

**KOLONISASI CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULA PADA
BIBIT TANAMAN PENGHASIL GAHARU *Aquilaria microcarpa* Baill
(*Arbuscular Mycorrhizal Fungi Colonization in Tree Gaharu Wood Producer
Aquilaria microcarpa* Baill Seedlings)^{*)}**

Oleh/By :

Erdy Santoso¹⁾, A.W. Gunawan²⁾, dan/and Maman Turjaman¹⁾

¹⁾ Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam

Jl. Gunung Batu No. 5 Po Box 165; Telp. 0251-633234, 7520067; Fax 0251-638111 Bogor

E-mail : turjaman@yahoo.com.sg

²⁾ Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor

Kampus IPB Dramaga, Bogor

*) Diterima : 08 Mei 2006; Disetujui : 23 Oktober 2007

ABSTRACT

Gaharu wood is one of non-timber forest products (NTFPs) and it is an important source of income to millions of forest community in South-East Asian countries. Some gaharu wood species have decreased in number and become endangered due to over exploitation. There is an increasing concern that seedling stocks of Aquilaria microcarpa Baill are not sufficient to sustain the gaharu yield and it can not promote forest conservation. The objective of this study was to determine the effect of five arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on the early growth of gaharu wood Aquilaria microcarpa Baill under nursery conditions. The seedlings of this species were inoculated with Entrophospora sp. Ames & Scheneider, Glomus sp. ACA Tulasne & Tulasne, Glomus sp. ZEA Tulasne & Tulasne, Glomus clarum Nicholson & Schenk, Gigaspora decipiens Hall & Abbott, and uninoculated (control) under greenhouse conditions. Percentage of AM colonization, plant growth, nitrogen (N) and phosphorus (P) concentrations were measured after 25 weeks growth. The percentage of AM colonization of Aquilaria microcarpa Baill ranged from 71-93 %. Colonization by five AM fungi increased plant height, diameter, and shoot and root dry weights. Shoot N and P content of the seedlings were increased by the increase AM colonization. The results suggest that AM fungi can accelerate establishment of the seedling stocks of Aquilaria microcarpa Baill, thereby it can promote conservation of gaharu ecologically and sustain production of these NTFPs economically.

Key words: Colonization, AM fungi, Aquilaria microcarpa Baill, gaharu wood

ABSTRAK

Tanaman penghasil gaharu termasuk jenis hasil hutan bukan kayu (HHBK) dan keberadaannya sangat penting dalam meningkatkan pendapatan masyarakat di negara-negara Asia Tenggara, tetapi beberapa jenis tanaman penghasil gaharu telah mengalami kepunahan disebabkan pemanenan di alam yang berlebihan. Ada usaha peningkatan dalam penyediaan bibit *Aquilaria microcarpa* Baill tetapi tidak cukup dalam meningkatkan jenis HHBK tersebut dan dalam meningkatkan promosi konservasi hutan. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi tentang pengaruh lima jenis cendawan mikoriza arbuskula (CMA) dalam meningkatkan pertumbuhan awal *Aquilaria microcarpa* Baill. Bibit *Aquilaria microcarpa* Baill diinokulasi oleh *Entrophospora* sp. Ames & Scheneider, *Glomus* sp. ACA Tulasne & Tulasne, *Glomus* sp. ZEA Tulasne & Tulasne, *Glomus clarum* Nicholson & Schenk, *Gigaspora decipiens* Hall & Abbott, dan kontrol (tidak diinokulasi) pada kondisi di persemaian. Paramater yang diukur adalah kolonisasi CMA, pertumbuhan tanaman, kandungan dan serapan N atau P pada jaringan tanaman sampai tanaman berumur 25 minggu. Kolonisasi CMA pada akar *Aquilaria microcarpa* Baill adalah 71-93 %. Kolonisasi CMA telah meningkatkan tinggi tanaman, diameter batang, dan berat kering. Serapan N dan P jaringan tanaman juga meningkat pada tanaman yang dikolonisasi oleh CMA. Hasil penelitian ini memberikan indikasi bahwa CMA dapat membantu dalam penyediaan bibit *Aquilaria microcarpa* Baill yang vigor dan selanjutnya berimplikasi dalam upaya konservasi dan meningkatkan penyediaan produk hasil hutan bukan kayu secara ekonomi dan lestari.

Kata kunci: Kolonisasi, CMA, *Aquilaria microcarpa* Baill, gaharu

I. PENDAHULUAN

Sumberdaya hutan alam tropika Indonesia menyimpan keanekaragaman pohon penghasil gaharu yang besar jumlahnya. *Aquilaria microcarpa* Baill anggota Thymelaeaceae merupakan salah satu jenis penghasil gaharu bernilai tinggi yang dimanfaatkan sebagai bahan dasar parfum (wewangian), bahan kosmetik, obat-obatan, dan dupa (Barden *et al.*, 2000). Penyebaran alam *Aquilaria microcarpa* Baill terdapat di Sumatera, Kalimantan, Malaysia Peninsular, dan Filipina (Ding Hou, 1960). Saat ini status keberadaan *Aquilaria microcarpa* Baill dalam keadaan terancam oleh penebangan hutan dan perubahan kawasan hutan untuk penggunaan lainnya tanpa henti di Provinsi Riau, Kalimantan Barat, dan Provinsi Kalimantan Timur sehingga membuat populasinya menjadi sangat rendah (1 pohon ha⁻¹) (Soehartono dan Newton, 2000). Perdagangan gaharu yang meningkat setiap tahunnya juga menjadi ancaman bagi keberadaan spesies tersebut sehingga keduanya dimasukkan dalam Appendix II CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*) (CITES, 2005).

Pada saat ini penelitian mengenai *A. microcarpa* menjadi topik riset di bidang ekologi dan konservasi hutan. Salah satu kegiatan konservasi tersebut ialah mengusahakan *Aquilaria microcarpa* Baill dalam bentuk bibit yang dapat tumbuh secara optimal. Beberapa penelitian membuktikan bahwa cendawan mikoriza arbuskula (CMA) berperan dalam penyerapan hara (Smith dan Read, 1997). CMA merupakan cendawan yang memiliki kemampuan bersimbiosis secara mutualisme dengan tanaman. Penggunaan CMA pada lahan pembibitan berpotensi menambah pertumbuhan awal bibit sehingga nantinya dapat membantu manajemen tanam bibit. Penelitian ini bertujuan memperoleh informasi tentang tingkat kolonisasi CMA pada bibit tanaman penghasil gaharu *Aquilaria microcarpa* Baill.

II. METODOLOGI

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Hutan dan rumah kaca, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Bogor serta Laboratorium Mikologi, Institut Pertanian Bogor. Waktu penelitian yaitu pada bulan Februari sampai dengan Oktober 2005.

B. Bahan

Benih *A. microcarpa* berasal dari desa Mianas, Kabupaten Landak, Kalimantan Barat. Bibit *Aquilaria microcarpa* Baill berumur satu bulan dengan tinggi rata-rata 2,6 cm dan memiliki 2-3 helai daun. Inokulum CMA berupa zeolit yang bercampur dengan spora, hifa, dan akar terkolonisasi CMA. Ada lima jenis CMA uji, yaitu *Glomus* sp. ACA, *Glomus* sp. ZEA, *Glomus clarum*, *Entrophospora* sp., dan *Gigaspora decipiens*. Media tanam berupa tanah latosol dengan pH 5,6, kandungan N total 0,12 %, dan P tersedia 5,6 ppm yang diambil dari sekitar persemaian Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Bogor. Tanah untuk media disterilkan dengan autoklaf yang bertekanan 15 psi pada suhu 121° C selama satu jam. Pot plastik ukuran 6 cm x 6 cm x 15 cm.

C. Metode Penelitian

Pot plastik berukuran 6 cm x 6 cm x 15 cm diisi 300 g media tanah steril kemudian dibuat lubang dan dimasuki 10 g inokulum CMA. Selanjutnya, bibit ditanam dan lubang ditutup tanah kembali. Unit perlakuan dalam satu pot plastik merupakan kombinasi *Aquilaria microcarpa* Baill (satu spesies) dan CMA (lima spesies). Sebagai kontrol, media tanah dalam pot plastik tidak diberi inokulum CMA. Pemeliharaan meliputi penyiraman setiap hari, pembersihan gulma, dan pengendalian serangga pengganggu.

Setiap kombinasi perlakuan dibuat sebanyak 18 tanaman. Sebanyak 12

tanaman dipergunakan untuk pengamatan tinggi dan diameter batang dan enam tanaman lainnya digunakan untuk pengamatan kolonisasi CMA pada minggu ke-7, 11, dan ke-15. Dari 12 tanaman kemudian diambil sebanyak lima tanaman untuk pengamatan kolonisasi CMA pada minggu ke-25 dan lima tanaman untuk pengamatan bobot kering total yang selanjutnya digunakan untuk analisis N dan P sebanyak empat tanaman.

D. Pengolahan dan Analisis Data

Pengamatan persentase kolonisasi dan struktur CMA pada akar sekunder dilakukan pada minggu ke-7, 11, 15, dan ke-25 setelah inokulasi. Akar dicuci dengan air lalu dipotong-potong sepanjang satu sentimeter. Contoh akar diwarnai dengan biru tripan mengikuti metode Koske dan Gemma (1989) dengan modifikasi. Pemeriksaan dilakukan terhadap 30 potong akar menggunakan mikroskop cahaya pada perbesaran 100-400 kali. Struktur kolonisasi CMA yang diamati meliputi apresorium, hifa internal, hifa gelung, arbuskula, dan vesikula. Persentase kolonisasi CMA dihitung dengan rumus:

$$\text{CMA}(\%) = \frac{\text{Obyek akar ber - CMA}}{\text{Total obyek akar yang diamati}} \times 100\%$$

Peubah pertumbuhan yang diamati antara lain tinggi, diameter batang, bobot kering total, nisbah pucuk akar, kadar fosfor (P), kadar nitrogen (N), serapan P, dan serapan N. Tinggi dan diameter batang (1 cm dari permukaan tanah) diukur pada minggu pertama dan ke-25 setelah inokulasi. Untuk mendapatkan bobot kering total, tanaman dipanen pada umur 25 minggu setelah inokulasi kemudian bibit dikeringkan dalam oven bersuhu 60° C sampai diperoleh bobot konstan (± 4 hari). Analisis unsur hara pada jaringan tanaman meliputi unsur P dengan metode *vanadomolybdate-yellow* dan unsur N dengan metode *Kjeldahl*. Analisis N dan P jaringan tanaman dilaksanakan di Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian, IPB.

Data pertumbuhan bibit dan analisis unsur hara N dan P diuji secara statistika menggunakan uji beda nilai tengah dua populasi berpasangan pada taraf nyata 1 % dan 5 %.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kolonisasi CMA pada akar *A. microcarpa*

Kolonisasi CMA yang terjadi pada akar bibit *A. microcarpa* dimulai sebelum minggu ke-7 setelah inokulasi. Perlakuan inokulum *Entrophospora* sp. memiliki persentase kolonisasi paling tinggi, yakni 93 % pada minggu ke-25 (Tabel 1).

Tabel (Table) 1. Persentase kolonisasi CMA pada akar bibit *A. microcarpa* (*Percentage of AM fungi colonization in root of A. microcarpa seedlings*)

Perlakuan (Treatment)	% kolonisasi CMA minggu ke- (AM fungi colonization (%) in week)			
	7	11	15	25
Kontrol	0	0	0	0
<i>Glomus</i> sp. ACA	6	30	33	89
<i>Glomus</i> sp. ZEA	25	46	85	76
<i>G. clarum</i>	4	6	53	71
<i>Entrophospora</i> sp.	7	31	74	93
<i>Gi. decipiens</i>	23	84	65	74

Pengamatan persentase kolonisasi dilakukan empat kali setelah inokulasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui mula terjadinya kolonisasi CMA pada akar bibit *A. microcarpa* serta mula terjadinya simbiosis fungsional. Diduga minggu awal kolonisasi CMA terjadi pada minggu ke-7 setelah inokulasi yang ditandai munculnya struktur apresorium pada akar kedua tanaman serta persentase kolonisasi kurang dari 33 %. Asosiasi CMA dengan tanaman awalnya terjadi ketika hifa yang terdapat pada tanah mendekati permukaan epidermis akar dengan membentuk apresorium berupa hifa yang membengkak sebagai penetrasi awal menuju epidermis inang (Brundrett *et al.*, 1996). Keadaan tersebut terjadi sama dengan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*), kolonisasi awal CMA terjadi pada

minggu ke-7 setelah inokulasi dengan persentase kolonisasi 25-50 % (Widiastuti *et al.*, 2005). Namun demikian, kolonisasi awal CMA pada akar bawang pe-rai (*Allium porum*) terjadi pada hari ke-dua setelah inokulasi (Brundrett *et al.*, 1985). Terlihat adanya perbedaan bahwa kolonisasi CMA pada tanaman semusim yaitu *A. porum* terjadi lebih cepat dibandingkan dengan tanaman tahunan seperti *A. microcarpa* dan kelapa sawit. Keadaan ini terjadi kemungkinan disebabkan lebih lambatnya pertumbuhan akar tanaman tahunan dibandingkan dengan tanaman semusim.

Struktur arbuskula terlihat pada akar tanaman *A. microcarpa* pada minggu ke-7 setelah inokulasi. Hadirnya struktur arbuskula menandakan mulai terjadinya simbiosis yang fungsional. Pada *E. guineensis* simbiosis fungsional ini terjadi dengan tampaknya struktur arbuskula pada minggu ke-15 setelah inokulasi (Widiastuti, 2004). Sedangkan pada *A. porum*, arbuskula terlihat pada hari ke-4 setelah inokulasi (Brundrett *et al.*, 1985). Struktur arbuskula berperan memperluas area kontak cendawan dengan inang dan sebagai tempat transfer nutrisi dua arah (Smith and Read, 1997). Transfer nutrisi dua arah antara cendawan dan inang disebabkan adanya aktivitas H^+ /ATPase yang terdapat di membran perifer yang mengalami invaginasi di sekitar arbuskula (Widiastuti, 2004). Pada minggu ke-25 struktur arbuskula hampir tidak teramati, hal ini disebabkan umur arbuskula relatif singkat 10 dan 16 hari, lalu struktur ini meluruh.

Kontaminasi terjadi pada akar tanaman kontrol dengan munculnya hifa CMA dan perlakuan *Gi. decipiens* dengan terlihatnya struktur vesikula. Vesikula seharusnya tidak ditemukan pada perlakuan *Gi. decipiens*. Menurut Smith dan Read (1997) ada dua genus CMA yaitu *Gi. decipiens* dan *Scutellospora* sp. yang tidak membentuk vesikula. Kontaminasi berpeluang besar terjadi saat tanaman ada di area terbuka seperti halnya di rumah kaca

saat penelitian ini berlangsung. Kontaminasi terjadi melalui spora yang terbawa air pada saat hujan atau penyiraman dan melalui angin.

B. Respons Pertumbuhan Bibit *A. microcarpa*

Inokulum CMA secara nyata meningkatkan tinggi dan diameter batang bibit *A. microcarpa* dibandingkan dengan kontrol (Lampiran 1). Dari hasil perbandingan satu per satu inokulum *Entrophospora* sp. dan *Gi. decipiens* berbeda nyata dengan *Glomus* sp. ACA, *Glomus* sp. ZEA, dan *G. clarum* (Lampiran 2 dan Lampiran 3).

Inokulum CMA secara nyata meningkatkan bobot kering total bibit *A. microcarpa* dibandingkan dengan kontrol. Namun, tidak seluruhnya nyata meningkatkan nisbah pucuk akar (Lampiran 4). Perbandingan antara masing-masing inokulum CMA tidak memperlihatkan perbedaan yang nyata (Lampiran 5 dan Lampiran 6).

Meningkatnya penyerapan unsur hara pada tanaman yang diinokulasi CMA memacu fotosintesis sehingga pertumbuhan tanaman meningkat. Hal ini terlihat bahwa tanaman *A. microcarpa* memiliki tinggi, diameter batang, dan bobot kering total tanaman lebih baik dibandingkan dengan tanaman kontrol. Mulida (1999) melaporkan bahwa tanaman *A. malaccensis* yang ditumbuhkan pada media tanah latosol berumur delapan bulan memiliki tinggi rata-rata 14,2 cm dan diameter batang 2,19 mm. Melalui penggunaan inokulum CMA pada umur tujuh bulan tanaman *A. microcarpa* memperoleh tinggi antara 12,8-19,4 cm dan diameter batang antara 2,3 mm dan 3,5 mm (Gambar 1). Hal tersebut menunjukkan pertumbuhan bibit yang lebih cepat pada tanaman yang diinokulasi CMA dibandingkan dengan tidak diinokulasi. Dengan demikian perolehan bibit siap tanam bisa lebih cepat.

Bobot kering total tanaman menunjukkan banyaknya asimilat yang dihasilkan. Produksi asimilat antara 85-90 %



Gambar (Figure) 1. Penampilan bibit *A. microcarpa* pada umur 25 minggu setelah inokulasi: (1) kontrol, (2) *Glomus* sp., (3) *Glomus* sp., (4) *G. clarum*, (5) *Entrophospora* sp., dan (6) *Gi. Decipiens* (Growth performance of *A. microcarpa* seedlings inoculated with : (1) control, (2) *Glomus* sp., (3) *Glomus* sp., (4) *G. clarum*, (5) *Entrophospora* sp., and (6) *Gi. decipiens* at 25 weeks under nursery conditions)

diperlihatkan dari bobot kering tanaman berasal dari hasil fotosintesis (Kotek dan Kojinka, 1992). Produk fotosintesis berupa karbohidrat ditranslokasikan dari daun ke berbagai organ pengguna, misalnya ke bagian akar lewat *floem* (Salisbury dan Ross, 1995). Karbohidrat dibutuhkan oleh CMA untuk pertumbuhan dan perkembangannya yang selanjutnya menghasilkan simbiosis fungsional yang menyebabkan bertambahnya aktivitas fotosintesis tanaman (Gianinazzi-Pearson *et al.*, 1997).

Nisbah pucuk akar kedua tanaman yang diberi CMA secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa hasil fotosintat lebih banyak ditranslokasikan pada daerah pucuk dibandingkan dengan daerah akar. Kehadiran CMA di akar tidak mempengaruhi kenaikan bobot akar kedua tanaman. Nisbah pucuk akar antara 2,4 dan 3,3 pada tanaman yang diinokulasi CMA tersebut masih termasuk ke dalam batasan normal pada masa pertumbuhan vegetatif tanaman.

Penggunaan inokulum CMA dapat menghasilkan bibit *A. microcarpa* yang berkualitas baik terlihat dari pertumbuhannya. Selain itu penggunaan CMA tidak hanya menguntungkan saat di pembibitan saja namun juga berguna bagi tanaman

bila kelak ditanam di lapangan. Bentuk simbiosis yang sudah dimilikinya akan membantu tanaman saat ada pada kondisi lingkungan tempat tumbuhnya yang kurang menguntungkan. Oleh karena itu kepunahan *A. microcarpa* bisa dihindari. Bibit yang dihasilkan lebih cepat pertumbuhannya juga memberi peluang bagi pengusaha gaharu untuk memperoleh tanaman induk gaharu lebih banyak dan lestari.

C. Serapan N dan P

Perlakuan CMA tidak mempengaruhi kadar P dan N bibit *A. microcarpa*. Namun, secara nyata meningkatkan serapan P dan N bibit *A. microcarpa* kecuali perlakuan inokulum *G. clarum* (Lampiran 7 dan Lampiran 8). Perbandingan antara masing-masing inokulum CMA juga tidak memperlihatkan perbedaan yang nyata (Lampiran 9 dan Lampiran 10).

Serapan P dan N tanaman *A. microcarpa* meningkat pada pemberian inokulum CMA dibandingkan dengan tanaman kontrol. Meningkatnya penyerapan hara merupakan salah satu karakteristik utama dari CMA. Hifa eksternal CMA membantu proses penyerapan hara di dalam tanah. Hifa mampu menjelajah sejumlah besar volume tanah serta memperbaiki difusi P anorganik yang lambat di tanah (Schacht-

man *et al.*, 1998). Hifa eksternal CMA tersebut memiliki kemampuan menghasilkan berbagai asam organik yang dapat melarutkan P dari bentuk yang tidak tersedia (P-Al, P-Fe, dan P-Ca) menjadi tersedia, melarutkan dan menyerap P yang terjerap dalam struktur tanah (Smith dan Read, 1997). Sastrahidayat *et al.* (1999) menemukan bahwa asam-asam organik yang berperan membantu dalam dinamika pelarutan unsur hara ialah asam oksalat, sitrat, susinat, dan format. Selain itu Sastrahidayat *et al.* (1999) juga melaporkan bahwa pada akar tanaman yang terkolonisasi CMA terjadi peningkatan aktivitas enzim fosfatase yang membantu mengkatalis hidrolisis kompleks fosfor yang tidak larut dalam tanah, sehingga terjadilah peningkatan P yang tersedia pada daerah tersebut. Transfer hara dari cendawan kepada tanaman melewati interfase arbuskula dan hifa interseluler (Widiastuti, 2004).

Tanaman kontrol tidak mampu menyerap unsur P sebaik pada tanaman yang diberi inokulum CMA karena ion H_2PO_4 pada tanah rentan terhadap reaksi pengendapan sehingga akar harus mengerahkan energi lebih besar dalam menyerap ion ini (Salam *et al.*, 1997). Selain itu, pemadatan unsur tanah juga akan menyebabkan turunnya kemampuan akar menyerap hara dalam tanah.

Pemberian inokulum CMA juga meningkatkan serapan N tanaman *A. microcarpa* dibandingkan dengan kontrol. Meningkatnya penyerapan P akan meningkatkan penyerapan unsur-unsur lain karena P akan membentuk ATP yang berguna untuk penyerapan mineral yang lain (Sastrahidayat *et al.*, 1999). Penyerapan P tinggi selalu akan diiringi dengan penyerapan N yang tinggi pula (Smith dan Read, 1997). Dalam penelitian yang hampir sama, serapan N tanaman *Macaranga denticulata* meningkat hingga 166 % dibandingkan dengan tanaman tanpa CMA (Youpensuk *et al.*, 2004), demikian juga yang terjadi pada bawang merah yang diinokulasi CMA (Shamdas, 2002).

Sumber N anorganik yang penting bagi tanaman dan potensial untuk digunakan ialah nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+) (Smith dan Read, 1997). Penyerapan NO_3^- dan NH_4^+ memungkinkan tanaman untuk membentuk senyawa nitrogen, terutama protein (Salisbury dan Ross, 1995). Ion NH_4^+ seringkali terdapat dalam konsentrasi yang rendah dalam tanah dan asimilasi N bergantung dari akti-vitas glutamin sintase. Aktivitas glutamin sintase meningkat pada tanaman ber-CMA (Smith dan Read, 1997). Glutamin sintase dan glutamat dehidrogenase berperan pada penggabungan N anorganik ke dalam komponen organik dan sebagai prekursor terbentuknya asam amino lainnya (Sharma dan Johry, 2002). Kedua enzim tersebut aktif di hifa internal CMA (Gianinazzi-Pearson *et al.*, 1997).

Apabila tanaman kekurangan N maka pertumbuhannya akan terhambat dan tanaman akan menunjukkan gejala kekahatan yakni klorosis (Salisbury dan Ross, 1995). Pada minggu ke-25 klorosis sudah mulai tampak pada kedua tanaman dengan gejala daun dewasa terlihat kuning, daun muda tetap berwarna hijau, dan daun gugur pada fase kuning. Gejala ini tampak lebih parah pada tanaman kontrol.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pemberian inokulum *Glomus* sp. ACA Tulasne & Tulasne, *Glomus* sp. ZEA Tulasne & Tulasne, *Glomus clarum* Nicholson & Schenk, *Entrophospora* sp. Ames & Scheneider, dan *Gigaspora decipiens* Hall & Abbott dapat meningkatkan persentase kolonisasi CMA pada akar *Aquilaria microcarpa* Baill dan memberikan pengaruh pertumbuhan tinggi, diameter batang, bobot kering total, dan beberapa di antaranya nisbah pucuk akar, serapan P dan N bibit *Aquilaria micro-*

carpa Baill pada minggu ke-25 setelah inokulasi.

B. Saran

Perlu dilakukan pengujian *Aquilaria microcarpa* Baill yang telah dikolonisasi CMA ditanam dalam skala operasional dengan jenis naungan perkebunan karet (*Hevea brassiliensis*) dan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*).

DAFTAR PUSTAKA

- Barden, A., N.A. Anak, T. Mulliken and M. Song. 2000. Heart of the Matter Agarwood Use and Trade and Cites Implementation for *Aquilaria malaccensis*. Cambridge: TRAFFIC International.
- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove and N. Malajczuk. 1996. Working with Mycorrhizal in Forestry and Agriculture. Wembley: Monograph. ACIAR.
- Brundrett, M.C., Y. Piche and R. L. Peterson. 1985. A New Methode Observing the Morphology of Vesicular-arbuscular Mycorrhizae. *Can. J. Bot.* 63: 184-193.
- CITES. 2005. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Appendices I, II and III of CITES. UNEP. 48 pp.
- Ding Hou. 1960. Thymelaeaceae. *In: Van Steenis, C.G.G.J. (ed) Flora Malesiana. Series I, Vol. 6 : 1-15.* Wolters-Noordhoff, Groningen, The Netherlands.
- Gianinazzi-Pearson, V., E. Dumas-Gaudot and S. Gianinazzi. 1997. Proteins and Protein Activities in Endomycorrhizal Symbioses. *In: Varma A, B. Hock, editor. Mycorrhiza Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology. Ed ke-2.* Berlin: Springer. hlm 255-272.
- Koske, R.E. and J.N. Gemma. 1989. A Modified Procedure for Staining Roots to Detect VA Mycorrhizas. *Mycol. Res.* 92:486-505.
- Kotek, J. and V. Kojinka. 1992. *Physiology of the Plant Root System.* Netherland: Kluwer Ac. Pub.
- Mulida, L. 1999. Pengaruh Intensitas Cahaya dan Persaingan terhadap Pertumbuhan Semai Gaharu (*Aquilaria malaccensis* LAMK) pada Tanah Latosol dan Podsolik Merah Kuning [skripsi]. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Salam, A.K. and M. A. S. Arief and S. Djuniwati. 1997. Tinjauan terhadap Peranan Enzim Fosfatase dalam Pengelolaan Fosfor Organik untuk Tanaman Pertanian. *J. Agro.* 2(2): 38-49.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan. Jilid 2.* Lukman, R.D., Sumaryono (penerjemah). Bandung: Penerbit ITB. Terjemahan dari: *Plant Physiology.*
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan. Jilid 3.* Lukman, R.D., Sumaryono (Penerjemah). Bandung: Penerbit ITB. Terjemahan dari: *Plant Physiology.*
- Sastrahidayat, I.R., K. Wakidah and Syekhfani. 1999. Pengaruh Mikoriza Arbuskula terhadap Peningkatan Enzim Fosfatase, Beberapa Asam Organik dan Pertumbuhan Kapas (*Gossypium hirsutum* L.) pada Vertisol dan Alfisol. *Agrivita* 21(1): 60-64.
- Schachtmant, D.P., R. J. Reid and S.M. Anyling. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: from Soil to Cell. *Plant Physiol.* 116: 447-453.
- Shamdas, G.B.N. 2002. Derajat Infeksi Akar, Jumlah Spora serta Serapan N dan P, Tiga Kultivar Bawang Merah Akibat Inokulasi Cendawan Mikoriza Arbuskula pada Inceptisol di Jatina-ngor [Thesis]. Bandung: Program Pasca Sarjana, Universitas Padjadjaran.
- Sharma, A. K. and B.N. Johry. 2002. Arbuscular Mycorrhizae Interaction in Plants, Rhizosphere and Soils. *Enfield: Science.*

- Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Second Edition. London: Academic Press.
- Soehartono, T. and N.C. Newton. 2000. Conservation and Sustainable Use Tropical Trees in the Genus *Aquilaria* I. Status and Distribution in Indonesia. *Biol. Cons.* 96:83-94.
- Widiastuti, H. 2004. Biologi Interaksi Cendawan Mikoriza Arbuskula Kelapa Sawit pada Tanah Masam sebagai Dasar Pengembangan Teknologi Aplikasi Dini [Disertasi]. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Widiastuti, H., N. Sukarno, L.K. Darusman, D.H. Goenadi, S. Smith and E. Guhardja. 2005. Tingkat Kedinian Infeksi *Acaulospora tuberculata* dan *Gigaspora margarita* pada Bibit Kelapa Sawit. *J. Mikrobiol. Indones.* 10 (1): 42-44.
- Youpensuk, S., S. Lumyong, B. Dell and B. Rerkasem. 2004. Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of *Macaranga denticulata* Muell. Arg., and their on the Host Plant. *Agroforestry System* 60: 239-246.

Lampiran (Appendix) 1. Respons CMA terhadap tinggi dan diameter batang bibit *A. microcarpa* pada minggu ke-25 (*Responses of AM fungi to plant height and stem diameter of A. microcarpa after 25 weeks*)

Perlakuan (Treatment)	Tinggi (Height) (cm)	% ^a	Diameter batang (Stem diameter) (cm)	%
Kontrol	9,5	0	1,7	0
<i>Glomus</i> sp. ACA	13,5*	42	2,5**	47
<i>Glomus</i> sp. ZEA	14,7**	55	2,4**	41
<i>G. clarum</i>	12,8*	35	2,3*	35
<i>Entrophospora</i> sp.	19,4**	104	3,2**	88
<i>Gi. decipiens</i>	19,2**	102	3,5**	106

Uji perbandingan dua populasi berpasangan setiap inokulum CMA dan kontrol; *berbeda nyata ($P < 0,05$), ** berbeda sangat nyata ($P < 0,01$), dan %^a dibandingkan dengan kontrol (*Comparison test of two pair of each AM fungi inoculum and control*; *significantly difference ($P < 0,05$), **high significantly difference ($P < 0,01$), and %^a comparison with control).

Lampiran (Appendix) 2. Uji beda nilai tengah dua populasi berpasangan tinggi bibit *A. microcarpa* (*Median value significant test of two pair population of plant height of A. microcarpa*)

Perlakuan (Treatment)	Kontrol (Control)	<i>Glomus</i> sp. ACA	<i>Glomus</i> sp. ZEA	<i>G. clarum</i>	<i>Entrophospora</i> sp.	<i>Gi.</i> <i>decipiens</i>
Kontrol		*	**	*	**	**
<i>Glomus</i> sp. ACA	0,019		tn	tn	**	*
<i>Glomus</i> sp. ZEA	0,004	0,552		tn	*	*
<i>G. clarum</i>	0,033	0,688	0,306		**	**
<i>Entrophospora</i> sp.	0,000	0,003	0,014	0,001		tn
<i>Gi. decipiens</i>	0,000	0,013	0,041	0,004	0,912	

*Beda nyata ($P < 0,05$), **beda sangat nyata ($P < 0,01$), tn = tidak nyata, dan angka menunjukkan P-value (*Significantly difference ($P < 0,05$), **high significantly difference ($P < 0,01$), tn = no significant and value shows P-value).

Lampiran (Appendix) 3. Uji beda nilai tengah dua populasi berpasangan diameter batang *A. microcarpa* (*Median value significant test of two pair population of stem diameter of A. microcarpa*)

Perlakuan (Treatment)	Kontrol (Control)	<i>Glomus</i> sp. ACA	<i>Glomus</i> sp. ZEA	<i>G.</i> <i>clarum</i>	<i>Entrophospora</i> sp.	<i>Gi.</i> <i>decipiens</i>
Kontrol		**	**	*	**	**
<i>Glomus</i> sp. ACA	0,009		tn	tn	*	*
<i>Glomus</i> sp. ZEA	0,006	0,769		tn	**	**
<i>G. clarum</i>	0,045	0,645	0,821		**	**
<i>Entrophospora</i> sp.	0,000	0,019	0,004	0,009		tn
<i>Gi. decipiens</i>	0,000	0,010	0,003	0,005	0,524	

*Beda nyata ($P < 0,05$), **beda sangat nyata ($P < 0,01$), tn = tidak nyata, dan angka menunjukkan P-value (*Significantly difference ($P < 0,05$), **high significantly difference ($P < 0,01$), tn=no significant and value shows P-value)

Lampiran (Appendix) 4. Respons cendawan mikoriza arbuskula terhadap bobot kering total dan nisbah pucuk akar bibit *A. microcarpa* pada minggu ke-25 (*Responses of AM fungi to total dry weight and shoot-root ratio of A. microcarpa after 25 weeks*)

Perlakuan (Treatment)	Bobot kering total (Total dry weight) (g)	% ^a	Nisbah pucuk akar (Top root ratio)	%
Kontrol	0,3	0	2,4	0
<i>Glomus</i> sp. ACA	1,2*	300	2,6 ^{tn}	8
<i>Glomus</i> sp. ZEA	1,6**	433	2,4 ^{tn}	0
<i>G. clarum</i>	1,4*	367	2,5 ^{tn}	4
<i>Entrophospora</i> sp.	1,4**	367	3,1*	29
<i>Gi. decipiens</i>	2,0**	567	3,3**	38

Uji perbandingan dua populasi berpasangan setiap inokulum CMA dan kontrol; *berbeda nyata ($P < 0.05$), ** berbeda sangat nyata ($P < 0.01$), tn = tidak nyata, dan %^a dibandingkan dengan kontrol (*Comparison test of two pair of each AM fungi inoculum and control*; * significantly difference ($P < 0.05$), **high significantly difference ($P < 0.01$), tn = no significant and %^a comparison with control).

Lampiran (Appendix) 5. Uji beda nilai tengah dua populasi berpasangan bobot kering total *A. microcarpa* (median value significant test of two pair population of total dry weight of *A. microcarpa*)

Perlakuan (Treatment)	Kontrol (Control)	<i>Glomus</i> sp. ACA	<i>Glomus</i> sp. ZEA	<i>G. clarum</i>	<i>Entrophospora</i> sp.	<i>Gi. decipiens</i>
Kontrol		*	**	*	**	**
<i>Glomus</i> sp. ACA	0,034		tn	tn	tn	tn
<i>Glomus</i> sp. ZEA	0,003	0,35		tn	tn	tn
<i>G. clarum</i>	0,025	0,709	0,628		tn	tn
<i>Entrophospora</i> sp.	0,000	0,485	0,589	0,847		tn
<i>Gi. decipiens</i>	0,003	0,091	0,246	0,815	0,124	

*Beda nyata ($P < 0,05$), **beda sangat nyata ($P < 0,01$), tn tidak nyata, dan angka menunjukkan P-value (*Significantly difference ($P < 0,05$), **high significantly difference ($P < 0,01$), tn = no significant and value shows P-value).

Lampiran (Appendix) 6. Uji beda nilai tengah dua populasi berpasangan nisbah pucuk akar *A. microcarpa* (median value significant test of two pair population of shoot-root ratio of *A. microcarpa*)

Perlakuan (Treatment)	Kontrol (Control)	<i>Glomus</i> sp. ACA	<i>Glomus</i> sp. ZEA	<i>G. clarum</i>	<i>Entrophospora</i> sp.	<i>Gi. decipiens</i>
Kontrol		tn	tn	tn	*	**
<i>Glomus</i> sp. ACA	0,548		tn	tn	tn	*
<i>Glomus</i> sp. ZEA	0,918	0,625		tn	tn	tn
<i>G. clarum</i>	0,712	0,84	0,736		tn	*
<i>Entrophospora</i> sp.	0,037	0,129	0,119	0,097		tn
<i>Gi. decipiens</i>	0,002	0,025	0,06	0,019	0,488	

*Beda nyata ($P < 0,05$), **beda sangat nyata ($P < 0,01$), tn = tidak nyata, dan angka menunjukkan P-value (*Significantly difference ($P < 0,05$), **high significantly difference ($P < 0,01$), tn = no significant and value shows P-value)

Lampiran (Appendix) 7. Respons CMA terhadap kadar dan serapan P bibit *A. microcarpa* pada minggu ke-25 (Responses of AM fungi to P concentrations and P content of *A. microcarpa* seedlings after 25 weeks)

Perlakuan (Treatment)	Kadar P (P Concentrations) (%)	Serapan P (P content) (mg/tan)	% ^a
Kontrol	0,15	0,30	0
<i>Glomus</i> sp. ACA	0,12	1,17*	290
<i>Glomus</i> sp. ZEA	0,13	1,44*	377
<i>G. clarum</i>	0,12	1,37 ^{tn}	357
<i>Entrophospora</i> sp.	0,14	1,51**	403
<i>Gi. decipiens</i>	0,11	1,85**	517

Uji perbandingan dua populasi berpasangan setiap inokulum CMA dan kontrol; *berbeda nyata ($P < 0,05$), ** berbeda sangat nyata ($P < 0,01$), tn = tidak nyata, dan %^a dibandingkan dengan kontrol (*Comparison test of two pair of each AM fungi inoculum and control*; * significantly difference ($P < 0.05$), **high significantly difference ($P < 0.01$), tn = no significant and %^a comparison with control).

Lampiran (Appendix) 8. Respons CMA terhadap kadar dan serapan N bibit *A. microcarpa* pada minggu ke-25 (Responses of AM fungi to N concentrations and P content of *A. microcarpa* seedlings after 25 weeks)

Perlakuan (Treatment)	Kadar N (N concentrations) (%)	Serapan N (N content) (mg/tan)	% ^a
Kontrol	0,81	1,66	0
<i>Glomus</i> sp. ACA	0,65	6,56*	295
<i>Glomus</i> sp. ZEA	0,66	7,47*	350
<i>G. clarum</i>	0,61	6,69 ^{tn}	303
<i>Entrophospora</i> sp.	0,68	7,36**	343
<i>Gi. decipiens</i>	0,58	9,94**	499

Uji perbandingan dua populasi berpasangan setiap inokulum CMA dan kontrol; *berbeda nyata ($P < 0,05$), ** berbeda sangat nyata ($P < 0,01$), tn = tidak nyata, dan %^a dibandingkan dengan kontrol (*Comparison test of two pair of each AM fungi inoculum and control*; * significantly difference ($P < 0.05$), **high significantly difference ($P < 0.01$), tn = no significant and %^a comparison with control).

Lampiran (Appendix) 9. Uji beda nilai tengah dua populasi berpasangan serapan P bibit *A. microcarpa* (Median value significant test of two pair population of P content of *A. microcarpa* seedlings)

Perlakuan (Treatment)	Kontrol (Control)	<i>Glomus</i> sp. ACA	<i>Glomus</i> sp. ZEA	<i>G. clarum</i>	<i>Entrophospora</i> sp.	<i>Gi. decipiens</i>
Kontrol		*	*	tn	**	**
<i>Glomus</i> sp. ACA	0,045		tn	tn	tn	tn
<i>Glomus</i> sp. ZEA	0,026	0,506		tn	tn	tn
<i>G. clarum</i>	0,070	0,690	0,884		tn	tn
<i>Entrophospora</i> sp.	0,001	0,311	0,827	0,749		tn
<i>Gi. decipiens</i>	0,000	0,083	0,231	0,296	0,088	

*Beda nyata ($P < 0,05$), **beda sangat nyata ($P < 0,01$), tn = tidak nyata, dan angka menunjukkan P-value (*Significantly difference ($P < 0.05$), **high significantly difference ($P < 0.01$), tn = no significant and value shows P-value)

Lampiran (Appendix) 10. Uji beda nilai tengah dua populasi berpasangan serapan N bibit *A. microcarpa* (Median value significant test of two pair population of N content of *A. microcarpa* seedlings)

Perlakuan (Treatment)	Kontrol (Control)	<i>Glomus</i> sp. ACA	<i>Glomus</i> sp. ZEA	<i>G. clarum</i>	<i>Entrophospora</i> sp.	<i>Gi. decipiens</i>
Kontrol		*	*	tn	**	**
<i>Glomus</i> sp. ACA	0,043		tn	tn	tn	tn
<i>Glomus</i> sp. ZEA	0,024	0,660		tn	tn	tn
<i>G. clarum</i>	0,055	0,951	0,730		tn	tn
<i>Entrophospora</i> sp.	0,001	0,632	0,945	0,725		*
<i>Gi. decipiens</i>	0,000	0,107	0,177	0,151	0,012	

*Beda nyata ($P < 0,05$), **beda sangat nyata ($P < 0,01$), tn = tidak nyata, dan angka menunjukkan P-value (*Significantly difference ($P < 0.05$), **high significantly difference ($P < 0.01$), tn = no significant and value shows P-value)