

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mikoriza

Mikoriza adalah suatu bentuk hubungan simbiosis mutualisme antara fungi dan perakaran tumbuhan tingkat tinggi (Kavitha dan Nelson, 2013). Satu jenis mikoriza dapat bersimbiosis dengan berbagai jenis tanaman, begitu pula sebaliknya satu jenis tanaman dapat bersimbiosis dengan berbagai macam mikoriza. Simbiosis ini terjadi saling menguntungkan, mikoriza memperoleh karbohidrat dan unsur pertumbuhan lain dari tanaman inang, sebaliknya fungi memberi keuntungan kepada tanaman inang, dengan cara membantu tanaman dalam menyerap unsur hara terutama unsur fosfor (Pulungan, 2013). Inokulasi mikoriza dapat dikatakan sebagai *biofertilizer* untuk tanaman pertanian, perkebunan, kehutanan, dan tanaman penghijauan, baik secara langsung dengan meningkatkan serapan air, hara, dan perlindungan tanaman terhadap patogen tanah, maupun secara tidak langsung dengan memperbaiki struktur tanah dan peningkatan kelarutan hara (Subiksa, 2002).

2.2 Jenis-jenis Mikoriza

Pada dasarnya cendawan mikoriza dikelompokkan berdasarkan struktur morfologi dan anatomi struktur spesifiknya (Brundett, 1996). Berdasarkan asosiasinya, cendawan mikoriza dapat dibagi menjadi tiga yaitu endomikoriza (ENM), ektomikoriza (EKM) dan ektoendomikoriza.

2.2.1. Endomikoriza

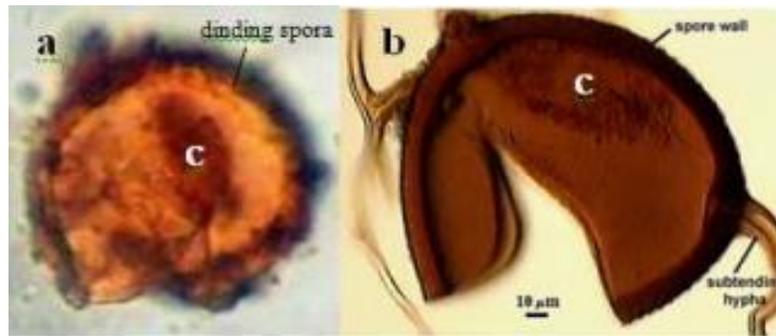
Endomikoriza ini memiliki persebaran lebih luas dan dapat berasosiasi dengan hampir 90% spesies tanaman tingkat tinggi, salah satunya adalah MA (Cruz *et al.* 2000).

2.2.1.1 *Glomus* sp.

Glomus sp. adalah genus mikoriza dari famili *Glomeraceae*. dan memiliki keberagaman jenis tertinggi dibandingkan dengan yang lain. Beberapa ciri khas dari genus ini yaitu spora terbentuk secara tunggal ataupun berpasangan. Pada saat dewasa spora dipisahkan dari hifa pelekak oleh sebuah sekat. Spora berbentuk globose, sub-

globose, ovoid, ataupun obovoid dengan dinding spora terdiri lebih dari satu lapis, berwarna *hyaline* sampai kuning, merah kecoklatan, coklat, dan hitam berukuran antara 20-400 μm (Morton & Benny 1990; INVAM 2013) (Gambar 1).

Menurut Delvian (2006) bahwa jumlah spesies yang tinggi dari genus *Glomus* sp. menghasilkan penyebaran yang lebih luas dari genus lain. Pada jenis *Glomus* sp., perkembangan spora dimulai dari ujung hifa yang membesar sampai ukuran maksimal dan membentuk spora. Dinding spora berwarna merah dan coklat sampai lebih pekat. Jenis ini tidak membentuk dinding perkecambahan namun membentuk pori pada daerah melekatnya hifa pembawa sehingga dinding spora berjumlah satu dan seluruh lapisan yang ada pada dinding spora berasal dari dinding hifa pembawa (Gambar 1).



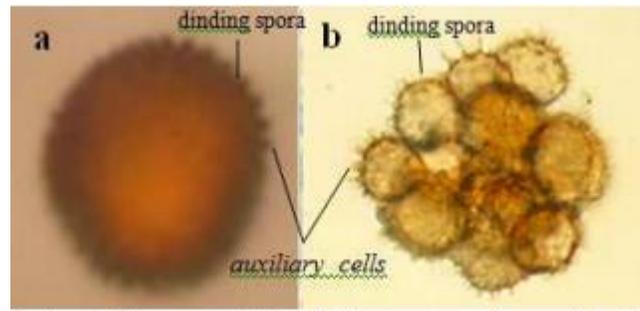
Gambar 1. Visual *Glomus*, sp. (Talanca, 2010)

2.2.1.2 *Acaulospora* sp.

Acaulospora sp. adalah genus mikoriza yang termasuk dalam famili *Acaulosporaceae* dan memiliki beberapa ciri khas antara lain yaitu memiliki 2-3 dinding spora, spora terbentuk di sisi samping leher *sporiferous sacculer*, berbentuk globose hingga elips, berwarna *hyaline*, kuning, ataupun merah kekuningan berukuran antara 100-400 μm (Morton & Benny 1990; INVAM 2013) (Gambar 2).

Mikoriza masuk kedalam sel korteks dari sel akar serabut menggunakan hifa intraseluler, namun tidak membentuk miselium yang tersusun longgar pada permukaan akar. Spora akan berkembang dan membesar yang disebut *hyphal terminus* melalui hifa intraseluler. *Hyphal terminus* akan rusak dan isinya akan masuk ke spora. Kerusakan

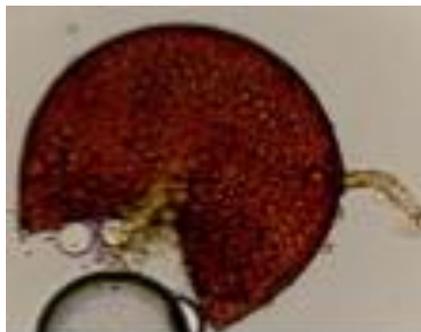
hyphal terminus akan meninggalkan bekas lubang kecil yang disebut *Cicatric*. Perkembangan mikoriza ini disebut dengan *Acaulospora* sp. (Gambar 2).



Gambar 2. Visual *Acaulospora*, sp. (Talanca, 2010)

2.2.1.3. *Gigaspora* sp.

Gigaspora sp. adalah genus mikoriza yang termasuk dalam famili *Gigasporaceae*. Genus ini memiliki ciri khas, antara lain yaitu spora dihasilkan secara tunggal didalam tanah, terdapat *bulbous suspensor*, berbentuk *globose* atau *sub-globose*, berwarna krem hingga kuning, berukuran 125-600 μm (Bentivenga & Morton 1995; INVAM 2013) (Gambar 3).



Gambar 3. Visual *Gigaspora*, sp. (Talanca,2010)

2.2.2. Ektomikoriza

Ektomikoriza terdiri dari kelompok mikoriza *Basidiomycetes*, *Ascomycetes* atau *Zygomycetes*. Ektomikoriza tumbuh pada sekitar akar tanaman, terutama pada ujung akar selanjutnya terjadi penetrasi ke bagian korteks. Jenis mikoriza ini menyelubungi masing-masing cabang akar atau mantel hifa. Hifa-hifa tersebut menembus antar sel korteks akar (*intraseluler*). Asosiasi ektomikoriza dengan akar ini

sering dijumpai pada daerah dingin (beriklim sedang) dengan tanaman khusus dan semak-semak (Rao, 1994).

2.2.3. Ektendomikoriza

Mikoriza memiliki bentuk yang mirip dengan ektomikoriza dan endomikoriza adalah ektendomikoriza. Ciri-ciri dari mikoriza ini ditandai dengan adanya selubung akar yang tipis berupa jaringan *hartiq*, hifa yang dapat menginfeksi dinding sel korteksnya (Musfal, 2010).

2.3. Manfaat Mikoriza

Asosiasi simbiotik antara MA dan akar tanaman banyak ditemui di lingkungan alami dan dapat menghasilkan berbagai keuntungan untuk tanaman inang termasuk diantaranya adalah, membantu meningkatkan penyerapan unsur-unsur hara dan nutrisi yang penting bagi tanaman (Satter *et al.*, 2006), meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan kelembapan yang ekstrim (Cho *et al.*, 2006), membantu mengakumulasi zat-zat yang beracun bagi tanaman, memproteksi dari serangan patogen penyebab penyakit, membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman, daun serta kualitas buah (Subramanian *et al.*, 2006).

2.4. Syarat tumbuh Mikoriza

Perkembangan mikoriza dan derajat kolonisasi dari sel korteks inang dipengaruhi oleh lingkungan dan faktor abiotik. Interaksi antar faktor biotik memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan yang terdapat pada mikoriza. Beberapa faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan mikoriza adalah suhu, cahaya, kandungan air tanah, dan pH tanah (Setiadi, 2001).

2.4.1. Suhu

Suhu optimum untuk perkembangan spora sangat beragam tergantung jenisnya, suhu yang relatif tinggi akan meningkatkan aktivitas cendawan. Infeksi maksimum oleh *Gigaspora* sp. paling baik pada suhu 34 °C, sedangkan untuk spesies *Glomus* sp. yang berasal dari wilayah beriklim dingin, suhu optimal untuk perkecambahan adalah 20 °C. Aktivitas dan perkecambahan spora endomikoriza di daerah tropis relatif lebih tinggi dibandingkan dengan sub-tropis karena daerah tropis memiliki kisaran suhu rata-

rata diatas 28 °C dan endomikoriza relatif lebih tahan pada suhu yang cukup tinggi (30-38 °C). Peran mikoriza akan menurun pada suhu diatas 40 °C, namun suhu bukan merupakan faktor pembatas utama dari aktivitas mikoriza.

2.4.2. Cahaya

Rendahnya jumlah produksi spora dan akar tanaman yang terinfeksi mikoriza dapat disebabkan oleh tingginya naungan pada tanaman inang. Naungan yang rendah dapat meningkatkan respon tanaman terhadap mikoriza. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan dan perkembangan hifa internal dalam akar yang baik sehingga memacu perkembangan hifa eksternal pada rhizosfer (Setiadi, 2001).

2.4.3. Kandungan air tanah

Kandungan air tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan serta kolonisasi mikoriza terhadap akar tanaman. Kadar air tanah yang sangat tinggi atau sangat rendah juga kurang baik bagi perkembangan mikoriza, apabila kadar air sangat tinggi menyebabkan kondisi anaerob sehingga menghambat perkembangan mikoriza karena semua jamur pembentuk mikoriza adalah obligat aerob. Sedangkan kandungan air tanah yang rendah menyebabkan kondisi lahan kering. Lahan kering sangat mendukung bagi perkembangan mikoriza, dimana ketersediaan unsur hara yang rendah pada kondisi lahan kering tersebut akan mengoptimalkan perkembangan hifa mikoriza (Nurhalimah *et al.* 2013).

2.4.4. Derajat Kemasaman tanah (pH)

Derajat kemasaman berpengaruh terhadap aktivitas enzim *fusfatase* dalam perkecambahan spora. Derajat kemasaman berpengaruh pada perkecambahan, perkembangan dan peran mikoriza terhadap pertumbuhan. Kondisi pH optimum untuk perkembangan fungi mikoriza berbeda-beda tergantung pada adaptasi fungi mikoriza terhadap lingkungan. Beberapa spesies mikoriza beradaptasi pada pH dengan lingkungan yang berbeda antara lain *Glomus* dapat tumbuh dengan baik pada pH 4-9. Spora *Gigaspora* dapat tumbuh dengan baik pada pH 6-8. *Acaulopora* tumbuh lebih baik pada pH 5-8 (Setiadi, 2001).

2.5. Agroforestri

Dalam Bahasa Indonesia, kata *agroforestry* dikenal dengan istilah *wanatani* atau *agroforestry* yang arti sederhananya adalah menanam pepohonan di lahan pertanian. Menurut De Foresta dan Michon (1997), agroforestri dapat dikelompokkan menjadi dua sistem, yaitu sistem agroforestri sederhana dan agroforestri kompleks.

2.5.1. Sistem Agroforestri Sederhana

Sistem agroforestri sederhana adalah suatu sistem pertanian di mana pepohonan ditanam secara tumpang sari dengan satu atau lebih jenis tanaman semusim. Pepohonan bisa ditanam sebagai pagar mengelilingi petak lahan tanaman pangan, secara acak dalam petak lahan, atau dengan pola lain misalnya berbasis dalam larikan membentuk lorong. Jenis-jenis pohon yang ditanam juga sangat beragam, bisa yang bernilai ekonomi tinggi misalnya kelapa, karet, cengkeh, kopi, kakao (cokelat), nangka, belinjo, petai, jati, dan mahoni atau yang bernilai ekonomi rendah seperti dadap lamtoro dan kaliandra. Jenis tanaman semusim biasanya berkisar pada tanaman pangan yaitu padi (gogo), jagung, kedelai, kacang-kacangan, ubi kayu, sayur-mayur dan rerumputan atau jenis-jenis tanaman lainnya.

2.5.2. Sistem Agroforestri Kompleks

Sistem agroforestri kompleks adalah suatu sistem pertanian menetap yang melibatkan banyak jenis tanaman pohon (*berbasis pohon*) baik sengaja ditanam maupun yang tumbuh secara alami pada sebidang lahan dan dikelola petani mengikuti pola tanam dan ekosistem menyerupai hutan. Penciri utama dari sistem agroforestri kompleks ini adalah kenampakan fisik dan dinamika di dalamnya yang mirip dengan ekosistem hutan alam baik hutan primer maupun hutan sekunder, oleh karena itu sistem ini dapat pula disebut sebagai *Agroforest*.

2.6. Unsur P (Fosfor)

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur esensial bagi tanaman karena merupakan faktor pembatas yang mempengaruhi pertumbuhan dan memegang peranan penting dalam berbagai proses, seperti fotosintesis, asimilasi, dan respirasi namun kandungannya di dalam tanaman lebih rendah dibanding nitrogen (N) dan Kalium (K).

Tanaman menyerap P dari tanah dalam bentuk ion fosfat, terutama H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} yang terdapat dalam larutan tanah. Ion H_2PO_4^- lebih banyak dijumpai pada tanah yang lebih masam, sedangkan pada $\text{pH} < 7$ bentuk HPO_4^{2-} lebih dominan disamping ion-ion tersebut, tanaman dapat menyerap P dalam bentuk asam nukleat, fitin, dan fosfohumat (Havlin et al., 1999). Fosfat merupakan unsur hara yang sangat berpengaruh terhadap keberadaan jumlah mikoriza dimana fosfat ini merupakan unsur hara makro bagi tumbuhan sehingga keberadaan mikoriza sangat membantu dalam pertumbuhan tumbuhan dimana hifa mikoriza membantu dalam penyerapan fosfat dalam tanah. Fosfat yang telah diserap oleh hifa eksternal akan segera diubah menjadi senyawa polifosfat dan dipindahkan ke dalam hifa internal dan arbuskul. Di dalam arbuskular, senyawa polifosfat diubah menjadi fosfat organik yang kemudian dilepaskan ke sel tanaman inang (Madjid, 2009).

2.7. Siklus Kolonisasi Akar Mikoriza

Kolonisasi akar merupakan bentuk proses simbiosis antara akar tanaman inang dan MA. Proses kolonisasi akar terbagi menjadi 4 tahapan yaitu (1) sebelum infeksi, (2) penetrasi hifa pada akar tanaman inang, (3) hifa tumbuh dan berkembang pada sel akar dan tahapan akhir (4) MA akan menjalankan fungsinya membantu penyerapan hara dan air untuk tanaman inang. Struktur MA dapat berupa hifa internal dan hifa eksternal, spora, vesikula, arbuskula, dan miselia. Hifa terbentuk dari perkecambahan spora yang berperan dalam menyerap unsur haradan air dari luar ke dalam akar dan selanjutnya digunakan dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman inang. Struktur arbuskular memiliki bentuk seperti pohon, terbentuk dari cabang-cabang hifa intraradikal yang berada antara dinding sel dan membran sel. Arbuskula berperan penting sebagai tempat pertukaran unsur hara dan karbon antara MA dan tanaman inang serta tempat penyimpanan sementara mineral, nutrisi, dan gula. Vesikula merupakan struktur dinding tipis yang terbentuk dari pembengkakan pada ujung hifa, berbentuk bulat, lonjong, atau tidak teratur. Vesikula berperan sebagai organ penyimpan cadangan makanan seperti lipid dan dalam waktu tertentu berperan sebagai spora yang merupakan alat pertahanan kehidupan MA. Spora merupakan organ

perbanyak dari MA, terbentuk dari hifa ekstraradikal yang memiliki bentuk tunggal maupun berkoloni (*sporocarps*). Spora memiliki komposisi yang terdiri dari polisakarida, lipid, protein, dan kitin. Spora memiliki organ seperti mitokondria, retikulum, endoplasma, dan vakuola. Spora terlebih dahulu mengalami perkecambahan dalam memperbanyak diri untuk menghasilkan hifa DAN menginfeksi akar tanaman inangnya (Peterson *et al.* 2004; Simanungkalit *et al.*, 2006).

Hifa MA adalah filamen yang terdiri dari tubuh cendawan mikoriza dan organ-organ fungsional utama dalam simbiosis mikoriza. Proses kolonisasi dimulai dari perkecambahan spora didalam tanah. Hifa yang tumbuh melakukan penetrasi ke dalam akar dan berkembang di dalam korteks (Talanca, 2010).

Keberadaan jamur MA pada akar ditandai dengan adanya hifa arbuskular atau vesikula yang mengisi sel korteks akar (Irawati, 2004). Delvian dan Elfiati (2012) menyebutkan tidak dijumpainya arbuskular pada akar tanaman bisa disebabkan sifat dari arbuskular yang memiliki umur pendek (1-3 minggu) sehingga pada saat dilakukan pengamatan arbuskular telah rusak.

Derajat kolonisasi mikoriza dilihat ada atau tidaknya struktur vesikula, arbuskular dan hifa internal menggunakan metode pewarnaan akar. Menurut Setiadi *et al.*, (1991) persentase derajat kolonisasi mikoriza dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$\% \text{ derajat kolonisasi akar} = \frac{\text{Jumlah akar yang terkolonisasi}}{\text{Jumlah akar yang diamati}} \times 100 \%$$

Untuk mengetahui nilai derajat kolonisasi i digunakan kriteria berikut (Tabel 1)

Tabel 1. Kriteria efektifitas derajat kolonisasi mikoriza (Brundett *et al.*, 1996).

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