

KEANEKARAGAMAN HAYATI DAN EFEKTIVITAS CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULA (CMA) PADA LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA
(Biodiversity and Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Isolated from Ex-Coal Mining Area)

Oleh / By :

Enny Widyati, Irdika Mansur, Cecep Kusmana, Iswandi Anas, dan/and Erdy Santoso

ABSTRACT

*Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) plays important role in growth encouragement and survival rate of plant colonized on degraded land such as ex-mined land. This study was carried out to find AMF biodiversity in the rhizosphere of plants established on ex-coal mining and to select the most compatible and effective isolate of AMF. Isolation and purification of AMF as modified by Brundett et al. method with *Pruearia javanica* seedlings as a host plant was taken place in the green house. Selection of the most effective and compatible isolate were carried out with *Acacia crassicarpa* seedling 7 days age for 3 months in factorial - randomize completed design. The variables for effectiveness and symbiosis responses were root infection percentage, growth performance and naturally nodulation. The result showed that *Glomus sp*, *Acaulospora sp* and *Scutelospora sp* are found in an association with root plants in ex coal mining. Isolate 13 (*Glomus sp.*) isolated from *A. auriculiformis* was not only the most effective and compatible for *Acacia crassicarpa* seedlings growth improvement due to the improvement of height (38 %), naturally nodulation (108 %), and biomass (201 %), respectively, in comparison with the control; but also the most infective (84 %). It is suggested that this isolate is prospective to be further developed as an inoculum in seedlings production that will be planted on ex-coal mining site.*

Key words: Biodiversity, arbuscular-mycorrhizal fungi, effective and compatible isolate, ex-coal mining site

ABSTRAK

Peranan cendawan mikoriza arbuskula (CMA) dalam membantu pertumbuhan dan ketahanan tanaman yang tumbuh pada lahan *marginal* seperti lahan bekas tambang sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi keanekaragaman hayati CMA pada lahan bekas tambang batubara dan isolat yang paling efektif untuk membantu pertumbuhan bibit *Acacia crassicarpa*. Isolasi dan pemurnian dilakukan menurut metode Brundett *et al.* dengan inang *Pruearia javanica*. Sedangkan uji kompatibilitas dilakukan dengan bibit *A. crassicarpa* umur 7 hari. Pertumbuhan diamati melalui pengukuran tinggi setiap bulan selama 3 bulan. Setelah 3 bulan bibit dipanen dan diamati nodulasi, biomassa, dan persentase akar terinfeksi CMA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada lahan bekas tambang batubara di Sumatera Selatan ditemukan *Scutelospora sp.*, *Acaulospora sp.*, dan *Glomus sp.* Jenis yang mendominasi adalah *Glomus sp.* Isolat 13 (*Glomus sp.*) yang diisolasi dari *A. auriculiformis* merupakan isolat yang paling kompatibel dan efektif, terbukti isolat ini dapat meningkatkan tinggi, biomas, dan nodulasi tanaman *A. crassicarpa* berturut-turut sebesar 38 %, 201 %, dan 108 %. Isolat ini juga mempunyai produktivitas yang tinggi (256 spora/10 g inokulum) dan infeksi (84 %). Dengan demikian, isolat ini dapat dikembangkan sebagai inokulum *A. crassicarpa* pada kegiatan revegetasi lahan bekas tambang batubara.

Kata kunci: Keanekaragaman hayati, cendawan mikoriza arbuskula, isolat efektif dan kompatibel, lahan bekas tambang batubara



I. PENDAHULUAN

Kegiatan eksploitasi bahan tambang telah umum diketahui menyebabkan merosotnya kualitas lingkungan. Aplikasi alat-alat berat telah mengakibatkan meningkatnya kerapatan tanah sehingga menurunkan porositas dan drainase tanah. Hilangnya lapisan *top soil* dan *sub soil* menyebabkan tanah kehilangan lapisan yang banyak mengandung bahan organik tanah. Akibatnya mikroba tanah mengalami penurunan populasi secara drastis karena kehilangan sumber karbon dan sumber energi yang sangat penting untuk pertumbuhannya.

Pada lingkungan yang mengalami degradasi demikian berat, banyak kendala yang dihadapi oleh tumbuhan untuk mampu tumbuh pada kondisi tersebut. Oleh karena itu, untuk melakukan revegetasi diperlukan banyak masukan unsur hara, misalnya pemberian bahan organik, pemupukan, dan peningkatan mutu bibit dengan inokulasi mikroba fungsional. Salah satu mikroba fungsional yang dapat dimanfaatkan adalah cendawan mikoriza arbuskula (CMA).

CMA memegang peranan yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman di lahan terdegradasi antara lain melalui peningkatan penyerapan unsur hara akibat meluasnya volume tanah yang dieksploitasi sebagai sumber serapan fosfat (Sieverding, 1991) dan akibat aktivitas enzim yang membantu meningkatnya ketersediaan hara melalui pelepasan hara terfiksasi. Di samping itu, CMA juga memproduksi hormon (zat pengatur) pertumbuhan (Cardoso, 1985; Bethlenfavay & Franson, 1989 dalam Nogueira & Cardoso, 2003), misalnya auksin, sitokinin, dan giberelin (Fakuara, 1994), terutama auksin (Cruz, 1981).

Masalah utama yang dihadapi tanaman untuk bertahan pada lahan terdegradasi adalah masalah kekeringan karena air tidak dapat ditahan oleh tanah akibat kandungan bahan organik dan porositas tanah yang rendah. Telah banyak dilaporkan bahwa CMA mampu meningkatkan resistensi tanaman terhadap kekeringan (Gupta, 1991 dalam Setiadi, 1999) karena hifa selain mampu menyerap air juga dapat mempengaruhi tanaman dalam mengatur

tekanan osmosis sel sehingga akan mempengaruhi laju transpirasi (Sanchez and Honrubia, 1994 dalam Setiadi, 1999). Dengan demikian CMA membantu tanaman untuk bertahan terhadap cekaman kelebihan kadar garam akibat kadar air yang rendah (Cardoso, 1985; Bethlenfavay & Franson, 1989 dalam Nogueira & Cardoso, 2003).

Keberadaan CMA juga bersifat sinergis dengan mikroba potensial lainnya seperti bakteri penambat nitrogen non simbiotik dan bakteri pelarut posfat (Barea, *et al*, 1992 dalam Setiadi, 1999). Beberapa hasil penelitian juga menunjukkan bahwa CMA dapat membantu pertumbuhan tanaman yang tumbuh pada lahan yang tercemar logam-logam berat seperti lahan pasca tambang (Linderman and Pflieger, 1994 dalam Setiadi, 1999), sehingga CMA dapat juga berperan sebagai agen bioremediasi pada tanah-tanah yang tercemar logam berat (bioremediator) (Hetrick *et al*, 1994 dalam Setiadi, 1999). Dengan demikian aplikasi CMA pada kegiatan revegetasi lahan bekas tambang batubara diharapkan akan sangat membantu pertumbuhan dan ketahanan hidup (*survival rate*) bibit di lapangan.

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan informasi keanekaragaman CMA pada beberapa rhizosfir tanaman yang tumbuh pada lahan bekas tambang batubara dan isolat CMA yang efektif dan kompatibel untuk memacu pertumbuhan bibit *Acacia crassicarpa* yang akan ditanam sebagai tanaman revegetasi pada lahan bekas tambang batubara.

II. METODOLOGI

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Sampel tanah diambil dari daerah perakaran tanaman yang tumbuh pada lahan bekas tambang batubara di Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Isolasi dan pemurnian isolat dilakukan di laboratorium Mikrobiologi Hutan dan rumah kaca Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Bogor. Identifikasi isolat dilakukan di laboratorium Silvikultur dan Mikrobiologi Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB. Sedangkan uji kompatibilitas dilakukan di rumah kaca Pusat Penelitian dan

Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Bogor. Kegiatan dilakukan antara bulan Oktober 2002 sampai dengan April 2004.

B. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain zeolit, benih *Pruraria javanica*, larutan asam laktat, gliserol, *tryphan blue*, larutan KOH, larutan HCl, dan bibit *A. crassicarpa* umur tujuh hari.

C. Metode

Isolasi dan pemurnian spora dilakukan menurut metode Brundett *et al.* (1996) yang dimodifikasi.

1. Pemerangkapan Spora (*Trapping*)

Sampel tanah beserta akar rambut (50 gram) dimasukkan ke dalam pot plastik yang sudah diisi zeolit 2/3 volume pot. Masing-masing sampel dibiakkan pada lima pot. Selanjutnya pot yang sudah diisi tanah ditanami dengan kecambah *P. javanica* dua bibit per pot. Pot ditutup dengan zeolit sampai volume penuh. Pemeliharaan dilakukan dengan cara menyiram dan untuk memberikan *starter* nutrisi dilakukan pemberian pupuk lengkap lewat daun setiap dua minggu sekali selama dua bulan. Setelah dua bulan dilakukan pemeriksaan terjadinya kolonisasi dengan mengamati adanya miselia pada media. Setelah terjadi kolonisasi dilakukan *stressing* untuk memacu pembentukan spora dengan cara menghentikan penyiraman. Pot yang menunjukkan kolonisasi dan telah mengalami *stressing* selanjutnya dimurnikan.

2. Pemurnian Spora dan Perbanyak Spora Tunggal

Setelah terbentuk spora dilakukan pemisahan masing-masing spora berdasarkan warna dan ukuran spora. Masing-masing spora selanjutnya ditumbuhkan pada media dan bibit yang sama. Pengamatan kolonisasi dilakukan setelah dua bulan. Setelah teramati adanya kolonisasi dilanjutkan dengan *stressing*. Untuk menentukan kualitas spora maka dihitung populasi spora dan persentase akar terinfeksi (Brundett *et al.*, 1996). Biakan spora tunggal merupakan isolat murni yang selanjutnya akan digunakan pada uji

kompatibilitas isolat dengan menggunakan bibit *A. crassicarpa* umur tujuh hari.

3. Uji Kompatibilitas Inokulan CMA dengan Bibit *A. crassicarpa*

Bersamaan dengan penyapihan bibit dilakukan inokulasi dengan cara memberikan tiga gram biakan spora tunggal. Media yang digunakan adalah zeolit steril untuk memudahkan pengamatan nodulasi alami. Pemeliharaan dilakukan dengan penyiraman. Pertumbuhan diamati dengan melakukan pengukuran tinggi bibit setiap bulan selama tiga bulan. Setelah tiga bulan dilakukan pemanenan, variabel yang diamati adalah persentase akar terinfeksi (dengan pewarnaan *tryphan blue*), biomass, serta nodulasi alami dengan menghitung jumlah bintil berwarna merah yang mempunyai diameter > 2 mm. Isolat yang memberikan respon terbaik direkomendasikan sebagai inokulum untuk kegiatan revegetasi lahan asal inokulum diisolasi.

D. Analisis Data

Penelitian dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap dengan perlakuan 10 isolat hasil pemurnian (yaitu delapan isolat *Glomus* sp., *Acaulospora* sp., dan *Scutelospora* sp.) dengan tiga ulangan dan masing-masing unit percobaan terdiri atas lima pot tanaman contoh. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis varian dan apabila berbeda nyata akan diuji menggunakan uji wilayah berganda dari Duncan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Isolasi dan Pemurnian Spora CMA

Tanaman yang mampu tumbuh pada lahan yang mempunyai kandungan logam berat tinggi, misalnya pada lahan bekas tambang batubara, penyerapan dan toleransi suatu tanaman terhadap logam berat sangat tergantung pada sifat tanaman dan faktor tanah termasuk populasi mikroba tanah (Khan *et al.*, 2000). Banyak hasil penelitian melaporkan bahwa hampir semua tanaman yang tumbuh pada kondisi alami berasosiasi dengan cendawan mikoriza arbuskula (CMA). Kolonisasi CMA, terutama hifa ektramatrikal, mampu meningkatkan permukaan akar untuk menyerap hara (Khan

et al, 2000). Hasil isolasi dan pemurnian spora dari lahan bekas tambang batubara di Kabupaten Muara Enim tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa 10 dari 18 contoh tanah yang diisolasi dari rizosfir tanaman yang tumbuh pada lahan bekas tambang batubara dikoloni oleh CMA (tanda +). Hal ini mengindikasikan bahwa beberapa tanaman yang mampu tumbuh pada lahan bekas tambang tersebut berasosiasi dengan CMA. Diduga kemungkinan CMA membantu pertumbuhan tanaman pada lahan tersebut, sehingga akan sangat membantu tanaman-tanaman tersebut untuk menjadi pionir.

Tabel 1 menunjukkan bahwa untuk bertahan pada lahan bekas tambang batubara beberapa jenis tanaman dibantu oleh CMA. Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa CMA mampu mengembangkan suatu mekanisme toleransi terhadap toksisitas logam berat (*heavy metal-tolerance*) terhadap inangnya sehingga dapat mempercepat kegiatan fitoremediasi (penurunan polutan dengan memanfaatkan aktivitas tanaman sebagai akumulator atau *chelator*) pada lahan-lahan tercemar logam berat (Khan et al, 2000).

Dari hasil identifikasi isolat diketahui ada tiga genus yaitu *Glomus*, *Scutelospora*, dan *Acaulospora* pada rizosfir lahan bekas tambang batubara di Sumatera Selatan, yang didominasi oleh genus *Glomus* (8 isolat). Isolat 13 (*Glomus* sp. 6) yang diisolasi dari tanaman *A. auriculiformis* mempunyai kualitas yang paling baik, produksi spora yang paling tinggi (256 spora/10 gram inokulum) dan infektivitasnya juga tinggi (84 %) (Tabel 3 dan Tabel 4). Hasil penelitian Khan & Chaudry (1996) dalam Khan et al (2000) menunjukkan bahwa beberapa genus CMA seperti *Gigaspora* dan *Glomus* ditemukan banyak berasosiasi dengan tanaman yang tumbuh pada lahan tercemar logam berat, di antaranya ditemukan dalam rizosfir 14 tanaman yang mengkolonisasi lahan pembuangan tambang batuan magnetit di India. Sedangkan pada tahun 1994 Hetrick et al, dalam Khan et al (2000) hanya menemukan *Glomus mossae* dan pada tahun 1986 Dueck et al, dalam Khan et al (2000) hanya menemukan *Glomus fasciculatum* yang diisolasi dari lahan tercemar logam berat. Berbeda dengan Pawlowska et al (1996) dalam Khan et al (2000) yang mampu menemukan *Glomus fasciculatum*, *Glomus aggregatum*, dan *Entrophospora*

Tabel (Table) 1. Kolonisasi CMA dari lahan bekas tambang batubara dengan tanaman *P. javanica* (AMF colonisation isolated from ex-coal mining site on *P. javanica* seedlings)

No	Inang (Host plant)	Kolonisasi akar (Root colonisation)
1.	Rumput (<i>Spinifex</i> sp.)	-
2.	Rumput (<i>Cyperus</i> sp.)	-
3.	Kayu putih (<i>Eucalyptus cajuputy</i>)	+
4.	Californian grass	+
5.	Enceng-enceng (<i>Mimosa intisa</i>)	+
6.	Alang-alang (<i>Imperata cylindrica</i>)	+
7.	Kayu putih (<i>Eucalyptus cajuputy</i>)	+
8.	Rumput (<i>Cyperus</i> sp.)	+
9.	Akasia (<i>Acacia mangium</i>)	+
10.	CM (<i>Centrosema</i> sp.)	-
11.	Akasia (<i>A. auriculiformis</i>)	-
12.	Akasia (<i>A. auriculiformis</i>)	-
13.	Akasia (<i>A. auriculiformis</i>)	+
14.	Akasia (<i>A. auriculiformis</i>)	-
15.	Akasia (<i>Acacia mangium</i>)	+
16.	Akasia (<i>A. mangium</i>)	+
17.	CM (<i>Centrosema</i> sp.)	-
18.	Akasia (<i>A. auriculiformis</i>)	-

Tabel (Table) 2. Hasil identifikasi isolat (*Isolates identification*)

Kode isolat (<i>Isolates codes</i>)	Inang asal (<i>Host plant</i>)	Jenis CMA (<i>Identified as</i>)
3	Kayu putih (<i>E. cajuputy</i>)	<i>Glomus</i> sp. 1
4	Californian grass	<i>Scutelospora</i> sp.
5	Enceng-enceng (<i>M. intisa</i>)	<i>Glomus</i> sp. 2
6	Alang-alang (<i>I. cylindrica</i>)	<i>Glomus</i> sp. 3
7	Kayu putih (<i>E. cajuputy</i>)	<i>Glomus</i> sp. 4
8	Rumput (<i>Cyperus</i> sp.)	<i>Glomus</i> sp. 5
9	<i>A. mangium</i>	<i>Acaulospora</i> sp.
13	<i>A. auriculiformis</i>	<i>Glomus</i> sp. 6
15	<i>A. mangium</i>	<i>Glomus</i> sp. 7
16	<i>A. mangium</i>	<i>Glomus</i> sp. 8

Tabel (Table) 3. Data isolat yang ditemukan (*Characteristic of AMF isolates*)

Isolat CMA (<i>AMF Isolates</i>)	Jumlah spora (<i>Spore density</i>)/ 10 g inokulum (<i>Inoculum</i>)	Infeksi akar (<i>Root infection</i>) (%)
<i>Glomus</i> sp.	65 d	47,05 d
<i>Scutelospora</i> sp.	73 cd	67,34 bc
<i>Glomus</i> sp.	98 c	81,03 a
<i>Glomus</i> sp.	59 e	51,72 cd
<i>Glomus</i> sp.	169 bc	78,18 ab
<i>Glomus</i> sp.	187 b	66,66 bc
<i>Acaulospora</i> sp.	117 d	81,66 a
<i>Glomus</i> sp.	256 a	84,00 a
<i>Glomus</i> sp.	28 f	47,36 d
<i>Glomus</i> sp.	54 e	72,88 b

Keterangan (*remarks*):

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata (*the values followed by the same letters in the same columns are not significant*)

spp. pada rizosfir pembuangan *calamine* yang mengandung Pb, Cd, dan Zn yang tinggi di Polandia.

CMA memainkan peranan yang sangat penting dalam perlindungan akar tanaman terhadap toksisitas logam berat (Gali *et al*, 1994 *dalam Khan et al*, 2000). Mekanisme dan efisiensi perlindungan sangat tergantung pada jenis CMA dan macam logamnya. Hasil penelitian Joner & Leyval (1997) *dalam Khan et al* (2000) menunjukkan bahwa hifa ekstra radikal dari *Glomus mossae* mampu mengimobilisasi Cd sehingga menjadi tidak toksis bagi inangnya. CMA juga mampu mencegah perpindahan Zn dari akar ke pucuk tanaman jagung (Khan *et al*, 2000) sehingga tanaman tidak menyerap logam. Perlindungan lainnya adalah melalui mekanisme lokalisasi logam berat dalam miselia cendawan dan akar bermikoriza

(Turnau, 1998 *dalam Khan et al*, 2000). Penelitian pada tanaman *Euphorbia cyparissias* yang tumbuh pada lahan tercemar Zn ditemukan kristaloid Zn dalam miselia cendawan dan akar bermikoriza. Di samping itu, dalam aktivitasnya CMA juga menghasilkan zat pemacu tumbuh yang memacu penyerapan hara dan meningkatkan pertumbuhan dan biomassa yang sangat membantu pada kegiatan fitoremediasi tersebut (Khan *et al*, 2000).

2. Uji Kompatibilitas Isolat dengan Bibit *A. crassicarpa*

Hasil uji kompatibilitas dengan bibit *A. crassicarpa* menunjukkan bahwa inokulasi CMA memberikan pengaruh yang baik terhadap pertumbuhan bibit, yaitu peningkatan pertumbuhan tinggi, biomassa, nodulasi secara alami, dan persentase akar

Tabel (Table) 4. Pertumbuhan bibit *A. crassicarpa* umur 3 bulan setelah inokulasi (*The growth of A. crassicarpa seedlings: 3 months after inoculation*)

Kode isolat (Isolate codes)	Isolat (Isolates)	Pertumbuhan tinggi (Height growth) (cm)	Nodulasi akar (Root nodulation)	Biomassa (Biomass) (g)	Infeksi akar (Root infection) (%)
3	<i>Glomus</i> sp.	9,96 a	4,2 b	0,5399 c	47,05 f
4	<i>Scutelospora</i> sp.	7,98 bc	5,4 a	0,5749 bc	67,34 c
5	<i>Glomus</i> sp.	7,86 bc	4,4 b	0,4601 cd	81,03 a
6	<i>Glomus</i> sp.	8,58 b	5,4 a	0,436 d	51,72 e
7	<i>Glomus</i> sp.	7,83 bc	3,5 c	0,1921 fg	78,18 ab
8	<i>Glomus</i> sp.	8,66 b	4,4 b	0,5148 c	66,66 c
9	<i>Acaulospora</i> sp.	8,28 bc	5,4 a	0,5334 c	81,66 a
13	<i>Glomus</i> sp.	10,30 a	4,4 b	0,7079 a	84 a
15	<i>Glomus</i> sp.	9,16 ab	5,4 a	0,4895 cd	47,36 f
16	<i>Glomus</i> sp.	9,40 ab	4,2 b	0,4664 cd	72,88 b
—	Kontrol	6,68 cd	2,6 d	0,2355 f	0 k

Keterangan (remarks):

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata (*The values followed by the same letters in the same columns are not significantly different*)

Tabel (Table) 5. Pengaruh inokulasi CMA terhadap perbaikan pertumbuhan bibit *A. crassicarpa* umur 3 bulan di rumah kaca (*The growth improvement of A. crassicarpa seedlings after 3 months AMF inoculation in a greenhouse*)

Kode isolat (Isolate codes)	Isolat (Isolates)	Pertumbuhan tinggi (Height growth) (%)	Nodulasi akar (Root nodulation) (%)	Biomassa (Biomass) (%)	Infeksi akar (Rootinfection) (%)
3	<i>Glomus</i> sp.	49	61	129	47,05
4	<i>Scutelospora</i> sp.	19,46	108	144	67,34
5	<i>Glomus</i> sp.	17,66	69	95	81,03
6	<i>Glomus</i> sp.	28,44	108	85	51,72
7	<i>Glomus</i> sp.	17,22	35	18	78,18
8	<i>Glomus</i> sp.	29,64	69	119	66,66
9	<i>Acaulospora</i> sp.	23,95	108	126	81,66
13	<i>Glomus</i> sp.	54,19	69	201	84
15	<i>Glomus</i> sp.	37,13	108	108	47,36
16	<i>Glomus</i> sp.	40,72	61	98	72,88
—	Kontrol	0	0	0	0

terinfeksi mikoriza (Tabel 4). Telah banyak hasil penelitian yang menunjukkan bahwa aplikasi CMA meningkatkan laju pertumbuhan dan daya hidup (*survival rate*), baik bibit di rumah kaca maupun tanaman di lapangan (Setiadi, 1999). Cendawan mikoriza arbuskula (CMA) mempunyai kisaran inang yang sangat luas, hampir 97 % tanaman terrestrial ditemukan berasosiasi dengan CMA (Smith & Read, 1997). Dengan luasnya kisaran inang, CMA mempunyai

prospek yang baik untuk dikembangkan sebagai inokulan bibit yang akan ditanam sebagai tanaman revegetasi.

Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan bahwa inokulasi CMA meningkatkan atau memperbaiki kualitas bibit. Hasil penelitian Bolan (1991) dalam Setiadi (1999) pada tanaman bermikoriza akan mampu menyerap unsur P lebih besar daripada tanaman yang tidak bermikoriza, di samping itu beberapa unsur mikro juga akan mengalami

peningkatan penyerapan, misalnya Cu, Zn, dan BO (Marschner, 1992 dalam Setiadi, 1999). Dengan demikian, CMA dapat dijadikan alternatif untuk meningkatkan pertumbuhan bibit pada lahan kritis misalnya lahan bekas tambang. Hasil penelitian de la Cruz (1988) dalam Setiadi (1999) menunjukkan bahwa CMA dapat mensuplai kira-kira 50 % kebutuhan fosfat, 40 % nitrogen, dan 25 % kalium pada anakan *Leucaena leucocephala*. Bibit *A. mangium*, *Tricospermum burreti*, dan *Paraseriantes falcataria* yang diinokulasi CMA pertumbuhannya meningkat 2-3 kali lipat dibanding kontrol (Setiadi, 1999).

Tabel 5 juga menunjukkan bahwa infeksi CMA meningkatkan terjadinya nodulasi secara alami sebesar 35 % sampai 108 %. Hal ini diduga akibat meningkatnya serapan P, di mana unsur ini merupakan unsur hara makro yang diperlukan untuk proses metabolisme tanaman. Dalam proses metabolisme juga dihasilkan metabolit sekunder, salah satunya adalah flavonoid, senyawa yang sangat berperan dalam simbiosis rhizobiumlegum (Keyser *et al*, 1992). Nodulasi meningkat akan meningkatkan ketersediaan N yang juga merupakan unsur hara makro yang sangat esensial bagi pertumbuhan tanaman. Menurut Setiadi (1999) hasil penelitian Bethenfavay pada tahun 1992 menyimpulkan bahwa pembentukan nodul dan efektivitas penambatan nitrogen oleh *Rhizobium* dapat ditingkatkan dengan inokulasi CMA. Menurut Setiadi (1999), pada tahun 1983 Barea dan Azcon-Aguilar menyatakan bahwa hampir semua organisme penambat nitrogen dan tanaman umumnya memerlukan fosfat untuk mengambil nitrogen dari udara. Dengan demikian CMA dapat meningkatkan biodiversitas mikroorganisme potensial di sekitar perakaran (rhizosfer).

Tabel 2 dan Tabel 4 terlihat bahwa di antara semua perlakuan, isolat 13 (*Glomus* sp. 6) yang diisolasi dari *A. auriculiformis* merupakan isolat yang paling kompatibel dan efektif karena memberikan respon terbaik hampir pada seluruh variabel, yaitu peningkatan tinggi, biomass, dan persentase akar terinfeksi. Kompatibilitas simbiosis terhadap bibit yang akan ditanam sebagai

tanaman revegetasi sangat diperlukan. Sebab inokulan yang kompatibel maka simbiosis akan bekerja secara efektif. Apabila isolat tidak kompatibel akan mengakibatkan efek negatif, misalnya CMA bersifat parasit atau justru meningkatnya keracunan logam berat yang terserap terhadap tanaman inang. Penelitian Nogueira & Cardoso (2003) menunjukkan bahwa simbiosis CMA yang tidak efektif akan meningkatkan ekspresi gejala keracunan Mn pada tanaman inangnya karena justru meningkatkan ketersediaan Mn dan konsentrasi Mn yang terdapat pada jaringan tanaman inang.

Kemampuan membentuk mikoriza (infektivitas) ditentukan oleh jenis CMA dan genotif tanaman (Marschner, 1995 dalam Khan *et al*, 2000). Kolonisasi akar dan respon pertumbuhan sangat ditentukan oleh interaksi antara kedua simbiosis dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan misalnya pH tanah, jenis isolat (Lambais & Cardoso, 1990 dalam Nogueira & Cardoso, 2003) serta tingkat perkembangan tanaman inang (Bethlenfalvay *et al*, 1982 dalam Nogueira & Cardoso, 2003). Pada penelitian ini semua faktor selain jenis isolat relatif sama, dengan demikian diduga pengaruh yang menentukan adalah jenis isolat.

Hasil analisis korelasi antara persentase akar terinfeksi terhadap nodulasi dan pertumbuhan menunjukkan bahwa ternyata infektivitas berpengaruh positif terhadap efektivitas CMA akan tetapi pengaruhnya relatif kecil. Infektivitas CMA mempengaruhi biomas (0,4490), peningkatan tinggi (0,3913), dan nodulasi (0,4451). Menurut Nogueira & Cardoso (2003) pada tahun 1981 Abbot & Robson mengemukakan bahwa hubungan antara infektivitas (kemampuan suatu mikroba menginfeksi inangnya) terhadap efektivitas (kemampuan mikroba yang sudah menginfeksi inang dalam membantu pertumbuhan inangnya) sangat ditentukan oleh waktu terbentuknya simbiosis. Penelitian ini dilakukan hanya dalam waktu tiga bulan, diduga simbiosis belum bekerja secara optimal. Abbot & Robson, 1981 dalam Nogueira & Cardoso, 2003 menjelaskan bahwa perbandingan antara miselia internal dan eksternal juga sangat mempengaruhi efektivitas simbiosis CMA. Apabila jumlah

miselia internal melebihi miselia eksternal justru akan menghasilkan efek negatif (parasit) terhadap inangnya.

IV. KESIMPULAN

Keanekaragaman (biodiversitas) CMA yang ditemukan berasosiasi dengan tanaman pada lahan bekas tambang batubara di Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan teridentifikasi sebagai *Glomus* sp., *Acaulospora* sp., dan *Scutelospora* sp., yang didominasi oleh *Glomus* sp.

Glomus sp. 6 (isolat 13) yang diisolasi dari *A. auriculiformis* merupakan isolat yang paling kompatibel dan efektif untuk dikembangkan sebagai inokulum bibit *A. crassiparva*. Isolat ini mempunyai produktivitas 256 spora/10 g inokulum dan infektivitas 84 % serta mampu meningkatkan pertambahan tinggi 38 %, biomass 201 % dan nodulasi rhizobia secara alami 108 % dan paling infektif (84 %) dibandingkan dengan kontrol.

DAFTAR PUSTAKA

- Brundett, M., N. Bougher, B. Deale and N. Maladzjuck. 1996. Mycorrhiza for Forestry and Agriculture. ACIAR. Canberra.
- Cruz, R.E. de la. 1981. Mycorrhiza an Alternative to Energy-based Inorganic Fertilizer. Paper Presented in The PCCAAR sponsored "Workshop on Redirection of Fertilizer Research" Tropical Palace. Manila.
- Fakuara, Y. 1994. Peranan Mikoriza dalam Peredaran Hara dan Peningkatan Kualitas Semai. Laporan Program Pelatihan Biologi dan Bioteknologi Mikoriza. SEAMEO BIOTROP. Bogor.
- Keyser, H.H., P. Somasegaran and B.B. Bohlool. 1992. Rhizobial Ecology and Technology. Soil Microbial ecology. Metting, F.B. (ed). Marcel Dekker. New York.
- Khan, A.G., C. Kuek, T.M. Chaudry, C.S. Khoo and W.J. Hayes. 2000. Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated Land Remediation. Chemosphere (21): 197-207.
- Nogueira, M.A. & E.J.B.N. Cardoso. 2003. Mycorrhizal Effectiveness and Manganese Toxicity in Soy Bean as Affected by Soil Type and Endophyte. Scientia Agricola (6:2): 329-335.
- Setiadi, Y., 1999. Status Penelitian dan Pemanfaatan Cendawan Mikoriza Arbuscula dan Rhizobium untuk Merehabilitasi Lahan Terdegradasi. Prosiding Seminar Nasional Mikoriza I, Kerjasama Asosiasi Mikoriza Indonesia, PAU-Bioteknologi-IPB, Badan Litbang Kehutanan, dan British Council 15-16 November 1999. Bogor.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular Arbuscular Mycorrhizae Management in Tropical Agrosystem. GTZ. Technical Cooperation Federal Republic of Germany.
- Smith, S.E. and D.J. Read, 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. New York