

## 8. CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULER

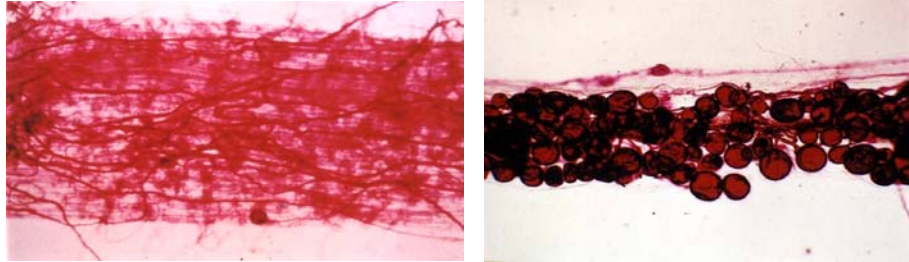
R.D.M. Simanungkalit

### Summary

**Arbuscular Mycorrhizal Fungi.** Arbuscular mycorrhizal fungi (AM fungi) are a group of soil-borne fungi, which are biotrophic and obligate symbionts. It can grow in symbiosis with a wide range of plant roots and can not grow in axenic culture. As yet it is only multiplied by growing it with suitable host plants. Naturally it is widely distributed under various agroecosystems. More than 175 species have been identified. Root colonization by AM fungi are not spesific; it has a broad spectrum. The most important role of arbuscular mycorrhizal fungi is its ability to take up phosphorus nutrient and other immobile nutrients from soils. Other roles which arbuscular mycorrhizal fungi can play are increasing plant tolerance to abiotic stresses such as drought, salinity, and heavy metal, improving physical soil characteristics, and increasing plant tolerance to biotic stress such as various soil born diseases, and rehabilitating degraded lands. Inoculating the crop can increase the efficiency of anorganic fertilizer application. The inefficient production technology of inoculant limits its utilization on a large scale

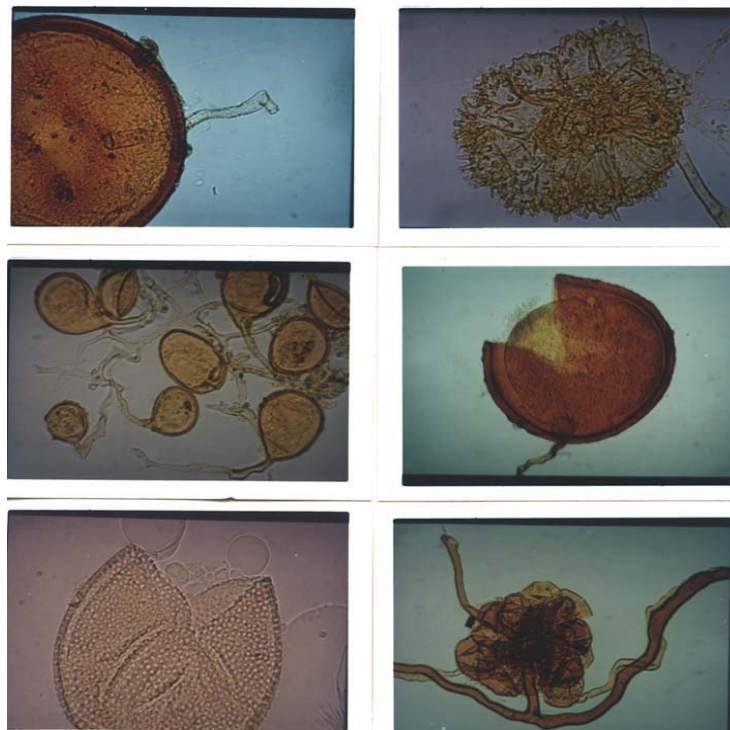
Cendawan mikoriza arbuskuler (MA) merupakan satu kelompok jamur tanah biotrof obligat yang tidak dapat melestarikan pertumbuhan dan reproduksinya bila terpisah dari tanaman inang. Cendawan ini dicirikan oleh adanya struktur vesikel dan/atau arbuskel. Ada yang membentuk kedua struktur ini dalam akar yang dikolonisasi, sehingga lama sebelumnya cendawan dari kelompok ini dikenal sebagai cendawan vesikuler-arbuskuler. Memang ada keberatan karena ada juga spesies dari kelompok ini tidak membentuk vesikel dalam akar sehingga ada kecenderungan untuk menggunakan cendawan MA untuk menyatakan cendawan mikoriza yang membentuk vesikel dan yang tidak, karena struktur arbuskel terdapat pada semua spesies. Oleh karena sampai sekarang dalam literatur mikoriza, kedua sebutan untuk kelompok cendawan masih dipakai. Vesikel merupakan struktur berdinding tipis berbentuk bulat, lonjong atau tidak

teratur. Struktur ini mengandung senyawa lipid (Gambar 1). Arbuskel merupakan struktur dalam akar berbentuk seperti pohon berasal dari cabang-cabang hifa intraradikal setelah hifa cabang menembus dinding sel korteks, dan terbentuk antara dinding sel dan membran plasma.



Gambar 1. Kolonisasi cendawan MA dalam akar padi penuh dengan hifa (kiri), penuh dengan spora (kanan)

Foto: R.D.M. Simanungkalit



Gambar 2. Spora beberapa spesies cendawan MA

Foto: R.D.M. Simanungkalit

Penggunaan teknik-teknik molekuler dalam mikrobiologi dalam mengidentifikasi mikroba pada 15 tahun terakhir ini telah menyebabkan revolusi dalam taksonomi mikroba. Pada masa-masa sebelumnya identifikasi cendawan MA hanya dilakukan berdasarkan karakteristik morfologi sporanya saja (bentuk, warna, tangkai spora, dan ornamen pada permukaan spora). Gambar 2 menunjukkan bentuk, tangkai spora, dan ornamen pada permukaan berbagai spora cendawan MA.

Tabel 1. Sejarah perkembangan taksonomi cendawan MA

| Perkembangan  | Sumber                      |
|---|-----------------------------|
| Semua spesies cendawan MA disebut sebagai <i>Endogone</i> . Sampai tahun 1960-an dalam literatur mikoriza nama ini masih umum digunakan   | Frank (1908)                |
| Endogonaceae ditempatkan dalam ordo Mucorales   | Bucholtz (1912)             |
| Revisi semua famili Endogonaceae dengan menempatkan anggota <i>Glomus</i> dalam <i>Endogone</i> , dan <i>Sclerocystis</i> tersendiri  | Thaxter (1922)              |
| Endogonaceae ditempatkan dalam ordo Endogonales   | Moreau (1953)               |
| Beberapa spesies <i>Endogone</i> menjadi <i>Glomus</i> . Endogonaceae menjadi tiga genus, yaitu <i>Glomus</i> , <i>Acaulospora</i> dan <i>Gigaspora</i>   | Gerdemann dan Trappe (1974) |
| Klasifikasi baru cendawan MA. Ordo Glomales terdiri atas dua subordo, Glomineae dan Gigasporaneae   | Morton dan Benny (1990)     |
| Penggunaan perbedaan sekuens 18S rDNA untuk identifikasi spesies. Hasilnya <i>Acaulospora gerdemannii</i> , <i>Acaulospora trappei</i> dan <i>Glomus leptotichum</i> masing-masing menjadi <i>Archaeospora gerdemannii</i> , <i>A. trappei</i> dan <i>A. leptoticha</i> dan ditempatkan dalam famili baru Archaeosporaceae. <i>Glomus occultum</i> dan <i>G. brasilianum</i> masing-masing menjadi <i>Paraglomus occultum</i> dan <i>Paraglomus brasilianum</i> dan ditempatkan dalam famili baru Paraglomaceae | Morton & Redecker (2001)    |

Pada akhir-akhir ini penggunaan teknik molekuler telah digunakan, selain teknik-teknik konvensional. Taksonomi cendawan MA terbaru dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan taksonomi terbaru ini spesies dalam kelompok cendawan MA berjumlah 176, masing-masing 32 *Acaulospora*, 4 *Entrophospora*, 3 *Archaeospora*, 98 *Glomus*, 2 *Paraglomus*, 8 *Gigaspora*, dan 29 *Scutellospora* (<http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/nomenclature.htm>)

Tabel 2. Taksonomi cendawan MA

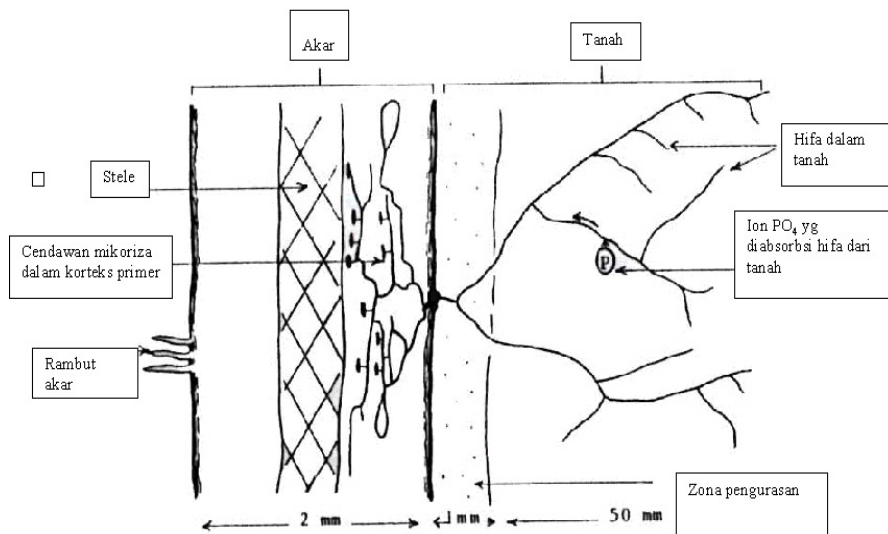
| Filum      | Ordo          | Sub-ordo      | Famili           | Genus                |
|------------|---------------|---------------|------------------|----------------------|
| Zygomycota | Glomeromycota | Glomineae     | Glomaceae        | Glomus               |
|            |               |               | Acaulosporaceae  | Acaulospora          |
|            |               |               |                  | <i>Entrophospora</i> |
|            |               |               | Archaeosporaceae | Archaeospora         |
|            |               | Paraglomaceae | Paraglomus       |                      |
|            |               | Gigasporineae | Gigasporaceae    | Gigaspora            |
|            |               |               |                  | <i>Scutellospora</i> |

### Mekanisme penyerapan fosfat

Beberapa hipotesis dikemukakan oleh Tinker (1975) tentang mekanisme penyerapan P, yaitu:

1. Kolonisasi mikoriza mengubah morfologi akar sedemikian rupa, misalnya dengan menginduksi hipertrofi akar, sehingga mengakibatkan pembesaran sistem akar, dengan demikian luas permukaan akar untuk mengabsorpsi P menjadi lebih besar.
2. Mikoriza memiliki akses terhadap sumber P-anorganik yang relatif tidak dapat larut (seperti apatit misalnya), yang tidak dimiliki oleh akar yang tidak bermikoriza.
3. Kolonisasi mikoriza mengubah metabolisme tanaman inang sehingga absorpsi atau pemanfaatan P oleh akar terkolonisasi ditingkatkan, yaitu peningkatan daya absorpsi (absorbing power) individu-individu akar.
4. Hifa dalam tanah mengabsorpsi P dan mengangkutnya ke akar-akar yang dikolonisasi, dimana P ditransfer ke inang bermikoriza, sehingga berakibat meningkatnya volume tanah yang dapat dijangkau oleh sistem akar tanaman.
5. Daerah akar bermikoriza tetap aktif dalam mengabsorpsi hara untuk jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan akar yang tidak bermikoriza.

Dari kelima hipotesis tersebut, hipotesis keempat dianggap yang paling penting dalam meningkatkan serapan P, berdasarkan bukti-bukti eksperimental yang ada. Cendawan MA memiliki struktur hifa yang menjalar keluar ke dalam tanah. Hifa meluas di dalam tanah, melampaui jauh jarak yang dapat dicapai oleh rambut akar. Ketika fosfat di sekitar rambut akar sudah terkuras, maka hifa membantu menyerap fosfat di tempat-tempat yang tidak dapat lagi dijangkau rambut akar seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema penyerapan P oleh akar bermikoriza

Sumber : Mosse (1986)

Rhodes dan Gerdemann (1980) membagi proses bagaimana hara dipasok ke tanaman oleh cendawan MA menjadi tiga fase:

1. absorpsi hara dari tanah oleh hifa eksternal;
2. translokasi hara dari hifa eksternal ke miselium internal dalam akar tanaman inang; dan
3. pelepasan hara dari miselium internal ke sel-sel akar.

P diangkut melalui hifa eksternal dalam bentuk polifosfat. Adanya granul polifosfat dalam vakuola hifa telah dibuktikan melalui elektron mikroskop (Cox *et al.*, 1975).

Peran agronomis yang paling utama mikoriza yang diterima hingga saat ini adalah kemampuannya untuk meningkatkan serapan hara tanaman. Penyerapan P pada permukaan akar lebih cepat dari pergerakan fosfat ke permukaan akar, sehingga zona terkurasnya fosfat terjadi di sekitar akar. Hifa yang meluas dari permukaan akar membantu tanaman melintasi zona ini, sehingga dapat menyerap fosfat dari zona yang tidak dapat dicapai oleh akar yang tidak bermikoriza. Smith dan Gianinazzi-Pearson (1988) mencatat panjang hifa ini pada beberapa tanaman berkisar antara 0,71-14,20 m cm<sup>-1</sup> akar (Tabel 3). Mekanisme penyerapan ini digambarkan secara skematis pada Gambar 3 di atas.

Tabel 3. Panjang hifa dalam tanah pada beberapa tanaman inang

| Spesies CMA                | Tanaman inang | Panjang hifa            |
|----------------------------|---------------|-------------------------|
| :                          |               | m cm <sup>-1</sup> akar |
| Pada akar terkolonisasi    |               |                         |
| <i>Glomus mosseae</i>      | Onion         | 0,79 – 2,5              |
| <i>G. mosseae</i>          | Onion         | 0,71                    |
| <i>G. macrocarpum</i>      | Onion         | 0,71                    |
| <i>G. microcarpum</i>      | Onion         | 0,71                    |
| <i>Glomus</i> sp. (E3)     | Clover        | 1,29                    |
| „                          | Rye grass     | 1,36                    |
| <i>G. fasciculatum</i>     | Clover        | 2,50                    |
| <i>G. tenue</i>            | Clover        | 14,20                   |
| <i>Gigaspora calospora</i> | Onion         | 0,71                    |
| <i>G. calospora</i>        | Clover        | 12,30                   |
| <i>Acaulospora laevis</i>  | Clover        | 10,55                   |
| Pada seluruh sistem akar : |               |                         |
| <i>G. fasciculatum</i>     | Kedelai       | 1,2 – 2,7               |

Sumber: Smith dan Gianinazzi-Pearson (1988)

### Penyebaran

Cendawan MA terdapat pada berbagai ekosistem. Penyebaran cendawan MA ini sangat luas di seluruh dunia, mulai dari arktik sampai daerah tropis (Gerdemann, 1968), dan tidak hanya pada habitat darat tetapi juga pada habitat air (Sondergaard and Laegaard, 1977). Laporan pertama tentang cendawan MA di Indonesia (juga yang pertama di daerah tropis) berasal dari Janse (1896). Berdasarkan hasil penelitiannya pada sejumlah tanaman di Kebun Raya Cibodas, terdapat kolonisasi mikoriza pada 69 spesies dari 75 yang diperiksanya. Spesies ini termasuk pada 56 famili dari Bryophyta, Pteridophyta, Gymnosperma, dan Angiosperma. Sieverding (1991) mengkompilasi data dari Brazil, Kolombia, dan Zaire tentang keanekaragaman cendawan MA (jumlah spesies cendawan MA) dan mendapatkan pada ekosistem alami 16-21 spesies, ekosistem pertanian dengan masukan rendah 10-15 spesies, dan ekosistem pertanian intensif dengan masukan tinggi 6-9 spesies. Data ini memberikan indikasi bahwa keanekaragaman spesies cendawan MA menurun dari ekosistem alami ke ekosistem pertanian dengan masukan tinggi. Di Indonesia (Jambi dan Lampung) pada ekosistem hutan didapatkan 7-10 spesies, ekosistem pertanian 8-11 spesies dan pada padang alang-alang 10-11 spesies (Simanungkalit *et al.*, 1999). Pada penelitian yang

dilakukan oleh Kramadibrata *et al.* (1995) pada pertanaman kedelai di beberapa lokasi di Jawa Barat dan Lampung didapatkan 19 taksa cendawan MA. Ini menunjukkan bagaimana besarnya keanekaragaman cendawan MA pada pertanaman kedelai (Tabel 4).

Tabel 4. Keanekaragaman spesies cendawan MA pada pertanaman kedelai Lampung Tengah, Garut, dan Bogor

| Nama jenis cendawan MA              | Lampung Tengah |          |          |          | Garut    |          | Bogor    |          |          |          |
|-------------------------------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                     | L1             | L2       | L5       | L6       | G1       | G2       | B1       | B2       | B3       | B4       |
| <i>Acaulospora delicata</i>         | -              | -        | +        | -        | -        | -        | -        | +        | +        | +        |
| <i>A. foveata</i>                   | -              | -        | -        | -        | -        | +        | -        | -        | -        | -        |
| <i>A. rehmi</i>                     | -              | -        | -        | -        | -        | -        | +        | -        | -        | -        |
| <i>A. scrobiculata</i>              | -              | +        | +        | +        | -        | -        | +        | -        | +        | -        |
| <i>A. tuberculata</i>               | -              | +        | -        | -        | -        | -        | +        | -        | -        | +        |
| <i>Gigaspora cf. gigantea</i>       | +              | +        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <i>Gigaspora sp. 1</i>              | +              | +        | +        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <i>Glomus clavisporum</i>           | -              | +        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <i>Glomus cf. fasciculatum</i>      | +              | -        | -        | -        | -        | -        | +        | +        | +        | +        |
| <i>Glomus cf. microagregatum</i>    | +              | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <i>Glomus sp.1</i>                  | -              | +        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <i>Glomus sp.2</i>                  | -              | -        | +        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <i>Glomus sp.3</i>                  | -              | -        | -        | -        | +        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <i>Glomus sp.4</i>                  | -              | -        | -        | -        | -        | -        | +        | -        | -        | -        |
| <i>Scutellospora cf. heterogama</i> | -              | -        | -        | -        | -        | -        | -        | +        | -        | -        |
| <i>Scutellospora cf. pellucida</i>  | -              | -        | -        | -        | -        | -        | -        | +        | -        | -        |
| <i>Scutellospora sp.1</i>           | +              | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <i>Scutellospora sp.2</i>           | +              | -        | -        | +        | +        | +        | -        | +        | -        | -        |
| <i>Scutellospora sp.3</i>           | -              | -        | -        | +        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <b>Jumlah spesies cendawan MA</b>   | <b>6</b>       | <b>6</b> | <b>4</b> | <b>3</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>5</b> | <b>3</b> | <b>3</b> |

Sumber: Kramadibrata *et al.* (1995)

Empat dari enam genera Glomales ditemukan pada 10 lokasi penelitian. Tentu keanekaragaman ini dapat lebih besar lagi kalau kita sadari bagaimana luasnya pertanaman kedelai di Indonesia dan bervariasinya faktor-faktor lingkungan (tanah dan iklim), teknik budi daya dan pola tanam yang digunakan dimana kedelai tersebut tumbuh.

### Teknologi produksi inokulan

Cara yang paling umum dipakai untuk memperbanyak inokulan cendawan MA adalah dengan kultur pot dimana cendawan MA tertentu yang telah diketahui keefektifannya diinokulasikan pada tanaman inang tertentu

pada medium padat yang steril. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Mosse (1953) yang menginokulasi inokulan murni salah satu spesies *Endogone* (sekarang namanya *Glomus mosseae*) pada akar tanaman arbei yang tumbuh pada tanah steril di kamar kaca. Setelah lebih dari 50 tahun metode ini masih tetap banyak digunakan untuk memproduksi inokulan cendawan MA.

Berbagai macam bahan padat seperti tanah, pasir, zeolit, *expanded clay*, dan gambut banyak digunakan sebagai medium pertumbuhan/bahan pembawa. Simanungkalit dan Riyanti (1994) memperbanyak *Glomus fasciculatum* pada medium campuran pasir kuarsa dan arang sekam steril (dengan perbandingan volume 3:1) dengan jagung sebagai tanaman inang yang diberi larutan hara. Dehne dan Backhaus (1986) menggunakan agregat liat (*expanded clay*) sebagai bahan pembawa dalam produksi inokulan cendawan MA. Bahan agregat liat ini memiliki kelebihan antara lain: (1) bahannya ringan ( $420 \text{ kg m}^{-3}$ ) sehingga tidak ada masalah dalam transportasi dan distribusi; (2) daya tahan cendawan MA dalam bahan ini tinggi; dan (3) bahan ini merupakan bahan anorganik sehingga masalah mikroorganisme patogen sedikit.

### **Inokulan spora**

Produksi inokulan tentu tidak bermasalah seandainya cendawan MA dapat ditumbuhkan pada kultur murni seperti bakteri rhizobia. Bila spora yang akan digunakan sebagai inokulan maka produksi dapat dilakukan dalam kultur pot dengan menggunakan berbagai tanaman inang pada medium tanah steril. Berbagai tanaman yang dapat dipakai sebagai tanaman misalnya jagung, rumput bahia (*Paspalum notatum*), rumput guinea (*Panicum maximum*), kirinyu (*Chromolaena odorata*), sorghum (*Sorghum bicolor*), siratro (*Macroptilium purpureum*), dan sebagainya. Setelah tanaman mencapai umur tertentu spora dipisahkan dengan menggunakan teknik saringan basah dan dekantasi. Tapi prosedur ini sangat makan waktu dan tenaga, sehingga tidak praktis bila tujuannya menyediakan inokulan spora untuk skala komersial. Selain itu juga kemungkinan terjadinya kontaminasi oleh jenis cendawan MA lain dan mikroorganisme-mikroorganisme lain yang tidak diinginkan.

Spora yang akan digunakan harus betul-betul spora murni dari suatu spesies tertentu. Ini hanya mungkin diperoleh bila betul-betul berasal dari suatu spora tunggal. Metode untuk memperbanyak inokulan dari spora tunggal telah dikembangkan dengan menggunakan satu spora untuk menginokulasi tanaman inang jagung pada media tanah steril. Penggunaan lebih dari satu spora untuk menginokulasi tanaman inang mungkin menghasilkan spora dari spesies cendawan MA yang berbeda, karena dua spora yang kelihatannya sama belum tentu memiliki sifat genetik yang sama.

Berbagai bentuk dan takaran inoculan cendawan MA telah digunakan pada berbagai tanaman seperti diperlihatkan pada Tabel 5. Bila spora yang dipakai sebagai inoculan, kebutuhan inoculan dapat dihitung seperti pada contoh berikut. Nopamornbodi *et al.* (1987) menempatkan 200 spora di bawah setiap biji kedelai atau kacang hijau yang ditanam di lapangan. Kalau saja jumlah 200 spora yang diberikan ke tiap lubang tanah digunakan untuk memperhitungkan kebutuhan inoculan spora per ha tanaman kedelai dengan jarak tanam 40 cm x 10 cm, maka dibutuhkan  $5 \times 10^7$  spora. Selanjutnya kalau pada kultur pot jagung diperoleh 649 spora ( $50 \text{ g}^{-1}$  medium tanah (Djasmara and Simanungkalit, 1999), maka diperlukan kira-kira 3,85 t tanah untuk disaring. Dengan bobot medium  $10 \text{ kg pot}^{-1}$ , maka diperlukan kira-kira 385 pot. Ini merupakan jumlah yang tidak sedikit. Produksi inoculan ini tidak efisien. Tentu saja banyaknya spora yang diproduksi per satuan bobot tanah menentukan banyaknya tanah yang harus disaring. Kalau jumlah spora per satuan bobot dapat ditingkatkan jumlahnya, maka jumlah pot kultur yang diperlukan akan berkurang.

Tabel 5. Bentuk dan takaran inoculan pada berbagai tanaman

| Tanaman   | Bentuk inoculan   | Takaran  | Keterangan                          | Sumber                         |
|-----------|-------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------|
| Padi gogo | Spora             | $50 \text{ pot}^{-1}$                                    | -                                   | Sanni (1976)                   |
|           | Inoculan tanah    | $40 \text{ g pot}^{-1}$                                  | 2 kg tanah pot                      | Simanungkalit (1987)           |
| Bawang    | Spora             | $50 \text{ pot}^{-1}$                                    | Kultur pasir                        | Daft & Nicolson (1972)         |
|           | Akar terinfeksi   | $10 \text{ g pot}^{-1}$                                  | 4,2 lbs tanah $\text{pot}^{-1}$     | Murdoch <i>et al.</i> (1967)   |
| Kedelai   | Inoculan tanah    | $50 \text{ g pot}^{-1}$                                  | 4,4 kg pasir $\text{pot}^{-1}$      | Hetrick <i>et al.</i> (1984)   |
|           | Inoculan tanah    | $100 \text{ g pot}^{-1}$                                 | 10 kg tanah $\text{pot}^{-1}$       | Simanungkalit (1993)           |
| Ubi kayu  | Spora dan miselia | $1 \text{ g pot}^{-1}$                                   | 1 kg tanah $\text{pot}^{-1}$        | Kang <i>et al.</i> (1980)      |
|           | Akar terinfeksi   | $2 \text{ g stek}^{-1}$                                  | Percobaan lapang                    | Howeler and Sieverding (1983)  |
| Sorghum   | Inoculan tanah    | $25 \text{ g pot}^{-1}$<br>( $42 \text{ spora g}^{-1}$ ) | 11 kg tanah $\text{pot}^{-1}$       | Raju <i>et al.</i> (1990)      |
| Tomat     | Spora             | $50 \text{ pot}^{-1}$                                    | Kultur pasir                        | Daft & Nicolson (1972)         |
| Kentang   | Spora             | $5000 \text{ pot}^{-1}$                                  | $750 \text{ cm}^3 \text{ pot}^{-1}$ | Furlan & Bernier-Cardou (1989) |
|           | Pelet tanah       | 1 pellet $\text{pot}^{-1}$                               | 450 g (pasir + lempung)             | Hall (1979)                    |
|           | Pot ball          | $100 \text{ g pot}^{-1}$                                 | 10 kg tanah $\text{pot}^{-1}$       | Mamo & Kilham (1987)           |
| Clover    | Spora             | $200 \text{ pot}^{-1}$                                   | 1 l (vermikulit + tanah)            | Miller <i>et al.</i> (1985)    |
|           | Inoculan tanah    | $50 \text{ g pot}^{-1}$                                  | Pot tanah liat ukuran 15 cm         | Menge <i>et al.</i> (1978)     |
|           | Inoculan cair     | -  | -                                   | Nemec (1983)                   |

### **Inokulan akar bermikoriza**

Penyediaan inokulan dalam bentuk akar masih lebih praktis daripada inokulan spora. Yang diperlukan adalah tanaman inang yang sangat responsif terhadap cendawan MA terpilih dan memiliki sistem akar dengan massa besar. Akar tanaman inang dipanen setelah dicek terlebih dahulu apakah memiliki presentase kolonisasi mikoriza dan intensitas infeksi yang tinggi. Bila jagung yang dipakai sebagai tanaman inang, panen akar biasanya dilakukan 7-8 minggu setelah tanam.

Akar bermikoriza pada waktu panen dipisahkan dari medium tumbuh, lalu dicuci dan disteril permukaan dan kemudian dipotong-potong halus (1-2 mm). Segmen-segmen akar inilah selanjutnya yang diinokulasikan pada lubang tanaman. Bila akar yang dipakai sebagai inokulan untuk menginokulasi tiap lubang pertanaman kedelai dengan jarak tanam 40 cm x 10 cm, misalnya 1 g akar segar/lubang tanaman, maka diperlukan 250 kg akar. Bila satu kultur pot dengan bobot tanah 8 kg menghasilkan 20 g akar segar, maka diperlukan 12.500 pot kultur. Produksi inokulan akar dengan kultur pot ini juga sangat tidak efisien.

### **Inokulan campuran**

Apa yang dimaksud dengan inokulan campuran dalam makalah ini adalah inokulan yang mengandung kombinasi spora, hifa, dan akar bermikoriza. Pembuatan inokulan campuran dapat dilakukan dengan kultur pot yang berisi tanah atau substrat lain yang steril. Sterilisasi dapat dilakukan dengan oven, autoklaf, fumigan, dan iradiasi sinar gamma. Tanah steril ini selanjutnya diinokulasi dengan cendawan MA unggul dan ditanami dengan tanaman inang yang sesuai. Pada waktu panen, akar dipisahkan dan diproses seperti pada pembuatan inokulan akar. Segmen-segmen akar ini selanjutnya dicampur rata kembali dengan medium tumbuhnya. Inokulan campuran ini pada akhirnya mengandung propagul yang meliputi spora, akar terkolonisasi, dan hifa.

Dalam hal inokulan campuran dengan tanah sebagai bahan pembawa misalnya untuk kedelai di lapangan dengan 250.000 lubang ha<sup>-1</sup> (jarak tanam 40 cm x 10 cm), maka kalau tiap lubang diberi 20 g, dibutuhkan 5 t inokulan tanah. Tingginya bobot inokulan tanah sebenarnya adalah karena bahan pembawanya, sedangkan berat propagul dalam tanah tersebut tidak seberapa.

Metode perbanyak inokulan dengan kultur pot sering menghadapi masalah adanya kontaminasi dari mikroba lain sehingga menurunkan mutu dari inokulan tersebut. Untuk mengatasi masalah ini sistem kultur hidroponik dan aeroponik telah dikembangkan. Sistem kultur hidroponik menggunakan teknik film hara (nutrient film technique) yang

diadaptasi dari Mosse dan Thompson (1984). Pada sistem ini akar tanaman tumbuh pada lapisan tipis larutan hara yang mengalir cepat. Aerasi pada sistem dipertahankan melalui kecepatan aliran hara dan kedalaman larutan hara pada bak tanaman. Sistem kultur aeroponik pada dasarnya merupakan sistem menumbuhkan tanaman dimana akar dibasahi dengan kabut hara dengan teknik yang diadaptasi dari Zobel *et al.* (1976). Sistem ini kemudian dikembangkan untuk memproduksi inokulan cendawan MA (Sylvia and Hubbell, 1986; Huang and Sylvia, 1988). Penggunaan kedua sistem kultur ini untuk memproduksi inokulan dalam skala besar sangat rumit.

Upaya lain untuk mendapatkan teknologi produksi inokulan yang bebas kontaminasi dan mungkin lebih efisien adalah menggunakan teknik-teknik bioteknologi seperti kultur jaringan dan transformasi tanaman. Rhodes (1983) mengemukakan ada tiga alasan untuk menggunakan teknik kultur gnotobiotik, yaitu: (1) perbaikan dalam standardisasi dan kemurnian inokulan yang dipakai dalam penelitian mikoriza; (2) menghilangkan hiperparasit; dan (3) potensi perbaikan keefektifan simbiosis cendawan MA melalui manipulasi genetika isolat-isolat pilihan. Kultur akar transformasi merupakan metode yang paling efisien untuk menumbuhkan akar yang terkolonisasi karena tidak memerlukan zat pengatur tumbuh tanaman untuk pertumbuhan yang berkelanjutan (Jarstfer and Sylvia, 1993). Mugnier dan Mosse (1987) memperoleh infeksi cendawan MA dengan spora pada akar wortel yang ditransformasi oleh plasmid T-DNA bakteri *Agrobacterium rhizogenes*. Dengan teknik ini nantinya diharapkan produksi inokulan dapat dilakukan secara kultur aksenik dalam fermentor. Tetapi penggunaan teknik maju ini masih dalam tahap-tahap penelitian.

### **Perbanyak cendawan MA pada tingkat petani**

Cendawan MA adalah simbiosis obligat, yang harus hidup secara simbiosis dengan tanaman, sehingga tidak dapat diperbanyak secara aksenik di fermentor seperti halnya jenis mikroba pupuk hayati lainnya. Perbanyak dalam skala besar, sangat makan waktu, dan tidak efisien. Teknologi ini dapat diteruskan kepada petani dengan cara produksi *in situ* (di lahan petani sendiri) dengan cara seperti yang dilakukan di Kolumbia (Sieverding, 1991). Petani memperbanyak sendiri inokulan pada luasan tanah tertentu sebelum waktu tanam. Penyuluh pertanian dapat membimbing mereka dan instansi tertentu menyediakan starter inokulan yang akan diperbanyak petani.

### Ketergantungan terhadap cendawan MA

Berbagai tanaman berbeda ketergantungannya terhadap cendawan MA. Ketergantungan tanaman terhadap mikoriza diartikan sebagai tingkatan ketergantungan terhadap kondisi mikoriza untuk menghasilkan pertumbuhan atau hasil pada suatu taraf kesuburan tanah tertentu (Gerdemann, 1975). Pada umumnya hubungan simbiosis antara tanaman dan cendawan MA dapat dikatakan tidak spesifik tapi memiliki spektrum yang luas. Artinya suatu spesies cendawan MA tertentu dapat mengkolonisasi dan efektif terhadap lebih dari satu jenis tanaman tertentu. Sebagai contoh 10 spesies cendawan MA dapat mengkolonisasi dan efektif pada jagung dan kedelai (Simanungkalit, 1997). Jagung varietas Arjuna dan hibrida C-1 dapat ditingkatkan pertumbuhannya oleh tiga spesies cendawan MA yang berbeda (Lukiwati dan Simanungkalit, 1999)

Tanaman dengan akar besar lebih tergantung pada mikoriza daripada tanaman dengan sistem akar yang memiliki rambut akar banyak dan panjang (Baylis, 1975). Ketergantungan mikoriza relatif dapat berbeda antara spesies tanaman atau bahkan antara varietas (kultivar) dalam satu spesies (Azcon and Ocampo, 1981). Tanaman-tanaman sangat berbeda kebutuhan dan respon terhadap fosfat dan ketergantungannya terhadap mikoriza (Mosse, 1986) Perbedaan ketergantungan antara berbagai jenis tanaman dapat digolongkan menjadi besar, medium, dan kecil (Tabel 6). Menurut daftar ini tanaman-tanaman yang ketergantungannya besar terhadap mikoriza memang memiliki akar yang besar dan atau memiliki rambut akar yang terbatas seperti ubi kayu dan jeruk misalnya.

Tabel 6. Ketergantungan beberapa tanaman terhadap mikoriza

|                                  | Ketergantungan |          |               |
|----------------------------------|----------------|----------|---------------|
|                                  | Besar          | Medium   | Kecil         |
| Ubi kayu                         |                |          |               |
| Jeruk (Citrus)                   |                |          |               |
| Bawang merah                     |                | Kedelai  | Gandum        |
| Bawang perai                     |                | Jagung   | <i>Barley</i> |
| Kacang tunggak                   |                | Sorgum   | Kentang       |
| Asparagus                        |                | Paspalum | Padi          |
| <i>Stylosanthes guyanensis</i>   |                |          |               |
| <i>Pinus spp.</i> (ektomikoriza) |                |          |               |

Sumber: Mosse (1986)

Cendawan MA dapat bersimbiosis dengan tanaman pangan, tanaman hortikultura, tanaman perkebunan, dan tanaman industri. Tabel 7 memperlihatkan contoh berbagai tanaman pangan, tanaman hortikultura, dan tanaman perkebunan yang membentuk simbiosis dengan cendawan MA.

Tabel 7. Daftar berbagai tanaman pertanian bermikoriza

| Spesies                                 | Referensi                          |
|---|------------------------------------|
| <b>Tanaman pangan:</b>                  |                                    |
| <i>Arachis hypogaea</i>                 | Daft dan El-Giahmi (1975)          |
| <i>Glycine max.</i>                     | Jones (1924)                       |
| <i>Manihot utilissima</i>               | Johnston (1948)                    |
| <i>Oryza sativa</i>                     | Sanni (1976); Simanungkalit (1981) |
| <i>Zea mays</i>                         | Johnston (1948)                    |
| <b>Tanaman hortikultura:</b>            |                                    |
| <i>Ananas comosus</i> (nanas)           | Guillemin dan Gianinazzi (1992)    |
| <i>Artocarpus integrus</i> (jagung)     | Smith <i>et al.</i> (1997)         |
| <i>Capsicum annum</i> (Cabai)           | Johnston (1948)                    |
| <i>Carica papaya</i> (pepaya)           | Johnston (1948)                    |
| <i>Citrus aurantifolia</i>              | Johnston (1948)                    |
| <i>C. paradisi</i>                      | Johnston (1948)                    |
| <i>C. sinensis</i>                      | Johnston (1948)                    |
| <i>Durio zibethinus</i> (durian)        | Smith <i>et al.</i> (1997)         |
| <i>Garcinia mangostana</i> (manggis)    | Silviana <i>et al.</i> (1997)      |
| <i>Lansium domesticum</i>               | Smith <i>et al.</i> (1997)         |
| <i>Litchi chinensis</i>                 | Pandey dan Misra (1971)            |
| <i>Lycopersicum esculantum</i> (tomat)  | Daft dan Nicolson (1969)           |
| <i>Musa</i> sp. (pisang)                | Johnston (1948)                    |
| <i>Nephelium lappaceum</i> (rambutan)   | Smith <i>et al.</i> (1997)         |
| <i>Pyrus malus</i>                      | Mosse (1957)                       |
| <i>Virfina unguiculata</i>              | Johnston (1948)                    |
| <i>Vitis vignifera</i>                  | Possingham dan Obbink (1971)       |
| <b>Tanaman perkebunan:</b>              |                                    |
| <i>Thea sinensis</i> (teh)              | Webster (1953)                     |
| <i>Cocos nucifera</i> (kelapa)          | Lily (1978)                        |
| <i>Elaeis guineensis</i> (kelapa sawit) | Nadarajah (1980)                   |
| <i>Theobroma cacao</i> (coklat)         | Laycock (1945)                     |
| <i>Hevea brasiliensis</i> (karet)       | Wastie (1965)                      |
| <i>Saccharum officinarum</i> (tebu)     | Ciferri (1928)                     |

## Peranan potensial cendawan MA

### Peningkatan pertumbuhan, serapan hara, dan hasil tanaman

Kolonisasi akar kedelai oleh cendawan MA dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai (Ross and Harper, 1970; Ross, 1971; Mosse *et al.*, 1976; Carling and Brown, 1980; Ganry *et al.*, 1985) dan konsentrasi P tanaman kedelai (Ross and Harper, 1970; Ross, 1971; Bethlenfalvey *et al.*, 1985). Selain itu juga dapat meningkatkan nodulasi dan fiksasi N (Carling *et al.*, 1978; Carling and Brown, 1980; Ganry *et al.*, 1985).

Perbaikan serapan hara karena simbiosis dengan cendawan MA tidak hanya terbatas pada fosfat, tetapi juga pada berbagai unsur lain. Pacovsky (1986) membandingkan serapan hara mikro tanaman mikoriza yang diinokulasi dengan *Glomus mosseae* dan *Glomus fasciculatum* dengan tanaman kontrol yang diberi pupuk P yang tinggi. Hasilnya adalah bahwa tanaman mikoriza mempunyai konsentrasi Cu dan Zn yang lebih tinggi tapi Fe dan Mn yang lebih rendah daripada tanaman kontrol. Perbaikan serapan Zn dilaporkan pada *maple* (Daft and Hacskeylo, 1977), kentang (Swaminathan dan Verma, 1979), dan pada *Calliandra* (Simanungkalit dan Lukiwati, 2001). Kahat Zn pada bibit *peach* dapat diatasi melalui inokulasi mikoriza (Gilmore, 1971; La Rue *et al.*, 1975). Tanaman kedelai bermikoriza mempunyai konsentrasi Si yang lebih tinggi daripada tanaman kontrol (Yost and Fox, 1982). Kahat Zn pada bibit *peach* dapat diatasi melalui inokulasi mikoriza (Gilmore, 1971; La Rue *et al.*, 1975).

Heckman dan Angle (1987) mendapatkan adanya perbedaan varietas dalam kolonisasi cendawan MA pada 15 varietas kedelai yang diuji. Simanungkalit dan Riyanti (1997) mendapatkan bahwa varietas kedelai berbeda tanggapan terhadap inokulasi cendawan MA. Dari 10 varietas yang diuji, enam varietas menunjukkan respon yang nyata terhadap inokulasi cendawan MA. Ada pengaruh sinergistik dari hasil interaksi antara inokulan cendawan MA dengan *Rhizobium* terhadap pertumbuhan tanaman kedelai (Azimi *et al.*, 1980).

Inokulasi jagung dengan cendawan MA memberikan pengaruh yang positif terhadap pertumbuhan jagung (Gerdemann, 1964; Murdoch *et al.*, 1967; Jackson *et al.*, 1972). Murdoch *et al.* (1967) mendapatkan tanaman bermikoriza tumbuh sama baik bila fosfat mudah larut yang dipakai tapi bila pupuk fosfat sukar larut yang dipakai tanaman bermikoriza tumbuh lebih baik dan mempunyai kandungan P yang lebih tinggi daripada tanaman tak bermikoriza.

Dengan menggunakan inokulan akar bermikoriza yang digiling dan diliofilisasi, Jackson *et al.* (1972) memperoleh kenaikan hasil jagung 50% lebih tinggi dari ada tanaman yang hanya dikolonisasi oleh cendawan MA asli, tapi tidak ada perbedaan yang nyata pada konsentrasi P di antara

perlakuan. Hall (1979) melihat adanya perbedaan tanggapan beberapa varietas jagung terhadap inokulasi dengan cendawan MA. Tetapi Simanungkalit (1989) tidak mendapatkan adanya perbedaan tanggapan lima varietas jagung yang diuji terhadap inokulasi cendawan MA. Barea *et al.* (1975) mendapatkan adanya pengaruh sinergistik melalui cendawan MA dengan bakteri pelarut fosfat terhadap pertumbuhan jagung pada tanah yang kandungan P-nya rendah. Gerdemann (1964) menemukan konsentrasi P lebih tinggi pada tanaman bermikoriza daripada yang tidak, sebaliknya konsentrasi K, Mg, Bo, dan Mn lebih rendah pada tanaman bermikoriza. Serapan Zn pada tanaman jagung dan gandum yang tumbuh pada tanah kahat Zn dapat ditingkatkan melalui inokulasi cendawan MA, *Glomus macrocarpum* (Swaminathan and Verma, 1979).

Daft dan El-Giahmi (1975) dalam percobaan mereka dengan tiga jenis kacang-kacangan mendapatkan adanya kenaikan bobot kering tanaman kacang tanah karena inokulasi cendawan MA. Empat varietas kacang tanah yang diuji pada tanah Latosol Bogor memberikan respon yang berbeda terhadap inokulasi cendawan MA (Simanungkalit *et al.*, 1992). Varietas Pelanduk memberikan respon yang paling besar dengan kenaikan bobot kering biji sebesar 26%. Krishna dan Bagyaraj (1984) menemukan adanya pengaruh sinergistik dari interaksi antara cendawan MA dengan *Rhizobium* terhadap pertumbuhan kacang tanah.

Pengaruh positif inokulasi cendawan MA terhadap pertumbuhan dan hasil padi gogo telah dilaporkan (Sanni, 1976; Simanungkalit, 1987). Sanni (1976) menggunakan *Gigaspora gigantea* untuk menginokulasi padi gogo varietas OS6 pada tanah dengan pH 7,2 dan P-tersedia 15,5 ppm. Inokulasi meningkatkan bobot gabah dan serapan hara P. Simanungkalit (1987) mendapatkan kenaikan bobot kering (BK) gabah, BK jerami, jumlah malai, konsentrasi P gabah dan jerami padi varietas UPLRi-7 yang ditanam pada tanah dengan pH 5,0 dan P-tersedia (Olsen) 1,8 ppm karena inokulasi dengan *Glomus fasciculatum* dan *Glomus* sp. (Tabel 8). Hasil inokulasi padi gogo dengan cendawan MA pada tanah masam Podsolik Merah Kuning (Ultisols) Jasinga (pH 4,2; P-tersedia 2,2 ppm; Al-dd 15,7 me 100 g tanah<sup>-1</sup>) menunjukkan adanya pengaruh interaksi pemberian kapur, pupuk P dan inokulasi cendawan MA terhadap hasil, jumlah malai, jumlah gabah/malai dan kadar P tanaman (Burbey dan Simanungkalit, 1991).

Khan (1975) dalam percobaan inokulasi MA pada tanah tidak steril memperoleh kenaikan hasil tertinggi yang besar (221%) tanpa pemberian pupuk, sedangkan dengan pemberian pupuk P hasil ini kenaikan sangat kecil (9%). Kecilnya kenaikan hasil ini mungkin berhubungan dengan penurunan kolonisasi cendawan MA sebagai akibat dari pemberian pupuk TSP (280 kg TSP ha<sup>-1</sup>). Azcon dan Ocampo (1981) mengemukakan adanya perbedaan tanggap berbagai varietas terigu terhadap inokulasi cendawan MA.

Tabel 8. Pengaruh inokulasi cendawan MA, sumber pupuk P, dan sterilisasi tanah terhadap hasil dan konsentrasi P padi gogo UPLRi-7 pada tanah Lusiana

|                               | Inokulasi * |                   |                   | Sumber Pupuk P * |         | Sterilisasi * |        |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|---------|---------------|--------|
|                               | Kontrol     | M <sub>1</sub> ** | M <sub>2</sub> ** | TSP **           | CIRP ** | Tidak steril  | Steril |
| BK gabah, g pot <sup>1</sup>  | 7,91 b      | 8,98a             | 9,26a             | 8,09 b           | 9,34a   | 10,17a        | 7,27 b |
| BK jerami, g pot <sup>1</sup> | 11,12 b     | 12,44a            | 11,92ab           | 11,38 b          | 12,27a  | 13,95a        | 9,70 b |
| Jumlah malai pot <sup>1</sup> | 4,3 b       | 6,2a              | 5,8a              | 5,1 b            | 5,8a    | 6,3a          | 4,5 b  |
| Bobot 100 butir , g           | 2,31a       | 2,34a             | 2,35a             | 2,30a            | 2,36a   | 2,40a         | 2,26 b |
| % gabah hampa                 | 13,63a      | 9,90ab            | 9,11 b            | 11,11a           | 10,65a  | 8,22 b        | 13,54a |
| Tinggi tanaman,cm             | 109,6a      | 102,9 b           | 106,5a            | 105,2a           | 107,5a  | 103,9 b       | 108,8a |
| Konsentrasi P, %              |             |                   |                   |                  |         |               |        |
| Gabah                         | 0,137 b     | 0,169a            | 0,156a            | 0,147a           | 0,161a  | 0,134 b       | 0,174a |
| Jerami                        | 0,069 b     | 0,081a            | 0,078a            | 0,073 b          | 0,080a  | 0,052 b       | 0,101a |

\* Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu baris dalam satu perlakuan tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji jarak Duncan

\*\* M<sub>1</sub> = inokulasi dengan *Glomus fasciculatum* ; M<sub>2</sub> = inokulasi dengan *Glomus* sp.

TSP = pupuk tripel superfosfat ; CIRP = pupuk fosfat alam P. Christmas

Sumber : Simanungkalit (1987)

Tanaman ubi kayu sangat tergantung pada hubungan mikoriza untuk memenuhi kebutuhan P-nya pada tanah-tanah yang rendah P-nya (Yost and Fox, 1979; Zaag *et al.*, 1979; Howeler *et al.*, 1982). Kang *et al.* (1980) dalam salah satu percobaannya di Nigeria mendapatkan kenaikan bobot tanaman ubi kayu >900% karena inokulasi dengan *Glomus mosseae*. Howeler dan Sieverding (1983) dalam percobaan lapangan pada tanah masam dengan populasi cendawan MA asli yang rendah di Kolombia mendapatkan kenaikan hasil karena inokulasi dengan *Glomus manihitis* sedangkan pada tanah masam lain dengan populasi cendawan MA yang tinggi dan efektif, inokulasi tidak menaikkan hasil ubi kayu.

Simanungkalit dan Lukiwati (2001) yang menginokulasi *Calliandra calothyrsus* dengan cendawan MA, mendapatkan kenaikan bobot kering tajuk, tinggi tanaman, serapan N, P, S, dan Zn yang sangat nyata seperti diperlihatkan pada Tabel 9. Inokulasi ini menaikkan nilai nutrisi dari tanaman *Calliandra*, yang banyak dipakai sebagai pakan ternak. Penampilan tanaman ini diperlihatkan pada Gambar 4.

Inokulasi cendawan MA dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk P pada tanaman kedelai (Simanungkalit, 1993). Efisiensi hasil, jumlah polong dan serapan P tertinggi pada tanaman kedelai dicapai pada tanpa pemberian pupuk P. Hasil jumlah polong dan serapan P kedelai menurun dengan meningkatnya jumlah pupuk P yang diberikan. Respon tanaman terhadap pemberian berbagai takaran pupuk, baik pada tanaman yang diinokulasi maupun yang tidak, sama-sama mengikuti hukum kenaikan hasil yang menurun dari *Mitscherlich*. Hasil penelitian ini juga mengindikasikan bahwa kombinasi pemberian pupuk kimia dan pupuk hayati diperlukan untuk mencapai tingkat hasil yang tinggi.

Tabel 9. Pengaruh inokulasi mikoriza terhadap bobot tajuk, tinggi tanaman, serapan hara N, P, S, dan Zn *Calliandra calothyrsus*

| Variabel                  | Kontrol | Inokulasi Cendawan MA | % kenaikan terhadap kontrol |
|---------------------------|---------|-----------------------|-----------------------------|
| Bobot kering tajuk(g/tan) | 2,284   | 4,239**               | 86%                         |
| Tinggi tanaman (cm)       | 25,44   | 34,05**               | 34%                         |
| Serapan N (mg/tan)        | 15,918  | 159,616**             | 902%                        |
| Serapan P (mg/tan)        | 0,109   | 1,250**               | 1047%                       |
| Serapan S (mg/tan)        | 0,647   | 7,228**               | 1017%                       |
| Serapan Zn                | 0,015   | 0,179*                | 1093%                       |

\*\* = berbeda sangat nyata

Sumber: Simanungkalit dan Lukiwati (2001)



M<sub>0</sub>P<sub>0</sub> = tanpa mikoriza, tanpa P      M<sub>0</sub>P<sub>1</sub> = tanpa mikoriza, CIRP  
M<sub>1</sub>P<sub>0</sub> = mikoriza, tanpa P            M<sub>1</sub>P<sub>1</sub> = mikoriza, CIRP  
M<sub>0</sub>P<sub>2</sub> = tanpa mikoriza, TSP        M<sub>1</sub>P<sub>2</sub> = mikoriza, TSP

Gambar 4. Pertumbuhan *Calliandra* karena pengaruh inokulasi mikoriza *inoculation and phosphate forms*

Foto: R.D.M. Simanungkalit

### Mikoriza sebagai pengendali hayati

Menurut Linderman (1996) pengendalian hayati berbagai penyakit oleh mikoriza dapat dipengaruhi oleh satu atau lebih mekanisme-mekanisme berikut: (1) perbaikan gizi tanaman; terjadinya peningkatan serapan hara (terutama P dan unsur mineral lain) menghasilkan tanaman yang lebih baik sehingga dapat melawan atau bersifat toleran terhadap penyakit; (2) kompetisi

hara dan tempat infeksi pada tanaman inang; Dehne (1982) menunjukkan bahwa patogen cendawan akar dapat menempati sel-sel korteks akar yang berdekatan dengan yang dikolonisasi cendawan MA, jadi tidak ada kompetisi; (3) perubahan morfologi dan jaringan akar; misalnya Dehne dan Schonbeck (1979) menunjukkan adanya peningkatan lignifikasi pada sel-sel endodermis tomat dan ketimun tanaman bermikoriza, dan berspekulasi bahwa respons semacam itu merupakan penyebab berkurangnya penyakit layu *Fusarium*; (4) perubahan susunan kimia jaringan tanaman; perubahan fisiologis dapat juga terlibat pada pengaruh lokal terhadap patogen akar. Dehne *et al.* (1978) menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi kitinase anti cendawan pada akar bermikoriza dan mengusulkan bahwa peningkatan akumulasi arginin pada akar bermikoriza menekan sporulasi *Thielaviopsis*; (5) reduksi stres abiotis; stres lingkungan mempengaruhi terjadi dan beratnya penyakit tanaman biotis. Mikoriza arbuskuler meningkatkan toleransi terhadap stres seperti itu dengan berbagai mekanisme. Mikoriza arbuskuler dapat secara biologis mengurangi penyakit berdasarkan kemampuannya untuk mengurangi pengaruh faktor stres seperti stres hara, (kahat atau kelebihan), kekeringan dan keracunan tanah; dan (6) perubahan mikroba dalam mikorizosfir; mikoriza sangat berpengaruh terhadap terhadap mikroflora rizosfir dengan jalan mengubah fisiologi dan eksudasi akar. Meyer dan Linderman (1986) menggunakan media selektif untuk menunjukkan perbedaan populasi kelompok taksonomi dan fungsional bakteri dalam rizosfir dan rizosplan tanaman bermikoriza dan tidak bermikoriza. Linderman (1996) menyebutkan empat faktor yang dapat mempengaruhi pengelolaan MA dalam pengendalian hayati: 1. **Waktu dan luasnya pembentukan MA.** Umumnya MA dapat menekan penyakit akar, kalau MA sudah terbentuk dan berfungsi sebelum invasi patogen; 2. **Taraf inokulum patogen.** Potensi pengendalian hayati berhubungan langsung dengan potensi inokulum patogen; 3. **Keragaman cendawan MA, genotipe inang, dan komposisi kimia dan mikroba tanah.** Interaksi yang berbeda terjadi di antara cendawan MA, tanaman inang, dan patogen tanaman yang berbeda; dan 4. **Strategi pengelolaan MA.** Praktek pertanian yang menurunkan populasi cendawan MA dan antagonis yang bersangkutan harus dihindarkan.

Pada umumnya tanaman bermikoriza mengalami kerusakan lebih sedikit daripada tanaman tidak bermikoriza dan serangan penyakit berkurang atau perkembangan patogen dihambat (Dehne, 1982). Perbedaan pengaruh cendawan MA terhadap serangan dan perkembangan penyakit dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu cendawan MA dan kondisi lingkungan. Tidak semua laporan mengindikasikan bahwa mikoriza menekan penyakit seperti terlihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Penekanan dan peningkatan serangan penyakit karena cendawan MA pada berbagai tanaman

| Tanaman inang | Patogen                           | Penekanan (-) peningkatan (+) | Sumber                          |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Kedelai       | <i>Phytophthora megasperma</i>    | +                             | Ross (1972)                     |
|               | <i>P. megasperma</i>              | -                             | Chou dan Schmithenner (1974)    |
|               | <i>Meloidogyne incognita</i>      | -                             | Schenck <i>et al.</i> (1975)    |
| Kacang hijau  | <i>Binucleate Rhizoctonia</i> sp. | +                             | Kasiandari <i>et al.</i> (2000) |
|               | <i>Rhizoctonia solani</i>         | +                             |                                 |
| Ketimun       | <i>Fusarium oxysporum</i>         | -                             | Schönbeck (1980)                |
|               | <i>Meloidogyne incognita</i>      | -                             | Schönbeck (1980)                |
|               | <i>Erysiphe chichoracearum</i>    | +                             | Schönbeck (1980)                |
| Tomat         | <i>Fusarium oxysporum</i>         | -                             | Schönbeck (1980)                |
|               | <i>Meloidogyne incognita</i>      | -                             | Schönbeck (1980)                |
|               | <i>Meloidogyne</i> spp.           | +                             | Hersanti dan Apanti (2000)      |
|               | TMV                               | +                             | Schönbeck (1980)                |
| Wortel        | <i>Meloidogyne hapla</i>          | -                             | Schönbeck (1980)                |
|               | <i>Pratylenchus penetrans</i>     | -                             | Schönbeck (1980)                |
| Alpukat       | <i>Phytophthora chinnamomi</i>    | +                             | Davis dan Menge (1978)          |
| Jeruk         | <i>Phytophthora parasitica</i>    | +                             | Davis dan Menge (1978)          |
|               | <i>Phytophthora parasitica</i>    | -                             | Davis dan Menge (1978)          |
|               | <i>Radopholus similis</i>         | -                             | O'Bannon dan Nemecek (1979)     |

### Mikoriza sebagai sebagai pembenah tanah

Mikoriza berpengaruh terhadap agregasi tanah (Tisdall and Oades, 1979). Terutama ini dipengaruhi oleh persentase agregat tanah dengan ukuran >2 mm, yang lebih tinggi pada tanaman yang diinokulasi mikoriza daripada yang tidak diinokulasi (Tabel 11). Adanya miselium cendawan MA yang dilapisi oleh zat berlendir menyebabkan partikel-partikel tanah melekat satu sama lain. Wright dan Upadhyaya (1996) menyebutkan zat yang berlendir ini sebagai glomalin. Glomalin ini merupakan glikoprotein yang mengikat partikel-partikel tanah, dikeluarkan oleh cendawan MA melalui hifa. Banyak tanaman pertanian yang ditanam pada lahan-lahan yang mudah tererosi, karena terletak pada tingkat kemiringan yang tinggi. Dengan kemampuan seperti disebutkan di atas simbiosis tanaman dengan cendawan MA dapat meningkatkan stabilitas tanah.

Tabel 11. Pengaruh inokulasi cendawan MA terhadap agregasi tanah

| Perlakuan tanah          | Panjang hifa<br>m g soil <sup>-1</sup> | % agregat stabil >2 mm | BK tajuk<br>g |
|--------------------------|--|------------------------|---------------|
| Fumigasi                 | 5,9                                    | 10,2                   | 17,8          |
| Fumigasi dan diinokulasi | 13,7                                   | 15,9                   | 17,8          |
| Tanpa fumigasi           | 11,3                                   | 13,5                   | 18,1          |

Sumber: Tisdall dan Oades (1979)

### Mikoriza sebagai pereduksi stres abiotis

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa MA dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan (Kothari *et al.*, 1990; Sylvia *et al.*, 1993; Subramanian *et al.*, 1995). Perbaikan toleransi tanaman bermikoriza terhadap stres air dapat disebabkan oleh peningkatan konduktivitas hidraulik, laju transpirasi yang lebih kecil per satuan luas, adanya ekstraksi air dari tanah ke potensi yang lebih rendah, pemulihan tanaman yang lebih cepat dari stres air, P tanah yang lebih baik. Menurut Safir *et al.* (1971, 1972) simbiosis cendawan MA mungkin mempengaruhi hubungan air tanaman kedelai secara tidak langsung, yaitu melalui perbaikan nutrisi P tanaman. Dari hasil-hasil penelitian yang ada berkaitan dengan toleransi terhadap cekaman kekeringan ini, kelihatannya ada dua kubu yaitu: (1) yang menyatakan perbaikan nutrisi P sebagai penyebab peningkatan toleransi dan (2) yang mengakui adanya pengaruh-pengaruh yang bersifat nonnutrisi yang dapat terjadi (Auge, 2001).

Kandowangko (2004) dalam penelitian inokulasi ganda cendawan MA dan *Azospirillum* pada tanaman jagung mendapatkan peningkatan kadar air relatif daun (KARD) dan kadar prolin, dan kadar asam absisat (ABA). Ketiga peubah ini merupakan indikator toleransi ketahanan terhadap cekaman kekeringan. Menge *et al.* (1978) mendapatkan tanaman avokad yang bermikoriza lebih tahan pada waktu dipindahkan ke lapangan (Tabel 12). Tentunya kemampuan cendawan MA seperti ini sangat bermanfaat bagi tanaman-tanaman yang terlebih dahulu ditumbuhkan di persemaian sebelum dipindahkan ke lapangan.

Tabel 12. Pengaruh inokulasi terhadap daya hidup bibit tanaman avokad yang dipindahkan

| Perlakuan    | BK rata-rata<br>g | % tanaman sehat | Indeks layu |
|--------------|-------------------|-----------------|-------------|
| Non-mikoriza | 17,2              | 20              | 2,6         |
| Mikoriza     | 31,4              | 80              | 0,4         |

Indeks layu: 0-4

Sumber: Menge *et al.* (1978)

Lahan-lahan pertanian, terutama yang letaknya dekat dengan daerah-daerah industri atau pertambangan sudah banyak yang tercemar dengan beberapa jenis logam berat seperti Pb, Cd, Hg, Zn, dan Cu. Konsentrasi tinggi logam berat berakibat buruk terhadap mikroorganisme dan proses-proses mikrobial (Leyval et al., 1997) Membicarakan hubungan antara cendawan MA dan logam berat tidak hanya menyangkut pengaruh logam berat terhadap kolonisasi cendawan MA, tetapi juga toleransi cendawan MA terhadap logam berat, dan pengaruh terhadap serapan dan transfer logam berat ke tanaman. Gildon dan Tinker (1981) mendapatkan 35% akar clover yang tumbuh pada bekas tambang yang tercemar dengan logam (sampai 8,3% Zn dan 863  $\mu\text{g g}^{-1}$  Cd) terkolonisasi cendawan MA. Cooper and Tinker (1978), dengan menggunakan sistem kultur yang memisahkan hifa ekstradikal dari akar mendapatkan hifa ekstradikal mampu mengakumulasi dan mentraslokasi  $^{65}\text{Zn}$ . Isolat cendawan MA yang toleran terhadap Cd sudah diisolasi dari lahan-lahan tercemar logam berat (Gildon and Tinker, 1981; Weissenhorn et al, 1993, 1994). Nurbaity *et al.* (2000) mendapatkan bahwa cendawan MA dapat menekan kadar Cu pada tanaman padi gogo yang ditanam pada tanah yang berasal dari areal tailing. Mekanisme kemampuan tanaman bermikoriza untuk mengakumulasi logam berat pada akar sehinggamencegah translokasi ke batang belum jelas.

#### **Peran mikoriza pada sistem pola tanam**

Populasi mikoriza pada sistem pola tanam dapat berbeda karena perbedaan ketergantungan tanaman terhadap mikoriza. Kuo and Huang (1982) menanam benih kedelai pada 15 g inokulan campuran *Glomus* dalam tunggul padi yang baru dipanen dan mendapatkan kenaikan hasil kedelai 21%, sedangkan yang diberi 60 kg P ha<sup>-1</sup> kenaikan hasilnya hanya 14%. Inokulasi mikoriza mungkin penting untuk tanaman bermikoriza seperti kedelai, yang ditanam setelah padi pada pola tanam dimana populasi mikoriza asli sudah terkuras pada kondisi padi anaerob. Oleh karena adanya perbedaan ketergantungan jenis tanaman yang ditanam pada suatu rotasi, maka pengelolaannya haruslah sedemikian rupa sehingga keberadaan berbagai jenis tanaman pada lahan tersebut dapat mempertahankan jumlah populasi mikoriza tetap tinggi.

#### **Peran mikoriza dalam merehabilitasi lahan-lahan terdegradasi**

Peran mikoriza sudah diakui tidak hanya mempunyai arti potensial untuk melestarikan produksi tanaman, tetapi juga untuk mengkonservasi lingkungan. Di Jepang inokulan cendawan MA sudah digunakan paling berhasil untuk penanaman kembali (revegetasi) lahan-lahan yang dirusak oleh aktivitas gunung berapi (Marumoto, 1999). Aktivitas pertambangan dan industri juga dapat menimbulkan kerusakan pada lingkungan. Berbagai

bekas tambang dan daerah industri sudah tidak memiliki lagi lapisan atas (top soil), sehingga tidak ada vegetasi lagi yang tumbuh. Biasanya lapisan ini tidak mengandung propagul CMA lagi. Oleh karena itu inokulasi tanaman-tanaman yang digunakan untuk revegetasi lahan-lahan terdegradasi ini dengan cendawan MA sangat dibutuhkan.

### **Praktek pertanian yang merugikan perkembangan cendawan MA**

Penggunaan pupuk dan insektisida pada pertanian konvensional dapat mempengaruhi perkembangan simbiosis mikoriza arbuskuler dalam tanah. Misalnya penggunaan dosis pupuk P yang tinggi dapat menekan kolonisasi mikoriza pada akar tanaman. Oleh karena itu ada batas maksimal pemberian pupuk P untuk berfungsinya simbiosis secara optimal. Pengkerdilan bibit jeruk (*citrus*) setelah tanah difumigasi dengan metilbromida berkaitan dengan penghambatan cendawan MA oleh fumigan (Kleinschmidt and Gerdemann, 1972). Infeksi mikoriza dan pertumbuhan tanaman bawang perai menurun nyata karena tetesan fungisida metalaxyl (Ridomil<sup>R</sup>) di tanah (Jabaji-Hare and Kendrick, 1987). Menge (1982) meriviu pengaruh fumigan tanah dan fungisida terhadap cendawan MA. Pengaruh herbisida, insektisida, nematisida dan lain-lain terhadap simbiosis mikoriza perlu pengkajian lebih lanjut karena hasil-hasil yang kontradiksi pada berbagai contoh (Hayman, 1982).

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Auge, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
- Azcon, R and J.A. Ocampo. 1981. Factors effecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytol.* 87: 677-685.
- Azimi S., V. Gianinazzi-Pearson, and S. Gianinazzi. 1980. Influence of increasing soil phosphorus levels on interactions between vesicular-arbuscular mycorrhiza and *Rhizobium* in soybeans. *Can. J. Bot.* 58: 200-205.
- Barea, J.M., R. Azcon, and D.S. Hayman. 1975. Possible synergistic interactions between Endogone and phosphate-solubilizing bacteria in low phosphate soil. pp. 511-525. *In* F.E. Sanders, B. Mosse, and P.B. Tinker (Eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, London.
- Baylis, G.T.S. 1975. The magnoloid mycorrhiza and mycotrophy in root systems deived from it. pp. 373-389. *In* F.E.Sanders, B.Mosse, and P.B. Tinker (Eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, London.

- Bethlenfalvay, G.J., J.M. Ulrich, and M.S. Brown. 1985. Plant response to mycorrhizal fungi: host, endophyte and soil effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1.164-1.168.
- Buchholz, F. 1912. Beiträge zur Kenntnis der Gattung *Endogone* Link. *Beih.zum Botan. Centr. Abr.* 2(29): 147-225.
- Burbey dan R.D.M. Simanungkalit. 1991. Tanggapan padi gogo terhadap inokulasi mikoriza dengan pupuk P dan kapur tanah Ultisol. hlm. 1-9 *Dalam* Djoko S. Damardjati dan Adi Widjono (Ed.). Hasil Penelitian Pertanian dan Bioteknologi Pertanian III. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Carling, D.E., W.G. Richle, M.F. Brown, and D.R. Johnson. 1978. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on nitrate reductase and nitrogenase activities in nodulating and non nodulating soybeans. *Phytopathology* 68: 1.590-1.596.
- Carling, D.E. and M.F. Brown. 1980. Relative effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and yield of soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 528-532.
- Chou, L.G. and A.F. Schmitthenner. 1974. Effect of *Rhizobium japonicum* and *Endogone mosseae* on soybean root rot caused by *Pythium ultimum* and *Phytophthora megasperma* var. *sojae*. *Plant Dis. Rep.* 58: 221-225.
- Ciferri, R. 1928. Preliminary observations on sugar cane mycorrhizae and their relationships to root diseases. *Phytopathology* 18: 249-261.
- Cooper, K.M., and P.B. Tinker. 1978. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. II. Uptake and translocation of phosphorus, zinc and sulphur. *New Phytol* 81: 43-52.
- Cox, G., P.B. Tinker, and J.A. Wild. 1975. Ultrastructural evidence relating to host-endophyte transfer in vesicular-arbuscular mycorrhiza, pp. 279-312. *In* F.E. Sanders, B. Mosse, and P.B. Tinker (Eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, London.
- Daft, M.J. and T.H. Nicolson. 1969. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth II. Influence of inoculum concentration on growth and influence in tomato. *New Phytol.* 68: 935-963.
- Daft, M.J. and T.H. Nicholson. 1972. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. IV. Quantitative relationships between the growth of the host and the development of the endophyte in tomato and maize. *New Phytol.* 71: 287-295.
- Daft, M.J. and A.A. El-Giahmi. 1975. Effect of *Glomus* infection on three legumes. pp. 581-592. *In* F.E. Sanders, B. Mosse, and P.B. Tinker (Eds.) *Endomycorrhizas*. Academic Press, London.

- Daft, M.J. and E. Hacskeylo. 1977. Growth of endomycorrhizal and non-mycorrhizal red mapple seedlings in sand and anthracite spoil. *Forest Sci.* 23: 297-30.
- Davis, R.M. and J.A. Menge. 1978. Influence of *Glomus fasciculatum* and soil phosphorus on *Phytophthora* root rot of citrus. *Phytopathology* 68: 1.115-1.119.
- Dehne, H.W., F. Schönbeck, and H. Baltruschat. 1978. Untersuchungen zum Einfluß der endotrophen Mycorrhiza auf Pflanzenkrankheiten. 3. Chitinase-aktivität und Ornithinzyklus (The influence of endotropic mycorrhizae on plant diseases. 3. Chitinase activity and ornithine cycle). *Z. Pflkrankh.* 85: 666-678.
- Dehne, H.W., and F. Schönbeck. 1979. Untersuchungen zum Einfluß der endotrophen Mycorrhiza auf Pflanzenkrankheiten. II. Phenolstoffwechsel und Lignifizierung. (The influence of endotropic mycorrhizae on plant diseases. II. Phenolmetabolism and lignification.). *Phytopath. Z.* 95: 210-216.
- Dehne, H.W. 1982. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology* 72: 1.115-1.119.
- Dehne, H.W. and G.F. Backhaus. 1986. The use of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in plant production. I. Inoculum production. *J. Plant Diseases and Protection* 93: 415-424.
- Djasmara and R.D.M. Simanungkalit. 1999. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacterial inoculation on growth and yield of mungbean in Inceptisol. pp. 163-174. *In* F.A. Smith, Kartini Kramadibrata, R.D.M. Simanungkalit, Nampiah Sukarno, and S.Taka Nuhamara (Eds.). *Proc. International Conference on Mycorrhizas in Sustainable Tropical Agriculture and Forest Ecosystems*. Research and Development Centre for Biology, Bogor Agricultural University and the University of Adelaide, Australia.
- Furlan, V. and M. Bernier-Cardou. 1989. Effects of N, P and K on formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae, growth and mineral content of onion. *Plant Soil* 113: 167-174.
- Ganry, F., H.G. Diem, and Y.R. Dommergues. 1985. Effect of inoculation with *Glomus mosseae* on nitrogen fixation by fieldgrown soybeans. *Plant Soil* 68: 321-329.
- Gerdemann, J.W. 1964. The effect of mycorrhiza on the growth of maize. *Mycologia* 56: 342-349.
- Gerdemann, J.W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annu. Rev. Phytopath.* 6: 397-418.

- Gerdemann, J.W. and J.M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycol. Memoir 5: The New York Botanical Garden, New York.
- Gerdemann, J.W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. pp. 575-591. In J.G. Torrey and D.T. Clarkson (Eds.). Development and Function of Roots. Academic Press, London.
- Gildon, A., and P.B. Tinker. 1981. A heavy metal tolerant strain of a mycorrhizal fungus. Trans.Br.Mycol.Soc. 77: 648-649.
- Gilmore, A.E. 1971. The influence of endotrophic mycorrhizae on the growth of peach seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci 96: 35-38.
- Guillemin, J.P. and S. Gianinazzi. 1992. Fungicide interactions with VA fungi in *Ananas comosus* grown in a tropical environment. p. 381. In D.J. Read, D.H. Lewis, A.H. Fitter, and I.J. Alexander (Eds.). Mycorrhizas in Ecosystems, CAB International, Wallingford
- Hall, I. 1979. Soil pellets to introduce vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi into soil. Soil Biol. Biochem. 11: 85-86.
- Hayman, D.S. 1982. Endomycorrhizae. pp. 401-442. In Y.R. Dommergues and S.V. Krupa., Interaction between Non-pathogenic Microorganisms and Plants. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Heckman, J.R. and J.S. Angle. 1987. Variation between soybean cultivars in vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi colonization. Agron J. 79: 428-430.
- Hersanti dan Apanti. 2000. Inokulasi cendawan mikoriza vesicular-arbuskular dan effective microorganism (EM4) untuk mengendalikan penyakit bengkak akar (*Meloidogyne* spp.) pada tanaman tomat. hlm. 297-301 dalam Y. Setiadi, S. Hadi, E. Santoso, M. Turjaman, RSB Irianto, R. Prematuri, D. Maryanti, dan R. Widopratiwi (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Mikoriza I. Puslitbang Hutan dan Konservasi Alam, Bogor.
- Hetrick, B.A.D., J.A. Hetrick, and J. Bloom. 1984. Interaction of mycorrhizal infection, phosphorus level, and moisture stress in growth of field corn. Can. J. Bot. 62: 2.267-2.271.
- Howeler, R.H., L.F. Cadavid, and E. Burckhardt. 1982. Cassava response to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments. Plant Soil 69: 327-340.
- Howeler, R.H. and E. Sieverding. 1983. Potentials and limitations of mycorrhizal inoculation illustrated by experiments with field-grown cassava. Plant Soil. 75: 245-261.
- <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/nomenclature.htm>. Name and authorities of fungi in Glomeromycota. 24 Juni 2006

- Huang, L.L. and D.M. Sylvia. 1988. Production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus inoculum in aeroponic culture. *Appl. Environ. Microbiol.* 54: 353-357.
- Jabaji-Hare, S.H., and W.B. Kendrick. 1987. Response of an endomycorrhizal fungus in *Allium porrum* L. to different concentrations of the systemic fungicides, metalaxyl (Ridomil<sup>R</sup>) and foseyl-Al (Aliette<sup>R</sup>). *Soil.Biol.Biochem.* 19: 95-99.
- Jackson, N.E., R.E. Franklin, and R.H. Miller. 1972. Effects of VA mycorrhiza on growth and phosphorus content of three agronomic crops. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 36: 64-67.
- Janse, J.M. 1896. Les endophytes radicaux de quelques plantes javanais. *Annal. Jardin Bot. Buitenzorg* 14: 53-201.
- Jarstfer, A.G. and D.M. Sylvia. 1993. Inoculum production and inoculation strategies for vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. p. 349-377. *In* F. B. Metting, Jr. (Ed.). *Soil Microbial Ecology*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Johnston, A. 1948. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in Sea Island cotton and other tropical plants. *Trop. Agric.* 26: 118-121.
- Jones, F.R. 1924. A mycorrhizal fungus in the roots of legumes and some other plants *J. Agric. Res.* 29: 459-470.
- Kandowanko, N.Y. 2004. Respons Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) terhadap Pemberian *Azospirillum* sp. dan CMA pada Kondisi Tercekam Kekeringan selama Fase Pembungaan sampai Pengisian Biji. Disertasi, Program Pasca Sarjana Universitas Padjadjaran.
- Kang, B.T., R. Islam, F.E. Sanders, and A. Ayanaba. 1980. Effect of phosphate fertilization and inoculation with VA-mycorrhizal fungi on performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown on an alfisol. *Field Crops. Res.* 3: 83-94.
- Kasiamdari, R.S., S.E. Smith, F.A. Smith, and E.S. Scott. 2000. Effects of phosphorus on the interaction between *Glomus* sp. and binucleate *Rhizoctonia* sp. or *Rhizoctonia solani*. pp. 309-315. *In* Y. Setiadi, S. Hadi, E. Santoso, M. Turjaman, RSB Irianto, R. Prematuri, D. Maryanti, dan R. Widopratiwi (Ed.). *Prosiding Seminar Nasional Mikoriza I. Puslitbang Hutan dan Konservasi Alam, Bogor.*
- Khan, A.G. 1975. Growth effect of VA-mycorrhiza on crops in the field. pp. 419-435. *In* F.E. Sanders, B. Mosse and P.B. Tinker (Eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, London.
- Kleinschmidt, G.D., and J.W. Gerdemann. 1972. Stunting of citrus seedlings in fumigated nursery soils related to the absence of endomycorrhizae. *Phytopathology* 62: 1447-1453.

- Kothari, S.K., H. Marschner, and E. George. 1990. Effects of VA-mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganism on root and shoot morphology, growth and water relations in maize. *New Phytol.* 116: 303-311.
- Kramadibrata, K., E.I. Riyanti, and R.D.M. Simanungkalit. 1995. Arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizospheres of soybean crops in Lampung and West Java. *Biotropic* 8: 30-38.
- Krishna, K.R. and D.J. Bagyaraj. 1984. Growth and nutrient uptake of peanut inoculated with the mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum* compared with non-inoculated ones. *Plant Soil* 77: 405-408.
- Kuo, C.G., and R.S. Huang. 1982. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth and yield of rice stubble cultured soybeans. *Plant Soil* 64: 325-330.
- Laycock, D.H. 1945. Preliminary investigations into the function of the endotrophic mycorrhiza of *Theobroma cacao* L. *Trop. Agric.* 22: 77-80.
- La Rue, J.H., W.D. McClellan, and W.L. Peacock. 1975. Mycorrhizal fungi and peach nursery nutrition. *California Agric.* 29: 7.
- Leyval, C., K. Turnau, and K. Haselwandter. 1997. Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects. *Mycorrhiza* 7: 139-153.
- Lily, V.G. 1978. Note on the development of VA mycorrhiza *Endogone fasciculata* in coconut root. *Curr. Sci.* 44: 201-202.
- Linderman, R.G. 1996. Role of VAM fungi in biocontrol, pp. 1-25. In F.L. Pflieger and R.G. Linderman (Eds.), *Mycorrhizae and Plant Health*. APS Press, St. Paul, Minnesota.
- Lukiwati, D.R. dan R.D.M. Simanungkalit. 1999. Peningkatan Produksi bahan kering, serapan N dan P hijauan jagung dengan inokulan cendawan mikoriza arbuskular. *Sainteks* 6(4): 99-106.
- Mamo, T. and K.S. Killham. 1987. Effect of soil liming and vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation on the growth and micronutrient content of the teff plant. *Plant Soil* 102: 257-259.
- Marumoto, T., N.Kohno, T.Ezaki, and H.Okabe. 1999. Reforestation of volcanic devastated land using the symbiosis with mycorrhizal fungi. *Soil Microorganisms* 53: 81-90.
- Menge, J.A. 1982. Effect of soil fumigants and fungicides on vesicular-arbuscular fungi. *Phytopathology* 72: 1125-1132.
- Menge, J.A., E.L.V. Johnson, and R.G. Platt. 1978. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. *New Phytol.* 81: 553-559.

- Meyer, J.R. and R.G. Linderman. 1986. Response of subterranean clover to dual inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and a plant growth-promoting bacterium, *Pseudomonas putida*. Soil. Biol. Biochem. 18: 185-190.
- Miller, D.D., P.A. Domoto, and C. Walker. 1985. Colonization and efficiency of different endomycorrhizal fungi with apple seedlings at two phosphorus levels. New Phytol. 100: 393–402.
- Moreau, F. 1953. Les Champignons. Tome II. Systematique. Encycl. Mycol. 23: 941-2.120.
- Morton, J.B. and J.L. Benny. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, *Glomales*, two new sub orders, *Glomineae* and *Gigasporineae* and two new families *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae* with an emendation of *Glomaceae*. Mycotaxon 37: 471-491.
- Morton, J.B. and D. Redecker. 2001. Two new families of Glomales, *Archaeosporaceae* and *Paraglomaceae*, with two new genera, *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. Mycologia 93: 181-195.
- Mosse, B. 1953. Fructifications associated with mycorrhizal strawberry roots. Nature (London) 171: 974.
- Mosse, B. 1957. Growth and chemical composition of mycorrhizal and non-mycorrhizal apples. Nature 179: 922-924.
- Mosse, B., C.L. Powell, and D.S. Hayman. 1976. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza IX. Interactions between VA-mycorrhiza, rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. New Phytol. 76: 331-342.
- Mosse, B. 1986. Mycorrhiza in a sustainable agriculture. Biol. Agric. Hort. 3: 191-209.
- Mosse, B. and J.P. Thompson. 1984. Vesicular-arbuscular endomycorrhizal inoculum production I. Exploratory experiments with beans (*Phaseolus vulgaris*) in nutrient flow culture. Can. J. Bot. 62: 1.523-1.530.
- Mugnier, J. and B. Mosse. 1987. Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in transformed root-inducing T-DNA roots grown axenically. Phytopathology 77: 1.045-1.050.
- Murdoch, C.L., J.A. Jackobs, and J.W. Gerdemann. 1967. Utilization of phosphorus sources of different availability by mycorrhizal and non-mycorrhizal maize. Plant Soil 27: 329-334.
- Nadarajah, P. 1980. Species of Endogonaceae and mycorrhizal association of *Elaeis guineensis* and *Theobroma cacao*. pp. 232-237. In P.

- Mikola (Ed.), Tropical Mycorrhiza Research. Oxford Univ. Press, Oxford, England.
- Nemec, S. 1983. Inoculation of citrus in the field with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in Florida. *Trop. Agric (Trinidad)* 60: 97-101.
- Nopamornbodi, O., S. Tramsurakul, and Y. Vasuvat. 1987. Effect of VAM on growth, yield and phosphorus absorption of soybean and mungbeans in Thailand. p. 52. *In* D. M. Sylvia, L.L. Hung and J. H. Graham (Eds.). *Mycorrhizae in the Next Decade, Practical Applications and Research Priorities*. Proc. 7<sup>th</sup> NACOM. IFAS, University of Florida, Gainesville.
- Nurbaity, A., Y. Setiadi, dan N. Nurlaeni. 2000. Pengaruh cendawan mikoriza arbuskula dan pupuk organik terhadap kadar Cu dalam tanaman padi gogo di areal tailing. hlm. 269-275 *dalam* Y. Setiadi, S. Hadi, E. Santoso, M. Turjaman, RSB Irianto, R. Prematuri, D. Maryanti, dan R. Widopratiwi (Eds.). *Prosiding Seminar Nasional Mikoriza I. Puslitbang Hutan dan Konservasi Alam, Bogor*.
- O'Bannon, J.H. and S. Nemec. 1979. The response of citrus lemon seedlings to a symbiont, *Glomus etunicatus* and a pathogen, *Radopholus similis*. *J. Nematol.* 11: 270.
- Pandey, S. and A.P. Misra. 1971. Rhizopagus in mycorrhizal association with *Litchi chinensis* Sonn. *Mycopath, et Mycol. Appl.* 45: 337-354.
- Pacovsky, R.S. 1986. Micronutrient uptake and distribution in mycorrhizal or phosphorus fertilized soybeans. *Plant Soil* 95: 379-388.
- Possingham, J.V. and J.B. Obbink, 1971. Endotropic mycorrhiza and the nutrition of grape vines. *Vitis* 10: 120-130.
- Raju, P.S., R.B. Clark, J.R. Ellis, R.R. Duncan, and J.W. Maranville. 1990. Benefit and cost analysis and phosphorus deficiency of VA mycorrhizal fungi colonizations with sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes grown at varied phosphorus levels. *Plant Soil* 124: 199-204.
- Rhodes, L.H. 1983. Mycorrhizae. pp. 419 – 435. *In* D. A. Evans, W. R. Sharp, P. V. Ammirato and Y. Yamado (Eds.). *Handbook of Plant Cell Culture Vol. 1, Techniques for Propagation and Breeding*. Mac Millan Publishing Company, New York.
- Rhodes, L.H. and J.W. Gerdemann. 1980. Nutrient translocation in vesicular-arbuscular mycorrhizae, pp. 173-195. *In* C.B. Cook., P.W. Pappas, and E.D. Rudolph (Eds.), *Cellular interactions in Symbiosis and Parasitism*. Ohio State Univ. Press, Columbus.
- Ross, J.P. and J.A. Harper. 1970. Effect of *Endogone mycorrhiza* on soybean yields. *Phytopathology* 60: 1.552-1.556.

- Ross, J.P. 1971. Effect of phosphate fertilization on yield of mycorrhizal and non-mycorrhizal soybeans. *Phytopathology* 61: 1.400-1.403.
- Ross, J.P. 1972. Influence of *Endogone* mycorrhiza on phytophthora rot soybean. *Phytopathology* 62: 896-897.
- Safir, G.R., J.S. Boyer, dan J.W. Gerdemann. 1971. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Science* 172: 581-583.
- Safir, G.R., J.S. Boyer, dan J.W. Gerdemann. 1972. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Plant Physiol.* 49: 700-703.
- Sanni, S.O. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in some Nigrierian Soils: the effect of *Gigaspora gigantea* on the growth of rice. *New Phytol.* 77: 673-674.
- Schenck, N.C., R.A. Kinloh, and D.W. Dickson. 1975. Interaction of endomycorrhizal fungi and root-knot nematode on soybean. pp. 605-617. *In* F.E. Sanders, B. Mosse, and P.B. Tinker (Eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, London.
- Schönbeck, F. 1980. Endomycorrhiza: ökologie, funktion, and phytopathologische Aspekte. *Forum Mikrobiologie* 2: 90-96.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agroecosystem. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn.
- Silviana, A.W. Gunawan, and K. Kramadibrata. 1997. Biodiversity of arbuscular-mycorrhizal fungi in the rhizospheres of mangosten. pp. 97-100. *In* F.A. Smith, Kartini Kramadibrata, R.D.M. Simanungkalit, Nampiah Sukarno, and S.Taka Nuhamara (Eds.). *Proc. International Conference on Mycorrhizas in Sustainable Tropical Agriculture and Forest Ecosystems*. Research and Development Centre for Biology, Bogor Agricultural University and the University of Adelaide, Australia.
- Simanungkalit, R.D.M. 1981. Wirkung der vesikulär-arbuskulären Mycorrhiza auf Nigersaat (*Guizotia abyssinica*) und Reis (*Oryza sativa*) bei verschiedenen Wasserregimen. Dissertation, Göttingen University.
- Simanungkalit, R.D.M. 1987. Pengaruh jamur mikoriza vesikuler-arbuskular (MVA), sumber P dan sterilisasi tanah terhadap pertumbuhan padi gogo di tanah kahat P. Makalah pada Seminar Bioteknologi Pertanian, PAU-Bioteknologi Institut Pertanian Bogor, 21 Desember 1987 16 hm.
- Simanungkalit, R.D.M. 1989. Tanggapan berbagai varietas jagung terhadap inokulasi jamur mikoriza vesikular-arbuskular. Makalah pada Kongres Nasional V Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia di Yogyakarta, tanggal 4-6 Desember 1989.

- Simanungkalit, R.D.M., E.I. Riyanti, dan Linda. 1992. Tanggapan beberapa varietas kacang tanah terhadap inokulasi jamur mikoriza vesikular-arbuskular. hlm. 103-110 *dalam* S. Haryosumadi, M. Machmud, S. Tjokrowinoto, D. Pasaribu, Sutrisno, A. Kurnia, dan N. Mulyono (Eds.). Hasil Penelitian Tanaman Pangan. Prosiding Seminar Balittan Bogor.
- Simanungkalit, R.D.M.1993. Efficiency of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi-soybean symbiosis at various levels of P fertilizer. pp. 167-178. *In* Proc. Second Asian Conference on Mycorrhiza. Biotrop. Special Publication No 42.
- Simanungkalit, R.D.M., dan E.I. Riyanti.1994. Perbanyak jamur mikoriza vesikular-arbuskular pada media campuran pasir kuarsa dengan arang. Risalah Hasil Penelitian Tanaman Pangan 5: 295–299.
- Simanungkalit, R.D.M.1997. Effectiveness of 10 species of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi isolated from West Java and Lampung on maize and soybean. pp. 267-274. *In* U.A. Jenie (Ed.). Proc. Indonesian Biotechnology Conference. Vol. II. The Indonesian Biotechnology Consortium, IUC Biotechnology IPB, Bogor.
- Simanungkalit, R.D.M., dan Eny Ida Riyanti. 1997. Mikoriza arbuskular untuk peningkatan produksi tanaman pangan. hlm. 1.928-1.939 *dalam* Mahyuddin Syam, Hermanto, Arief Musaddad, dan Sunihardi (Eds.). Kinerja Penelitian Tanaman Pangan. Buku 6. Sistem Usahatani dan Komponen Penunjang. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Simanungkalit, R.D.M., Iswandi Anas, Yadi Setiadi, and Meine van Noordwijk. 1999. Microbial diversity as affected by different land use systems in Lampung and Jambi. Paper presented at the International Seminar on Toward Sustainable Agriculture in Humid Tropical Soils Facing the 21<sup>st</sup> Century in Bandar Lampung on September 26-28, 1999.
- Simanungkalit, R.D.M., dan D.R. Lukiwati. 2001. Growth and nutrient uptake of *Calliandra calothyrsus* as affected by arbuscular mycorrhizal inoculation and application of two different phosphate forms. Paper presented at the Third International Conference On Mycorrhizas on October 8-13, 2001 in Adelaide, Australia.
- Smith, S.E., and V. Gianinazzi-Pearson. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39: 221-244.
- Smith, H.F., P.J. O'Connor, S.E. Smith, and F.A. Smith. 1997. (Vesicular)-arbuscular mycorrhizas of durian and other plants of forest gardens in West Kalimantan, Indonesia. pp. 192-198. *In* A. Schulte and D. Ruhayat (Eds.). *Forest soils in the Humid Tropics: Characteristics, Ecology and Management*, Springer, Berlin.

- Sondergaard, M. and S. Laegaard. 1977. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in some aquatic vascular plants. *Nature* 268: 232-233.
- Subramanian, K.S., C. Charest, L.M. Dwyer, and R.I. Hamilton. 1995. Arbuscular mycorrhizal and water relations in maize under drought stress at tasseling. *New Phytol.* 129: 643-650.
- Swaminathan, K. and B.C. Verma. 1979. Responses of three crops species to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on zinc-deficient Indian soils. *New Phytol.* 82: 481-487.
- Sylvia, D.M., dan D.B. Hubbell. 1986. Growth and sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in aeroponic and membrane systems. *Symbiosis* 1: 259-267.
- Sylvia, D.M., L.C. Hammond, J.M. Bennett, J.H. Haas, and S.B. Linda. 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agron. J.* 85: 193-198.
- Thaxter, R. 1922. A revision of the Endogonaceae. *Proc. Amer. Acad. Arts Sci.* 57: 291-351.
- Tinker P.B.H. 1975. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on higher plants. *Symp. Soc. Expt. Biol.* 29: 325-349.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.* 17: 429-441.
- Wastie, R.L. 1965. The occurrence of an *Endogone* type of endotrophic mycorrhiza in *Hevea brasiliensis*. *Trans. British Mycol. Soc.* 48: 167- 178.
- Webster, B.N. 1953. Mycorrhiza. *Tea Quarterly (Ceylon)* 24: 26-30.
- Weissenhorn, I C. Leyval, and J. Berthelin. 1993. Cd-tolerant arbuscular mycorrhizal (AM) fungi from heavy metal-polluted soils. *Plant Soil* 157: 247-256.
- Weissenhorn, I, A. Glasshof, C. Leyval, and J. Berthelin. 1994. Differential intolerance to Cd and Zn of arbuscular mycorrhizal (AM) fungal spores isolated from heavy metal-polluted and unpolluted soils. *Plant Soil* 167: 189-196.
- Wright, S.F and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science* 161: 575-586.
- Yost, R.S. and R.L. Fox. 1982. Influence of mycorrhizae on the mineral contents of cowpea and soybean grown in an oxisol. *Agron. J.* 74: 475-481.
- Zaag, P. van der, R.L. Fox, R.S. Pena, and R.S. Yost. 1979. P nutrition of cassava including mycorrhizal effects on P, K, S, Zn and Ca uptake. *Field Crops Res.* 2: 253-263.
- Zobel, R.W., Peter Del Tredici, and J.G. Torrey. 1976. Method for growing plants aeroponically. *Plant Physiol.* 57: 344-346.