



KETERGANTUNGAN SEMAI JOHAR (*Cassia siamea* LAMK) TERHADAP FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA MEDIA TAILING TAMBANG EMAS

(*The Dependence of Johar (Cassia siamea LAMK) Seedlings to Arbuscular Mycorrhiza Fungi on Gold Mine Tailings Media*)

Luluk Setyaningsih

Fakultas Kehutanan, Universitas Nusa Bangsa, Jl. Baru Km 4, Tanah Sareal, Bogor, 16162.
Indonesia

Informasi Artikel:

Submission : 26 Oktober 2023
Accepted : 20 November 2023
Publish : 21 November 2023

*Penulis Korespondensi:

Luluk Setyaningsih
Fakultas Kehutanan, Universitas Nusa
Bangsa, Jl. Baru Km 4, Tanah Sareal,
Bogor, 16162. Indonesia
e-mail: luluk.setya03@gmail.com
Telp: +62 812-1379-5053

Makila 17 (2) 2023: 238-250

DOI: 10.30598/makila.v17i2.11010

ABSTRACT

Tailings are the wastes resulting from mining activities in the amalgamation of mine ore from the ground, with extreme characteristics such as a sand-dominated texture, high Pb heavy metal content, very low availability of carbon and macro nutrients. Consequently, the plants may not able to grow well in the tailings. The application of Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF) is expected to increase the ability of forest plant seedlings to grow and develop in tailings media. The research was carried out in a greenhouse using johar (*Cassia siamea Lamk*) seedlings which were inoculated with AMF inoculum: *Glomus manihotis*, *Glomus etunicatum*, and mix inoculan (mycofer), and planted in tailings media collected from Pongkor gold mine for 8 weeks. Johar seedlings were able to grow in tailings media and AMF colonization to the seedlings was observed. The compatibility of multi-species inoculum, mycofer, is higher than single AMF inoculum. The height, diameter and biomass growth of johar seedlings in tailings media significantly ($p < 0.05$) increased with AMF inoculation. Johar seedlings have a high dependence on AMF, on tailings media, undicated by value of MIE > 50%, suggesting that the AMF application to johar is very necessary for revegetation activities in tailings media.

KEY WORDS: *Arbuscular Mycorrhiza Fungi, Johar, MIE, Tailing*

ABSTRAK

Tailing merupakan salah satu limbah hasil kegiatan pertambangan dalam amalgamasi bijih tambang dari tanah, dengan karakter yang ekstrim seperti tekstur didominasi pasir, kandungan logam berat Pb tinggi, ketersediaan karbon dan hara makro sangat rendah, sehingga tumbuhan tidak dapat tumbuh dengan baik pada tailing. Aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) diharapkan dapat meningkatkan kemampuan semai tanaman hutan untuk tumbuh dan berkembang pada media tailing. Penelitian dilakukan di rumah kaca menggunakan semai johar yang diinokulasi FMA: *Glomus manihotis*, *Glomus etunicatum*, dan inokulum multi jenis, mycofer, dan ditanam

pada media tailing asal tambang emas Pongkor selama 8 minggu. Semai johar dapat tumbuh pada media tailing dan dapat berkolonisasi dengan FMA. Kompatibilitas inokulum multi jenis, mycofer, lebih tinggi dibanding inokulum FMA tunggal. Pertumbuhan tinggi, diameter dan biomasa semai johar pada media tailing secara signifikan ($p < 0.05$) meningkat dengan inokulasi AMF. Semai johar mempunyai ketergantungan tinggi terhadap FMA, Mycorrhiza Infection Effect (MIE) > 50%, pada media tailing. Dengan demikian aplikasi AMF pada johar sangat diperlukan untuk kegiatan revegetasi pada media tailing.

KATA KUNCI: Fungi Mikoriza Arbuskula, Johar, MIE, Tailing

PENDAHULUAN

Tailing adalah bahan padat berupa butiran halus (biasanya berukuran 0,001-0,6 mm) yang tersisa dari hasil amalgamasi logam mulia dan mineral dari bijih tambang. Sifat bijih tambang dan metode pengolahan bahan tambang, berpengaruh terhadap sifat fisik dan kimia tailing (Australian Gov., 2016). Karakter tekstur dan strukturnya cukup ekstrim, begitu juga kandungan kimianya. Setyaningsih *et al.* (2020) melaporkan bahwa tailing hasil sisa penambangan emas di Pongkor, teksturnya didominasi pasir (50%), debu (33,7%) dengan liat hanya 16%, kandungan bahan organiknya sangat rendah (0,47%), pH netral (7,1), serta kandungan unsur hara makro (N, P, K) sangat rendah.

Kondisi yang ekstrim tersebut, menyebabkan kegiatan revegetasi pada area bertailing mempunyai tantangan besar. Perbaikan sifat kimia, biologi dan fisik tailing mutlak dilakukan guna memastikan tanaman hutan mampu tumbuh di atasnya. Pemilihan jenis tanaman revegetasi yang mampu beradaptasi dengan kondisi ekstrim, didukung aplikasi fungi simbiotik, dan peningkatan kandungan organik lahan, menjadi alternatif yang dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan keberhasilan revegetasi pada lahan bertailing.

Johar adalah salah satu pohon cepat tumbuh dari kelompok Leguminosae yang diketahui tumbuh di daerah kering tropika, dengan perakaran lapang, mempunyai biji yang bersifat ortodoks (Data Base Worldagroforestry, 2023). Johar seringkali ditanam sebagai tanaman tepi, atau sela atau dalam sistem agroforestri sebagai penabung tanaman perkebunan kopi, teh, kakao. Johar juga dilaporkan mampu memperbaiki tanah dengan menjadikan daunnya sebagai kompos, dan bersimbiosis dengan ektomikoriza (Orwa *et al.*, 2009). Pernah dilaporkan juga, johar ditanam di wilayah yang terdegradasi dan kering untuk rehabilitasi hutan dan dalam rangka reklamasi wilayah yang ditambang (Shyam Lal, 1991; Sandoval & Rondriguez, 2013). Dengan karakter johar tersebut, johar berpotensi digunakan sebagai tanaman rehabilitasi lahan pasca tambang, walaupun demikian kemampuan hidupnya pada lahan tailing perlu diinvestigasi.

Fungi mikoriza arbuskula (FMA) merupakan salah satu cendawan yang mampu membentuk simbiosis saling menguntungkan antara cendawan dengan akar tanaman, yang dapat meningkatkan kapasitas dalam menyerap unsur hara dan air (Brundrett *et al.*, 1996; Begum *et al.*, 2019). Terbukti bahwa inokulasi FMA dapat meningkatkan konsentrasi berbagai unsur hara makro dan unsur hara mikro secara signifikan, yang mengarah pada peningkatan produksi fotosintat dan karenanya meningkatkan akumulasi biomassa (Chen *et al.*, 2017). Jamur mikoriza arbuskula (FMA) dilaporkan mampu meningkatkan penyerapan P dan K pada tanah-tanah marginal, meningkatkan nilai Ca/Mg yang tidak seimbang (Amir *et al.*, 2021; Crossay *et al.*, 2019), meningkatkan pertumbuhan semai trembesi (Setyaningsih *et al.*, 2020), serta meningkatkan toleransi tanaman terhadap toksisitas logam (Khade & Adholeya, 2007; Crossay *et al.*, 2019).

Namun infektifitas dan efektifitas FMA sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman inang, jenis FMA dan lingkungan sehingga diduga akan berpengaruh pula terhadap pertumbuhan dan kemampuan remediasi tanaman inangnya. Oleh karenanya diperlukan suatu penelitian yang dapat memastikan adanya kompatibilitas antara FMA yang dijadikan target dengan tanaman yang direncanakan digunakan untuk kegiatan revegetasi pada lahan tailing. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui kompatibilitas FMA terhadap semai johar pada media tailing tambang emas.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Laboratorium Silvikultur Fakultas Kehutanan Universitas Nusa Bangsa, dan di Laboratorium Biotek Hutan Pusat Penelitian Sumberdaya Hayati dan Bioteknologi (PPSHB) IPB dalam waktu 5 bulan.

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah inoculum FMA multi jenis koleksi Laboratorium Biotek Hutan PPSHB IPB, mycofer (campuran *Glomus manihotis* INDO-1, *Glomus etunicatum* NPI 126, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora tuberculata* INDO-2), inoculum FMA tunggal hasil budidaya (*G. manihotis*, *G. etunicatum*), biji johar, zeolit, tailing tambang emas Pongkor, kompos, ethanol 50%, KOH 2.5%, HCL 10%, H₂O₂ 2.5%, glyserin 50%, Trypan blue 0.02%, PVLG, Melzer's reagen, aquades, bayclean.

Alat-alat yang digunakan diantaranya: mikroskop *dissecting*, mikroskop *stereo*, saringan spora 275 µm, 125 µm, dan 45 µm, pinset spora, cawan petri, gelas ukur, kaca objek dan *cover glass*, pipet, botol vial, scapel, gunting kecil, cawan petri, saringan dan gelas beker, timbangan analitik, gelas plastik, bak kecambah, label, polybag (15x20 cm), oven, *autoclave*, kamera, termometer suhu ruang, alat tulis.

Penyiapan Media

Terdapat 3 kombinasi media tanam yang digunakan, yaitu tailing murni (T0), tailing campur kompos 3:1 v/v (T1), dan tailing campur tanah dan kompos 4:2:1 v/v/v (T2). Sterilisasi dari mikroorganisme dilakukan terhadap media tanam dengan pemanasan pada tekanan 1 atm selama 2 jam. Media yang telah disterilisasi selanjutnya dimasukkan kedalam polybag.

Penyemaian

Tanaman pohon yang disemaikan adalah johar (*Cassia siamea*). Benih johar yang telah disterilisasi dikecambahkan pada media zeolite selama 2 minggu, dan dipindahkan pada polybag berisi media perlakuan (T0, T1, T2).

Inokulan dan Inokulasi FMA

Inokulan FMA dipropagasi secara *bioassay* (Brundrett *et al.*, 1996) dengan tanaman inang sorgum (*Sorghum bicolor*) pada media zeolit selama 3 bulan. Inokulan multi jenis, mycofer, dan inokulan spora tunggal jenis *Glomus manihotis* dan *Glomus etunicatum* diberikan sebanyak 10 gr inokulan (setara dengan kandungan 50 – 100 spora FMA) per semai di polybag.

Pemeliharaan

Semai disiram setiap hari hingga kapasitas lapang dan dijaga dari kemungkinan terserang hama penyakit, walaupun tidak akan diberi fungisida maupun pestisida jika terserang hama penyakit.

Pengamatan

Pertumbuhan semai berupa pertambahan tinggi dan diameter diamati selama 8 minggu setelah tanam (8 MST), dan biomassa semai diamati pada akhir minggu ke 8. Kolonisasi FMA pada akar semai diamati pada minggu ke 8 setelah tanam melalui pewarnaan akar menggunakan metode dasar yang dikembangkan oleh Brundrett *et al.* (1996) dengan beberapa modifikasi.

Analisa Data

Data yang dianalisis meliputi data pertumbuhan diameter dan tinggi semai, persentase kolonisasi FMA terhadap akar semai, dan tingkat ketergantungan semai terhadap FMA

Pertumbuhan semai (Setyaningsih *et al.*, 2018a):

$$\Delta \text{Tumbuh} = \text{Ukuran tumbuh akhir} - \text{Ukuran tumbuh awal} \dots\dots\dots (1)$$

Kolonisasi FMA pada akar (Brundrett *et al.*, 1996):

$$\text{Kolonisasi} = \frac{\Sigma \text{bidang pandang akar yang bermikoriza}}{\Sigma \text{bidang pandang akar yang diamati}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Ketergantungan semai terhadap mikoriza

Didasarkan atas *mycorrhizae inoculation effect* (MIE) menggunakan persamaan Bagyaraj (Bagyaraj, 1992)

$$\text{MIE} = \frac{[(\text{Biomasa kering semai diinokulasi} - \text{Biomasa kering semai tidak diinokulasi}) / \text{Biomasa kering semai diinokulasi}] \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

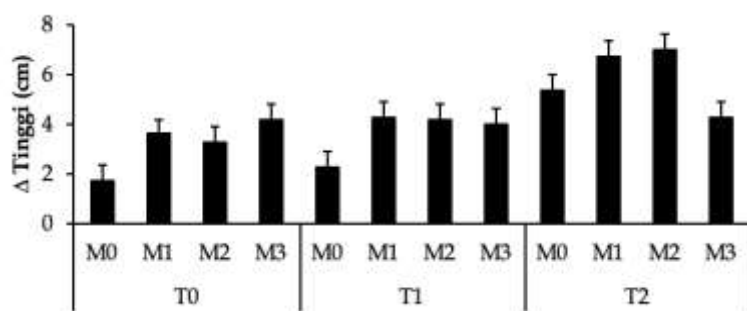
Rancangan Percobaan

Percobaan dilakukan dengan rancangan acak factorial dengan 3 taraf jenis media: Tailing Murni (T0), Tailing+Kompos (T1), Tailing+Kompos+Tanah (T2), dan 4 taraf Perlakuan Mikoriza: Tanpa Mikoriza (M0), *Glomus manihotis* (M1), *Glomus etunicatum* (M2), Mycofer (M3), dengan ulangan minimal 3 unit. Seluruh data diolah menggunakan bantuan program Microsoft Excel and SPSS 16, dan untuk mengetahui keragaman dan perbandingan antar perlakuan menggunakan analisis DMRT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persentase Hidup, Pertambahan Tinggi dan Diameter Semai Johar

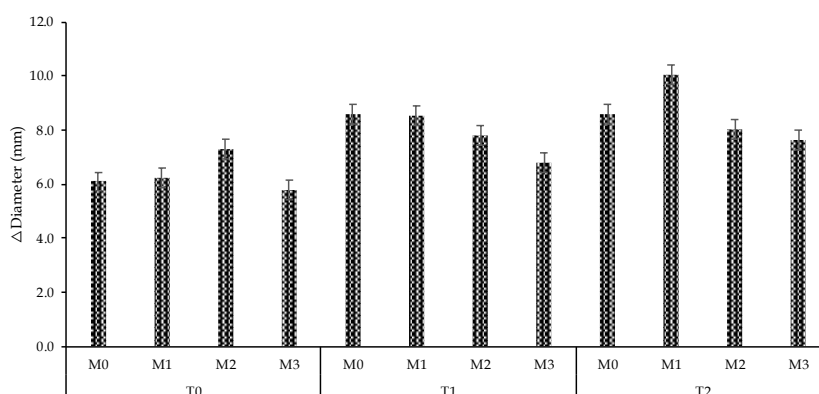
Dalam pengamatan selama 8 minggu setelah tanam, semai johar yang ditanam pada berbagai media, tailing murni (T0) maupun campuran (T1, T2) dengan aplikasi fungi mikoriza arbuskula (FMA), menunjukkan adanya persentase hidup 100 persen, walaupun tingkat pertumbuhan pada berbagai perlakuan yang diberikan beragam. Hasil pengukuran tinggi dan diameter semai johar hingga umur 8 minggu setelah tanam, dapat dilihat pada **Gambar 1**. Secara umum, media tailing yang dicampur dengan tanah dan kompos (T2), memberikan pertumbuhan yang lebih baik secara signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan kedua media lainnya, tailing murni (T0) dan campuran tailing dan kompos (T1), dengan rata-rata pertambahan tinggi mencapai 5,84 cm dalam waktu 8 minggu setelah tanam. Pertambahan tinggi terendah, 1,71 cm, dijumpai pada semai johar yang ditanam pada tailing murni dan tanpa bermikoriza (T0M0). Semai johar yang mendapat inokulasi FMA, baik jenis *Glomus etunicatum* (M1), *Glomus manihotis* dan Mycofer (M3) juga menunjukkan pertambahan tinggi lebih baik secara signifikan ($p < 0,05$), 33%, dibanding semai tanpa FMA (M0).



Gambar 1. Pertambahan tinggi semai Johar umur 8 minggu pada media tailing dengan aplikasi FMA. T0= tailing murni, T1= tailing + kompos (3:1 v/v), T2= tailing+tanah+kompos (4:2:1 v/v/v), M0= tanpa FMA, M1= *G. etunicatum*, M2= *G. manihotis*, M3= Mycofer

Pertambahan diameter semai johar dalam 8 minggu setelah tanam yang terbesar mencapai 10 mm (T2M1) dan terkecil mencapai 5,8 mm (T0M3) (**Gambar 2**). Semai johar pada media tailing murni (T0) mengalami pertumbuhan diameter terkecil, rata-rata 6,3 mm, berbeda secara signifikan ($p < 0,05$), dengan yang ditanam pada media lainnya (T1 dan T2). Aplikasi FMA, inokulum tunggal

Glomus etunicatum (M1), dapat meningkatkan pertumbuhan diameter semai johar 6% (8,2 mm) dari pada semai tanpa FMA (M0), dan bahkan mencapai 10 mm yang diaplikasikan pada media campuran tailing+tanah+kompos (T2M1). Namun aplikasi inoculum FMA lainnya tidak memberikan perbedaan signifikan ($p < 0,05$).



Gambar 2.

Pertambahan diameter semai Johar umur 8 minggu pada media tailing dengan aplikasi FMA. T0= tailing murni, T1= tailing+kompos (3:1 v/v), T2= tailing+tanah+kompos (4:2:1 v/v/v), -M0= tanpa FMA, M1= *G. etunicatum*, M2= *G. manihotis*, M3= mycofer

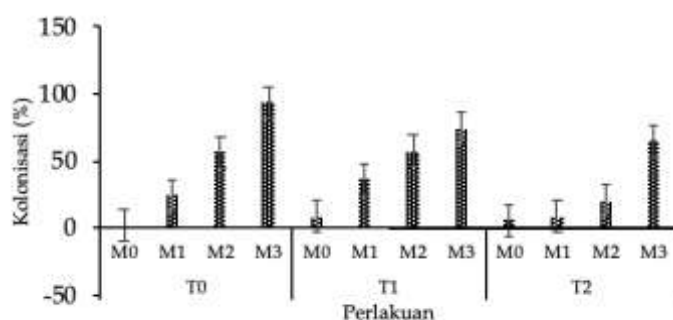
Kolonisasi FMA pada Semai Johar

Kolonisasi mikoriza pada semai johar meningkat signifikan ($p < 0,05$) dengan aplikasi *G. etunicatum* (M1) sebesar 4 kali (kolonisasi 22,9%), aplikasi *G. manihotis* (M2) sebesar 8 kali lipat (kolonisasi 44,6%), dan sebesar 15 kali (77,5%) dengan aplikasi Mycofer dibandingkan dengan johar yang tidak diinokulasi mikoriza (M0) dengan kolonisasi hanya 5,3% (Tabel 1). Kolonisasi FMA pada media tanam campuran tailing+tanah+kompos (T3) terlihat paling kecil (24%) secara signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan dengan kolonisasi yang terjadi pada semai yang ditanam pada media tailing murni (T0) (44,5%) dan campuran tailing+kompos (T1) (44,1%). Kolonisasi terbesar ditemukan pada semai johar yang diinokulasi mycofer dan ditanam pada media tailing murni (T0M3) sebesar 93,3%. Sebaran kolonisasi FMA terhadap semai johar dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Kolonisasi FMA pada semai johar umur 8 minggu yang ditanam pada berbagai media tailing

Perlakuan	Kolonisasi (%)		
Tailing murni (T0)	44,5	± 3,60	c*
Tailing + kompos (T1)	44,1	± 4,11	c
Tailing + tanah + kompos (T2)	24,6	± 3,01	b
Tanpa FMA (M0)	5,3	± 0,80	a
<i>G. etunicatum</i> (M1)	22,9	± 1,51	b
<i>G. manihotis</i> (M2)	44,6	± 3,22	c
Mycofer (M3)	77,5	± 3,51	d

Keterangan *: Angka kolonisasi ± standar deviasi yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan secara signifikan atas perlakuan yang berbeda pada tingkat kesalahan 5% ($p < 0,05$) berdasarkan uji DMRT



Gambar 3. Sebaran kolonisasi FMA pada akar semai Johar umur 8 minggu pada media tailing. T0= tailing murni, T1= tailing+kompos (3:1 v/v), T2 = tailing+tanah+kompos (4:2:1 v/v/v), -M0= tanpa FMA, M1= *G. etunicatum*, M2= *G. manihotis*, M3= mycofer

Biomasa Semai Johar

Semai johan umur 8 minggu yang ditanam pada tailing murni (T0) mempunyai biomasa paling kecil (0,9 gr), yang berbeda signifikan dengan biomas semai yang ditanam pada media tailing+kompos (T1), maupun dengan media campuran tailing+tanah+kompos (T2), sebesar 1,7 gr. Aplikasi inoculum FMA multi jenis, mycofer (M3), menyebabkan peningkatan biomasa semai johan (2,3 gr) signifikan ($p < 0,05$) terhadap semai tanpa FMA maupun yang mendapat aplikasi FMA tunggal, *G. etunicatum* (1,2 gr) dan *G. manihotis* (1,2 gr). Semai johan yang ditanam pada media campuran tailing+kompos dan diinokulasi FMA mycofer, menunjukkan biomasa terbesar (4,2 gr), dan lebih besar secara signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan perlakuan lainnya. Sedangkan biomasa terkecil (0.6 gr) dijumpai pada semai johan yang ditanam pada media tailing murni tanpa aplikasi FMA. Sebaran besaran biomasa semai johan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Biomasa semai johan umur 8 minggu setelah tanam pada media tailing dengan aplikasi FMA

Perlakuan		Biomasa (gr)
Media	Mikoriza	
Tailing murni	Tanpa FMA	0,561 ± 0,26 a*
	<i>G. etunicatum</i>	0,983 ± 0,29 b
	<i>G. manihotis</i>	1,091 ± 0,64 b
	Mycofer	0,943 ± 0,25 a
Tailing + kompos	Tanpa FMA	0,886 ± 0,35 a
	<i>G. etunicatum</i>	0,969 ± 0,48 b
	<i>G. manihotis</i>	0,833 ± 0,37 a
	Mycofer	4,246 ± 0,90 e
Tailing + tanah + kompos	Tanpa FMA	1,911 ± 0,59 c
	<i>G. etunicatum</i>	1,556 ± 0,68 c
	<i>G. manihotis</i>	1,530 ± 0,36 c
	Mycofer	1,790 ± 0,61 c
Tailing		0,895 ± 0,42 a
Tailing + kompos		1,733 ± 1,57 c
Tailing + tanah + kompos		1,697 ± 0,56 c

Tanpa FMA	1,120	±	0,71	c
<i>G. etunicatum</i>	1,169	±	0,56	c
<i>G. manihotis</i>	1,151	±	0,54	c
Mycofer	2,326	±	1,56	d

Keterangan *: Angka biomasai ± standar deviasi yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan secara signifikan atas perlakuan yang berbeda pada tingkat kesalahan 5% ($p < 0,05$) berdasarkan uji DMRT

Ketergantungan Semai Johar terhadap FMA

Nilai MIE (*mycorrhizal infection effect*) yang menggambarkan tingkat ketergantungan johar terhadap mikoriza bervariasi, bernilai negatif atau tidak ada ketergantungan bahkan berefek buruk, hingga bernilai positif atau terdapat ketergantungan dan berefek baik. Secara umum, semai johar umur 8 minggu, mempunyai ketergantungan terhadap FMA. Semai johar yang ditanam pada tailing murni (T0) mempunyai ketergantungan terhadap semua jenis inokulum, *G. etunicatum* (MIE 42,9%), *G. manihotis* (MIE 48,6%), dan Mycofer (MIE 40,5%). Namun untuk semai johar yang ditanam pada media lengkap, campuran tailing+tanah+kompos (T2), tampak tidak mempunyai ketergantungan terhadap FMA, yang ditandai dengan nilai MIE negatif (-24,9 - 6,8%) Sebaran nilai ketergantungan semai johar terhadap FMA dapat dilihat pada **Tabel 3**. Performa pertumbuhan semai johar umur 8 minggu pada media tailing dengan aplikasi FMA, dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Tabel 3. Ketergantungan semai johar terhadap FMA (MIE) pada media tailing umur 8 minggu setelah tanam

Media	Perlakuan	Mikoriza	MIE (%)	
Tailing murni	Tanpa FMA			
	<i>G. etunicatum</i>		42,9 ± 2,52	b*
	<i>G. manihotis</i>		48,6 ± 5,56	b
	Mycofer		40,5 ± 2,54	b
Tailing + kompos	Tanpa FMA			
	<i>G. etunicatum</i>		8,6 ± 7,42	a
	<i>G. manihotis</i>		-6,3 ± 7,82	a
	Mycofer		79,1 ± 7,02	b
Tailing + tanah + kompos	Tanpa FMA			
	<i>G. etunicatum</i>		-22,8 ± 3,57	a
	<i>G. manihotis</i>		-24,9 ± 3,41	a
	Mycofer		-6,8 ± 3,54	a
Tailing murni				
Tailing + kompos				
Tailing + tanah + kompos				
Tanpa FMA				
<i>G. etunicatum</i>			4,3 ± 5,59	a
<i>G. manihotis</i>			2,8 ± 6,12	a
Mycofer			51,9 ± 4,61	b

Keterangan *: Angka MIE \pm standar deviasi yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan secara signifikan atas perlakuan yang berbeda pada tingkat kesalahan 5% ($p < 0,05$) berdasarkan uji DMRT



Gambar 4. Penampakan pertumbuhan semai johar (*Cassia siamea*) pada berbagai media tanam dengan aplikasi mikoriza umur 8 minggu setelah tanam. T0= tailing murni, T1= tailing + kompos (3:1 v/v), T2= tailing+tanah+kompos (4:2:1 v/v/v), M0= Tanpa FMA, M1= *G. etunicatum*, M2= *G. manihotis*, M3= mycofer.

Selama pengamatan 8 minggu, semai johar diketahui mampu tumbuh pada media tailing, bahkan pada media tailing murni, yang diketahui mempunyai tingkat keasaman yang cenderung basa, tekstur didominasi pasir atau debu, seringkali tergenang, juga hampir tidak mengandung bahan organik. Hal ini menunjukkan, bahwa johar tidak hanya mampu tumbuh pula pada lahan kritis dan tidak subur (Suharnantono, 2011), namun dapat tumbuh lahan yang mempunyai sifat fisik dan kimia ekstrim. Dengan demikian, johar dapat menjadi salah satu tanaman hutan yang berpotensi sebagai tanaman untuk keperluan reklamasi lahan tailing. Kemampuan pohon Leguminosae untuk tumbuh di lahan tailing, pernah pula dilaporkan oleh Setyaningsih *et al.* (2020), yaitu trembesi (*Samanea saman*). Selain itu beberapa jenis semai tanaman hutan dan rumput pernah dilaporkan juga mampu tumbuh pada lahan tailing, seperti jabon (*Anthocephalus cadamba*) (Setyaningsih *et al.*, 2018a), dan rumput tifa (Setyaningsih *et al.*, 2018b).

Pencampuran tailing dengan kompos dan tanah, telah meningkatkan secara signifikan pertumbuhan tinggi dan biomasa semai johar, mencapai 83%, dan 89% dibandingkan dengan yang ditanam pada media tailing murni. Kondisi tersebut sangat berkaitan dengan adanya perbaikan sifat kimia dan fisik media tailing. Aplikasi kompos yang merupakan bahan organik diduga telah berperan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tailing sebagai media tanam. Penambahan kompos pada tailing pernah dilaporkan Setyaningsih (2012) meningkatkan kandungan C organik tailing, dari 0,2% menjadi 1,1%, menurunkan pH dari cenderung basa ke normal, meningkatkan kandungan hara makro (N, P, K, Mg, Ca) rendah hingga sangat tinggi (masing-masing 0.1%, 255 ppm, 107 ppm, 1.75 cmol/kg, 16.92 cmol/kg). Perbaikan sifat fisik dan kimia tailing, memperbaiki kemampuan media menyerap air sebagai media transfer unsur yang tersedia, juga menstimulasi aktifitas mikroba simbiotik, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan semai (Widodo & Kusuma, 2018).

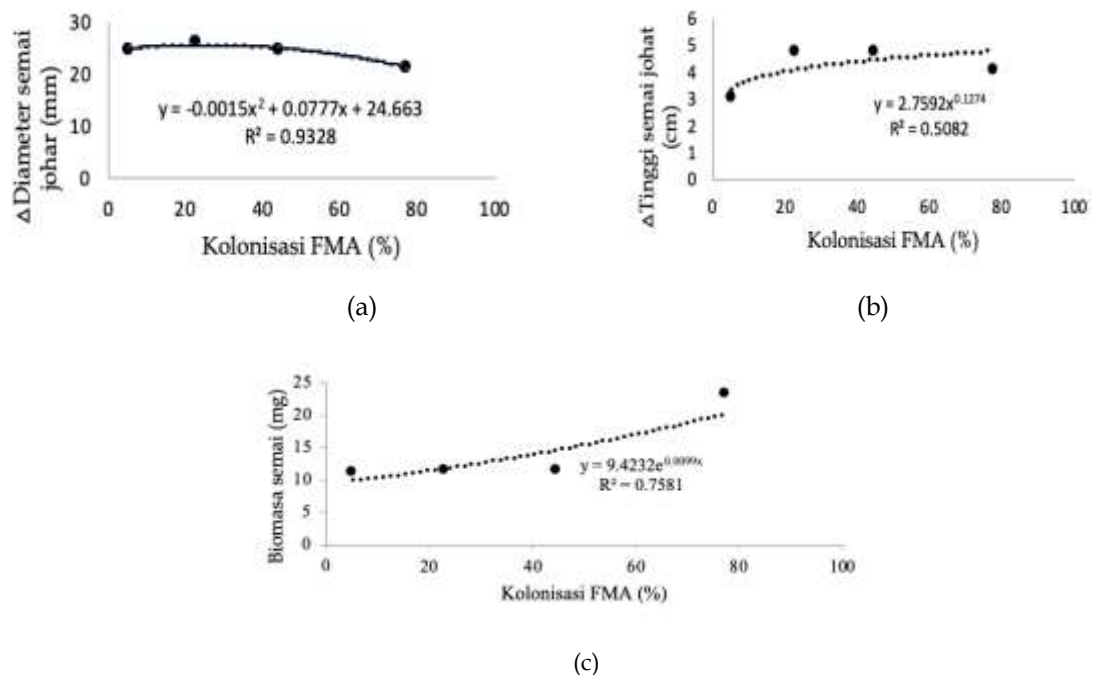
Aplikasi FMA telah pula meningkatkan pertumbuhan semai johar pada media tailing, baik pertambahan tinggi, diameter dan biomasanya. Peningkatan biomasa semai johar tertinggi, mencapai 112%, dengan aplikasi Mycofer. Peningkatan yang sama pernah dilaporkan Setyaningsih *et al.* (2018a) terhadap biomasa akar dan pucuk semai jabon (*Anthocephalus cadamba*) umur 12 minggu pada media tailing. Perbaikan nutrisi juga dilaporkan terjadi pada semai *Metrosideros laurifolia* (Myrtaceae), *Alphitonia neocaledonica* (Rhamnaceae), dan *Tetraria comosa* (Cyperaceae) yang diinokulasi FMA, yang menunjukkan efek positif seperti nutrisi mineral yang lebih baik, terutama untuk kalium (K) dan kalsium dan nilai kalsium/magnesium (Ca/Mg) yang lebih tinggi (Amir *et al.*, 2021). Hal ini berkaitan dengan peran FMA yang bersimbiosis dengan akar dapat memperoleh unsur hara penting dari tanaman inang dan sebagai imbalannya memberikan unsur hara mineral, misalnya N, P, K, Ca, Zn, dan S. AMF menghasilkan struktur jamur seperti arbuskula, yang membantu pertukaran mineral anorganik serta senyawa karbon dan fosfor (Prasad *et al.*, 2017), yang secara signifikan meningkat pada sistem akar dan pucuk (Al-Hmoud & Al-Momany, 2017).

Seluruh jenis FMA yang diaplikasikan dapat berkolonisasi dengan semai johar, pada semua media penanaman. Namun kolonisasi FMA pada media campuran tailing+tanah+kompos (T2) adalah 2 kali lipat lebih kecil dari kolonisasi yang terjadi pada media tailing murni (25-94%) dan campuran tailing+kompos (44%). Kondisi yang sama pernah dilaporkan terjadi pada semai *Metrosideros laurifolia* yang tercukupi P dengan pemupukan, menyebabkan efek positif FMA terhadap pertumbuhan dan nutrisi mineral menjadi berkurang, walaupun kolonisasinya tidak berkurang (Amir *et al.*, 2021). Hal ini selaras dengan dugaan bahwa pada media/lahan yang telah subur, sangat mungkin FMA tidak bekerja maksimal, dikarenakan kebutuhan nutrisi tanaman telah dicukupi oleh media, atau tanaman tidak mengeluarkan energi tinggi dalam beradaptasi terhadap kondisi lingkungan (Bini & Maleci, 2014; Amir *et al.*, 2021).

Inokulum mycofer mampu berkolonisasi dengan semai johar, 77.5%, lebih besar secara signifikan, dibandingkan kolonisasi oleh inokulum tunggal. Hal ini dapat diduga, bahwa inokulum dengan multi jenis FMA, lebih efektif dalam berkolonisasi dengan akar semai johar. Walaupun beberapa laporan menyatakan bahwa jenis FMA berkolonisasi secara spesifik, seperti kompatibilitas *G. manihotis* dengan semai *Anthocephalus cadamba* (Setyaningsih *et al.*, 2018a), dan *G. etunicatum* dengan *Typha angustifolia* (Setyaningsih *et al.*, 2018b), namun tampaknya inokulum Mycofer dengan 4 jenis FMA didalamnya (*G. etunicatum*, *G. manihotis*, *Gigaspora margarita* dan *Acaulospora sp.*), diduga memberikan potensi lebih tinggi untuk terjadinya kolonisasi pada semai johar. Kondisi demikian mengindikasikan bahwa setiap jenis mikoriza mempunyai sifat kolonisasi dan pengaruh yang spesifik terhadap jenis tanaman tertentu pada kondisi rizhosphere yang tertentu pula. Sehingga untuk mendapatkan hasil maksimal dan efisien, maka perlu memperhatikan kespesifikan kolonisasi dan pengaruh tersebut.

Besarnya kolonisasi yang terjadi berbanding positif dengan biomasa semai johar, semakin bertambah kolonisasinya, biomasa semai semakin meningkat, dengan membentuk pola

eksponensial dengan persamaan $y=9,4232e^{0,0099x}$, ($R^2 = 0,7581$). Namun demikian besarnya kolonisasi tidak selalu berbanding lurus dengan penambahan diameter, yang membentuk hubungan power dengan persamaan $y= 3,6998x^{0,1274}$, ($R^2 = 0,5082$), maupun terhadap penambahan tinggi semai johar yang membentuk hubungan polimomial dengan persamaan $y= -0,4847x^2 + 2,4386x + 77,442$, ($R^2 = 0,9328$) (**Gambar 5**). Kondisi ini memberikan penjelasan bahwa besarnya kolonisasi patut dipertimbangkan guna mengindikasikan besarnya pengaruh FMA terhadap pertumbuhan, khususnya biomasa semai johar, namun tidak serta merta menggambarkan pertumbuhan yang sama untuk variabel pertumbuhan lainnya, diameter dan tinggi.



Gambar 5. Hubungan tingkat kolonisasi FMA terhadap pertambahan diameter (a), pertambahan tinggi (b), dan biomasa (c) semai johar umur 8 minggu setelah tanam pada media tailing

Peningkatan biomasa yang signifikan pada tanaman yang diinokulasi mikoriza, sekaligus mengindikasikan adanya ketergantungan johar tersebut terhadap mikoriza, dengan nilai ketergantungan MIE 8 – 51%. Peningkatan biomasa semai tanaman hutan dengan aplikasi inokulum FMA tunggal dan multi jenis FMA pernah pula dilaporkan meningkatkan pertumbuhan trembesi (*Samanea saman*) pada media tailing (Setyaningsih *et al.*, 2020). Kondisi ini semakin menguatkan perlunya aplikasi FMA untuk penanaman semai tanaman hutan pada media tailing

KESIMPULAN

FMA dari inokulum tunggal dan dari inokulum multi jenis dapat berkolonisasi dengan akar semai Johar, dengan kolonisasi terbesar terjadi pada media tailing murni. Seluruh jenis FMA dapat meningkatkan pertumbuhan semai johar umur 8 minggu, namun aplikasi inokulum Mycofer

memberikan peningkatan terbesar terhadap biomasa dan tinggi semai. Semai johar mempunyai ketertgantungan pada FMA dalam pertumbuhannya pada media tailing.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada PT ANTAM Tbk. UBPE Pongkor yang telah mengizinkan penggunaan tailing yang diproduksinya, juga kepada Laboratorium Biotek Hutan atas izinnya untuk menggunakan isolate FMA dan memperbanyaknya. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Nasional RI, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi dan Ristek atas dukungan dana hibah Penelitian Stranas.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hmoud, G., Al-Momany, A. 2017. Effect of Four Mycorrhizal Products on Squash Plant Growth and Its Effect on Physiological Plant Elements. *Adv. Crop. Sci. Tech.* 5, 260. doi: 10.4172/2329-8863.1000260
- Amir, H., Simon Gensous, Yvon Cavaloc, Laurent Wantiez. 2021. Phosphorus Fertilization of An Ultramafic Soil Reduced Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi but not Mycorrhizal Colonization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2021, 21, pp.3544 - 3554. ff10.1007/s42729-021-00626-6ff. fhal-03582001f. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00626-6>
- Australian Government. 2016. Pengelolaan Tailing: Praktik Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan Berkesinambungan untuk Industri Pertambangan. P 1-128. <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-04/lpsdp-tailings-management-handbook-indonesian.pdf>. (Kamis, 16 November 2023: 10.47 WIB)
- Bagyaraj DJ. 1992. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza: Application in Agriculture. Pp 359-373. In: *Method in Microbiology* Volume 24, Techniques for The Study of Mycorrhiza. (Eds. Norris, J.R, D.J. Read, and A.K. Varma). Academic Press. Boston.
- Begum, N, Cheng Qin, Muhammad Abass Ahanger, Sajjad Raza, Muhammad Ishfaq Khan, Muhammad Ashraf, Nadeem Ahmed, Lixin Zhang. 2019. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. REVIEW article. *Front. Plant Sci., Sec. Plant Abiotic Stress* Volume 10 - 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Bini C, Maleci L. 2014. The « serpentine syndrome » (H. Jenny, 1980): A Proxy for Soil Remediation. *Environ Qual* 15:1-13
- Brundrett M, Bougher N, Dell B, Grove T, Maljczuk N. 1996. Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR Monograph Series. Canberra
- Chen, S., Zhao, H., Zou, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Z. 2017. Combined Inoculation with Multiple Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improves Growth, Nutrient Uptake and Photosynthesis in Cucumber Seedlings. *Front. Microbiol.* 8, 25-16. doi: 10.3389/fmicb.2017.02516
- Crossay T, Majorel C, Redecker D, Gensous S, Medevielle V, Durrieu G, Cavaloc Y, Amir H. 2019. Is a Mixture of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Better for Plant Growth than Single-species Inoculants? *Mycorrhiza* 29:325-339. <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00898-y>
- Data Base World Agroforestry. 2023. *Cassia singueana* Del. Tree Species. *Tree Functional Attribute & Ecological Data Base.* (Online)

([Http://Db.Worl dagroforestry.Org//Species/Properties/Cassia_Singueana](http://Db.Worl dagroforestry.Org//Species/Properties/Cassia_Singueana)) diakses 15 Oktober 2023

- Khade S.W., Adholeya A. 2007. Feasible bioremediation through Arbuscular Mycorrhizal Fungi Imparting Heavy Metal Tolerance: A Retrospective. *Bioremediat J* 11:33-43. <https://doi.org/10.1080/10889860601185855>
- Orwa C, Mutua A, Kindt R, Jamnadass R, Simons A. 2009. Agroforestry Database: A Tree Reference and Selection Guide Version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya. (Online). (<https://www.worldagroforestry.org/output/agroforestree-database> accessed on 07-10-2023.) diakses 7 Oktober 2023
- Prasad, R., Bhola, D., Akdi, K., Cruz, C., Sairam, K. V. S. S., Tuteja, N., et al. 2017. Introduction to mycorrhiza: Historical Development," in Mycorrhiza. Eds. Varma, A., Prasad, R., Tuteja, N. (Cham: Springer), 1-7. doi: 10.1007/978-3-319-53064-2_1
- Sandoval, JR., P A Rodríguez. 2013. *Senna siamea* (yellow cassia). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.11462>. CABI Compendium
- Setyaningsih, L. 2012. Adaptabilitas Semai Tanaman Hutan terhadap Timbal pada Media Tailing dengan Aplikasi Kompos Aktif dan Fungi Mikoriza Arbuskula. [Disetasi] INSTITUT PERTANIAN BOGOR.
- Setyaningsih, L., Y. Setiadi, D. Sopandie, S. Wilarso. 2012. Organic Acid Characteristics and Tolerance of *Sengon (Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) to Lead. *JMHT* Vol. XVIII, (3): 177-183. EISSN: 2089-2063. DOI: 0.7226/jtfm.18.2.177
- Setyaningsih, L., Y. Setiadi, S. W. Budi, H. Hamim and D. Sopandie. 2017. Lead Accumulation by Jabon Seedling (*Anthocephalus cadamba*) on Tailing Media with Application of Compost and Arbuscular Mycorrhizal Fungi. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science* 58 (2017) 012053. IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/58/1/012053
- Setyaningsih, L., Y. Setiadi, S. W. Budi, H. Hamim, D. Sopandie. 2018a. Jabon (*Anthocephalus cadamba* Roxb), Potency for Remediating Lead (Pb) Toxicity under Nutrient Culture Condition. *BIOTROPIKA*. Vol. 25 No. 1, 2018: 64 - 71. DOI: 10.11598/btb.2018.25.1.712
- Setyaningsih, L., A. S. Wulandari, H. Hamim. 2018b. Growth of Typha Grass (*Typha angustifolia*) on Gold-Mine Tailings with Application of Arbuscular Mycorrhiza Fungi. *BIODIVERSITAS* Volume 19, Number 2, March 2018 Pages: 504-509 ISSN: 1412-033X E-ISSN: 2085-4722 DOI: 10.13057/biodiv/d190218
- Setyaningsih, L, F. A. Dikdayatama, A. S. Wulandari. 2020. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobium Enhance The Growth of *Samanea saman* (Trembesi) Planted on Gold-Mine Tailings in Pongkor, West Java, Indonesia. *BIODIVERSITAS*. Volume 21, Number 2, February 2020 Pages: 611-616. ISSN: 1412-033X E-ISSN: 2085-4722. DOI: 10.13057/biodiv/d210224
- Shyam Lal, 1991. Reclamation of Bauxite Waste through Afforestation. *Indian Forester*, 117(6):454.
- Suharnantono, H. 2011. Monitoring dan Evaluasi Jenis Tanaman Rimba Eksotik di KPH Kendal. Perhutani. https://www.academia.edu/6547775/MONITORING_and_EVALUASI_JENIS_TANAMAN_RIMBA_EKSOTIK. Kamis, 16 November 2023, Jam 14.44 WIB.
- Widodo, K. H., dan Z. Kusuma. 2018. Pengaruh Kompos terhadap Sifat Fisik Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Jagung di Inceptisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol 5 No 2: 959-967, 2018 e-ISSN:2549-9793