

POPULASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA (FMA) LOKAL PADA LAHAN PASCA TAMBANG BATUBARA (*Population of indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Post Coal-Mining Land**)

Oleh/By :

Maliyana Ulfa¹, Agus Kurniawan¹, Sumardi², dan/and Irnayuli Sitepu³

¹Balai Penelitian Kehutanan Palembang, Jl. Kol. H. Burlian km. 6,5 Pundi Kayu, Telp/Fax: (0711) 414864.
e-mail : aisq08@gmail.com

²Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Jalan Bulaksumur, Yogyakarta.

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Jalan Gunung Batu No. 5, Bogor-16610

*)Diterima: 31 Mei 2011; Disetujui: 12 Oktober 2011

ABSTRACT

The research was aimed at investigating the development of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on backfill areas without top soil at various ages of ex coal mining area of PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, South Sumatra. The ages of the areas were at 0, 8, 9, 10, dan 19 years after backfilling. The activities included analysis of the existence of AM fungi, and the relation between AMF and different ages of backfills. Arbuscular mycorrhiza fungi were collected using wet-sieving method. The relationship between AM fungi and soil age was evaluated using functional relation. The result showed that Acaulospora sp. and Gigaspora sp. were found in all backfill ages, but Glomus sp. are only found in eight years backfill area. The AM fungi showed specific characters of colonization in backfill areas without top soil regardless of different backfilling ages. Backfilling without top soil caused inconsistent development of AM fungi. Therefore, non top soil should not be used for filling of ex coal mining land.

Keywords : Arbuscular mycorrhizal fungi, Acaulospora sp., Gigaspora sp., Glomus sp., top soil, backfilling

ABSTRAK

Penelitian mengenai perkembangan jamur mikoriza arbuskula pada timbunan bukan tanah atasan dilakukan di areal bekas tambang batubara PT. Bukit Asam, Sumatera Selatan, pada 0, 8, 9, 10 dan 19 tahun pasca penimbunan. Tujuan penelitian adalah menganalisis keberadaan jamur mikoriza arbuskula serta hubungannya dengan umur lahan pasca penimbunan. Spora jamur mikoriza arbuskula diperoleh menggunakan metode saring basah. Hubungan keberadaan jamur mikoriza arbuskula dengan umur lahan pasca penimbunan dievaluasi menggunakan hubungan fungsional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Acaulospora* sp. dan *Gigaspora* sp. ditemukan pada semua lokasi sedangkan *Glomus* sp. dijumpai setelah delapan tahun penimbunan. Ketiga jamur mikoriza menunjukkan karakter yang khas dalam kolonisasi di timbunan bukan tanah atasan, walaupun pada umur timbunan yang berbeda-beda. Penimbunan tanpa menggunakan *top soil* menyebabkan perkembangan jamur mikoriza arbuskula tidak berjalan dengan konsisten. Oleh karena itu, tanah bukan *top soil* sebaiknya tidak digunakan untuk menimbun areal bekas tambang batubara.

Kata kunci : Jamur mikoriza arbuskula, *Acaulospora* sp., *Gigaspora* sp., *Glomus* sp., *top soil*, penimbunan

I. PENDAHULUAN

Indonesia dalam perdagangan batubara memegang peringkat keempat sebagai pengekspor batubara di dunia, setelah Australia, Amerika Serikat dan Afrika Selatan (Munawar, 2006). Posisi ini secara tidak langsung menunjukkan tingginya aktivitas penambangan batubara yang di-

lakukan. Sejalan dengan aktifnya penambangan, dampak lingkungan berupa kerusakan lahan akibat aktivitas penambangan terbuka akan terbentuk lahan kritis sebelum diadakan penutupan tambang. Penambangan terbuka (*open pit mining*) batubara dapat menyebabkan kerusakan lingkungan akibat proses eksploitasinya (Rahmawaty, 2002). Kerusakan disebab-

kan adanya penebasan vegetasi dan pengupasan lapisan tanah dan eksploitasi deposit batubara, sehingga eksistensi dan peran hutan alam menjadi hilang pada lokasi tersebut.

Pengembalian lapisan tanah pada bekas galian pasca penambangan tidak mampu mengembalikan kondisi lahan sama seperti kondisi sebelum dilakukan penambangan. Perubahan susunan tanah, mengakibatkan degradasi sifat-sifat tanahnya, baik secara fisik, kimia maupun biologinya. Kerusakan tanah secara fisik berupa pemadatan tanah akibat penggunaan alat-alat berat selama penambangan dan penimbunan kembali, menurunkan porositas dan drainase tanah. Kondisi ini menghambat ketersediaan air bagi tanaman dan mikroba dalam tanah serta mempercepat aliran permukaan (*surface runoff*) dan erosi permukaan.

Tanah adalah tempat hidup bagi tumbuhan tingkat tinggi yang sebagian besar bersimbiosis dengan fungi dalam tanah untuk meningkatkan penyerapan unsur hara fosfor dan menjaga kelembaban perakaran. Simbiosis ini dinamakan mikoriza dan bermanfaat untuk meningkatkan penyerapan fosfor. Penyerapan fosfor semakin besar ketika unsur hara ini berada pada tingkat ketersediaan yang rendah atau terjerap dalam senyawa yang kompleks. Oleh karena itu simbiosis mikoriza merupakan fenomena yang banyak dijumpai dalam kolonisasi lahan-lahan kritis atau miskin hara. Fungi mikoriza arbuskula (FMA) memberikan kontribusi terhadap pertumbuhan tanaman dan ketahanannya dengan penurunan cekaman yang berhubungan dengan ketersediaan hara, kadar garam, logam beracun dan faktor biotik seperti patogen, penyerapan hifa dan bahan organik (Castellano dan Molina, 1989). Fungi mikoriza arbuskula dalam tanah dapat menjadi faktor pembatas yang penting bagi keberhasilan reforestasi di daerah tropik (Janos, 1992).

Reklamasi pasca penambangan batubara dengan menimbun lahan bekas tambang menggunakan *top soil* dilakukan da-

lam rangka membentuk *safe site*, namun permasalahan timbul ketika penimbunan tidak menggunakan material *top soil*, seperti yang ditemui pada beberapa areal. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui perkembangan FMA di lahan timbunan terbuka tanpa *top soil* di areal bekas tambang batubara di PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan dengan umur penimbunan yang berbeda.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan dari bulan Januari 2008 sampai dengan April 2009. Pengambilan sampel tanah untuk analisis spora FMA dilakukan di areal bekas tambang batubara PT Bukit Asam, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan pada lahan timbunan tanpa *top soil* dengan umur timbunan yang berbeda, yaitu 0, 8, 9, 10 dan 19 tahun.

Analisis jumlah spora FMA dilakukan di Laboratorium Fisiologi Pohon dan Mikrobiologi serta di Laboratorium Perlindungan Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan-bahan yang diperlukan adalah sampel tanah bekas tambang batubara, sampel tanaman, aquades, larutan Melzer's dan alkohol 70%. Alat-alat yang digunakan adalah saringan (*sieve*) tanah, cawan petri, mikroskop binokuler, *digital centrifuge*, timbangan, GPS (*global positioning system*) dan sekop kecil.

C. Metode Penelitian

1. Tahapan Penelitian

Kegiatan penelitian menggunakan metode survei berdasarkan sampling (cuplikan), meliputi lima lokasi bekas tambang batubara, yaitu Galian Pit I Barat, Klawas Tengah Utara, Spreader 702, Timbunan Pit I Barat dan Spreader 701

dengan umur, yaitu berturut-turut 0, 8, 9, 10 dan 19 tahun pasca penimbunan. Kelima perbedaan umur areal pasca penimbunan tersebut merupakan objek penelitian untuk mengetahui jumlah spora FMA dengan asumsi bahwa kondisi awal kelima areal adalah sama.

2. Inventarisasi Jumlah dan Jenis Spora Fungi Mikoriza Arbuskula

Untuk keperluan perhitungan jumlah spora FMA, bahan analisis berupa sampel tanah dan perakaran diambil di bawah vegetasi yang tumbuh alami setelah penimbunan pada kedalaman 0-20 cm dari permukaan tanah. Pengambilan sampel tersebut dilakukan dengan melakukan penentuan titik pengambilan sampel yang dilakukan dengan menggunakan metode *milliacre sampling* dengan mengikuti azimuth 0° atau 360° untuk penentuan titik-titik pengamatan. Ketiga titik (1, 2, 3) ditentukan mengikuti azimuth 0° atau 360° , dengan menentukan titik satu sebagai titik pengamatan terluar terlebih dahulu berdasarkan peta lahan (Tallent-Halsell, 1994) dan menentukan titik tiga sebagai titik pengamatan yang mewakili bagian tengah lahan menggunakan GPS berdasarkan koordinat yang terdapat pada peta lahan, dilanjutkan dengan menentukan titik dua yang terletak di antara titik satu dan titik tiga. Sampel tersebut merupakan komposit dari empat kali ulangan di tiap titik pengamatan. Setiap dilakukan pengambilan sampel, sekop kecil dibersihkan dengan alkohol 70%, agar tidak terjadi kontaminasi antar sampel dan tiap kantong sampel ditandai dengan kode lokasi dan tanggal pengambilan.

Spora FMA diperoleh dengan cara ekstraksi 100 gram sampel tanah dan perakaran menggunakan metode *wet-sieving* dari Gerdemann dan Nicolson (1963) dan menggunakan metode teknik sentrifugasi (Brundertt *et al.*, 1996) yang dimodifikasi. Spora kemudian diidentifikasi berdasarkan bentuk, struktur tambahan dan reaksinya terhadap larutan *Melzer's* (Trappe dan Schenck, 1982) untuk

kemudian dilakukan perhitungan spora menurut hasil identifikasi tersebut.

D. Analisis Data

Sumber data adalah jumlah dan keragaman jenis spora FMA. Analisis data untuk mengetahui perkembangan FMA dilakukan dengan mengetahui hubungan keberadaan FMA dengan umur lahan pasca penimbunan yang dievaluasi menggunakan hubungan fungsional.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Keberadaan Fungi Mikoriza Arbuskula

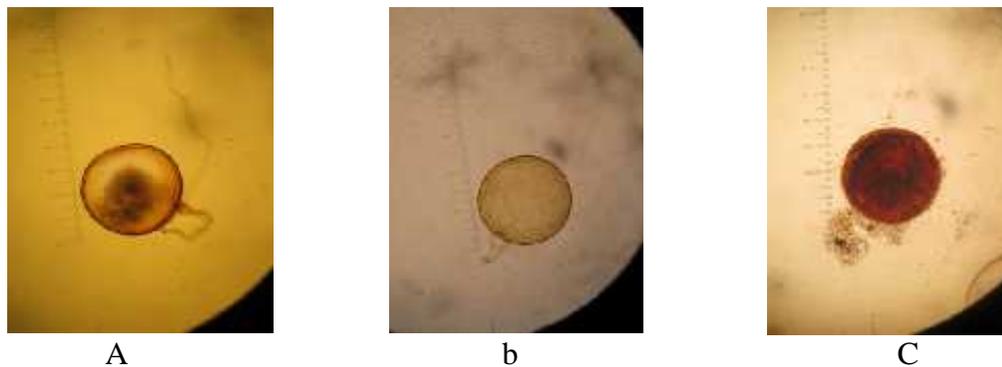
Kehadiran FMA di areal timbunan tanpa *top soil* di areal bekas tambang batubara, ditunjukkan dengan hasil ekstraksi yang dilakukan pada sampel tanah di lima lokasi pasca penimbunan dengan umur yang berbeda, yaitu tiga macam morfotipe FMA. Ketiga morfotipe tersebut termasuk dalam genus *Gigaspora* (*Gigaspora* sp.), *Acaulospora* (*Acaulospora* sp.) dan *Glomus* (*Glomus* sp.) (Gambar 1) dan ragam jenis pada masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 1.

Ditemukan dua jenis FMA pada kolonisasi awal di Galian PIT I Barat yang berumur nol tahun pasca penimbunan, yaitu *Gigaspora* sp. dan *Acaulospora* sp. (Tabel 1). Kedua jenis tersebut diambil di bawah vegetasi *Fimbristylis annua*, Keragaman jenis FMA bertambah sejalan dengan bertambahnya umur areal pasca penimbunan setelah dilakukan penimbunan tanpa *top soil*, yang ditunjukkan dengan munculnya jenis *Glomus* sp. pada umur areal delapan tahun pasca penimbunan. Ketiganya diambil di bawah vegetasi yang sama dengan umur 0 tahun pasca penimbunan, yang juga mendominasi di areal tersebut. FMA yang ditemukan pada umur areal berikutnya, diambil di bawah vegetasi *Imperata cylindrica*. Pada umur areal sepuluh tahun pasca penimbunan, FMA yang ditemukan diambil di bawah vegetasi *Cyperus rotundus*.

Paspalum vaginatum merupakan tanaman inang bagi FMA yang ditemukan pada umur lahan sembilan belas tahun pasca penimbunan (Tabel 2).

Apabila dihubungkan dengan syarat hidup sebagai tipe fungi yang membutuhkan inang untuk melangsungkan hidupnya, maka keberadaan FMA di lokasi *backfilling* diduga berasal dari luar lokasi yang bersimbiosis dengan vegetasi yang ada di lokasi nol tahun pasca penimbunan. Posisi areal yang terletak jauh di bawah permukaan tanah areal sebelumnya,

tidak memungkinkan FMA untuk dapat bertahan hidup, sehingga besar kemungkinan eksistensi FMA merupakan translokasi dari tempat lain. Ukuran spora yang menyerupai partikel lempung pada tanah menyebabkan FMA dapat terbawa air ketika terjadi aliran permukaan (Hetrich, 1984). Menurut Janos (1980), FMA memproduksi spora (0,03-0,45 mm) di bawah permukaan tanah atau di dalam seresah namun penyebarannya tidak disebabkan oleh angin (Gerdemann dan Trappe, 1974).



Gambar (Figure) 1. Morfotipe fungi mikoriza arbuskula pada timbunan tanpa *top soil* di areal bekas tambang batubara PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatra Selatan. (a) Jenis *Gigaspora* sp., yang dicirikan dengan bentuknya yang bulat, bening, terdapat bulbos suspensor, permukaan halus, bereaksi dengan larutan *Melzer's* (perbesaran 200x); (b) Jenis *Acaulospora* sp., yang dicirikan dengan bentuknya yang bulat, berwarna coklat kekuningan, permukaan kasar (berornamen seperti kulit jeruk), bereaksi dengan larutan *Melzer's* (perbesaran 200x); (c) Jenis *Glomus* sp., yang dicirikan dengan bentuknya yang bulat, berwarna coklat tua, bersubtending hifa, permukaannya halus, tidak bereaksi dengan larutan *Melzer's* (perbesaran 200x). (*Morphotype of AMF on backfill without top soil of post coal mining area of PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, South Sumatera. (a) Gigaspora sp. characterized by its round shape, hyaline, the presence of bulbos, suspensor, smooth surface, and positive reaction to Melzer's (200x magnification); (b) Acaulospora sp. characterized by its round shape, brown to yellow color, rough surface (orange-like fruit bark), , and negative reaction to Melzer's (200x magnification); (c) Glomus sp. characterized by its round form, smooth surface, dark brown color, subtending hyphae type and negative reaction to Melzer's (200x magnification)*)

Tabel (Table) 1. Suksesi fungi mikoriza arbuskula pada timbunan non *top soil* di areal bekas tambang batubara PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan (*Various spesies of arbuscular mycorrhizal fungi found on backfill without top soil in ex coal mining area of PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, South Sumatra*)

Jenis FMA (AMF Types)	Tipe areal menurut umur pasca penimbunan (<i>Backfill area without top soil based on backfilling age</i>)				
	Galian PIT I Barat (0 tahun/year)	Klawas Tengah Utara (8 tahun/year)	Spreader 702 (9 tahun/year)	Timbunan PIT I Barat (10 tahun/year)	Spreader 701 (19 tahun/year)
<i>Gigaspora</i> sp.	+	+	+	+	+
<i>Acaulospora</i> sp.	+	+	+	+	+
<i>Glomus</i> sp.	-	+	+	+	+

Keterangan (Note) : + :FMA Ada (AMF Present), - : FMA Tidak ada (AMF Not present)

Tabel (Table) 2. Vegetasi dan fungi mikoriza arbuskula yang ditemukan pada timbunan non *top soil* di areal bekas tambang batubara PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan (*Vegetation and species of arbuscular mycorrhizal fungi found on backfill without top soil in ex coal mining area of PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, South Sumatra*)

Umur lahan tambang pasca penimbunan (tahun) (Year after <i>backfilling</i>)	Vegetasi dominan (Dominant vegetation)	Jenis FMA (AMF Types)
0	<i>Fimbristylis annua</i>	<i>Gigaspora</i> sp. <i>Acaulospora</i> sp.
8	<i>Fimbristylis annua</i>	<i>Gigaspora</i> sp. <i>Acaulospora</i> sp. <i>Glomus</i> sp.
9	<i>Imperata cylindrica</i>	<i>Gigaspora</i> sp. <i>Acaulospora</i> sp. <i>Glomus</i> sp.
10	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Gigaspora</i> sp. <i>Acaulospora</i> sp. <i>Glomus</i> sp.
19	<i>Paspalum vaginatum</i>	<i>Gigaspora</i> sp. <i>Acaulospora</i> sp. <i>Glomus</i> sp.

Tabel (Table) 3. Jumlah spora FMA per 100 g tanah di areal pasca penimbunan tanpa *top soil* di areal bekas tambang batubara PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan (*The number of FMA spores per 100 g soil in each age of no top soil backfill area type of post coal mining area PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, South Sumatera*)

Umur areal setelah penimbunan (Area age after <i>backfilling</i>) (Tahun/ Year)	Jenis FMA (FMA Types)			
	<i>Gigaspora</i> sp.	<i>Acaulospora</i> sp.	<i>Glomus</i> sp.	Total spora
0	13	51	0	64
8	30	42	4	76
9	3	4	1	8
10	13	10	4	27
19	13	25	56	94

B. Perkembangan Jenis Fungi Mikoriza Arbuskular

Secara umum, terjadi dinamika perkembangan jenis FMA pada timbunan bukan *top soil* di areal bekas tambang batubara. Sporulasi yang terjadi pada tiap jenis FMA mengakibatkan peningkatan jumlah total spora pada umur areal delapan tahun pasca penimbunan, kemudian menurun hingga umur areal sembilan tahun pasca penimbunan, namun kembali meningkat pada umur areal sepuluh tahun pasca penimbunan dan menunjukkan per-

kembangan yang lebih bervariasi (Tabel 3).

Dinamika perkembangan jenis fungi mikoriza arbuskula juga ditunjukkan dengan adanya pergeseran jenis yang mendominasi di tiap umur areal pasca penimbunan tanpa *top soil*. Jenis *Acaulospora* sp. ditemukan lebih banyak daripada *Gigaspora* sp. Pada areal dengan nol tahun penimbunan. Menurut Brundrett *et al.* (1996), *Acaulospora* sp. merupakan jenis FMA yang biasanya ditemukan mendominasi di areal-areal bekas tambang. *Acaulospora* sp. mendomi-

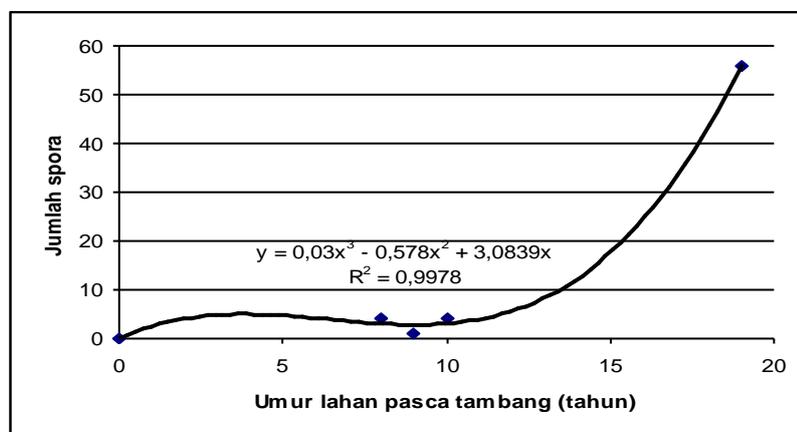
nasi pada kolonisasi awal, *Gigaspora* sp. pada umur sepuluh tahun pasca penimbunan, sedangkan *Glomus* sp. mendominasi pada umur sembilan belas tahun pasca penimbunan. Berjalannya waktu dan bertambahnya umur areal pasca penimbunan, terjadi perubahan karakteristik fisik lingkungan yang menciptakan kondisi tertentu yang mempengaruhi jumlah dan ragam jenis spora yang muncul.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan hubungan fungsional, maka tidak ditemukan hubungan antara jumlah spora seluruh fungi mikoriza arbuskula yang ditemukan dengan umur areal pasca penimbunan ($r^2 = 49,61\%$). Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak terjadi perkembangan FMA yang optimal di tiap umur areal pasca penimbunan tanpa *top soil* di areal bekas tambang batubara. Perkembangan FMA yang tidak konsisten diduga disebabkan oleh kondisi lingkungan yang heterogen pada areal pasca penimbunan yang mengalami penimbunan tanah bukan *top soil*. Pada kondisi areal yang demikian, beberapa sifat tanah juga mengalami perkembangan yang tidak konsisten dengan berjalannya waktu, sehingga pemulihan areal pasca penimbunan menjadi terhambat. Allen dan Allen (1980) menduga bahwa tingkat suksesi tanaman pada areal terdegradasi tergantung pada FMA yang meningkat

sejalan dengan waktu. Jika FMA menurunkan kegiatan organisme fasilitator, maka proses di awal suksesi membutuhkan waktu yang panjang (Pfleger *et al.*, 1996).

Kondisi aktual areal bekas tambang batubara tanpa *top soil*, menunjukkan bahwa manusia mempunyai peran yang mempengaruhi proses suksesi di areal bekas tambang batubara, yang dapat diindikasikan dengan perkembangan FMA (Janos, 1992). Menurut Safir dan Duniway (1982), eksistensi FMA terbentuk ketika mikrobia tersebut mengambil peran dalam membantu ketidakmampuan akar secara fisik dan kimia, untuk mendapatkan nutrisi dari tanah. Kinerja FMA tersebut berlangsung dalam dinamika perkembangan FMA, yang secara individu mempunyai karakteristik yang khas terhadap perubahan-perubahan yang terjadi di lingkungan akibat penimbunan tanpa *top soil*.

Hanya *Glomus* sp. yang mampu menunjukkan eksistensinya dan berkembang di lingkungan yang terbentuk akibat penimbunan tanpa *top soil* di areal bekas tambang batubara, dibandingkan dua jenis FMA lainnya (Gambar 2). Hal ini diindikasikan dengan adanya hubungan positif antara perkembangan *Glomus* sp. dengan umur areal pasca penimbunan ($r^2 = 99,78\%$). *Acaulospora* sp. kurang menunjukkan perkembangan sejak penimbunan



Gambar (Figure) 2. Hubungan pertumbuhan populasi *Glomus* sp. dengan umur timbunan tanpa *top soil* di areal terbuka bekas tambang batubara PT. Bukit Asam, Sumatra Selatan (Correlation between *Glomus* sp. population and age of backfill in open area post coal mining of PT. Bukit Asam, South Sumatera)

dilakukan, yang ditunjukkan dengan nilai hubungan yang rendah ($r^2 = 55,30\%$). Sementara itu, *Gigaspora* sp. tidak menunjukkan adanya hubungan antara bertambahnya umur areal pasca penimbunan ($r^2 = 1,46\%$) dengan eksistensinya yang mengindikasikan bahwa jenis tersebut tidak berkembang dalam kurun waktu sembilan belas tahun pasca penimbunan tanpa *top soil* di areal bekas tambang batubara. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan penimbunan bukan *top soil* di areal bekas tambang batubara tidak menciptakan kondisi lingkungan yang mampu memfasilitasi perkembangan kedua FMA. Dominasi vegetasi inang yang ditemukan, yaitu *Paspalum vaginatum*, diduga kurang mendukung perkembangan *Acaulospora* sp. dan *Gigaspora* sp. di areal umur tersebut. Mosse (1973) menyebutkan bahwa jamur mikoriza arbuskula tidak mempunyai inang yang spesifik, namun jenis tertentu dapat lebih merangsang pertumbuhan jenis tanaman tertentu atau dengan kata lain tingkat efektifitas satu jenis jamur pembentuk FMA berbeda-beda terhadap jenis tanaman.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Fresquez *et al.* (1986) menunjukkan bahwa sebelum dilakukan penimbunan dengan menggunakan *top soil*, keragaman fungi pada areal tanpa *top soil* rendah. Hal ini diduga terjadi karena menurunnya aktivitas enzim yang menurunkan perputaran nutrisi normal dan dekomposisi, sehingga proses perkembangan komunitas mikrobial tanah menjadi lambat dibandingkan sebelum gangguan pada areal tersebut. Pada areal yang tak terganggu dan pengelolaan pasca penimbunan batubara yang menggunakan tanah bukan *top soil* terdapat populasi bakteri, pengoksidasi ammonia dan *Streptomyces* yang hampir sama, namun setelah ditimbun menggunakan *top soil* pada tahun keempat, areal memiliki keragaman fungi yang lebih tinggi delapan tahun kemudian.

Kondisi lingkungan yang lebih baik akan muncul apabila areal pasca penam-

banan dikelola dengan upaya rekonstruksi tanah, yang meliputi rekonstruksi areal dan pengelolaan *top soil*. Menurut Rahmawaty (2002), areal yang belum rata harus terlebih dahulu ditata dengan penimbunan kembali (*backfilling*) dengan memperhatikan jenis dan asal bahan timbunan, ketebalan dan ada tidaknya sistem aliran air (*drainase*) yang kemungkinan terganggu. Pengembalian bahan galian ke asalnya diupayakan mendekati keadaan aslinya. Ketebalan *sub soil* berkisar 70-120 cm yang dilanjutkan dengan redistribusi *top soil* dan revegetasi dilakukan dengan pemilihan jenis yang sesuai dengan kondisi setempat dan cepat tumbuh. Oleh karena itu, maka sebaiknya material bukan *top soil* tidak digunakan dalam upaya pemulihan areal bekas tambang batubara. Namun jika pemulihan areal pasca penimbunan batubara dilakukan dengan penimbunan menggunakan tanah bukan *top soil* karena keterbatasan ketersediaan *top soil*, maka diperlukan intervensi yang sesuai dengan kondisi tersebut. Intervensi tersebut diharapkan dapat mengendalikan kondisi areal bekas tambang batubara yang sangat heterogen pasca penimbunan bukan *top soil*, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman revegetasi.

IV. KESIMPULAN

Jenis *Acaulospora* sp. dan *Gigaspora* sp. ditemukan di tiap umur areal reklamasi pasca tambang batubara, sedangkan jenis *Glomus* sp. mulai ditemukan di areal reklamasi delapan tahun pasca tambang. Terjadi dinamika perkembangan spora, yaitu jenis *Acaulospora* sp. mendominasi pada tahun awal pasca reklamasi, *Gigaspora* sp. pada umur 10 tahun pasca reklamasi dan *Glomus* sp. lebih mendominasi di akhir tahun pasca reklamasi. Tidak ada hubungan antara jumlah spora seluruh FMA dengan umur areal pasca reklamasi ($r^2 = 49,61\%$) serta tidak ada indikasi perkembangan FMA yang optimal dengan bertambahnya umur areal

pasca penimbunan bukan *top soil* di areal bekas tambang batubara.

Jenis *Glomus* sp. mampu berkembang di lingkungan yang terbentuk dari lahan reklamasi bukan *top soil* di areal bekas tambang batubara, yang ditunjukkan dengan adanya hubungan antara perkembangan *Glomus* sp. dengan umur areal pasca penimbunan ($r^2 = 99,78\%$).

Jumlah individu tegakan vegetasi yang tumbuh pada areal reklamasi tanpa *top soil* di areal tambang mempengaruhi perkembangan jenis dan jumlah FMA ($r^2 = 91,11\%$). Perkembangan *Gigaspora* sp. dan *Glomus* sp. berhubungan dengan jumlah individu vegetasi yang terbentuk ($r^2=87,62\%$ dan $r^2=99,68\%$) sedangkan pertumbuhan *Gigaspora* sp., *Acaulospora* sp. dan *Glomus* sp. menunjukkan karakter yang khas dalam kolonisasi di berbagai kelas umur lahan rehabilitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, E. B. dan Allen, M. F. 1980. Natural re-establishment of vesicular-arbuscular mycorrhizae following stripmine reclamation in Wyoming. *Journal Appl. Ecol.* 17 : 139-147.
- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Groe, dan N. Malajczuk. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra. Australia.
- Castellano MA. and Molina R. 1989. Mycorrhizae. In : The container tree nursery Manual. eds: Landis TD, Tinus RW, McDonald SE, Barnett JP. Volume 5, Agriculture Handbook, 674, USDA. Washington, DC.
- Fresquez, P. R., Aldon, E. F., dan Lindemann, W. C. 1986. Microbial re-establishment and the diversity of fungal genera in reclaimed coal mine spoils and soils. *Reclamation and Revegetation Research.* 4 : 245-258.
- Gerdemann, J. W. dan Nicolson, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46 : 235-244.
- Gerdemann, J. W. dan Trappe, J. M. 1974. The endogonaceae in Pasific Northwest. *Mycologia Mem.* 5 : 1-76.
- Hetrich, B. A. D. 1984. Ecology of V A mycorrhizal fungi. In Bagyaraj, D. J. dan Powell, C. Ll. (eds). VA Mycorrhizae. CRC Press. Boca Rato. Florida.
- Janos, D. P. 1980. Mycorrhizae influence tropical sucesion. *Biotropica.* 12 : 56-64.
- Janos, D. P. 1992. Heterogenity and scale in tropical vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. In Read, D. J., Lewis, D. H., Fitter, A. H., and Alexander, I. J. 1992. Mycorrhizas in Ecosystems. University Press. Cambridge.
- Mosse, B. 1973. Mycorrhiza and soil phosphorous levels. [http : www.mining.state.co.us](http://www.mining.state.co.us). Diakses pada tanggal 12 September 2008.
- Munawar, A. 2006. Pemanfaatan sumberdaya biologis untuk pengendalian pasif air asam tambang : lahan basah buatan. [http : www.krlt.ugm.ac.id](http://www.krlt.ugm.ac.id). Diakses tanggal 19 Maret 2007.
- Pfleger, F. L., E. L. Steward, dan R. K. Noyd. 1996. Role of VAM fungi in mine land revegetation. In Pfleger, F. L. and Linderman, R. G. (eds). Mycorrhizae and Plant Health. APS Press. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota.
- Rahmawaty. 2002. Restorasi lahan bekas tambang berdasarkan kaidah ekologi. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Safir, G. R. dan Duniway, J. W. 1982. Evaluation of plant response to colonization by vesicular-arbuscular

- mycorrhizal fungi (environmental variables). *In* Schenck, N. C. (eds). *Method and Principles of Mycorrhizal Research*. APS Press. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota.
- Tallent-Halsell, N. G. (ed.). 1994. *Forest health monitoring, field methods* guide. U. S. Environmental Protection Agency. Washington, D. C.
- Trappe, J. M. dan Schenck, N. C. 1982. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (endogonales). *In* Schenck, N. C. *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. The American Phytopathology Society. St. Paul, Minnesota.