

RESPON PERTUMBUHAN TREMBESI (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.) TERHADAP INOKULASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA (FMA) PADA MEDIA TANAM BEKAS TAMBANG DALAM POT ORGANIK

Growth Response of Trembesi (Samanea saman (Jacq) Merr.) by Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on Ex-mining Planting Media in Organic Pots

Karina MZ¹, Sri Wilarso Budi^{2*}, Prijanto Pamoengkas²

(Diterima 11 Maret 2025 / Disetujui 14 April 2025)

ABSTRACT

Mining activities cause land degradation, characterized by decreased soil fertility and loss of soil microbial populations. Rehabilitation can be done with biological approaches, such as the use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and organic pots. This study aims to analyze the growth of trembesi (*S. saman*) inoculated with AMF in organic pots made of cardboard, manure, cocopeat, and natural phosphate sources (rock phosphate and guano) on the planting media of former silica sand mines. The study used a split plot design with the main factor of AMF inoculation (M0, M1) and the sub-factor of organic pot composition (K1, K2, K3). The results showed that AMF inoculation and organic pots had a significant effect on diameters and height, dry weight, and photosynthesis rate. The interaction between AMF and organic pots significantly affected the rate of photosynthesis and AMF colonization. The combination of AMF and organic pots with a composition of 15% cardboard waste, 70% manure, 15% cocopeat, and 10% guano gave a better effect on the growth of *Samanea saman*.

Keywords: Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), organic pot, *Samanea saman*

ABSTRAK

Kegiatan pertambangan menyebabkan degradasi lahan, ditandai dengan penurunan kesuburan tanah dan hilangnya populasi mikroba tanah. Rehabilitasi dapat dilakukan dengan pendekatan biologis, seperti penggunaan fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan pot organik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pertumbuhan trembesi (*S. saman*) yang diinokulasi FMA dalam pot organik berbahan kardus, pupuk kandang, cocopeat, dan sumber fosfat alam (rock phosphate dan guano) pada media tanam bekas tambang pasir silika. Penelitian menggunakan rancangan petak terbagi dengan faktor utama inokulasi FMA (M0, M1) dan sub-faktor komposisi pot organik (K1, K2, K3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi FMA dan pot organik berpengaruh nyata terhadap pertambahan diameteter dan tinggi, berat kering, dan laju fotosintesis. Interaksi antara FMA dan pot organik berpengaruh signifikan terhadap laju fotosintesis dan kolonisasi FMA. Kombinasi pemberian FMA dan pot organik dengan komposisi limbah kardus 15%, pupuk kandang 70%, cocopeat 15%, dan guano 10% memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap pertumbuhan *Samanea saman*.

Kata kunci: Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA), pot organik, *Samanea saman*

¹ Mahasiswa Program Studi Silvikultur Tropika, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB

* Penulis korespondensi:

e-mail: swilarso@apps.ipb.ac.id

² Staf Pengajar Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB

PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan berkontribusi terhadap perekonomian, tetapi juga menyebabkan degradasi lingkungan. Salah satu dampak utama adalah degradasi lahan yang ditandai dengan hilangnya lapisan tanah, pemadatan tanah, rendahnya kadar unsur hara, peningkatan keasaman tanah, kontaminasi logam berat yang bersifat racun bagi tanaman, serta penurunan populasi mikroba tanah (Wasis dan Sandrasari 2011; Setiadi *et al.* 2015; Hamid *et al.* 2017). Kerusakan kawasan hutan akibat aktivitas penambangan diperkirakan mencapai 2 juta hektare per tahun atau sekitar 10% dari total kawasan hutan (Setyowati *et al.* 2017). Oleh karena itu, diperlukan upaya rehabilitasi lahan bekas tambang untuk memulihkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. Rehabilitasi lahan bekas tambang dapat dilakukan melalui penambahan bahan organik. Bahan organik merupakan sumber koloid organik bagi tanah yang bermanfaat bagi kesuburan tanah (Surya *et al.* 2017) dengan menyediakan unsur hara makro dalam tanah, meningkatkan kapasitas air tanah, meningkatkan KTK dan biodiversitas atau mikroorganisme tanah, serta bersifat ramah lingkungan (Nariratih *et al.* 2013). Selain itu, bahan organik dapat memperbaiki aerasi tanah, penetrasi akar, penyerapan air, dan mengurangi pergerakan permukaan tanah (Kamsurya & Botanri 2022).

Peningkatan bahan organik tanah dapat dilakukan dengan memanfaatkan pot berbahan dasar organik sebagai wadah tanam. Pot organik berfungsi sebagai media tanam pengganti *polybag*, sekaligus meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan mengurangi pencemaran lingkungan. *Polybag* umumnya digunakan sekali pakai, sehingga meningkatkan limbah plastik yang sukar didaur ulang karena pada *polybag* terdapat residu bahan organik dan pestisida (Fuentes *et al.* 2021). Pot organik dibuat dari bahan-bahan organik mudah terurai, ramah lingkungan, serta dapat langsung ditanam saat proses *transplanting*, sehingga tidak merusak perakaran tanaman (Budi *et al.* 2012; Jaya *et al.* 2019; Darmawan *et al.* 2020; Sari *et al.* 2021).

Pot organik dibuat dari campuran limbah kardus, pupuk kandang, *cocopeat*, dan pupuk fosfat organik seperti *rock phosphate* dan guano. Kardus berperan sebagai bahan perekat alami karena kandungan selulosanya (Zhang *et al.* 2019). Pupuk kandang berperan meningkatkan kesuburan tanah dengan menyediakan hara mineral (Wasis & Sandrasari 2011), sementara *cocopeat* efektif dalam mengikat dan menyimpan air (Yulia *et al.* 2018). Penggunaan *rock phosphate* dan guano sebagai sumber fosfat organik bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan fosfor dan hara esensial lainnya di dalam tanah (Afa 2016; Syofiani & Oktabriana 2017). Fosfor dalam fosfat alam memiliki kelarutan rendah karena terikat dalam bentuk mineral apatit (Mendes *et al.* 2015). Proses kelarutan fosfat dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan fungi mikoriza arbuskula (FMA) yang bersimbiosis dengan akar tanaman. FMA menghasilkan asam organik yang dapat mengelat senyawa pengikat fosfat dan enzim fosfatase yang menguraikan fosfat organik menjadi fosfat

anorganik yang tersedia bagi tanaman. Selain itu, FMA memperluas area penyerapan hara dan air melalui hifa eksternal dan menghasilkan hormon pertumbuhan seperti sitokin dan giberelin (Basri 2018).

Trembesi (*Samanea saman*) merupakan tanaman cepat tumbuh (*fast-growing species*) yang toleran terhadap tanah marginal dan kekeringan, dan mampu menyerap CO₂ secara optimal (Taqiyuddin & Hidayat 2020; Maulidan *et al.* 2021). Trembesi dapat bersimbiosis dengan FMA sehingga mendukung keberhasilan rehabilitasi pada lahan bekas tambang (Setyaningsih *et al.* 2020). Penelitian ini bertujuan menganalisis pertumbuhan trembesi (*Samanea saman*) yang diinokulasi FMA pada media bekas tambang pasir silika menggunakan wadah tanaman pot organik.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juni 2023 sampai Maret 2024. Lokasi penelitian untuk pembuatan pot organik dan pengamatan pertumbuhan *S. saman* dilakukan di rumah kaca Departemen Silvikultur serta pengamatan kolonisasi FMA dilakukan di Laboratorium Teknologi Mikoriza dan Peningkatan Kualitas Bibit, Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB. Pengujian kandungan hara dilakukan di Laboratorium Pengujian, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi saringan 18 mesh, alat pencetak pot, oven, autoklaf, timbangan digital, gelas ukur, mikroskop compound binokuler, kaliper digital, penggaris, alat tulis, kamera, laptop yang dilengkapi dengan *software Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, dan IBM SPSS. Bahan yang digunakan antara lain benih *S. saman*, zeolit, inokulum FMA, tanah bekas tambang pasir silika, limbah kardus, pupuk kandang, *cocopeat*, *rockphosphat*, guano, KOH 2,5%, HCl 0,1%, Gliserin 50%, dan pewarna *trypan blue*.

Prosedur Penelitian

Persiapan pot organik

Pot organik dibuat dari campuran limbah kardus, pupuk kandang, *cocopeat*, *rockphosphat*, dan guano. Limbah kardus diolah menjadi bubur kardus dengan cara dicacah kemudian direndam dalam air selama 7 hari dan dihaluskan dengan blender. Pupuk kandang dan *cocopeat* disaring menggunakan saringan berukuran 18 mesh (ukuran partikel 1 mm). Komposisi bahan penyusun pot organik dibuat berdasarkan perbandingan limbah kardus, pupuk kandang, *cocopeat*, *rockphosphat*, dan guano yang telah ditetapkan dalam penelitian (Tabel 1). Pot organik dibuat secara manual dengan cara menumbuk campuran bahan dengan alat pematat hingga membentuk padatan kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 48 jam (Budi *et al.* 2012).

Persiapan media tanam

Media tanam yang digunakan berasal dari lahan bekas tambang pasir silika PT. Solusi Bangun Indonesia ex PT. Holchim yang dikombinasikan dengan 10% pupuk kandang sebagai amelioran. Kemudian dilakukan

sterilisasi sebelum dilakukan penanaman dengan menggunakan autoklaf selama 1 jam.

Penyapihan, inokulasi FMA, dan pemeliharaan

Penyapihan *S. saman* dilakukan pada usia 2 minggu yang dilakukan pada sore hari untuk mengurangi penguapan. Selanjutnya dilakukan inokulasi pada saat *S. saman* berumur 2 minggu setelah tanam menggunakan inokulum FMA berupa zeolit yang berisi koloni mikoriza jenis *Glomus* sp. dengan dosis 2 gram ((± setara dengan 50 spora). Pemeliharaan tanaman yang telah disapih meliputi penyiraman rutin setiap hari (pagi dan sore hari), pemupukan menggunakan pupuk daun setiap 1 kali seminggu, dan pembersihan gulma.

Pengamatan dan pengambilan data dilakukan selama 12 minggu dengan parameter yang diukur diameter dan tinggi tanaman. Pada akhir pengamatan, dilakukan pengukuran laju fotosintesis. Selanjutnya, dilakukan pemanenan untuk mengukur berat kering dan persen (%) kolonisasi mikoriza.

Rancangan Penelitian dan Analisis Data

Rancangan penelitian yang digunakan adalah rancangan petak terpisah (*split plot design*) dengan faktor utama adalah inokulasi FMA (M0, M1) dan sub-faktor adalah komposisi pot organik (K1, K2, K3). Kombinasi dari perlakuan menghasilkan 6 perlakuan seperti disajikan pada Tabel 1. Jumlah sampel yang digunakan pada setiap perlakuan adalah 10 sampel yang dilakukan pengulangan sebanyak dua kali pada setiap unit sampel, sehingga percobaan menggunakan 120 unit pot organik dan semai *S. saman*.

Analisis data dilakukan menggunakan *software Microsoft Excel* dan IBM SPSS. Pengaruh perlakuan terhadap variabel yang diamati dilakukan dengan metode analisis ragam (ANOVA) pada tingkat kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Bekas Tambang Pasir Silika dan Media Tanam

Analisis kimia tanah dilakukan untuk mengetahui kondisi tanah bekas tambang pasir silika sebelum dan setelah penambahan amelioran. Hasil pengukuran diklasifikasikan berdasarkan kriteria kesuburan tanah menurut Eviati dan Sulaeman (2009), sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Analisis kimia tanah menunjukkan bahwa tanah bekas tambang pasir silika memiliki karakteristik yang kurang mendukung pertumbuhan tanaman sebelum penambahan amelioran. Nilai pH sangat masam (pH 3,26) dapat berdampak negatif pada ketersediaan hara

esensial dan aktivitas mikroorganisme tanah. Kandungan C-organik dan N-organik yang rendah mengindikasikan rendahnya bahan organik dalam tanah yang berkontribusi pada rendahnya kapasitas tukar kation (KTK). Hal ini juga berakibat pada rendahnya kandungan kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan fosfor (P) tersedia yang sangat dibutuhkan tanaman dalam pertumbuhan. Selain itu, kandungan aluminium (Al) yang tinggi, yang dapat bersifat toksik bagi tanaman. Pada kondisi tanah masam, ion Al³⁺ menjadi lebih larut dan aktif sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Kartika et al. 2012). Oleh karena itu, diperlukan bahan amelioran guna memperbaiki kualitas tanah pada tanah bekas tambang pasir silika.

Penambahan pupuk kandang sebanyak 10% sebagai bahan amelioran menunjukkan perbaikan signifikan pada beberapa parameter tanah bekas tambang pasir silika. Nilai pH tanah meningkat dari sangat masam menjadi netral (6,79) yang berdampak positif pada ketersediaan hara. Peningkatan signifikan terlihat pada P-tersedia, Mg-dd, Ca-dd, dan K-dd, yang menunjukkan bahwa ameliorasi berperan dalam memperbaiki kualitas tanah. Elfarisna et al. (2023) menjelaskan bahwa penambahan amelioran dapat memperbaiki dan meningkatkan kesuburan tanah. Selain itu, penurunan yang signifikan pada kadar aluminium (Al-dd) dari 8,08 cmol/kg menjadi 0,00 cmol/kg mengindikasikan bahwa amelioran berhasil mengurangi toksitas Al yang sebelumnya dapat menghambat pertumbuhan akar tanaman. Bahan organik mampu mengelat unsur logam dan memperbaiki sifat kimia tanah (Purba et al. 2015). Namun, meskipun terjadi peningkatan ketersediaan hara, kandungan C-organik tetap rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pupuk kandang saja belum cukup untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah secara signifikan. Oleh karena, perlu penambahan bahan organik lebih lanjut untuk memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas penyimpanan hara dalam jangka panjang (Eviati dan Sulaeman 2009).

Komposisi Hara Pot Organik

Pot organik yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari campuran limbah kardus, pupuk kandang, cocopeat, rock phosphate, dan guano. Hasil analisis kandungan hara pot organik dapat dilihat pada Tabel 3. Kandungan hara pada pot organik menunjukkan variasi dalam beberapa parameter kandungan hara yang dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman. Pot organik memiliki kandungan nitrogen (N), kalium (K), magnesium (Mg) yang relatif sama.

Tabel 1 Rincian perlakuan dalam penelitian

FMA (M)	Komposisi pot organik (K)	Kombinasi perlakuan	Limbah kardus (%)	Pupuk kandang (%)	Cocopeat (%)	Rockphosphat (%)	Guano (%)
FMA (M1)	K1	M1K1	15	70	5	10	-
	K2	M1K2	15	70	5	-	10
	K3	M1K3	15	70	5	5	5
Non FMA (M0)	K1	M0K1	15	70	5	10	-
	K2	M0K2	15	70	5	-	10
	K3	M0K3	15	70	5	5	5

Tabel 2 Perbandingan hasil analisis kimia tanah bekas tambang pasir silika sebelum dan setelah penambahan amelioran tanah

Parameter	Sebelum		Setelah	
	Hasil	Kriteria	Hasil	Kriteria
pH H ₂ O	3,26	Sangat masam	6,79 (n)	Netral
C-Organik (%)	1,32	Rendah	1,30	Rendah
N-Total (%)	0,14	Rendah	0,24	Sedang
P-Tersedia (ppm P)	<0,08	Sangat rendah	688,61	Sangat tinggi
KTK (cmol/kg)	11,75	Rendah	12,29	Rendah
Mg-dd (cmol Mg/kg)	0,24	Sangat rendah	4,40	Tinggi
Ca-dd (cmol Ca/kg)	0,19	Sangat rendah	5,56	Rendah
K-dd (cmol K/kg)	0,13	Sangat rendah	10,74	Sangat tinggi
Na-dd (cmol Na/kg)	0,16	Sangat rendah	2,96	Sangat tinggi
Al-dd (cmol Al/kg)	8,08	Tinggi	0,00	Sangat rendah
P-Potensial (mg P ₂ O ₅ /100g)	14,29	Rendah	191,79	Sangat tinggi
K-Potensial (mg K ₂ O/100g)	72,38	Tinggi	665,00	Sangat tinggi

* Klasifikasi berdasarkan Eviati & Sulaeman (2009)

Tabel 3 Kandungan hara pot organik

Parameter	K1	K2	K3
pH H ₂ O	8,59 a	8,46 a	8,55 a
C-organik (%)	22,24 b	26,08 a	23,03 b
N-total (%)	1,40 a	1,47 a	1,48 a
P-tersedia (ppm P ₂ O ₅)	4287,81 b	4727,44 a	4558,20 ab
P-potensial (mg P ₂ O ₅ /100g)	3344,53 a	1559,33 c	2429,24 b
K-dd (cmol K/kg)	75,86 a	73,33 a	84,39 a
K-potensial (mg K ₂ O/100g)	3453,26 a	3728,22 a	3814,02 a
Mg-total (%)	0,50 a	0,56 a	0,52 a
Ca-total (%)	11,82 a	8,06 b	8,17 b
Pb (ppm)	2,55 b	2,80 ab	3,46 a

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada taraf α 5%.

Pot organik K1 lebih unggul dalam kandungan fosfor potensial (P-potensial) dan kalsium (Ca). Kandungan P-potensial yang tinggi pada pot organik K1 karena kandungan *rock phosphate* yang sukar larut. Hal ini menunjukkan potensi pot organik K1 dalam menyediakan fosfor dalam jangka panjang, mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan. Sedangkan pot organik K2 lebih kaya akan fosfor tersedia (P-tersedia) dan karbon organik (C-organik). Hal ini dikarenakan kandungan guano pada pot organik K2. Guano termasuk fosfat alam yang mudah larut. Menurut Kotabe (1997), guano fosfat mengandung 10-30% P₂O₅ total, 0-10% P₂O₅ larut air, dan 55-85% P₂O₅ larut asam sitrat. Sedangkan, *rock phosphate* rata-rata memiliki kandungan 27,52% P₂O₅ total, 0,04% P₂O₅ larut air, dan 11,99% P₂O₅ larut asam sitrat (Flatian *et al.* 2018). Kelarutan P yang tinggi pada guano dapat meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman, sehingga lebih cepat diserap oleh tanaman. Sementara itu, pot organik K3 memiliki keseimbangan hara yang lebih moderat.

Namun, pot organik K3 memiliki kandungan Pb yang lebih tinggi dibandingkan K1 dan K2, yang berpotensi menimbulkan risiko bagi tanaman dan lingkungan.

Hasil Analisis Ragam

Rekapitulasi hasil analisis sidik ragam disajikan pada Tabel 4. Hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh faktor tunggal pemberian FMA dan komposisi pot organik berpengaruh signifikan pada selang kepercayaan 95% pada selang kepercayaan 95% terhadap seluruh parameter pengamatan. Interaksi antara pemberian FMA dan komposisi pot organik berpengaruh signifikan pada laju fotosintesis dan kolonisasi akar tetapi tidak berpengaruh pada pertumbuhan tanaman. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi antara FMA dan pot organik dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis serta kolonisasi akar. Proses fotosintesis yang optimal akan menghasilkan lebih banyak karbohidrat sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Tabel 4 Hasil analisis sidik ragam dan uji lanjut pada pot organik

Variabel	Pertambahan diameter (mm)	Pertambahan tinggi (cm)	Berat kering (g)	Laju fotosintesis ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	% kolonisasi
Mikoriza (M)	*	*	*	*	*
Pot organik (K)	*	*	*	*	*
M x K	ns	ns	ns	*	*

Keterangan: * = significant influence (p-value < 0,05), ns = no significant influence (p-value > 0,05); angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada taraf α 5%; K1, K2, K3 = perlakuan pot organik dengan komposisi berbeda.

Tabel 5 Pertumbuhan trembesi (*S. saman*) selama 12 minggu pengamatan

Perlakuan	Pertambahan Diameter (mm)	Pertambahan Tinggi (cm)	Berat kering (gram)	Laju fotosintesis ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
M0K1	0,72 ± 0,29 ^{cd}	7,74 ± 2,63 ^b	1,24 ± 0,16 ^{bc}	12,15 ± 0,19 ^c
M0K2	0,89 ± 0,28 ^{bcd}	6,93 ± 2,89 ^b	1,57 ± 0,38 ^{ab}	19,07 ± 0,14^a
M0K3	0,66 ± 0,11 ^d	2,56 ± 0,77 ^c	0,48 ± 0,09 ^c	10,92 ± 0,33 ^d
M1K1	1,08 ± 0,29 ^{ab}	10,86 ± 4,03^a	1,75 ± 0,77^a	14,97 ± 0,04 ^b
M1K2	1,21 ± 0,38^a	12,45 ± 3,57^a	2,39 ± 0,80^a	19,18 ± 0,03^a
M1K3	0,96 ± 0,24 ^{abc}	7,37 ± 2,1 ^b	1,00 ± 0,29 ^{bc}	10,09 ± 0,15 ^d

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada taraf α 5%

Pertumbuhan Trembesi

Hasil pengukuran pertumbuhan *S. saman* pada berbagai perlakuan disajikan pada Tabel 5. Pertambahan diameter tertinggi ditemukan pada perlakuan M1K2 (1,21 mm) dan pertambahan terendah pada perlakuan M0K3 (0,66 mm). Tanaman dengan FMA juga menunjukkan pertumbuhan tinggi yang lebih cepat dibandingkan tanpa FMA. Perlakuan M1K2 memiliki pertambahan tinggi tertinggi (12,45 cm), sedangkan M0K3 memiliki pertambahan tinggi terendah (2,56 cm). Selain itu, FMA juga berkontribusi pada peningkatan berat kering tanaman, yang ditunjukkan dengan bobot berat kering tertinggi pada perlakuan M1K2 (2,39 g) dan terendah pada perlakuan M0K3 (0,48 g). Laju fotosintesis tertinggi ditemukan pada perlakuan M0K2 ($19,07 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) dan M1K2 ($19,18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) dan laju fotosintesis terendah terdapat pada perlakuan M0K3 ($10,09 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman *S. saman* yang diinokulasi oleh FMA memiliki pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan tanpa FMA. Akar yang bermikoriza dapat meningkatkan serapan hara, terutama fosfor. FMA dapat meningkatkan luas serapan hara melalui ekstensi hifa eksternal sehingga tanaman lebih efisien dalam menyerap fosfor dan air. Akar yang bermikoriza dapat meningkatkan perkembangan akar dan memperluas daerah serapan hingga ke pori-pori tanah paling kecil sehingga meningkatkan ketersediaan fosfor (Basri 2018). Selain itu, FMA juga dapat meningkatkan ketersediaan fosfor melalui enzim fosfatase, sehingga meningkatkan fosfor tersedia dan dapat diserap tanaman melalui mekanisme serapan hara (Prasetya 2011; Same 2011; Rivana et al. 2016). Fosfor memiliki peranan yang penting dalam pertumbuhan tanaman. Fosfor berperan dalam mempercepat pembelahan sel, pengembangan jaringan, dan pertumbuhan daerah meristemik tanaman (Widiarti et al. 2015). Fosfor dapat mempercepat perkembangan akar, memungkinkan tanaman menyerap lebih banyak hara dan air, terutama pada awal pertumbuhan tanaman. Peningkatan serapan hara terutama ketersediaan fosfor yang cukup akan memastikan tanaman dapat tumbuh optimal.

Tanaman yang diinokulasi FMA memiliki pertumbuhan dan perkembangan organ yang lebih baik, seperti daun, sehingga laju fotosintesis dapat lebih optimal. FMA juga berperan dalam meningkatkan efisiensi fotosintesis dengan mempercepat translokasi fotosintat dari daun ke akar (Budi et al. 2015). Fotosintesis menghasilkan senyawa berenergi tinggi,

seperti ATP dan NADPH yang berperan dalam mereduksi CO_2 dan membentuk karbohidrat, yang akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti pembentukan daun, perluasan daun, batang dan akar (Faizin et al. 2015). Laju fotosintesis yang lebih efisien memungkinkan tanaman untuk menghasilkan energi lebih banyak yang akan digunakan dalam proses metabolisme tanaman. Oleh karena itu, tanaman yang diinokulasi FMA mempunyai produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh tanpa diberi FMA. Hal ini dapat dilihat berat kering *S. saman* yang diberi FMA memiliki berat kering yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa FMA.

Interaksi FMA dan pot organik dengan pertumbuhan tanaman

Perlakuan M1K2 menunjukkan pertumbuhan terbaik pada setiap parameter pengamatan. Hal ini diduga karena kandungan fosfor tersedia yang tinggi pada pot organik K2. Ketersediaan fosfor yang tinggi pada K2 sangat dibutuhkan pada awal pertumbuhan tanaman *S. saman*, karena fosfor berperan dalam mempercepat perkembangan akar. Akar yang berkembang dengan baik memungkinkan tanaman menyerap hara dan air yang dibutuhkan pada fase awal pertumbuhan. Selain itu, ketersediaan fosfor juga meningkatkan laju fotosintesis, sehingga menghasilkan karbohidrat yang mendukung pertumbuhan tanaman. Karbohidrat berlebih dikeluarkan dalam bentuk eksudat akar, yang memfasilitasi interaksi antara tanaman dan FMA. Menurut Widyati (2013), interaksi antara tanaman dan mikroba, termasuk fungi mikoriza, di zona rizosfir diinisiasi oleh tanaman dengan cara mensekresikan eksudat akar yang mengundang mikroba datang ke rizosfir. Oleh karena itu, terjalin simbiosis antara akar tanaman dengan fungi mikoriza, simbiosis ini mengakibatkan modifikasi pada akar tanaman dan daerah sekitar rizosfir yang memengaruhi pertumbuhan tanaman.

Eksudat akar merupakan bahan nutrisi bagi perkembangbiakan FMA. Kandungan bahan organik dalam eksudat berfungsi sebagai stimulan untuk proses perkecambahan spora (Koziol & James 2015). Selain itu, eksudat akar mengandung senyawa flavonoid sangat dibutuhkan oleh FMA terutama pada fase prasimbiosis. Senyawa flavonoid dapat merangsang pertumbuhan, percabangan, serta diferinsiasi hifa, sehingga mendukung penetrasi hifa ke dalam sel akar tanaman inang (Bertham 2006). Mekanisme ini memungkinkan FMA berkembang lebih optimal dan lebih cepat menjalin simbiosis mutualisme dengan akar tanaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan M1K1 juga memberikan hasil yang cukup baik terhadap pertumbuhan tanaman. Hal ini dapat dikaitkan dengan peran mikoriza dalam meningkatkan ketersediaan fosfor. Pot organik K1 memiliki kandungan P-potensial yang tinggi karena fosfor pada *rock phosphate* tergolong fosfor yang sukar larut. FMA berperan dalam meningkatkan ketersediaan fosfor melalui mekanisme sekresi asam organik dan enzim fosfatase, yang membantu melepaskan fosfor dari bentuk tidak larut menjadi lebih tersedia bagi tanaman. Hal ini terlihat dari peningkatan diameter batang, tinggi tanaman, berat kering, serta laju fotosintesis pada perlakuan M1K1 dibandingkan dengan M0K1 (tanpa mikoriza). Namun, efektivitas mikoriza pada perlakuan M1K1 masih lebih rendah dibandingkan dengan M1K2. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pelarutan fosfor dalam *rock phosphate* yang memerlukan waktu lebih lama untuk menjadi tersedia bagi tanaman (Bargaz *et al.* 2018).

Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskula

Kolonisasi FMA pada akar tanaman dapat diamati melalui perubahan struktur morfologi akar, yang ditandai dengan adanya vesikula, arbuskula, spora, dan hifa pada akar. Vesikula merupakan struktur penyimpanan lipid yang berbentuk bulat hingga lonjong, sedangkan arbuskula merupakan struktur bercabang yang berperan dalam transfer nutrisi antara FMA dan tanaman inangnya (Simanungkalit *et al.* 2006). Hifa berfungsi sebagai jembatan utama dalam transfer hara, terutama fosfor (P) dan nitrogen (N), dari mikoriza ke tanaman (Smith dan Read 2008). Pada pengamatan kolonisasi, struktur FMA yang teramati berupa vesikula, spora, dan hifa (Gambar 1).

Hasil pengamatan kolonisasi menunjukkan kolonisasi FMA tertinggi terjadi pada perlakuan M1K2 (97,28%), diikuti oleh M1K1 (57,22%), dan M1K3 (16,67%) sebagai yang terendah diantara perlakuan yang diinokulasi FMA. Sementara itu, perlakuan tanpa inokulasi (M0K1, M0K2, M0K3) tidak menunjukkan kolonisasi, menandakan tidak adanya infeksi alami FMA pada akar *S. saman* (Gambar 2).

Perlakuan M1K2 menunjukkan kolonisasi tertinggi. Hal ini disebabkan tingginya fosfor tersedia dalam pot organik K2 yang mendukung perkembangan tanaman dan meningkatkan eksudasi akar, sehingga menarik lebih banyak propagul FMA (Alori *et al.* 2017). Jumlah eksudat akar berhubungan erat dengan peningkatan kepadatan hifa mikoriza, sehingga meningkatkan kapasitas serapan hara tanaman. Pada perlakuan M1K2, diduga terjadi peningkatan serapan hara sehingga merangsang produksi eksudat akar, yang mempercepat kolonisasi FMA. Hal ini terlihat dari kolonisasi FMA pada M1K2 yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya.

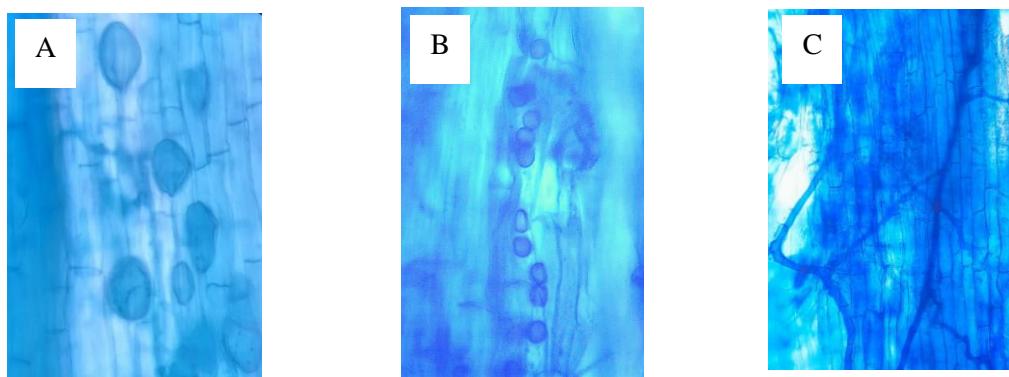
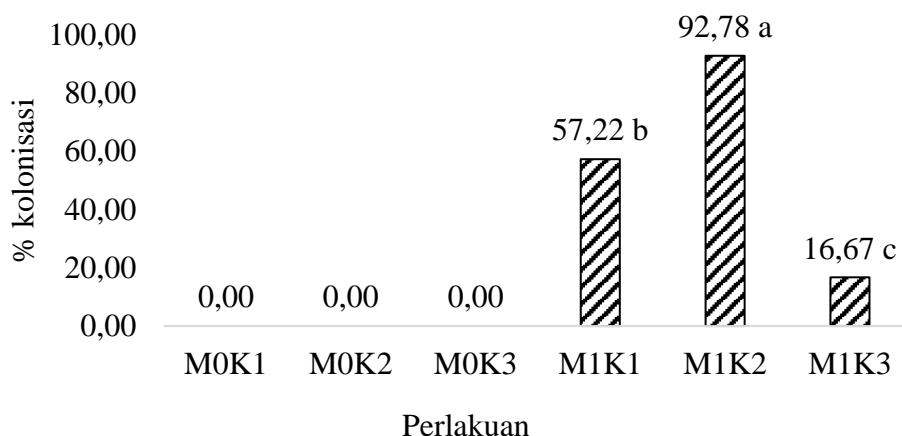
Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa persentase kolonisasi berkorelasi positif dengan parameter pertumbuhan *S. saman*, tetapi tingkat pengaruhnya bervariasi (Gambar 3). Korelasi yang kuat antara kolonisasi FMA dengan pertambahan tinggi dan berat kering tanaman (Gambar 3a dan 3c). Korelasi yang kuat menunjukkan bahwa FMA dapat meningkatkan efisiensi serapan hara terutama fosfor, yang mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Semakin tinggi kolonisasi, semakin besar kapasitas tanaman dalam memperoleh hara, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan tinggi *S. saman*.

Selain itu, peningkatan kolonisasi juga berkorelasi dengan akumulasi berat kering tanaman *S. saman*. Hal ini disebabkan oleh kemampuan hifa eksternal FMA dalam memperluas jangkauan penyerapan nutrisi dan air di dalam tanah, terutama pada kondisi dengan ketersediaan hara yang terbatas. Peningkatan kolonisasi juga memungkinkan terbentuknya lebih banyak arbuskula dalam akar tanaman, yang berperan sebagai pusat transfer hara antara FMA dan tanaman inang. Hasil tersebut sejalan dengan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa kolonisasi mikoriza dapat meningkatkan biomassa tanaman melalui peningkatan serapan nutrisi dan regulasi metabolisme tanaman (Smith & Read 2008).

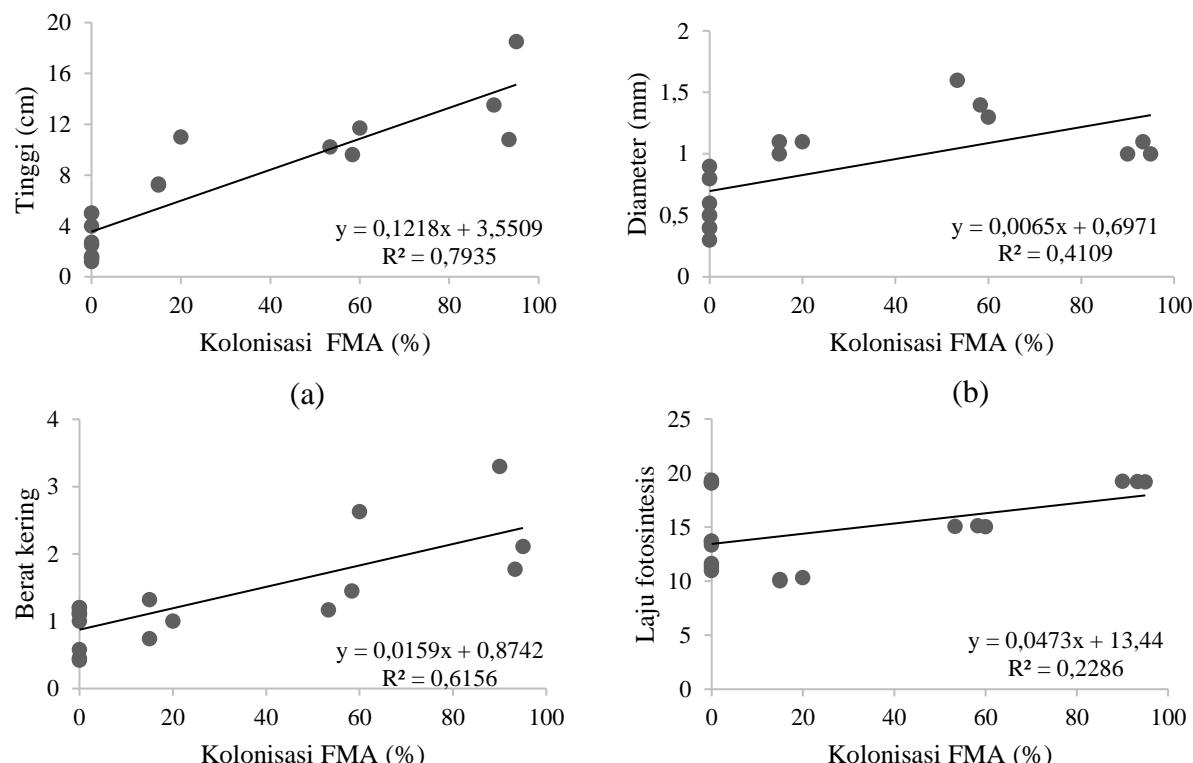
Korelasi yang lebih lemah terjadi pada penambahan diameter batang dan laju fotosintesis. Hubungan yang lemah antara kolonisasi FMA dan penambahan diameter batang mengindikasikan bahwa terdapat faktor lain yang memengaruhi penambahan diameter. Pertumbuhan diameter batang dipengaruhi oleh keseimbangan antara pertumbuhan jaringan pembuluh dan diferensiasi sel kayu yang tidak sepenuhnya bergantung pada kolonisasi FMA.

Korelasi yang rendah juga terjadi antara kolonisasi FMA dan laju fotosintesis. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun mikoriza berperan dalam meningkatkan serapan nutrisi, tetapi tidak secara langsung memengaruhi laju fotosintesis. Fotosintesis lebih dipengaruhi oleh faktor lain seperti intensitas cahaya, kadar CO₂, dan efisiensi enzim fotosintesis (Smith dan Read 2008). Namun, meskipun korelasinya lemah, kolonisasi FMA tetap berkontribusi dalam mendukung fotosintesis secara tidak langsung dengan meningkatkan efisiensi penyerapan hara, yang dapat memperkuat struktur fisiologis tanaman dan meningkatkan kapasitas metabolisme secara keseluruhan.

Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa kolonisasi FMA memainkan peran penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman *S. saman*, terutama dalam hal meningkatkan tinggi tanaman dan akumulasi biomassa. Pengaruh terhadap diameter batang dan laju fotosintesis lebih kompleks karena melibatkan berbagai faktor lain yang turut menentukan respon pertumbuhan tanaman.

Gambar 1 Struktur FMA pada *S. saman* (a) vesikula, (b) spora, (c) hifa internal

Gambar 2 Persentase koloniasi FMA



Gambar 3 Grafik korelasi antara persentase koloniasi dengan parameter pertumbuhan tanaman: (a) korelasi koloniasi FMA dengan tinggi, (b) korelasi koloniasi FMA dengan diameter, (c) korelasi koloniasi FMA dengan berat kering, (d) korelasi koloniasi FMA dengan laju fotosintesis.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Pemberian FMA dan penggunaan pot organik berpengaruh signifikan pada pertumbuhan *S. saman*. Pemberian FMA dan pot organik dengan komposisi limbah kardus 15%, pupuk kandang 70%, cocopeat 5%, dan guano 10% memberikan hasil pertumbuhan *S. saman* terbaik pada media tanam bekas tambang pasir silika. Perlakuan tersebut juga memiliki persentase kolonisasi tertinggi. Kombinasi FMA dan pot organik meningkatkan serapan hara, laju fotosintesis, serta kolonisasi akar.

Saran

Penerapan kombinasi FMA dan pot organik dengan komposisi limbah kardus 15%, pupuk kandang 70%, cocopeat 5%, dan guano 10% dapat menjadi strategi rehabilitasi lahan bekas tambang pasir silika. Alternatif lain, kombinasi FMA dan pot organik dengan komposisi limbah kardus 15%, pupuk kandang 70%, cocopeat 5%, dan rock phosphate 10% juga perlu dipertimbangkan. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk menguji efektivitas kombinasi ini dalam skala lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afa M. 2016. The effect of natural guano organic fertilizer on growth and yield of spring onion (*Allium fistulosum* L.). *Agrotech Journal* 1(1): 26-32.
- Alori ET, Glick BR, Babalola OO. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology* 8, 971.
- Basri AHH. 2018. Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Agrica Ekstensia* 12(2): 74-78.
- Bargaz A, Lyamlouli K, Chtouki M, Zeroual Y, Dhiba D. 2018. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. *Frontiers in Microbiology* 9, 1606.
- Berham YH. 2006. Pemanfaatan FMA dan Bradyrhizobium dalam meningkatkan produktivitas kedelai pada sistem agroforestri kayu bawang (*Scorodocarpus borneensis* Burm F) di Ultisol. [Disertasi] Bogor. Sekolah Pasca Sarjana IPB.
- Budi SW, Purwanti SI, Turjaman M. 2015. Fungi mikoriza arbuskula dan arang tempurung kelapa mempercepat pertumbuhan awal bibit *Calliandra calothyrsus* Meissn di media tanah marginal. *Jurnal Silvikultur Tropika* 06(2):114-118.
- Budi SW, Sukendro A, Karlinasari L. 2012. Penggunaan pot berbahan dasar organik untuk pembibitan *Gmelina arborea* roxb. di persemaian. *Jurnal Agronomi Indonesia* 40(3):239-245.
- Darmawan MI, Jaya JK, Ilmannafian AG, Safitri R. 2020. Analisis kelayakan usaha green polybag dari limbah industri kelapa sawit. *Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis* 6(1): 1-10
- Dewanto FG, Londok JJM, Tuturoong RA. 2013. Pengaruh pemupukan anorganik dan organik terhadap produksi tanaman jagung sebagai sumber pakan. *Zootek* 32(5): 1-8.
- Diba PF, Sasaty Ek, Pratjojo W. 2013. Peningkatan kadar N, P, dan K pada pupuk organik cair dengan pemanfaatan bat guano. *Indonesian Journal of Chemical Science* 2(1): 56-60.
- Elfarisna, Rahmayuni E, Gustia R. 2023. Efek amelioran pada pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 28(4): 660-666.
- Eviati, Sualeman. 2009. Geologie. In *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah.
- Faizin N, Mardhiansyah M, Yoza D. 2015. Respon pemberian beberapa dosis pupuk fosfor terhadap pertumbuhan semai akasia (*Acacia mangium* Willd.) dan ketersediaan fosfor di tanah. *JOM Faperta* 2 (2) 1-9.
- Flatian AN, Slamet S, Citraresmini A. 2018. Pelarutan tiga jenis fosfat alam oleh fungi pelarut fosfat. *Jurnal Tanah dan Iklim* 47(2): 83-90.
- Fuentes RA, Berthe JA, Barbosa SE, Castillo LA. 2021. Development of biodegradable pots from different agroindustrial wastes and byproducts. *Sustainable Materials and Technologies* 30: 338.
- Giovannetti M, Mosse B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84: 489-500.
- Hamid I, Priatna SJ, Hermawan A. 2017. Karakteristik beberapa sifat fisika dan kimia tanah pada lahan bekas tambang timah. *Jurnal Penelitian Sains* 19:23-31.
- Kamsurya MY, Botanri S. 2022. Peran bahan organik dalam mempertahankan dan perbaikan kesuburan tanah perantania; Review. *Jurnal Agrohut.* 13(1): 25- 34
- Kartika, E, Lizawati dan Hamzah. 2012. Isolasi, identifikasi dan pemurnian cendawan mikoriza arbuskulasi (cma) dari tanah bekas tambang batubara. *Bioplante* 1 (4): 1-11.
- Kotabe H. 1997. Batuan Fosfat dan Sumberdaya Fosfat. Pusat Penelitian Sumberdaya Fosfat Jepang, Kanagawa. (Dalam Bahasa Jepang).
- Koziol L, James DB. 2015 Mycorrhizal response trades off with plant growth rate and increases with plant successional status. *Ecology* 96(7): 1768–1774.
- Maulidan A, Arifin YF, Pujiawati. 2021. Studi pertumbuhan tanaman pada areal bekas tambang dataran tinggi di Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae* 4(2): 206-2017.
- Mendes GO, da Silva NM RM, Anastácio TC, Vassilev NB, Ribeiro Jr. JI, da Silva IR, Costa MD. 2015. Optimization of *Aspergillus niger* rock phosphate solubilization in solidstate fermentation and use of the resulting product as a P fertilizer. *Microbial Biotechnology* 8:930-939.
- Nariratih I, Damanik MMB, Sitanggang G. 2013. Ketersediaan nitrogen pada tiga jenis tanah akibat

- pemberian tiga bahan organik dan serapannya pada tanaman jagung. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 1(3): 479-488.
- Prasetya CAB. 2011. Assesment of the effect of long term tillage on the arbascular mycorrhiza colonization of vegetable crop grown in Andisol. *Agrivita* 33(1):85-92.
- Napitupulu D, Winarto L. 2010. Pengaruh pemberian pupuk N dan K terhadap pertumbuhan dan produksi bawang merah. *Jurnal Hortikultura* 20(1): 22-35.
- Prakoso T, Alpandari H, Sridjono H. 2022. Respon pemberian unsur hara makro essensial terhadap pertumbuhan jagung (*Zea mays*). *Muria Jurnal Agroteknologi* 1(1): 8-13.
- Purba MA, Fauzi, Sari K. 2015. Pengaruh pemberian fosfat alam dan bahan organik tanah pada tanah sulfat masam potensial terhadap P-tersedia tanah dan produksi padi (*Oryza sativa L.*). *Jurnal Online Agroteknologi* 3(3): 938-948.
- Rivana E, Indriani NP, Khairani L. 2016. Pengaruh pemupukan fosfor dan inokulas fungsi mikoriza arbuskula (FMA) terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman sorghum (*Sorghum bicolor L.*). *Jurnal Ilmu Ternak* 16(1): 46-53.
- Same M. 2011. Serapan phospat dan pertumbuhan bibit kelapa sawit pada tanah Ultisol akibat cendawan mikoriza abuskula. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 11(2): 69-76.
- Sari NM, Violet, Nisa K, Ajar S. 2021. Karakteristik dan uji pot organik berbahan dasar limbah kulit galam (*Melaleuca cajuputi*) dan enceng gondok (*Eichornia crassipes*) sebagai pengganti polybag. *Jurnal Hutan Tropis* 9(3): 310-315.
- Setiadi Y, Fiona D, Anira C. 2015. Deteksi dini keracunan aluminium tanaman bridelia monoica merr. Pada tanah pasca tambang batu bara PT. Jorong Barutama Greston Kalimantan Selatan. *Jurnal Silvikultur Tropika* 06(2): 101–106.
- Setyaningsih L, Dikdayatama FA, Wulandari AS. 2020. Arbuscular mycorrhizal and rhizobium enhance the growth of *Samanea saman* (trembesi) planted on gold-mine tailings in Pongkos, West Java, Indonesia. *Biodiversitas* 21(2): 611- 616.
- Setyowati RDN, Amala NA, Aini NNU. 2017. Studi pemilihan tanaman revegetasi untuk keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang. *Jurnal Teknik Lingkungan* 3(1): 14-20.
- Simanungkalit RDM, Saragih AA, Nurbailis N. 2006. Mikoriza sebagai biofertilizer dalam mendukung pertanian berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 6(2), 1-10.
- Smith SE, Read DJ. 2008. *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Surya JA, Nuraini Y, Widianto.2017. Kajian porositas tanah pada pemberian beberapa jenis bahan organik di perkebunan kopi robusta. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 4(1): 463-471.
- Taqiyuddin MFK, Hidayat L. 2020. Reklamasi tanaman adaptif lahan tambang Batubara PT BMB Blok Dua Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan. *Zira'ah* 43(3): 285-292.
- Triadiawarman D, Aryanto D, Krisbiyantoro J. 2022. Peran unsur hara makro terhadap pertumbuhan dan hasil bawang merah (*Allium cepa L.*). *Jurnal Agrifor* 11(1): 27-32.
- Wasis B, Sandrasari A. 2011. Pengaruh pemberian pupuk kompos terhadap pertumbuhan semai mahoni (*Swietenia macrophylla* King.) pada media tanah bekas tambang emas (tailing). *Jurnal Silvikultur Tropika*. 3(1): 109-112.
- Widiarti BN, Wardhini WK, Sarwono E. 2015. Pengaruh rasio C/N bahan baku pembuatan kompos dari kubis dan kulit pisang. *Jurnal Integrasi Proses* 5(2): 75- 80.
- Widyati E. 2013. Memahami interaksi tanaman-mikroba. *Tekno Hutan Tanaman* 6(1): 13-20.
- Yulia R, Nelvia N, Ariani E. 2018. Pengaruh campuran cocopeat dan rock phosphate terhadap pertumbuhan dan hasil tiga varietas padigogo (*Oryza sativa L.*) pada medium ultisol. *Jurnal Solum* 15(1): 17-25.
- Zhang H, Liu P, Musa SM, Mai C, Zhang K. 2019. Dialdehyde cellulose as a biobased robust adhesive for wood bonding. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 7(12): 10452-10459.