbangan kimia pada tanah dan dapat mengubah pH alami tanah. Selain itu, kelebihan pupuk urea pada tanaman juga akan menimbulkan berbagai masalah, antara lain sebagai berikut.

1. Tanaman mudah terserang hama dan penyakit Jika pemupukan urea dilakukan secara berlebihan, maka tanaman akan mudah terserang hama ataupun penyakit.
2. Merusak kesuburan tanah Apabila pupuk urea diberikan terlalu banyak pada tanah, maka tanah menjadi asam. Tanah yang asam akan mengakibatkan penyerapan unsur hara tertentu menjadi terhambat. Selain itu, kelangsungan hidup mikroorganisme yang berada dalam tanah juga akan terancam.

Penggunaan logam berat dalam kandungan urea ini sebagai salah satu penyebab kerusakan lingkungan. Sebab kandungan kimiawinya bisa larut dalam air yang akan digunakan masyarakat. Selain itu, tanah yang digunakan petani pun berpotensi menurun kualitasnya untuk ditumbuhi. "Terlalu banyak pakai pupuk kimia tanah jadi keras susah diolah berarti aerasi tanah jelek pertumbuhan akar cari unsur hara makin sulit

Untuk mengatasi kondisi lahan pertanian yang mengalami kerusakan (kritis) itu, katanya, bisa dilakukan dengan menggunakan pupuk organik (pupuk hayati). Pupuk organik bertindak sebagai substitusi pupuk anorganik.

Pupuk hayati memberikan alternatif yang tepat untuk memperbaiki, meningkatkan dan mempertahankan kualitas tanah sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan dan menaikkan hasil maupun kualitas berbagai tanaman dengan signifikan. (Simarmata, 2005).

Pupuk hayati Mikoriza merupakan salah satu produk pupuk alternatif yang akan dipasarkan. Mikoriza berperan dalam peningkatan penyediaan hara dan penyerapan nutrisi, sehingga dapat menekan kebutuhan pupuk anorganik dan kandang, keunggulan lainnya seperti meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan, mikoriza membantu dalam penyerapan air yang tidak dapat dijangkau oleh akar (Rokhminarsi et al., 2011)

Mikoriza mampu melarutkan P dan menghasilkan enzim fosfatase dan senyawa pengkhelat Al. Cendawan mikoriza dapat meningkatkan serapan P, hifa eksternal yang memiliki jangkauan mampu menyediakan P dalam waktu singkat sehingga akan dapat meningkatkan serapan P pada tanaman. (Mahbub, 1999). Cendawan mikoriza arbuskular merupakan simbion obligat yang memerlukan fotosintat dari tanaman inang (dalam hal ini tanaman bawang merah) untuk pertumbuhan hifanya. Hifa yang mempenetrasi tanaman inang, membantu mendekatkan unsur hara dari zone rizosfer tanaman inang sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman inang lebih cepat. Aplikasi pupuk hayati mikoriza yang dikombinasikan dengan NPK 15-15-15 pada plantlet tanaman kentang, mampu meningkatkan kecepatan tumbuh, hasil, dan kualitas umbi kentang (Pandan et al. 1999). Tanaman kangkung darat yang ditanam pada media tailing (bekas

pertambahan), pupuk hayati mikoriza juga meningkatkan pertumbuhan dan hasil kangkung (Parulian et al., 1999)

Salah seorang guru besar Universitas Brawijaya bernama Prof. Dr. Ir. Ika Rochdjatun sudah memulai melakukan riset mengenai pemanfaatan mikoriza sebagai pupuk organik untuk membantu pertumbuhan tanaman. Kini Ika sendiri sudah memiliki merek paten pupuk tablet bernama Ika One yang terbuat dari mikoriza dijual bebas di pasaran hingga omzet ratusan juta rupiah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adetya, V. Nurhatika, S. Muhibuddin, A. (2018). Pengaruh Pupuk Mikoriza Terhadap Pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*) di Tanah Pasir. *Jurnal Sains & Seni ITS*. 7(2): 75-79
- Aldeman, J.M., and J.B. Morton. (1986). Invektiviti of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi influence host soil diluents combination on MPN estimates and percentage colonization. *Soil Biol-chen*. 8(1):77-83.
- Asmarahman, C. (2018). Identifikasi Mikoriza Potensial Fungi Mikoriza Arbuskula (Fma) Pada Lahan Pascatambang Pt. Holcim Indonesia Tbk. Cibinong, Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan Vol* 8(3): 279-285
- Arsyad, S., (2010), *Konservasi Tanah dan Air*, IPB Press, Bogor.
- Azcon, R., F, Al-Atrash, (1997), Influence of Arbuscular Mycorrhizae and Phosphorus Fertilization of Growth, Nodulation an N₂ Fixation (15N) in Medicago sativa at four salinity level, *Biol, Fertil, Soil*, 24: 81-86.
- Bernada., Muin, A., Ekyastuti, W., (2016), Asosiasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) Dengan Tanaman Budidaya Di Areal Bekas Tambang Emas, *Jurnal Hutan Lestari*, 4(3): 322-334.
- Biwas J.C., (2000). Rhizobia Inoculation Improves Nutrient Uptake and Growth of Lowland Rice. *Soil Sci. Soc. Am J* (64): 1644-1650

- Bolan, N.S., (1991). A. Critical Review on The Role of Mycorrhizal Fungi in The Uptake of Phosphorus by Plants. *Plant and Soil*. 134: 189-207.
- Brundrett M, B., N, Grove T., Malajezuk N., (1996), *Working With Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*, ACIAR Monograph.
- Brundrett, M., B., Neale, D. Bernei, Grove. T., Malajezuk, N., (1996), *Working With Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*. Australian Centre for International Agriculture Research (ACIAR), Canberra – Australia Vol. 11(1995): 34-39
- De la Cruz, R. E., (1981), *Mychorrhizae-indispensable Allies in Forest regeneration. Symposium on Forest Regeneration in South East Asia*, Biotrop, Bogor.
- Faiza, R., Rahayu, Y.S., Yulani., (2013), Identifikasi spora jamur Mikoriza Vesikular Arbuskula (MVA) pada tanah tercemar minyak bumi di Bojonegoro, *Jurnal Lentera Bio*, 2(1):7-11.
- Fitler, A.H. (1989), *The Role And Ecological Sig-Nificance Of Vesicular-Arbuscular My-Corrhizal In Temperature Ecosystems And Environment*. El-seiver science publishers B.V., Amsterdam.
- Hajoeningtjas, D, O., (2009), Ketergantungan Tanaman Terhadap Mikoriza Sebagai Kajian Potensi Pupuk Hayati Mikoriza Pada Budidaya Tanaman Berkelanjutan: *Agritech*, 9(2): 125-136
- Hasairin, A., (2014), *Taksonomi Tumbuhan Rendah (Thallophyta & Kormophyta Berspora)*, Unimed Press, Medan.
- Harrison, M.J., (2005), Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Microbiology* 59(1): 19-42.
- Hayman, D.S. (1983). The physiology of vesicu-lar-arbuscular endomycorrhizal sym-biosis. *J. Bot.* 61:944-963.

- Imas, S., Yosef, B, (1993), Response of Lettuce Plants Grown on Different Substrates to Phosphorus Fertigation, *International Symposium on Water Quality & Quantity-Greenhouse* 458, 171-178.
- INVAM, (2009), International Culture Collection of (vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi, www.invam.caf.wvu.edu
- INVAM, (2013), International Culture Collection of Vesicular and Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Morgantown, West Virginia Agriculture and Forestry Experimental Station, <http://www.invam.caf.wvu.edu>
- INVAM, (2016), International Culture Collection of (vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi, www.invam.caf.wvu.edu
- INVAM, (2018), International Culture Collection of (vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi, www.invam.caf.wvu.edu
- Khan, A. G., (1993), Effect of Various Soil Environment Stresses on The Occurance, Distribution and Effectiveness of VA Mycorrhizae, *Biotropia*, 8(1): 39-44.
- Krikun, J, (1991), *Mycorrhizae in Agriculture Crops* P 767- 786. In. Y. Waisel, A. Eshel and U. Kahkafi(eds), Plant Root-The Hidden Half Marcel Dekker, New York.
- Kusuma, A., Riniarti, M., Surnayanti, S., (2018), Penambahan Bahan Pembenah Tanah untuk Mempercepat Kolonisasi Ektomikoriza dan Pertumbuhan Damar Mata Kucing (The Additional of Soil Conditioner Substances to Accelerate Ectomycorrhiza Colonization and Growth of Shorea Javanica), *Jurnal Sylva Lestari*, 6(1): 16-23.
- Kurnia., Gusmiaty., Larekeng, H, S., (2019), Identifikasi dan Karakterisasi Mikoriza Pada Tegakan Nyatoh (*Palaquium* sp.), *Jurnal Perennial*, 15(1): 51-57.

- Mahbub, I.A. (1999). Pengaruh mikoriza dan kapur super fosfat terhadap ketersediaan P tanah, serapan P tanaman dan hasil jagung pada ultisol. *Jurnal Agronomi*, volume 8 : 121-124.
- Merdekawati, A., Linda, R., Mukarlina., (2014), Pertumbuhan Cabai (*Capsicum annum L.*) dengan Pemberian *Gigaspora margarita* dan Bokashi Jerami Padi pada Tanah Gambut, *Jurnal Protobiont*, 3(3): 63-68.
- Mosse, B. (1981), Vesikular-Arbuskular Mycorrhiza Research for Tropical Agriculture Tress. Bull. Hawaii.
- Muryati, S., Mansur, I., Budi, S. W., (2016), Keanekaragaman fungi mikoriza arbuskula pada rhizosfer *Desmodium spp.* asal PT. Cibaliung Sumberdaya, Banten, *Jurnal Silvikultur Tropika* 7(3): 188-197.
- Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L., Pietramellara, G. and Renella, G., (2003), Microbial diversity and soil functions, *European Journal of Soil Science* ,54(4): 655-670.
- Naulfa, N., Ufra., Jasmida, U., Mulyadi., (2018), Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) pada Beberapa Jenis Pohon di Kawasan Hutan Primer Deudap Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar, *Prosiding Seminar Nasional Biotik*.
- Nusantara, A. D., Y. H. Bertham., I. Mansur., (2012), *Bekerja Dengan Fungi Mikoriza Arbuskula*, Seameo Biotrop (Southeast Asean Regimal Centre for Tropical Biology).
- Nurhalimah, S., Nurhantika, S., Muhibuddin, A., (2014), Eksplorasi Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) Indegenous pada Tanah Regosol di Pamekasan Madura, *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 3(1): 30-34.
- Pacioni, G., (1992), *Wet Sieving And Decanting Techniques For The Extraction Of Spores Of Va Mycorrhyzal Fungi*, *Methods In Microbiology*, Academic Press Inc. San Diego.

- Pandan, R. Wicaksono, dan R. Prematuri. (1999). Pengaruh Cendawan Mikoriza Arbuskular terhadap Peningkatan Produktivitas dan Nilai Gizi Umbi Kentang (*Solanum tuberosum* L.). Kumpulan Abstrak Seminar Mikoriza I. Bogor 15-16 November.
- Prasetya, B., Prayoga. H. M., (2021), Eksplorasi Mikoriza Arbuskular Indigenous Pada Rhizosfer Vegetasi Lahan Pascatambang Batubara, *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Laha*, 8(2), 349-357.
- Prayoga, H, M., Prasetya, B., (2021), Eksplorasi Mikoriza Arbuskula Indigenous Pada Rhizosfer Vegetasi Lahan Pascatambang Batubara, *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(2): 349-357.
- Purba, J, M., Prasetya, B., (2021), Eksplorasi Dan Identifikasi Mikoriza Dari Berbagai Macam Vegetasi Pada Lahan Agroforestry, *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(2): 369-376.
- Rokhminarsi, E. , Begananda dan D.S. Utami. (2011). Identifikasi Mikoriza Spesifik Lokasi Lahan Marginal pada Rizosfer Tanaman Hortikultura. Laporan Penelitian Fakultas Pertanian Unsoed Purwokerto.
- Sari, R.R., Ermavitalini, D., (2014), Identifikasi Mikoriza dari Lahan Desa Cabbiya, Pulau Poteran, Sumenep Madura, *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 3(2):67-70.
- Schüßler, A., Walker, C., (2010), *The Glomeromycota: a species list with new families*, <http://www.amf-phylogeny.com>
- Schenk., Perez, Y., (1990), *Manual for Identification of VA Mycorrhizal Fungi*, Sinergistis Publication, Gaines.
- Simanungkalit, R,D,M., (2006), Cendawan Mikoriza Arbuskuler Dalam: Pupuk Organik dan Pupuk Hayati, 3(2): 159-190.
- Simarmata, T. (2005). Revitalisasi kesehatan ekosistem lahan kritis dengan memanfaatkan pupuk biologis mikoriza dalam percepatan pengembangan pertanian ekologis di indonesia. Di dalam prosiding AMI Jambi.

- Subiksa, IGM., (2002), Pemanfaatan Mikoriza untuk Penanggulangan Lahan Kritis, *Makalah Falsafah Sains*, Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Sukmawaty, E., Hafsan., Asriani., (2016), Identifikasi cendawan mikoriza arbuskula dari perakaran tanaman pertanian, *Jurnal Biogenesis*, 4(1): 16-20.
- Sufardi, (2012), *Pengantar Nutrisi Tanaman*, Bina Nanggro, Banda Aceh.
- Surfardi., Muyassir., Wulandari, S., (2018), Pengaruh Fungi Mikoriza Arbuskular Dan Pupuk Kandang Terhadap Serapan Hara Dan Hasil Kedelai Pada Lahan Kritis Di Aceh Besar (Indonesia), Prosiding Forum Komunikasi Perguruan Tinggi Pertanian Indonesia.
- Talanca, H. (2010). Status Cendawan Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) Pada Tanaman. Prosiding Pekan Serealia Nasional, 1(1), 353-357.
- Russulales, (2010), Characteristics of the Russuloid Fungi, http://www2.muse.it/russulales-news/in_characteristics.asp
- Wachjar, A., Setiadi, Y., Hastuti, R, T., (1998), Pengaruh Dosis Inokulum Cendawan Mikoriza Arbuskula (*Gigaspora rosea*) dan Pupuk Nitrogen Terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi Robusta, *Bul.Agron*, 26(2): 1-7.
- Wang, W., Shi, Q., Xie, Y., Jiang, N., Yu, E., Wang., (2017), Nutrient Exchange and Regulation in Arbuscular Mycorrhizal symbiosis, *PubMed*, (9):1147-1158.
- Warouw, V., Kainde, R., (2010), „Populasi jamur mikoriza vesikular arbuskular (MVA) pada zona perakaran Jati“, *Jurnal Eugenia*, vol. 16(1): 38-45.
- Widada J. Kabirun S. (1997). Peranan Mikoriza Vesikular – Arbuskular dalam Pengelolaan Tanah Mineral Masam Tropica.

GLOSARIUM

A

- Aerasi : Proses penambahan oksigen dalam air
Arbuscule : Percabangan hifa pada Mikoriza
Antibiotik : Senyawa antimikroba
Auksin : Hormon tumbuhan untuk pembesaran sel

B

- Bioremediasi : Penggunaan mikroorganismen untuk mengatasi limbah di lingkungan
Bulbous : Spora penyangga pada mikoriza

C

- Cendawan : Jamur
Chlamydospora : Spora istirahat yang berdinding tebal bertahan dalam kondisi ekstrim

E

- Endomikoriza : Jamur yang bersimbiosis di dalam akar
Ekosistem : Hubungan timbal balik makhluk hidup di satu wilayah

Ekstraseluler : Cairan yang berada di luar sel
Ektomikoriza : Jamur yang bersimbiosis di luar akar
Erosi : Peristiwa pengikisan tanah

F

Fungisida : Racun kimia untuk membunuh cendawan penyebab penyakit pada tanaman

G

Glomus : Kumpulan spora yang membentuk anyaman

H

Hifa : Struktur halus seperti benang pada cendawan
Hartig : Jalinan miselia berwarna putih pada bagian rambut-rambut akar

I

Iklm : Perubahan cuaca selama periode waktu yang lebih lama
Intraseluler : Cairan yang berada di dalam sel
Inokulum : Mikroorganisme yang diinokulasikan ke dalam medium
Inokulasi : Kegiatan pemindahan jamur dari sumber asalnya ke medium baru yang telah dibuat dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi dan aseptis
Infiltrasi : Daya serap air pada tanah

K

- Klamidospora : Spora yang dihasilkan oleh jamur melalui penebalan pada sel-sel somatik hifa
- Korteks : Lapisan kulit dalam yang tersusun atas beberapa lapisan sel

L

- Lamella : Tempat terbentuknya banyak basidiospora

M

- Monokultur : Hutan yang di tanami dengan satu jenis tumbuhan saja yang seragam
- Mutualisme : Hubungan timbal balik antara cendawan mikoriza dengan inangnya yang saling menguntungkan
- Miselium : Hifa yang bercabang-cabang
- Melzer : Reagen kimia untuk membantu identifikasi jamur terdiri dari larutan kloral hidrat, kalium iodide dan yodium
- Mikoriza : Simbiosis antara Jamur dengan akar tanaman
- Multinukleat : Hifa bersekat yang membentuk ruang-ruang yang mengandung lebih dari satu nukleus

P

- Pantogen : Agen biologis yang menyebabkan penyakit pada inang yang di tumpang
- Pestisida : Zat kimia yang digunakan untuk mencegah hama penyakit yang berpotensi merusak

	tanaman
pH	: Kadar asam dan basa
Phosphate	: Sebuah zat kimia yang mengandung mineral fosfor
PVLG	: (Polyvinyl-Lacto-Glycerol) Reagen untuk mewarnai spora yang rusak merubah warna menjadi lebih jelas
Propagul	: Bahan tanaman yang digunakan uuntuk tujuan perbanyakn tanaman

S

Sakulus	: Bagian dari dinding spora <i>Acaulospora</i> yang berbentuk seperti pilinan benang
Seresah	: Sampah-sampah organic seperti dedaunan kering, rerantingan dan sisa vegetasi memiliki senyawa berbasis karbon
Sitokinin	: Hormon tumbuhan untuk mendorong pembelahan sel di jaringan
Spora	: Struktur berbentuk bola aseksual (pada mikoriza) di dalam tanah atau di dalam akar
Sporocarp	: Organ penyimpanan spora

V

Vegetasi	: Kumpulan dari beberapa komunitas tumbuhan
Vesicle	: Struktur khas berbentuk oval yang terdapat pada akar terinfeksi mikoriza

Z

Zoospora	: Spora yang memiliki alat gerak
----------	----------------------------------

BIOGRAFI PENULIS

Gloria Sirait, S.Pd. Lahir di Tebing Tinggi pada tanggal 23 Juli 1997. Pendidikan dasar ditempuh mulai tahun 2003 hingga tahun 2009 di SD Negeri 165727 Tebing Tinggi. Pada tahun 2009 melanjutkan Pendidikan Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Tebing Tinggi hingga tahun 2012. Kemudian, pada tahun 2012 melanjutkan pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 1 Tebing Tinggi hingga tahun 2015.



Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikannya di Universitas Negeri Medan Jurusan Pendidikan Biologi. Penulis memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada tahun 2019. Setelah menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S-1), penulis melanjutkan Pendidikan Strata Dua (S-2) pada tahun 2020 dengan jurusan yang diemban yakni Pendidikan Biologi, Program Pascasarjana di Universitas Negeri Medan.

BIOGRAFI PENULIS

Dr. Ashar Hasairin, M.Si. Lahir di Padangsidempuan tanggal 14 Juni 1963. Beliau memperoleh gelar Sarjana Doktorandus (Drs) atau Sarjana Pendidikan (S.Pd) dari IKIP Medan pada tahun 1987. Kemudian memperoleh gelar Magister Sains (S-2) jurusan Biologi Konsentrasi Taksonomi Tumbuhan dari Institut Pertanian Bogor pada tahun 1994.



Selanjutnya beliau menyelesaikan Pendidikan S-3 (Doktor) dalam bidang Program Biologi dari Universitas Sumatera Utara dan memperoleh gelar Doktor pada tahun 2016. Beliau pernah mengajar di berbagai SMA di Medan. Pada tahun 1990 beliau diangkat sebagai staf dosen tetap di Jurusan Biologi Universitas Negeri Medan hingga saat ini. Beliau aktif dalam mengikuti seminar, pelatihan, pengabdian dan penelitian. Beliau juga pernah menjadi Ketua Peneliti diantaranya: DCRG-URGE, Hibah Bersaing (HB), Fundamental Research (FR), Dosen Mudah (DM), JICA Heds Project, PHKI dan lainnya. Selain itu

BIOGRAFI PENULIS

beliau juga aktif dalam penulisan jurnal ilmiah nasional maupun internasional dan penulisan buku ajar di Perguruan Tinggi.

Dr. Syahmi Edi, M.Si. Lahir di Batusangkar, 10 Juli 1964. Beliau memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) dari Universitas Andalas pada tahun 1987. Kemudian memperoleh gelar Magister Sains (S-2) jurusan Biologi dari Institut Pertanian Bogor pada tahun 1994.



Selanjutnya beliau menyelesaikan Pendidikan S-3 (Doktor) dalam bidang Program Biologi di Institut Pertanian Bogor dan memperoleh gelar Doktor pada tahun 2004. Pada tahun 1990 beliau diangkat sebagai staf dosen tetap di Jurusan Biologi Universitas Negeri Medan hingga saat ini. Beliau aktif dalam mengikuti seminar, pelatihan, pengabdian dan penelitian. Selain itu beliau juga aktif dalam penulisan jurnal ilmiah nasional maupun internasional dan penulisan buku ajar di Perguruan Tinggi.