

KEBERADAAN FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA DI KAWASAN TAILING TAMBANG EMAS TIMIKA SEBAGAI UPAYA REHABILITASI LAHAN RAMAH LINGKUNGAN
(*The Presence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Tailings of Mining Gold Timika as An Attempt of Environmentally Friendly Land Rehabilitation*)

**Suharno^{1,2,*}, Retno Peni Sancayaningsih³, Endang Sutariningsih Soetarto⁴
dan Rina Sri Kasiamdari⁵**

¹Program Pascasarjana Biologi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara Yogyakarta.

²Jurusan Biologi, Fakultas MIPA Universitas Cenderawasih,
Jl. Kamp. Wolker, Uncen–Waena Jayapura. Kode Pos 99351.

³Laboratorium Ekologi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta.

⁴Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada
Sekip Utara, Yogyakarta.

⁵Laboratorium Taksonomi Tumbuhan, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada.
Sekip Utara, Yogyakarta.

*Penulis korespondensi. Telp./Fax. (0967) 572115. Email: harn774@yahoo.com.

Diterima: 2 Juni 2014

Disetujui: 31 Agustus 2014

Abstrak

Fungi mikoriza arbuskula (FMA) berperan penting dalam menunjang rehabilitasi lahan terdegradasi, termasuk lahan tailing. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keberadaan FMA lokal di lahan tailing tambang emas Timika – Papua, Indonesia. Metode yang digunakan adalah survei dengan mengisolasi FMA dari rhizosfer beberapa jenis tumbuhan dominan di kawasan daerah pengendapan pasir sisa tambang. Pengecatan akar untuk melihat infeksi oleh FMA dilakukan dengan *trypane blue*, sedangkan perhitungan persen infeksi dilakukan dengan *metode slide*. Keberadaan spora FMA dilakukan dengan metode *wet sieving*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat FMA di lahan tailing di kawasan pengendapan *Modified Ajkwa Deposition Area* (ModADA). Persentase infeksi tertinggi (>50%) diketahui pada jenis tumbuhan *Ficus adenosperma* (86,7%), *Brachiaria* sp (73,3%), *Amomum* sp (66,7%), *Bidens pilosa* (63,3%), dan *Musaenda frondosa* (56,7%), sedangkan beberapa jenis lain mempunyai persen infeksi yang lebih rendah. Jumlah spora pada rhizosfer tumbuhan *Brachiaria* sp., *F. adenosperma*, dan *Amomum* sp., merupakan yang tertinggi dibanding dengan tumbuhan lain yakni 17, 13, dan 11 spora per 10 g tanah.

Kata kunci: fungi mikoriza arbuskula, pasir sisa tambang, rehabilitasi, tailing, tambang emas.

Abstract

Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) has an important role in supporting the rehabilitation of degraded land such as tailings. The purpose of this research was to reveal the existence of indigenous AMF in tailing area of gold mine in Timika – Papua, Indonesia. The method was a survey by isolating some types of AMF from rhizosphere of dominant plant in the deposit area of mine sand residue. To define the AMF infected roots was conducted painting roots using trypane blue, where as the calculation of percent infection was carried out using slide methods. The presence of spores of AMF was done by wet sieving method. The results showed that AMF was found in tailings deposition on the Modified Ajkwa Deposition Area (ModADA). The highest percentage infections (>50%) was found under Ficus adenosperma (86.7%), Brachiaria sp (73.3%), Amomum sp (66.7%), Bidens pilosa (63.3%), and Musaenda frondosa (56.7%) rhizospheres, where as some other types of AMF have a lower infection percentage. The highest number of spores was found in rhizosphere of Brachiaria sp., F. adenosperma, and Amomum sp. which are 17, 13, and 11 spores per 10 g of soil respectively.

Keywords: arbuscular mycorrhiza fungi, gold mine, mine sand residue, rehabilitation, tailings.

PENDAHULUAN

Perubahan permukaan lahan di kawasan industri tambang menjadi masalah baru terhadap perubahan lingkungan. Lingkungan yang semula dilingkupi oleh berbagai jenis tumbuhan akan

berubah menjadi lahan yang jauh berbeda akibat aktivitas lahan yang dimanfaatkan untuk proses pengolahan dan pengaruh sisa (limbah) yang tidak dimanfaatkan (Herman, 2006). Pada lahan tambang aktif, pasir sisa tambang (*tailing*) dan bekas tambang sering dihadapkan pada masalah ekstrim,

baik secara fisik, kimiawi, maupun biologi (Herman, 2006; Suharno dan Sancayaningsih, 2013). Berdasarkan sifat fisik, seringkali ditemukan struktur tanah yang berpasir, dengan suhu permukaan tanah yang tinggi. Berdasarkan analisis kimiawi tanah, ditemukan beberapa unsur logam berat yang berlebihan dan pH tanah yang terlampau rendah atau tinggi, sedangkan unsur hara lain yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman kurang tersedia. Berdasarkan persyaratan biologi, kondisi tanah kurang memenuhi untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan karena rendahnya keragaman mikrobial tanah. Oleh karena itu, lahan seperti ini tergolong tidak subur (Prasetyo dkk., 2010; Suharno dan Sancayaningsih, 2013).

Luas lahan tailing hasil pengendapan aktivitas perusahaan pengolahan bijih logam di tambang emas Timika mencapai 23.000 hektar atau 230 km² (Anonim, 2007; Puradyatmika dan Prewitt, 2012), sedangkan di kawasan estuari mencapai sekitar 220 km² (Anonim, 2007). Setiap harinya, salah satu perusahaan tambang emas terbesar di dunia ini mampu mengolah sekitar 220.000–240.000 ton material dari hasil kegiatannya. Material yang mengandung konsentrat berupa emas, tembaga dan perak hanya sekitar 3%, sedangkan sisanya 97% berupa pasir sisa tambang dibuang dan tidak dimanfaatkan (Puradyatmika dan Prewitt, 2012).

Tailing dialirkan dari pusat produksi pengolahan di wilayah Grasberg pada ketinggian sekitar 2896 m dpl melalui sungai Otomona ke daerah pengendapan di Sungai Ajkwa, merupakan kawasan pengendapan Ajkwa yang telah dimodifikasi (*Modified Ajkwa Deposition Area/ModADA*). Proses pengendapan diakibatkan oleh gaya gravitasi dari dataran tinggi ke kawasan dataran rendah. Hal ini berpengaruh terhadap distribusi ukuran partikel tailing di daerah pengendapan. Ukuran partikel secara fisik bervariasi dari pasir kasar, medium, halus hingga sangat halus (Anonim, 2007). Menurut Puradyatmika dan Prewitt (2012) perusahaan emas ini membagi ukuran partikel tailing dalam 4 kelompok, yakni kasar (>175 µm), medium (175–150 µm), halus (38–75 µm), dan sangat halus (< 38 µm). Keberadaan ukuran tailing di ModADA tergantung pada ukuran partikel tersebut. Partikel kasar akan mengendap di bagian hulu dan tengah, ukuran medium dan halus di daerah hilir, sedangkan tailing dengan ukuran sangat halus akan mengendap di daerah muara Sungai Ajkwa dan Laut Arafura.

Tanah dengan karakter seperti lahan tailing tidak dapat dimanfaatkan secara langsung untuk keperluan lahan pertanian, perkebunan atau sejenisnya (Prasetyo dkk., 2010). Pada lahan seperti ini, biasanya dijumpai beberapa jenis logam berat

di atas ambang batas sehingga dinilai membahayakan bagi kehidupan berbagai jenis organisme di lingkungan maupun manusia (Prasetyo dkk., 2010; Susintowati dan Hadisusanto, 2014). Stabilitasi lahan tercemar menjadi penting bagi seluruh komponen kehidupan di habitat tersebut (Susintowati dan Hadisusanto, 2014), sehingga rehabilitasi lahan menjadi hal yang utama. Untuk keperluan tersebut, diperlukan revegetasi dengan memanfaatkan jenis-jenis tumbuhan pioner seperti kelompok rumput-rumputan. Jenis tumbuhan dari kelompok Brassicaceae juga mampu berfungsi sebagai bioremediasi. Pada banyak kasus tumbuhan mampu berasosiasi dengan fungi seperti *Glomus intraradices* dalam menunjang proses rehabilitasi sekaligus remediasi lahan tercemar (Khan, 2005). Jenis-jenis tumbuhan lokal akan sangat membantu dan dapat meminimalisir perubahan ekosistem di lokasi setempat. Akan tetapi, pada kenyataannya beberapa jenis tumbuhan sulit untuk menyesuaikan diri akibat perubahan habitat yang drastis. Dalam kondisi seperti ini, peran mikroorganisme akan mendukung suksesnya revegetasi.

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) (*Phylum Glomeromycota*) sebagai mikroorganisme tanah mempunyai peran penting dalam suatu ekosistem, termasuk lahan marginal. Fungi mikoriza menjadi kunci dalam memfasilitasi penyerapan unsur hara oleh tumbuhan, peningkatan pertumbuhan dan hasil produk tanaman (Dodd, 2000; Smith dan Read, 2008; Upadhyaya dkk., 2010). Mikoriza meningkatkan pertumbuhan tanaman pada tingkat kesuburan tanah yang rendah, lahan terdegradasi dan hifa FMA membantu memperluas fungsi sistem perakaran dalam memperoleh nutrisi (Galii dkk., 1994; Garg dan Chandel, 2010). Secara khusus, fungi mikoriza berperan penting dalam meningkatkan penyerapan ion dengan tingkat mobilitas rendah, seperti ion fosfat (PO₄³⁻) dan amonium (NH₄⁺) (Suharno dan Santosa, 2005) dan unsur hara tanah yang relatif immobil lain seperti belerang (S), tembaga (Cu), seng (Zn), dan juga boron (B) (Smith dan Read, 2008). Mikoriza juga meningkatkan luas permukaan kontak dengan tanah, sehingga meningkatkan daerah penyerapan akar hingga 47 kali lipat, yang mempermudah melakukan akses terhadap unsur-unsur di dalam tanah. Mikoriza tidak hanya meningkatkan laju transfer nutrisi di akar tanaman inang, tetapi juga meningkatkan ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik (Smith dan Read, 2008). Selain itu, mikoriza juga membantu mempertahankan stabilitas pertumbuhan tanaman pada kondisi tercemar (Khan, 2005). Unsur-unsur logam berat seperti Hg, Pb, Cd, As dapat difasilitasi FMA untuk stabilisasi logam dalam proses remediasi sehingga

tidak membahayakan secara langsung di lingkungan (Khan, 2006; Suharno dan Sancayaningsih, 2013). Oleh karenanya, peran mikoriza dalam rehabilitasi lahan tailing menjadi sangat penting.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keberadaan FMA lokal di lahan tailing tambang emas di Mimika, Papua. Keberadaan FMA lokal dapat dimanfaatkan sebagai kajian dasar dalam mengetahui peran mikoriza dalam proses revegetasi lahan, meningkatkan pertumbuhan tanaman dan bermanfaat sebagai mikorizoremediasi. Target penemuan adanya FMA yang toleran terhadap kondisi tailing diharapkan mampu berperan dalam proses rehabilitasi lahan bekas tambang.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lahan tailing yang merupakan lokasi *Modified Ajkwa Deposition Area* (ModADA) tambang emas PT Freeport Indonesia (PTFI) di tanggul barat lama dan baru (*double levee*) Timika, Kabupaten Mimika, Papua (Gambar 1). Tanggul yang dibuat dari tailing setinggi 6 meter berada di sebelah barat dan timur sepanjang 20 km. Tanggul ini masih terus dibenahi hingga target ketinggian mencapai 8 m. Tanggul barat yang berbatasan dengan Kota Timika dibuat dua buah, yang lama membatasi kota dengan DAS Ajkwa, sedangkan tanggul baru membatasi perluasan pengendapan material dari sungai Otomona yang bermuara di Sungai Ajkwa. Selain itu, untuk menghindari kemungkinan resiko banjir di kota Timika dan mengembalikan aliran Sungai Ajkwa ke dalam jalur semula. Pada area tanggul ganda terdapat beberapa lokasi yang tertutup oleh vegetasi, baik akibat suksesi alami maupun reklamasi yang dilakukan oleh PTFI.

Sampel akar dan tanah diambil dari beberapa jenis tumbuhan dominan di lokasi penelitian. Tumbuhan yang diambil sampel akarnya adalah *Phragmites karka* Retz., *Musaenda frondosa* Linn., *Bidens pilosa* L., *Setaria* sp., *Amomum* sp., *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc., *Casuarina equisetifolia* L., *Ficus adenosperma* Miq., *Brachiaria* sp., dan *Saccharum spontaneum* L. Pengambilan sampel tanah dan akar tanaman dilakukan pada bulan April–Mei 2013. Analisis sampel tanah dan akar tanaman dilakukan di Laboratorium Taksonomi Tumbuhan, Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada.

Status Keberadaan dan Simbiosis FMA

Untuk mengetahui keberadaan mikoriza dilakukan dengan pengambilan sampel tanah dan akar tumbuhan. Sampel tanah diambil untuk

diisolasi sporanya, sedangkan akar tumbuhan digunakan untuk identifikasi infeksi FMA pada tumbuhan. Data infeksi FMA penting karena FMA bersifat simbiotik obligat dengan tumbuhan. Sampel akar tanaman diwarnai dengan metode pengecatan (Brundrett dkk., 1984). Cara perlakuan akar tumbuhan yakni dibersihkan dan difiksasi menggunakan larutan FAA (*formalin-asam asetat-alkohol*; v= 5 : 5 : 90) selama 1 jam, direndam dengan larutan KOH 10% selama 24 jam, dilanjutkan dengan HCl 1% selama 24 jam. Setelah dicuci dengan larutan aquades, akar diwarnai dengan pewarna (*staining*) *trypane blue* 0,05% dalam laktogliserol selama 24 jam. Akar yang telah diwarnai ini dapat diamati di bawah mikroskop atau dapat disimpan dengan larutan laktogliserol 50% hingga beberapa bulan. Pengecatan akar dapat pula dilakukan dengan berbagai jenis pewarna lain (Brundrett dkk., 1984; Vierheilig dkk., 2005).

Persentase Infeksi

Persentase infeksi akar oleh FMA dilakukan dengan metode slide (Giovannetti dan Mosse, 1980). Akar yang telah diwarnai dipotong–potong dengan panjang 1 cm, 30 potongan diamati secara mikroskopis (perbesaran 100 atau 400x). Dari pengamatan tersebut, keberadaan FMA akan nampak dengan adanya struktur pembentuk FMA di dalam akar yakni hifa eksternal, hifa internal, vesikula, arbuskula, atau spora. Untuk menghitung persentase infeksi mikoriza dilakukan dengan rumus:

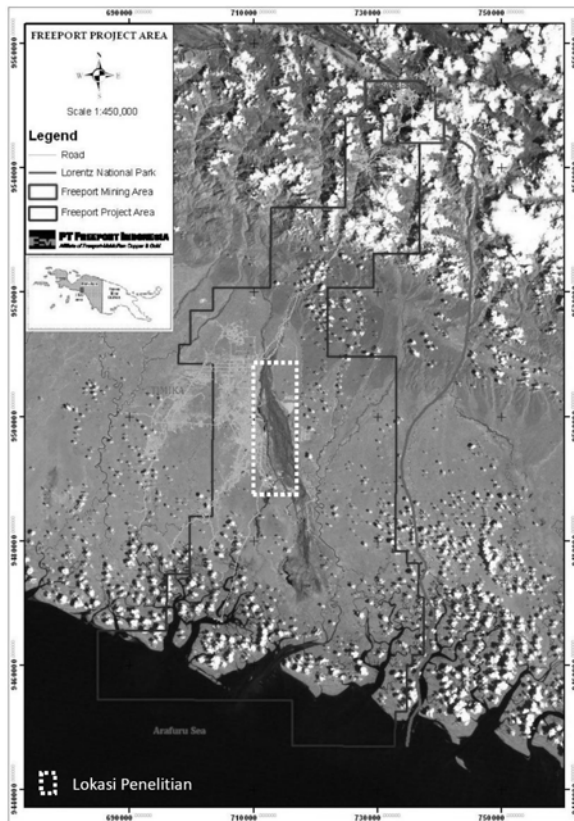
Persentase infeksi akar =

$$\frac{\text{Jumlah akar terinfeksi}}{\text{Jumlah seluruh akar yang diamati}} \times 100\% \quad (1)$$

Nilai persentase dapat diberi skor dengan skala antara 0–5 terhadap keberadaan mikoriza dalam sistem perakaran tumbuhan (Dodd dkk., 2001). *Skor 0* menunjukkan bahwa akar tanaman tidak terinfeksi oleh FMA (0%), *skor 1* jika keberadaan persentase infeksi menunjukkan <1%, *skor 2* jika persentase infeksi berkisar antara 1–10%, *skor 3* jika persentase infeksi antara 10–50%, *skor 4* jika persentase infeksi 50–90%, dan *skor 5* jika persentase infeksi >90%. Skor 3 menunjukkan infeksi cukup, sedangkan skor 4 infeksinya banyak.

Kebudayaan dan Jumlah Spora FMA

Kebudayaan spora FMA diketahui dengan cara mengamati sampel tanah yang berasal dari rizosfer akar tanaman. Metode yang digunakan adalah *wet sieving* (penyaringan basah), yakni menyaring spora dengan penyaring bertingkat dengan ukuran mesh masing–masing 500, 250, 105, dan 53µm (Brundrett dkk., 1984). Sampel tanah sebanyak 10 g disaring dengan bantuan air mengalir.



Gambar 1. Area kontrak kerja perusahaan tambang emas di Kabupaten Mimika, Papua (Sumber: Departemen Lingkungan PTFI tahun 2013). Lokasi pengambilan sampel di *double levee* daerah pengendapan ModADA.

Spora dengan ukuran antara 50–120 μm diharapkan akan tersaring pada mesh di bagian bawah dengan ukuran 53 μm . Spora selanjutnya dipindahkan pada kertas saring yang telah diberi garis vertikal dan horizontal dengan ukuran kotak 0,5 x 0,5cm untuk mempermudah pengamatan. Spora–spora ini diamati dan dihitung jumlahnya di bawah mikroskop dengan perbesaran 40x.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan status FMA di kawasan tailing ModADA menunjukkan indikasi infeksi FMA pada tumbuhan. Pada 10 jenis tanaman dominan diketahui terinfeksi fungi yang diduga adalah FMA (Tabel 1). Keberadaan FMA ditandai dengan keberadaan hifa internal, hifa eksternal, vesikula, arbuskula, atau spora internal di dalam sistem perakaran tumbuhan (Gambar 2). Tabel 1 menunjukkan bahwa jenis–jenis tumbuhan yang diamati mampu berasosiasi dengan FMA. Pada tumbuhan *P. karka* dan *S. spontaneum* status keberadaan FMA tergantung pada sampel akar yang diambil. Sampel yang diambil dari lokasi

Tabel 1. Status keberadaan infeksi FMA pada beberapa tumbuhan dominan di lahan tailing PTFI Timika di Papua.

Famili	Jenis tumbuhan	Status keberadaan FMA	
		Infeksi pada akar	Σ Spora (10 g tanah)
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	+	5
Asteraceae	<i>Wedelia trilobata</i> (L.) Hitche.	+	7
Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	+	5
Moraceae	<i>Ficus adenosperma</i> Miq	+	13
Poaceae	<i>Phragmites karka</i> Retz.	+ / -	3
Poaceae	<i>Setaria</i> sp	+	7
Poaceae	<i>Brachiaria</i> sp	+	17
Poaceae	<i>Saccharum spontaneum</i> L.	+ / -	4
Rubiaceae	<i>Musaenda frondosa</i> Linn.	+	6
Zingiberaceae	<i>Amomum</i> sp	+	11

Ket.: + ditemukan, dan +/- sebagian ditemukan.

tergenang air tidak ditemukan infeksi, sedangkan pada akar dari habitat tanah kering dijumpai infeksi fungi. Persentase infeksi FMA pada akar tumbuhan secara keseluruhan berkisar antara 23,33–86,67% (Tabel 2), termasuk kategori cukup–banyak. Menurut Dodd dkk. (2001) tingkat kolonisasi FMA berkaitan dengan peranan mikoriza terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman.

Tumbuhan inang (host) yang diambil sampelnya mewakili beberapa kelompok famili tumbuhan. Famili Poaceae diwakili oleh empat jenis tumbuhan yakni *P. karka*, *Setaria* sp., *Brachiaria* sp., dan *S. spontaneum*. Menurut Khan (2005) selain mampu tumbuh cepat, jenis–jenis dari Famili Poaceae merupakan jenis tumbuhan yang diketahui mampu bersimbiosis dengan FMA secara baik dan atas bantuan FMA dapat menyesuaikan diri dengan habitatnya. Beberapa jenis lain seperti *B. pilosa* dan *Wedelia* sp mewakili Famili Asteraceae (herba), *C. equisetifolia* (Famili Casuarinaceae), *F. adenosperma* (Famili Moraceae) keduanya merupakan jenis tumbuhan pohon berkayu, *M. frondosa* (Famili Rubiaceae) merupakan semak dan *Amomum* sp. berasal dari kelompok lengkuas–lengkuasan (Famili Zingiberaceae). Jenis–jenis tumbuhan ini mewakili sebagian besar jenis–jenis

Tabel 2. Persentase infeksi FMA pada akar tumbuhan di kawasan tailing.

Jenis tumbuhan	Σ akar	V	A	HI	HE	S	infeksi	% Infeksi
<i>B. pilosa</i>	30	14	1	14	0,5	1,5	19	63,33
<i>Wedelia sp</i>	30	9	1	13	-	2	13	43,33
<i>C. equisetifolia</i>	30	8	-	10	-	-	11	36,67
<i>F. adenosperma</i>	30	13,5	1	25	1,5	1	26	86,67
<i>P. karka</i>	30	4	-	8	1	-	8	26,67
<i>Setaria sp</i>	30	7	-	7	-	-	7	23,33
<i>Brachiaria sp</i>	30	15	2	22	-	-	22	73,33
<i>S. spontaneum</i>	30	2	-	7	-	-	7	23,33
<i>M. frondosa</i>	30	13	-	17	-	-	17	56,67
<i>Amomum sp</i>	30	20	2	20	1	2	20	66,67

Ket.: v= vesikula, A= arbuskula, HI= hifa internal, HE= hifa eksternal, dan S= spora interseluler. Data merupakan jumlah rerata dari 3 kali ulangan.

yang ada di lahan tailing dari berbagai kelompok tumbuhan.

Persentase infeksi akar tumbuhan oleh FMA sangat bervariasi. Beberapa jenis tumbuhan memiliki persentase infeksi tinggi di antaranya adalah *Amomum sp.*, *F. adenosperma*, *Brachiaria sp.*, dan *B. pilosa*. Pada tumbuhan *S. spontaneum* dan *P. karka* yang banyak tumbuh pada habitat lahan tergenang air mempunyai infeksi yang sangat kecil. Kedua jenis tumbuhan ini sangat dominan di lahan tailing. Tumbuhan lain, yakni *C. equisetifolia* juga mempunyai persentase infeksi yang kecil. Pengamatan ini menunjukkan bahwa setiap kelompok famili tertentu tidak mempengaruhi tinggi rendahnya persen infeksi pada akar tanaman. Tumbuhan *Brachiaria sp.*, *S. spontaneum* dan *P. karka* merupakan jenis-jenis yang termasuk dalam Familia Poaceae. Menurut Brundrett (1991), persentase infeksi pada akar tumbuhan berhubungan dengan sistem ekologi baik FMA maupun tumbuhan inang di habitatnya. Smith dan Read (2008) dan Utobo dkk. (2011) juga mengungkapkan bahwa struktur yang dihasilkan oleh FMA pada sistem perakaran tumbuhan sangat penting dalam simbiosis. Tiga komponen penting dalam sistem akar bermikoriza itu adalah perannya terhadap akar itu sendiri, hifa internal yang berhubungan dengan akar, dan hifa eksternal yang berhubungan dengan tanah.

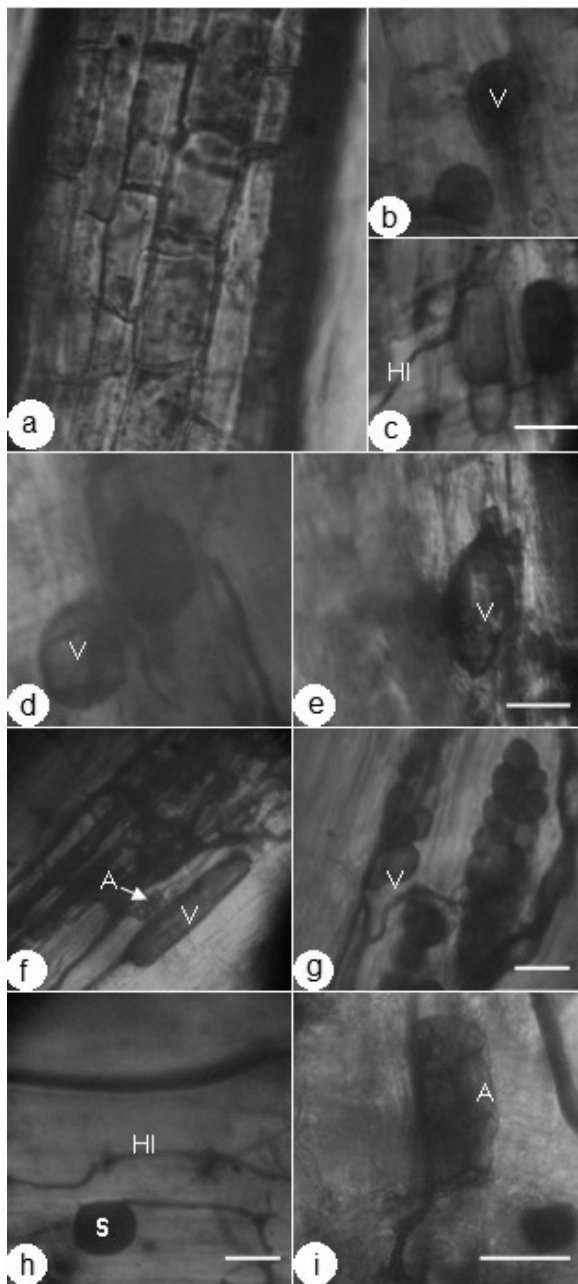
Pada hasil pengamatan, tidak semua akar nampak adanya spora internal di dalam sel akar tumbuhan (Gambar 2). Menurut Utobo dkk. (2011) memang tidak semua jenis FMA mampu membentuk struktur lengkap di dalam sel akar. Beberapa jenis FMA mungkin dapat membentuk spora internal, namun jenis lain tidak. Demikian pula dengan vesikula yang dianggap sebagai struktur penyimpan cadangan makanan, dan percabangan hifa pembentuk *sel auxiliary* di dalam tanah. Menurut Brundrett (1991) serta Smith dan Read (2008) struktur terpenting dalam sistem simbiosis dengan akar tumbuhan adalah arbuskula di dalam akar. Arbuskula merupakan struktur yang

dibentuk oleh hifa internal dan menghubungkan fungsi dengan sel korteks akar. Struktur inilah yang berperan dalam lalu lintas unsur hara dari fungsi ke tumbuhan maupun sebaliknya.

Ukuran infeksi, perkembangan hifa eksternal, dan produksi spora tergantung pada kondisi lingkungan pada suatu kawasan. Menurut Cuenca dan Lovera (2010) ketika terjadi musim kemarau, kecenderungan fungsi akan membentuk spora dan sebaliknya pada musim hujan pengembangan hifa/miselium akan lebih intensif walaupun secara statistik tidak signifikan. Spora terkonsentrasi pada lapisan atas dari tanah, dan berkurang secara signifikan di lapisan terdalam dari profil tanah. Kondisi ini dihubungkan dengan distribusi sistem perakaran dan ketersediaan sumber karbon di habitatnya.

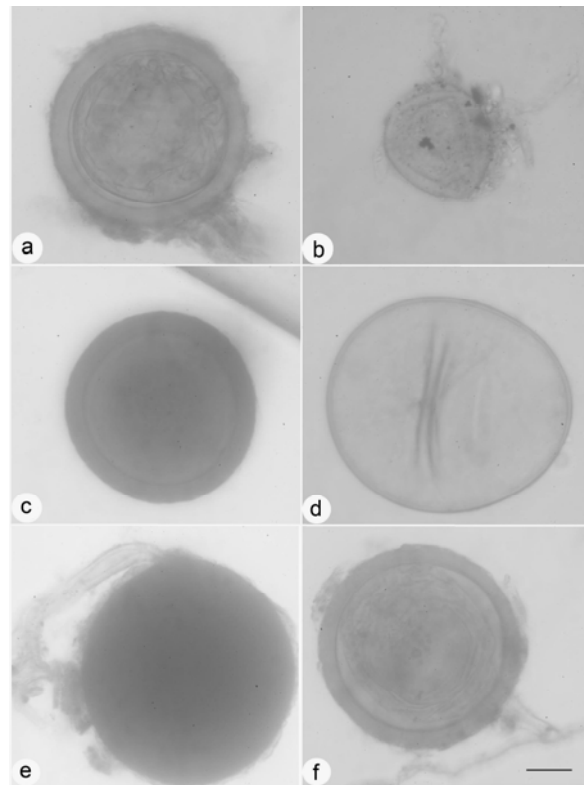
Jumlah spora FMA hasil pada rizosfer akar tumbuhan di lahan tailing bervariasi antara 3–17 spora per 10 g sampel tanah. Jenis tumbuhan *Brachiaria sp* ditemukan jumlah spora yang tertinggi dibandingkan dengan jenis lainnya, yakni 17 spora disusul oleh jenis *F. adenosperma* (13 spora), dan *Amomum sp* (11 spora).

Jenis-jenis tumbuhan lain ditemukan kurang dari 10 spora per 10 g tanah, dan yang paling sedikit adalah dari jenis *P. karka* dan *S. officinarum*. Beberapa spora menunjukkan morfotipe jenis yang berbeda-beda (Gambar 3). Berdasarkan atas morfologi spora, diperkirakan terdapat jenis-jenis FMA dari kelompok genus *Gigaspora* (Gambar 3a), *Acaulospora* (Gambar 3b, 3c), *Gigaspora* (Gambar 3d), *Glomus* (Gambar 3e), *Archaeospora* (Gambar 3f), dan *Scutellospora*. Menurut Zhang dkk. (2012) dan Al-Yahya'ei dkk. (2012) keberadaan FMA pada suatu habitat tertentu dapat ditemukan morfospesies yang berbeda-beda. Bahkan pada suatu habitat dapat ditemukan jenis FMA yang mungkin tidak dapat ditemukan pada lokasi lain. Brundrett (1991) mengemukakan bahwa keragaman jenis FMA berbeda-beda untuk suatu habitat. Hal ini berkaitan dengan FMA yang



Gambar 2. Bentuk struktur FMA di dalam sistem perakaran tumbuhan. a. akar tumbuhan *P. karka* yang tidak terinfeksi, a-c. struktur vesikula dan hifa internal pada akar *P. karka.*, d-f. akar *F. Adenosperma.*, g-h. *Brachiaria* sp., dan i. *Amomum* sp. Ket.: HI= hifa internal, HE= hifa eksternal, S= spora internal, A= arbuskula, dan V= vesikula. Skala bar (-): 50 μ m.

mampu berkembang pada kondisi lingkungannya dan kemampuan fungi dalam membentuk simbiosis dengan berbagai jenis tumbuhan di sekitarnya. Tawaraya dkk. (2003) mengamati FMA di Kalimantan yang mampu berkembang dan berasosiasi dengan tanaman khas lahan gambut, sedangkan Beena dkk. (2001) mengungkapkan bahwa beberapa peneliti juga telah mengungkapkan

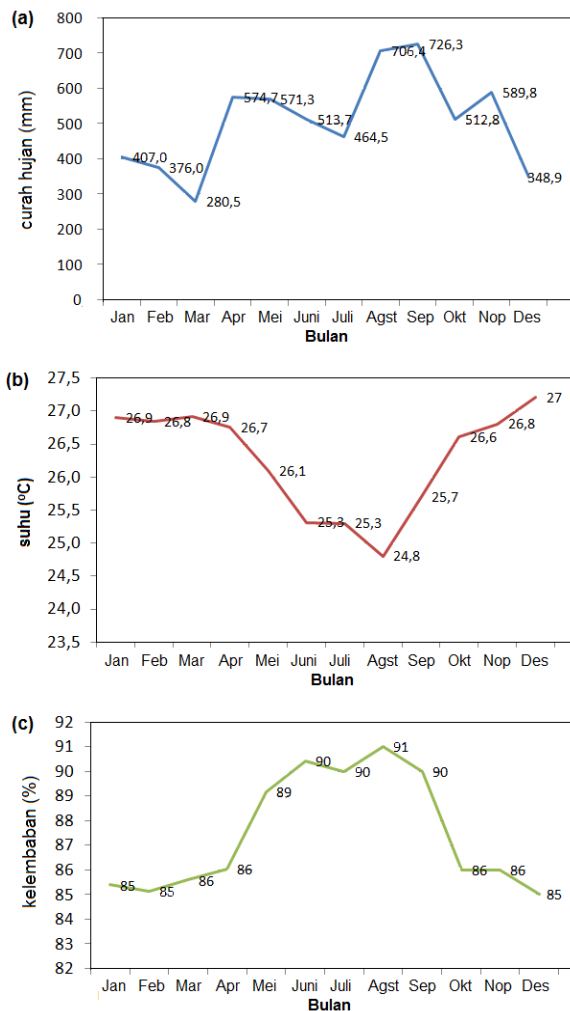


Gambar 3. Beberapa morfospesies spora FMA yang diisolasi dari rizosfer tumbuhan di kawasan tailing. a-b. FMA dari rizosfer tumbuhan *P. karka*, c. dari rizosfer *B. pilosa.*, d. dari rizosfer *M. frondosa.*, e. dari rizosfer *F. adenosperma.*, dan f. dari rizosfer tumbuhan *C. equisetifolia.* Skala bar (-): 25 μ m.

hasil kajian pada lahan kering seperti padang pasir, gump pasir dan pesisir pantai. FMA mampu berkembang di kawasan ini. Al-Yahya'ei dkk. (2011) menemukan 25 morfospesies FMA di lahan padang pasir di lingkungan perkebunan Kurma, Arabia Selatan, beberapa di antaranya belum dapat teridentifikasi. Zhang dkk. (2012) juga mengamati dinamika FMA yang berasosiasi dengan tanaman khas ekosistem padang pasir di Gurbantunggut, Xinjiang, China.

Data iklim di Timika menunjukkan bahwa curah hujan di kawasan ini cukup tinggi antara 280,5–726,3 mm/bulan (Gambar 4). Nilai ini didukung dengan hari hujan yang terus menerus sepanjang tahun. Setiap bulan terjadi setidaknya 24 hari hujan bahkan mencapai 31 hari hujan yang artinya bahwa setiap hari bisa terjadi hujan Curah hujan bulanan terendah terjadi pada bulan Desember–Maret, sedangkan tertinggi pada bulan April–Nopember. Pada kajian yang dilakukan oleh Cuenca dan Lovera (2010) curah hujan yang tinggi berpengaruh terhadap penurunan jumlah spora yang di hasilkan oleh hifa FMA.

Suhu rerata di kawasan ini antara 24,8–27,0 °C,



Gambar 4. Kondisi iklim secara umum di Kota Timika sepanjang tahun 2012. (a). curah hujan, (b). suhu, dan (c). kelembaban. (Sumber: BMKG Mimika, Papua).

sedangkan kelembaban udara antara 85–91%. Dari Gambar 4 nampak bahwa semakin tinggi suhu maka semakin rendah kelembabannya, demikian pula sebaliknya. Penurunan atau kenaikan suhu rata-rata dan kelembaban di daerah ini tidaklah terlalu besar pada tahun 2012. Hal ini terjadi akibat curah hujan yang terjadi hampir pada setiap hari. Menurut Cuenca dan Lovera (2010) perubahan cuaca yang kecil sepanjang tahun tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pertumbuhan hifa FMA, walaupun terjadi fluktuasi yang beragam. Fungi akan membentuk spora jika kondisi lingkungan tidak sesuai untuk pertumbuhan.

Sehubungan dengan peran FMA dalam revegetasi, Quoreshi (2010) memberikan gambaran umum mengenai bagaimana peran mikoriza dan mikrobia dalam proses reklamasi dan remediasi lahan–lahan terganggu. Lebih lanjut, menurut Khan (2005) mikrobia berperan penting dalam proses

reklamasi dan remediasi lahan–lahan marginal baik yang terjadi secara alami maupun dari pengaruh berbagai kegiatan manusia. Hubungan simbiosis antara mikrobia dan tanaman serta interaksinya di rhizosfer penting dalam menentukan tingkat produktivitas tanaman dan kesuburan tanah. Apalagi saat ini telah diketahui bahwa hubungan antara jaringan FMA dan aktivitas mikrobia lain dalam suatu ekosistem tanah merupakan masalah utama pada sebagian besar tanah yang diketahui mengalami berbagai gangguan.

Pada lahan bekas tambang khususnya areal reklamasi walaupun tergolong marginal diketahui terdapat FMA. Jenis FMA ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber inokulum untuk rehabilitasi lahan bekas tambang. Hal ini karena FMA merupakan komponen esensial yang dibutuhkan untuk membantu meningkatkan daya hidup dan pertumbuhan tanaman, khususnya pada lokasi pasca tambang (Setiadi dan Setiawan, 2011). FMA dapat membantu proses revegetasi dengan meningkatkan daya larut mineral, meningkatkan penyerapan nutrisi, mengikat partikel tanah menjadi agregat yang stabil dan meningkatkan toleransi terhadap kekeringan dan keracunan logam (Setiadi, 2012).

Jenis–jenis FMA yang telah diketahui secara pasti dan mampu menyesuaikan habitat lahan tailing akan mampu berperan dalam proses rehabilitasi lahan (Khan, 2006; Setiadi & Setiawan, 2011). Akan tetapi, untuk dapat mengidentifikasi FMA hingga tingkat jenis diperlukan tenaga, waktu dan biaya yang tidak sedikit. Sampai saat ini metode yang dianggap tepat digunakan untuk identifikasi tingkat jenis adalah dengan teknik molekuler (Tae dkk., 2002; Reddy dkk., 2005; Redecker dan Raab, 2006; Young, 2012).

Jenis–jenis FMA ini sangat penting dalam proses revegetasi lahan tailing karena toleran terhadap kondisi yang tepat dan sesuai dengan peruntukannya (Prasetyo dkk., 2010; Suharno dan Sancayaningsih, 2013). Kondisi lahan tailing biasanya mempunyai jenis tanah berpasir dengan unsur hara yang rendah, suhu permukaan tinggi dan terkandung bahan pencemar. Kondisi ini, menurut Khan (2006) peran FMA sangat penting. Suharno dan Sancayaningsih (2013) mengungkapkan bahwa beberapa jenis FMA yang sering dimanfaatkan dalam proses revegetasi lahan tambang diantaranya adalah *Glomus mosseae*, *G. intraradices*, dan *G. caledonium*. Jenis FMA ini mampu berkontribusi besar terhadap ketahanan dan peningkatan pertumbuhan tanaman dalam usaha rehabilitasi lahan tambang. Usaha penemuan dan uji coba jenis–jenis lain masih banyak dikembangkan oleh berbagai kalangan.

Berkaitan dengan usaha rehabilitasi lahan yang ramah lingkungan, pemanfaatan dan pendayagunaan organisme, baik tumbuhan sebagai fitoremediasi dan proses reklamasi lahan menjadi sangat penting (Khan, 2006). Dengan daya dukung FMA sebagai mikroorganisme yang multi fungsi terhadap pertumbuhan tanaman, pada kondisi marginal berpengaruh besar terhadap daya hidup tumbuhan (Smith dan Read, 2008). Oleh karena itu, upaya penemuan jenis FMA dan prospek pemanfaatan FMA lokal dinilai lebih ramah lingkungan dibanding dengan cara lain (Khan, 2006; Suharno dan Sancayaningsih, 2013). Proses ini tentunya melalui tahapan panjang, mulai dari isolasi jenis FMA, pemilihan jenis unggul, uji kompatibilitas terhadap tumbuhan, perbanyakkan dan pemanfaatannya di lapangan (Upadhyaya dkk., 2010; Ijdo, 2011).

KESIMPULAN

Pada kawasan tailing (pasir sisa tambang) di tambang emas Timika terdapat fungi mikoriza arbuskula, khususnya daerah pengendapan *Modified Ajkwa Deposition Area* (ModADA). Hal ini diketahui dari adanya struktur yang dibentuk FMA di akar dan ditemukannya spora di daerah rizosfer tumbuhan. Persentase infeksi FMA pada akar tumbuhan yang diketahui melalui keberadaan struktur vesikula, arbuskula, hifa internal dan spora internal sangat bervariasi. Persentase infeksi tertinggi diketahui pada jenis tumbuhan *Ficus adenosperma*, *Brachiaria* sp., *Amomum* sp. *Bidens pilosa*, dan *Musaenda frondosa*, sedangkan beberapa jenis lain mempunyai persentase infeksi yang lebih rendah. Jumlah spora pada rizosfer tumbuhan *Brachiaria* sp., *Ficus* sp., dan *Amomum* sp., merupakan yang tertinggi dibanding dengan tumbuhan lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan secara khusus kepada jajaran pimpinan dan staf Departemen Lingkungan PT. Freeport Indonesia (PTFI) di Timika, yang telah memberi dukungan fasilitas maupun tenaga selama dilakukan survey di lapangan. Kepada Bpk. Sunardi Ikey, di Laboratorium Silvikultur Semaeco-Biotrop Bogor kami sampaikan terima kasih atas bantuan teknis di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Yahya'ei, M.N., Oehl, F., Vallino, M., Lumini, E., Redecker, D., Wiemken, A., dan Bonfante, P. 2011. Unique Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities Uncovered in Date Palm Plantations and Surrounding Desert Habitats of Southern Arabia. *Mycorrhiza*. 21:195–209.
- Anonim., 2007. Laporan Pelaksanaan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan. Triwulan I, Tahun 2007. PT. Freeport Indonesia. Jakarta.
- Beena, K.R., Arun, A.B., Raviraja, N.S., dan Sridhar, K.R., 2001. Association of Arbuscular Mycorrhizal Fungi With Plants of Coastal Sand Dunes of West Coast of India. *Tropical Ecology*. 42(2):213–222.
- Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in Natural Ecosystem. *Advances in Ecological Research*. 21:171–313.
- Brundrett, M.C., Piche, Y., dan Peterson, R.L., 1984. A New Method for Observing the Morphology of Vesicular Arbuscular Mycorrhizae. *Can. J. Bot.* 62:2128–2134.
- Cuenca, G., dan Lovera, M., 2010. Seasonal Variation and Distribution at Different Soil Depths of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Spores in A Tropical Sclerophyllous Shrubland. *Botany*. 88:54–64.
- Dodd, J.C. 2000. The Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agro-and Natural Ecosystems. *Agriculture*. 29(1):63–70.
- Dodd, J.C., Clapp, J.P., dan Zhao, B., 2001. Fungi Arbuskular Mikoriza Terhadap Sistem Produktivitas Tumbuhan: Deteksi, Taksonomi, Konservasi dan Ekofisiologi. Laboratory of Agricultural Microbiology, Huazhong Agricultural University. China.
- Galii, U., Meier, M., dan Brunold, C., 1993. Effect of Cadmium On Non-Mycorrhizal And Mycorrhizal Fungus (*Laccasaria laccata* Scop.Ex.Fr) Bk and Br.: Sulphate Reduction, Thiols and Distribution of The Heavy Metal. *New Phytol.* 125:837–843.
- Garg, N dan Chandel, S., 2010. Arbuscular Mycorrhizal Networks: Process and Function. A Review. *Agron. Sustain. Dev.* 30:581–599.
- Giovannetti, M., dan Mosse, B., 1980. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular-Arbuscular Infection in Roots. *New Phytol.* 84:489–500.
- Herman, D.Z. 2006. Tinjauan Terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari Sisa Pengolahan Bijih Logam. *J. Geologi Indonesia*. 1(1):31–36.
- Ijdo, M., Cranenbrouck, S., dan Declerck, S., 2011. Methods for Large-Scale Production of AM Fungi: Past, Present, and Future. *Mycorrhiza*. 21:1–16.
- Khan, A.G., 2005. Role of Soil Microbes in Rhizospheres of Plants Growing on Trace Metal Contaminated Soils in Phytoremediation.

- Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 18:355–364.
- Khan, A.G., 2006. Mycorrhizoremediation—An Enhanced Form of Phytoremediation. *J Zhejiang Univ Science B*. 7(7):503–514.
- Prasetyo, B., Krisnayanti, B.D., Utomo, W.H., dan Anderson, C.W.N., 2010. Rehabilitation of Artisanal Mining Gold Land in West Lombok, Indonesia. 2. Arbuscular Mycorrhiza Status of Tailings and Surrounding Soils. *J. Agric. Sci.* 2(2):202–209.
- Puradyatmika, P., dan Prewitt, J.M., 2012. Tailings Reclamation Trials at PT. Freeport Indonesia in Mimika, Papua, Indonesia. *Proceeding of the Seventh International Conference on Mine Closure*. Brisbane, 25–27 September 2012.
- Quoreshi, A.M., 2008. The use of mycorrhizal biotechnology in restoration of disturbed ecosystem. In: Siddigui, Z.A., Akhtar, M.S., dan Futai, K. (Eds.), 2008. *Mycorrhiza: Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer, Science+Business Media B.V. pp: 303–320.
- Reddy, S.R., Pindi, P.K., dan Reddy, S.M., 2005. Molecular Methods for Research on Arbuscular Mycorrhizal Fungi in India: Problems and Prospects. *Current Science*. 89(10):1699–1709.
- Redecker, D., dan Raab, P., 2006. Phylogeny of the Glomeromycota (Arbuscular Mycorrhizal Fungi): Recent Developments and New Gene Markers. *Mycologia*. 98(6):885–895.
- Setiadi, Y., 2012. *Mengenal Fungsi Mikoriza Sebagai Penyokong Kehidupan Tanaman Pada Lahan-Lahan Marginal*. Post Mining Restoration Technical Notes, IUC IPB. Pelatihan Mikoriza. Bogor, 27–29 Juni 2012.
- Setiadi, Y., dan Setiawan, A., 2011. Studi Status Fungi Mikoriza Arbuskula Di Areal Rehabilitasi Pasca Penambangan Nikel (Studi Kasus PT. INCO Tbk. Sorowako, Sulawesi Selatan). *Jurnal Silvikultur Tropika*. 3(1):88–95.
- Smith, S.E., dan Read, D., 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Third Edition. Academic Press, Elsevier. New York.
- Suharno dan Sancayaningsih, R.P., 2013. Fungi Mikoriza Arbuskula: Potensi Teknologi Mikorizoremediasi Logam Berat Dalam Rehabilitasi Lahan Tambang. *Bioteknologi*. 10(1):31–42.
- Suharno dan Santosa, 2005. Pertumbuhan tanaman kedelai [*Glycine max* (L.) Merr] yang diinokulasi jamur mikoriza, legin dan penambahan seresah daun matoa (*Pometia pinnata* Forst) pada tanah berkapur. *Sains dan Sibernatika*. 18(3):367–378.
- Susintowati dan Hadisusanto, S., 2014. Bioakumulasi Merkuri dan Struktur Hepatopankreas pada *Terebralia sulcata* dan *Nerita argus* (Moluska: Gastropoda) di Kawasan Bekas Penggelondongan Emas, Muara Sungai Lampon, Banyuwangi, Jawa Timur. *J. Manusia dan Lingkungan*. 21(1):34–40.
- Tae, M.-S., Eom, A.-H., dan Lee, S.S., 2002. Sequence Analyses of PCR Amplified Partial SSU of Ribosomal DNA for Identifying Arbuscular Mycorrhizal Fungi In Plant Roots. *Microbiology*. 30(1):13–17.
- Tawaraya, K., Takaya, Y., Turjaman, M., Tuah, S.J., Limin, S.H., Tamai, Y., Cha, J.Y., Wagatsuma, T., dan Osaki, M., 2003. Arbuscular Mycorrhizal Colonization of Tree Species Grown in Peat Swamp Forests of Central Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and Management*. 182:381–386.
- Upadhyaya, H., Panda, S.K., Bhattacharjee, M.K., dan Dutta, S., 2010. Role Arbuscular Mycorrhiza in Heavy Metal Tolerance in Plants: Prospect for Phytoremediation. *Journal of Phytology*. 2(7):16–27.
- Utobo, E.B., Ogbodo, E.N., dan Nwogboga, A.C., 2011. Techniques for Extraction and Quantification of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Libyan Agric. Res. Cen. J. Intl.* 2(2):68–78.
- Vierheilig, H., Schweiger, P., dan Brundrett, M., 2005. An Overview of Methods for the Detection and Observation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Roots. *Physiologia Plantarum*. 125:393–404.
- Young, J.P.W., 2012. A Molecular Guide to the Taxonomy of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *New Phytologist*. 193:823–826.
- Zhang, T., Tian, C.Y., Sun, Y., Bai, D.S., dan Feng, G., 2012. Dynamics of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Desert Ephemeral Plants in Gurbantunggut Desert. *Journal of arid Land*. 4(1): 43–51.