

Inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskular Indigen Untuk Bibit Karet pada Tanah Bekas Tambang Batubara

The Inoculation of Indigenous Arbuscular Mycorrhiza Fungi for Seedling Rubber in Coal-Mined Soil

Margarettha^{*)1}

¹Fakultas Pertanian Universitas Jambi

^{*)}Penulis untuk korespondensi: itmuchtar@gmail.com

ABSTRACT

Mining activities provide economic benefits and also cause environmental and land ecosystems damages. The damage caused by such top soil layer loss, drought, soil compaction, low water holding capacity, poor nutrient (macro nutrients), accumulation of toxic elements and highly acidic soil reaction. Mined land reclamation of coal with bio-fertilizer technology as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) indigenous is one of the technologies for revegetation of land with environmentally friendly systems. This study aims to get a AMF biofertilizers indigenous effective and adaptive for rubber seedlings planted in coal-mined soil. Research used a completely randomized design with one factor that the FMA indigenous derived from in coal-mined soil; A (without inoculation; B (inoculation of *Glomus* sp-5), C (inoculation of *Glomus* sp-6), D (inoculation of *Glomus* sp-7), E (inoculation of *Glomus* sp-12), F (inoculation of *Glomus* sp-15); G (inoculation *Acaulospora* sp-1), H (inoculation *Acaulospora* sp-2), I (inoculation *Acaulospora* sp-3), J (inoculation *Acaulospora* sp-4), K (a combination of all-*Glomus* sp), L (a combination of all *Acaulospora* sp), M (combined all-*Glomus* sp-sp and *Acaulospora*). Data were analyzed with a 5% level of variance followed by DMRT 5% level. parameters measured were AMF colonization, seedling height, dry weight, available P, pH and Al. Research results can be concluded that the inoculation of all AMF *Glomus* sp and *Acaulospora* sp gave the highest colonization 53.33%, increased soil pH 15%, decreased the Al 56% and increased the available P of 9.25%.

Keywords: Coal-mined soil, indigenous arbuscular mycorrhiza fungi, rubber seedlings

ABSTRAK

Kegiatan pertambangan memberikan keuntungan ekonomis juga dapat menimbulkan dampak kerusakan lingkungan dan ekosistem tanah. Kerusakan yang ditimbulkan seperti terkupasnya lapisan *top soil*, kekeringan, pemadatan tanah, kemampuan menahan air rendah, sangat miskin hara (hara makro), akumulasi unsur toksik dan reaksi tanah sangat masam. Reklamasi lahan bekas tambang batubara dengan teknologi pupuk hayati seperti fungi mikoriza arbuskular (FMA) indigen merupakan salah satu teknologi untuk revegetasi lahan dengan sistem ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pupuk hayati FMA indigen yang efektif dan adaptif untuk bibit karet yang ditanam pada lahan bekas tambang batubara. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan satu faktor yaitu FMA indigen yang berasal dari tanah bekas tambang batubara; A (tanpa inokulasi; B (inokulasi *Glomus* sp-5); C (inokulasi *Glomus* sp-6); D (inokulasi *Glomus* sp-7); E (inokulasi *Glomus* sp-12); F (inokulasi *Glomus* sp-15); G (inokulasi *Acaulospora* sp-1); H (inokulasi *Acaulospora* sp-2); I (inokulasi *Acaulospora* sp-3); J (inokulasi *Acaulospora* sp-4); K (kombinasi semua *Glomus*-sp); L (kombinasi semua *Acaulospora* sp); M (gabungan semua *Glomus*-sp dan *Acaulospora*-sp). Data dianalisis dengan sidik ragam taraf 5% dan dilanjutkan dengan uji DMRT taraf 5%. Parameter yang diamati

adalah kolonisasi FMA, tinggi bibit, bobot kering, P tersedia, pH dan Al-dd. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa konsorsium inokulasi FMA indigen semua tipe *Glomus* dan semua tipe *Acaulospora* memberikan nilai kolonisasi tertinggi sebesar 53,33%, meningkatkan pH tanah sebesar 15%, menurunkan Al-dd 56% dan meningkatkan P tersedia 9,25%.

Kata kunci: bibit karet, fungi mikoriza arbuskular indigen, tanah bekas tambang batubara

PENDAHULUAN

Kerusakan lahan di Indonesia merupakan masalah yang serius yang tidak mudah ditangani, karena merupakan akumulasi dari berbagai kegiatan, diantaranya adalah kegiatan pertambangan (minyak bumi, batu bara, tembaga, seng, nikel, timah, emas, mangan). Kegiatan ini menyebabkan terjadinya degradasi kualitas tanah sehingga tanah berada dalam kondisi suboptimal.

Proses penambangan batubara mengakibatkan rusaknya ekosistem makro dan mikro. Kerusakan yang ditimbulkan seperti hilangnya vegetasi hutan, rusaknya habitat satwa serta jenis-jenis flora atau fauna endemik langka sebagai sumber plasma nutfah potensial, rusaknya sistem tata air (*watershed*), meningkatnya laju erosi permukaan, menurunnya produktivitas dan stabilitas lahan serta biodiversitas flora dan fauna.

Akibat aktivitas tambang batubara, lebih lanjut perubahan yang terjadi diantaranya rusaknya sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Perubahan fisik yang dialami ialah rusaknya sistem tata air, tekstur dan struktur tanah sehingga mempengaruhi kapasitas tanah untuk menampung air. Perubahan kimia yang ditunjukkan akibat lahan bekas pertambangan ialah kesuburan tanah, pH, dan kondisi nutrisi di dalam tanah rendah. Reaksi tanah bersifat asam yang merupakan masalah utama dan menyebabkan tanaman kekurangan unsur hara makro serta meningkatnya ketersediaan unsur mikro yang menyebabkan keracunan atau keadaan toksik bagi tanaman (Medina dan Azcón 2010; Karthikeyan dan Krishnakumar 2012).

Lahan yang mengalami degradasi karena aktivitas penambangan pada akhirnya juga merusak kehidupan mikroba

tanah (makro dan mikro). Mikroba tanah sangat penting dalam siklus hara (Babu dan Reddy 2011, Khan *et al.* 2014).

Rendahnya produktivitas karet antara lain disebabkan berkurangnya kawasan kebun karet yang telah dialihfungsikan ke pertambangan. Laporan *Food and Agricultural Organization* (FAO) antara 1990 hingga 2010, Indonesia kehilangan 1,02% luas hutan per tahun, yang berarti total penggundulan atau alih fungsi dalam 20 tahun terakhir sebesar 20,3% (*The Jakarta Globe*, 7 Agustus 2012). Deforestasi pengalihan lahan bervegetasi hutan menjadi lahan yang lebih terbuka seperti aktifitas penambangan merupakan salah satu pemicu terjadinya degradasi lahan yang dalam jangka panjang dan dapat melahirkan lahan kritis. Untuk mengurangi dampak negatif dari lahan terdegradasi pasca tambang, maka pengembalian produktivitas lahan bekas tambang yang pada umumnya dalam kondisi rusak berat harus dilakukan upaya perbaikan lahan (revegetasi).

Upaya yang dapat dilakukan untuk menyehatkan kembali lahan (ekosistem tanah) yang terdegradasi dapat dilakukan dengan konsep pertanian ramah lingkungan yaitu penggunaan bahan alami seperti pupuk organik dan pupuk hayati (*biofertilizers*). Pupuk hayati yang dapat digunakan dalam rehabilitasi lahan bekas pertambangan adalah fungi mikoriza arbuskular (Göhre dan Paszkowski 2006; Regvar dan Vogel-Mikuš 2008; Khade dan Adholeya 2009; Medina dan Azcón 2010; Karthikeyan dan Krishnakumar 2012).

Fungi mikoriza arbuskular (FMA) dikenal dengan jamur tanah karena habitatnya berada di dalam tanah dan berada di area perakaran tanaman (Goltapeh *et al.* 2008). Selain disebut sebagai jamur

tanah juga biasa dikatakan sebagai jamur akar. Keistimewaan dari jamur ini adalah kemampuannya dalam membantu tanaman untuk menyerap unsur hara terutama unsur hara fosfor (Kageyama *et al.* 2008), tanaman bermikoriza lebih tahan terhadap cekaman kekeringan (Ruiz-Lozano *et al.* 2008) dan sebagai biokontrol terhadap patogen akar (Tripathi *et al.* 2008).

Fungi mikoriza arbuskular mampu meningkatkan ketersediaan hara terutama unsur P, disebabkan FMA dapat memperpanjang dan memperluas jangkauan akar terhadap penyerapan unsur hara, maka serapan hara tanaman pun meningkat sehingga hasil tanaman juga akan meningkat (Effendy dan Wijayani 2011). Rehabilitasi lahan kritis dapat dilakukan dengan tanaman bermikoriza, baik untuk tanaman pangan, perkebunan, penghijauan maupun hutan tanaman industri.

Hasil penelitian Margarettha (2011) di daerah bekas tambang batubara Desa Rantau Pandan Kabupaten Bungo diperoleh isolat FMA indigen sebanyak 3 genus spora yaitu *Glomus sp.*, *Acaulospora sp.* dan *Enterospora sp.* Temuan ini menunjukkan bahwa FMA mampu tumbuh pada kondisi suboptimal.

Pengamatan yang sama juga dilaporkan oleh Novikusianti *et al.* (2005) bahwa jumlah spora FMA lebih banyak pada lahan pasca penambangan timah di desa Sempan, Bangka dibandingkan lahan yang belum dibuka seperti hutan. Temuan ini juga sejalan dengan pendapat Aggangan *et al.* (1998) yang menjelaskan pada lingkungan yang sangat miskin atau lingkungan yang tercemar limbah berbahaya, FMA masih memperlihatkan eksistensinya. Dengan kata lain, FMA dapat berasosiasi dengan perakaran berbagai tanaman dimana keefektifannya juga ditentukan oleh jenis tanaman dan asal ekosistem inokulan tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan pupuk hayati fungi mikoriza arbuskular indigen yang efektif dan adaptif untuk bibit karet yang ditanam pada tanah bekas tambang batubara.

BAHAN DAN METODE

Penelitian telah dilaksanakan di rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas Jambi dari bulan Januari sampai September 2013. Sampel tanah bekas tambang batubara diambil dari desa Pauh kecamatan Mestong kabupaten Muaro Jambi. Bahan yang digunakan adalah 9 jenis isolat mikoriza indigen yang berasal dari lahan bekas tambang batubara (Margarettha, 2011) yaitu lima jenis isolat *Glomus* (*Glomus* sp-5, *Glomus* sp-6, *Glomus* sp-7, *Glomus* sp-12, *Glomus* sp-15), empat jenis isolat *Acaulospora* (*Acaulospora* sp-1, *Acaulospora* sp-2, *Acaulospora* sp-3, *Acaulospora* sp-4), bibit karet, pupuk Hyponex merah, air bebas ion, larutan glukosa 60%, KOH 10%, HCl 2%, larutan staining (Trypan blue 0,05%).

Penelitian merupakan percobaan pot dengan rancangan percobaan acak lengkap (RAL) dengan 9 perlakuan dan 3 ulangan yaitu: A tanpa inokulasi FMA; B inokulasi FMA genus *Glomus* sp-5; C inokulasi FMA genus *Glomus* sp-6; D inokulasi FMA genus *Glomus* sp-7; E inokulasi FMA genus *Glomus* sp-12; F inokulasi FMA genus *Glomus* sp-15; G inokulasi FMA genus *Acaulospora* sp-1; H inokulasi FMA genus *Acaulospora* sp-2; I inokulasi FMA genus *Acaulospora* sp-3; J inokulasi FMA genus *Acaulospora* sp-4; K kombinasi semua genus *Glomus* sp; L kombinasi semua genus *Acaulospora* sp; M kombinasi semua genus *Glomus* sp dan *Acaulospora* sp.

Pelaksanaan penelitian meliputi persiapan tanah sebagai media tanam adalah tanah bekas timbunan batubara diambil secara komposit sampai kedalaman 30 cm, dikering anginkan, lalu diayak dan selanjutnya disterilkan dengan *autoclave*. Tanah yang sudah steril dimasukkan ke dalam polibeg masing-masing sebanyak 2 kg. Penyiapan inokulum FMA, diperbanyak secara kultur pot dengan menggunakan media zeolit. Inokulasi fungi mikoriza dilakukan pada saat tanam.

Pemupukan diberikan sesuai rekomendasi yaitu pupuk Urea, SP-36, KCl

dan Kieserit dengan dosis 5 g Urea/polibag, 6 g SP-36/polibag, 2 g KCl/polibag dan 2 g Kieserit/polibag. Data dianalisis dengan sidik ragam taraf 5% dan dilanjutkan dengan uji DMRT taraf 5%. Parameter yang diamati adalah kolonisasi FMA, tinggi bibit, bobot kering, P tersedia, pH dan Al-dd.

HASIL

Kolonisasi FMA

Inokulasi FMA indigen pada bibit karet yang ditanam pada tanah bekas tambang batubara mampu mengkolonisasi akar bibit karet (Tabel 1). Inokulasi FMA indigen dalam bentuk isolat tunggal pada semua jenis spora FMA yang diinokulasikan, memberikan nilai persentase kolonisasi yang hampir sama pada akar bibit karet.

Peningkatan persentase kolonisasi FMA pada akar bibit karet semakin besar terjadi apabila inokulasi FMA indigen diberikan secara konsorsium (perlakuan K dan M). Nilai kolonisasi FMA indigen tertinggi mencapai 53,33% pada konsorsium FMA indigen semua genus *Glomus* yang dikombinasikan dengan semua genus *Acaulospora*. Peningkatan

kenaikkan yaitu sebesar 219,9% (perlakuan M) antara yang diinokulasi FMA indigen dengan tanpa inokulasi (perlakuan A).

Tinggi Bibit dan Bobot Kering

Inokulasi FMA indigen dari hasil sidik ragam belum nyata memberikan penambahan tinggi bibit dan bobot kering bibit karet (Tabel 2), akan tetapi secara angka ada peningkatan tinggi bibit dan bobot kering akibat inokulasi FMA indigen.

Peningkatan tinggi bibit dan bobot kering bibit karet terjadi pada inokulasi FMA indigen spora tunggal *Acaulospora* sp-4. Spora tunggal *Acaulospora* sp-4 mampu memberikan pertumbuhan lebih baik dibandingkan spora tunggal lainnya atau bentuk konsorsium (perlakuan K, L dan M).

Sifat Kimia Tanah

Pemberian inokulasi FMA indigen nyata meningkatkan pH tanah dan juga mampu menurunkan konsentrasi Al-dd tanah bekas tambang batubara. Ketersediaan P tanah akibat inokulasi FMA indigen belum nyata peningkatannya (Tabel 3).

Tabel 1. Pengaruh inokulasi FMA indigen terhadap rata-rata kolonisasi pada akar bibit karet.

Perlakuan	Kolonisasi FMA (%)
A	16,67 b
B	33,33 ab
C	23,33 b
D	23,33 b
E	16,67 b
F	16,67 b
G	36,67 ab
H	13,33 b
I	10,00 b
J	36,67 ab
K	50,00 a
L	30,00 ab
M	53,33 a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda menurut Uji Jarak Berganda Duncan taraf 5%.

Peningkatan nilai pH tertinggi terjadi pada inokulasi FMA indigen konsorsium semua jenis *Glomus*, dengan kenaikan sebesar 21,26% dibandingkan tanpa

inokulasi (perlakuan A). Kandungan Al-dd mengalami penurunan dengan inokulasi FMA indigen, dimana terjadi penurunan konsentrasi Al-dd sebesar 58% pada

perlakuan inokulasi FMA indigen dibandingkan dengan tanpa inokulasi FMA *Acaulospora* sp-1 (perlakuan G) (perlakuan A).

Tabel 2. Pengaruh inokulasi FMA indigen terhadap rata-rata tinggi bibit karet dan bobot kering bibit pada media tanam bekas tambang batubara.

Perlakuan	Tinggi (cm)	Bobot Kering (g/tan)
A	46,42 a	20,38 a
B	51,16 a	23,68 a
C	56,00 a	22,00 a
D	48,47 a	25,57 a
E	47,66 a	21,85 a
F	54,39 a	24,07 a
G	48,50 a	21,42 a
H	52,39 a	22,10 a
I	52,39 a	25,00 a
J	57,22 a	26,07 a
K	50,11 a	22,33 a
L	56,66 a	22,28 a
M	50,33 a	24,98 a

Keterangan: Pengaruh inokulasi FMA indigen terhadap rata-rata tinggi bibit karet dan bobot kering bibit pada media tanam bekas tambang batubara

Tabel 3. Pengaruh inokulasi FMA indigen terhadap rata-rata pH, Al-dd dan P-tersedia pada media tanam bekas tambang batubara.

Perlakuan	pH	Al-dd (me/100 g)	P-tersedia (ppm)
A	4,61 ^b	1,50 ^a	1,57 ^a
B	4,69 ^b	1,35 ^{ab}	1,43 ^a
C	4,93 ^{ab}	1,17 ^{abc}	1,48 ^a
D	5,15 ^{ab}	0,74 ^{cd}	1,64 ^a
E	5,27 ^{ab}	0,85 ^{cd}	1,36 ^a
F	5,30 ^{ab}	0,66 ^d	1,52 ^a
G	4,83 ^b	0,63 ^d	1,73 ^a
H	5,24 ^{ab}	0,74 ^{cd}	1,49 ^a
I	4,95 ^{ab}	0,65 ^d	1,17 ^a
J	5,17 ^{ab}	0,92 ^{bcd}	1,50 ^a
K	5,59 ^a	0,80 ^{cd}	1,59 ^a
L	4,98 ^{ab}	1,06 ^{abcd}	1,49 ^a
M	5,38 ^{ab}	0,84 ^{cd}	1,35 ^a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda menurut Uji Jarak Berganda Duncan Taraf 5%

PEMBAHASAN

Tingginya infeksi akar oleh FMA indigen dimungkinkan karena terbentuk hifa eksternal. Infeksi dicirikan oleh adanya hifa dengan struktur yang disebut arbuskula (*arbuscules*) dan ada juga yang membentuk struktur berbentuk oval yang disebut vesikula (*vesicules*) yang berbentuk jaring pada bagian badan akar.

Kolonisasi tertinggi sebesar 53,33% dari konsorsium genus *Glomus* dan *Acaulospora* pada akar bibit karet selama 5

bulan. Bila dikaji dari waktu untuk proses kolonisasi FMA pada akar tanaman, maka hasil ini cukup baik bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Babu dan Reddy (2011), dimana diperoleh kolonisasi FMA sebesar 55% pada akar tanaman bambu yang ditanam selama 12 bulan pada media tanam tanah bekas pembakaran tambang batubara di Orissa India.

Karakteristik FMA berupa arbuskula dan vesikula serta spora. Arbuskula mengisi sebagian besar volume sel dan merupakan

organ tempat pertukaran hara antara fungi dan bibit karet. Vesikula berfungsi sebagai organ penyimpan cadangan makanan. Suatu simbiosis terjadi apabila jamur FMA masuk ke dalam akar atau melakukan infeksi. Proses infeksi dimulai dengan perkecambahan spora didalam tanah. Hifa yang tumbuh melakukan penetrasi ke dalam akar dan berkembang di dalam korteks (Goltapeh *et al.* 2008).

Perbedaan keefektifan FMA sangat ditentukan oleh kombinasi fungi dengan inang. Perbedaan jenis isolat FMA akan menyebabkan adanya perbedaan kemampuan dalam mengkolonisasi akar bibit karet. Menurut Babu dan Reddy (2011), ini disebabkan reaksi kompatibilitas, reaksi inkompatibilitas, serta keefektifan FMA. Kolonisasi FMA pada akar tanaman juga sangat ditentukan adanya kesesuaian mikoriza dengan inang dalam mekanisme transfer atau pertukaran nutrisi antara keduanya, kemampuan hidup mikoriza, dan kepekaan inang.

Keefektifan suatu jenis FMA terhadap suatu jenis bibit karet ditentukan oleh kemampuannya menginfeksi akar dan membentuk hifa eksternal, serta dapat membantu meningkatkan absorpsi hara dan pertumbuhan bibit karet. Inokulasi FMA pada bibit karet sering kali dilakukan menggunakan campuran spora, hifa dan akar terinfeksi.

Menurut Novikusianti *et al.* (2005) adanya perbedaan yang menunjukkan bahwa vegetasi dengan jumlah persentase spora yang besar tidak berarti bahwa persentase infeksinya akan besar pula. Dengan kata lain, tidak ada korelasi antara jumlah spora dengan persentase infeksi akar pada inang. Jadi, walaupun jumlah spora yang terdeteksi ada sedangkan infeksi tidak ada sama sekali, hal tersebut sangat mungkin terjadi. Kedua jenis mikoriza yang dijumpai ini terlihat lebih mampu beradaptasi jika dibandingkan dengan jenis mikoriza yang lainnya. Hal ini bisa terjadi karena keduanya lebih mampu beradaptasi terhadap kondisi setempat.

Menurut Kageyama *et al.* (2008) FMA genus *Glomus* mempunyai kemampuan adaptasi dan toleransi yang lebih luas terhadap kondisi lingkungan yang suboptimal dibandingkan dengan genus FMA lainnya. Kemampuan bertahan dari FMA genus *Glomus* menurut Medina dan Azcón, 2010 ini bisa dikarenakan keberadaannya pada akar tanaman di tanah yang tidak begitu dalam. Kedalaman tanah dapat mempengaruhi jumlah dan jenis mikoriza. Semakin bertambah kedalaman maka jumlah dan jenis spora yang ditemukan semakin sedikit hal ini dipengaruhi oleh kandungan air, kandungan oksigen, dan bahan organik.

Inokulasi FMA indigen mampu meningkatkan pH tanah bekas lahan batubara dan bersamaan dengan itu terjadi penurunan kandungan Al-dd tanah. Peningkatan pH sebesar 21,26% terjadi pada inokulasi FMA indigen konsorsium semua tipe *Glomus* dan penurunan nilai Al-dd terbesar pada inokulasi FMA indigen inokulasi tunggal *Acaulospora* sp-1. Temuan ini sejalan dengan temuan Babu dan Reddy (2011) dengan inokulasi FMA mampu menurunkan Al-dd sebesar 50%.

Pemberian FMA indigen untuk semua tipe belum mampu meningkatkan ketersediaan P tanah bekas tambang batubara dengan optimal, akan tetapi Effendy dan Wijayani (2011) melaporkan ada korelasi antara jumlah spora FMA dengan ketersediaan P. Lebih lanjut dijelaskan bahwa 100 spora FMA mampu berkontribusi dalam penyediaan P sebanyak 8-12 mg/kg P₂O₅. Babu dan Reddy (2011) melaporkan, dengan inokulasi FMA mampu meningkatkan serapan P tanaman mencapai 150%.

KESIMPULAN

Konsorsium inokulasi FMA indigen semua tipe *Glomus* dan semua tipe *Acaulospora* memberikan nilai kolonisasi tertinggi sebesar 53,33%, meningkatkan pH tanah sebesar 15%, menurunkan Al-dd 56% dan meningkatkan P tersedia 9,25%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan atas pendanaan penelitian ini dalam skim penelitian Hibah Bersaing tahun anggaran 2013, dan saudari Stevani yang ikut membantu dalam pengumpulan data lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggangan NS, Dell B, Malajczuk. 1998. Effects of chromium and nickel on growth of ectomycorrhizal fungus *Pisolithus* and formation of ectomycorrhizas on *Eucalyptus urophylla*. S.T. Blake. *Geoderma* 84: 15-27.
- Babu, Giridhar A, Reddy MS. 2011. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with plants growing in fly ash pond and their potential role in ecological restoration. *Current Microbiology* 63: 273–28.
- Göhre V, Paszkowski U. 2006. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. *Planta* 223: 1115–1122.
- Goltapeh, E. M., Y. R. Danesh, R. Prasad, dan A. Varma. 2008. Mycorrhizal fungi: What we know and what should we know? In Ajit Varma (Ed.) *Mycorrhiza, Genetics and Molecular Biology, Eco-function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. Hal. 3-27.
- Effendy M, Wijayani BW. 2011. Estimation of available phosphorus in soil using the population of arbuscular mycorrhizal fungi spores. *Journal of Tropical Soils* 16(3): 225-232.
- Kageyama SA, Mandyam KG, Jumpponen A. 2008. Diversity, Function and Potential Applications of the Root-Associated Endophytes. In Ajit Varma (Ed.) *Mycorrhiza, Genetics and Molecular Biology, Eco-function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Hal. 29-57.
- Khade SW, Adholeya A.. 2009. Arbuscular Mycorrhizal Association in Plants Growing on Metal-Contaminated and Noncontaminated Soils Adjoining Kanpur Tanneries, Uttar Pradesh, India. *Water, Air and Soil Pollution* 202: 45–56.
- Karthikeyan A, Krishnakumar N. 2012. Reforestation of bauxite mine spoils with *Eucalyptus tereticornis* Sm. seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Annals of Forest Research Journal* 55(2): 207-216.
- Khan A, Muhammad S, Amjad A, Muhammad SSN, Ahmad MI. 2014. Potential of AM fungi in phytoremediation of heavy metals and effect on yield of wheat crop. *American Journal of Plant Science* 5(11): 1578-1586.
- Margarettha. 2011. Eksplorasi dan identifikasi mikoriza indigen asal tanah bekas tambang batubara. *Berita Biologi Jurnal Ilmu-ilmu Hayati* 10 (5): 641-647.
- Medina A, Azcón R. Effectiveness of the application of Arbuscular mycorrhiza fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10 (3): 354–372.
- Novikusianti W, Nurtjahya E, Khodijah NS, Setiadi Y. 2005. Status cendawan mikoriza arbuskula (CMA) di lahan pasca penambangan timah di desa Sempan Bangka. *Prosiding Seminar Nasional dan Workshop Pemanfaatan Cendawan Mikoriza untuk Meningkatkan Produksi Tanaman Pada Lahan Marginal*. Asosiasi Mikoriza Indonesia. Jambi. Hal.121-131.
- Regvar M, Vogel-Mikuš K. 2008. Arbuscular Mycorrhiza in Metal Hyperaccumulating Plants in Ajit Varma (Ed.) *Mycorrhiza, Genetics*

- and Molecular Biology, Eco-function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. Hal. 261-280.
- Ruiz-Lozano JM, Porcel R, Aroca R. 2008. Evaluation of the Possible Participation of Drought-induced Genes in the Enhanced Tolerance of Arbuscular Mycorrhizal Plants to Water Deficit in Ajit Varma (Ed.) *Mycorrhiza, Genetics and Molecular Biology, Eco-function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. Hal. 185-205.
- Tripathi, S., S. Kamal, I. Sheramati, R. Oelmuller, and A. Varma. 2008. Mycorrhizal Fungi and Other Root Endophytes as Biocontrol Agents Against Root Pathogens in Ajit Varma (Ed.) *Mycorrhiza, Genetics and Molecular Biology, Eco-function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. Hal. 281-306.