

Respon Pertumbuhan dan Hasil Kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap Prototipe Pupuk Hayati FMA Indigenus dengan Media Pembawa Berbeda dan Konsentrasi Pupuk Hayati Cair

(*Growth Response and Yield of Cocoa (Theobroma cacao L.) to Indigenous AMF Biofertilizer Prototypes with Different Carrier Media and Liquid Biofertilizer Concentration*)

Melani Jelita Tarigan, I Nyoman Rai[✉], I Wayan Wiraatmaja

Agroecotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, Universitas Udayana

[✉]Corresponding author email: rainyoman@unud.ac.id

Article history: submitted: August 18, 2022; accepted: October 30, 2022; available online: November 29, 2022

Abstract. Bali Cocoa is famous for its organic cocoa, but its production has not yet reached the national average of cocoa production. One of the centers and the highest cocoa production in Bali is in Jembrana Regency. One of the efforts to increase cocoa production is by adding biological fertilizers with the active ingredient of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and adding liquid biological fertilizers. This study aims to determine the response of cocoa growth and yield to the prototype of indigenous AMF biofertilizer and the concentration of liquid biological fertilizer. This study used a randomized block design with 2 factors and 3 replications. The results showed that volcanic sand was a better carrier for mycorrhizal spores than zeolite and the application of liquid biological fertilizer with a concentration of 20 ml/L of water was able to give the highest yield. The interaction between the prototype of indigenous AMF biological fertilizers and the concentration of liquid biological fertilizers had no significant effect on all observed variables.

Keywords: carrier media; cocoa; liquid biofertilizer; mycorrhizae

Abstrak. Kakao Bali terkenal dengan kakao organik, namun produksinya belum mencapai rata-rata produksi kakao nasional. Salah satu sentra dan penghasil kakao tertinggi di Bali terdapat di Kabupaten Jembrana. Upaya dalam meningkatkan produksi kakao salah satunya dengan cara penambahan pupuk hayati dengan bahan aktif fungi mikoriza arbuskular (FMA) indigenus dan penambahan pupuk hayati cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon pertumbuhan dan hasil kakao terhadap prototipe pupuk hayati FMA indigenus dan konsentrasi pupuk hayati cair. Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) 2 faktor dan 3 ulangan. Hasil penelitian menunjukkan pasir vulkanik merupakan media pembawa spora mikoriza yang lebih baik digunakan daripada zeolit serta pemberian pupuk hayati cair dengan konsentrasi 20 ml/L air mampu memberikan hasil tertinggi. Interaksi antara prototipe pupuk hayati FMA indigenus dan konsentrasi pupuk hayati cair berpengaruh tidak nyata terhadap semua variabel yang diamati.

Kata kunci: kakao; media pembawa; mikoriza; pupuk hayati cair

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu tanaman perkebunan yang bernilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam meningkatkan pendapatan negara. Di Bali, Kabupaten Jembrana merupakan salah satu sentra penghasil kakao, selain Kabupaten Tabanan dan Kabupaten Buleleng.

Budidaya kakao di Bali banyak diantaranya dilakukan secara organik, namun produksinya belum mencapai rata-rata produksi kakao nasional. Berdasarkan data Dirjen Perkebunan (2020), produktivitas kakao di Bali dan nasional berturut-turut

adalah 0,36 ton.ha⁻¹ dan 0,49 ton.ha⁻¹. Upaya untuk meningkatkan produksi kakao antara lain melalui pemupukan dengan pupuk hayati dengan bahan aktif Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) dengan media pembawa berbeda dan penambahan pupuk hayati cair.

Pemanfaatan FMA indigenus yaitu mikoriza yang diisolasi dari tanaman tertentu kemudian dikembalikan lagi ke jenis tanaman yang bersangkutan dapat menjadi salah satu alternatif yang efektif untuk meningkatkan produksi tanaman. Mikoriza merupakan salah satu mikrobioma tanah yang berpotensi besar untuk digunakan sebagai sumber inokulan dalam pengembangan pupuk

hayati/biofertilizer (Etesami *et al.*, 2021), karena mampu memfasilitasi penyerapan unsur hara dan air dalam tanah (Sundari *et al.*, 2011; Basri, 2018). Penggunaan FMA indigenus sebagai sumber inokulan memiliki keuntungan yaitu pemakaiannya ramah lingkungan, membantu penyerapan hara dan air, dan tanaman yang terinfeksi FMA sekali saja akan bermanfaat selama hidup tanaman tersebut (Ura *et al.*, 2015). Menurut Chauhan *et al.* (2013) dan Ura *et al.* (2015), tanaman yang terinfeksi FMA akan meningkatkan kemampuan tanaman dalam pengambilan unsur hara (K, Mg, Ca, O, H, C, dan S) terutama fosfor yang berguna untuk pertumbuhan dan hasil tanaman.

Pembuatan prototipe pupuk hayati FMA indigenus memerlukan media pembawa/*carrier* yang tepat bagi spora mikoriza. Pemilihan media pembawa yang tepat menjamin spora tetap *viable* dan tetap hidup dalam jangka waktu lama sebelum diaplikasikan. Menurut Ishaq *et al.* (2021), pemilihan media pembawa spora yang baik memerlukan beberapa pertimbangan, diantaranya media harus memiliki aerasi yang baik, mudah disterilisasi, tidak beracun, dan mampu mempertahankan viabilitas mikoriza dalam jangka waktu yang lama. Jenis media pembawa yang sering digunakan adalah zeolit (Juniari *et al.*, 2020), namun penggunaan zeolit membutuhkan biaya yang relatif mahal. Oleh karena itu, perlu dicoba jenis media pembawa lainnya yang mudah didapatkan serta harganya terjangkau. Dalam penelitian ini diuji efektivitas pasir vulkanik sebagai media pembawa spora selain zeolit yang memiliki sifat sesuai dengan syarat-syarat media pembawa. Fungsi pasir vulkanik selain mampu memperbaiki struktur tanah, juga dapat mengurangi efek racun asam-asam organik (Juniari *et al.*, 2020).

Penyemprotan pupuk hayati cair pada kakao diharapkan dapat meningkatkan produksi dan kualitas buah kakao karena pupuk hayati cair selain mengandung mikroba, juga mengandung unsur hara seperti P, K dan unsur mikro Zn yang dapat merangsang pertumbuhan dan meningkatkan

metabolisme sehingga tanaman akan menghasilkan lebih banyak fotosintat untuk mendukung proses pembentukan dan pengisian buah.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh interaksi prototipe pupuk hayati FMA indigenus dengan media pembawa berbeda dan konsentrasi pupuk hayati cair serta mendapatkan prototipe FMA indigenus dengan media pembawa terbaik dan konsentrasi pupuk hayati cair terbaik dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman kakao.

METODE

Penelitian dilaksanakan pada Januari hingga Juni 2022. Pengamatan tingkat infeksi/kolonisasi akar oleh mikoriza dilaksanakan di Laboratorium Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian Unud dan Laboratorium Sumber Daya Genetik dan Biologi Molekuler Unud, sedangkan penelitian uji efektivitas prototipe pupuk hayati FMA indigenus dengan media pembawa berbeda dan konsentrasi pupuk hayati cair dilaksanakan di Dusun Pangkung Medahan, Desa Pulukan, Kecamatan Pekutatan, Jembrana

Alat dan bahan yang digunakan meliputi skop, kantong plastik, amplop, gunting, pinset, sprayer, blender, oven, timbangan, cawan petri, gelas objek, *cover glass*, sentrifuse, mikroskop stereo dan mikroskop compound, jarum ose, satu set saringan (*sieve*) dengan diameter lubang 1 mm, 500 μm , 212 μm , 106 μm , dan 53 μm , gelas beaker 100 ml, *Chlorophyll Meter SPAD*, alat tulis, kamera, kertas label, tisu, akar kakao, aquades, glukosa 60%, KOH 10%, 3% H_2O_2 , 1% HCL, *lactoglycerol*, *trypan blue*, aluminium foil, media pembawa zeolit granula, zeolit serbuk, pasir vulkanik, pupuk hayati cair Sunland, dan tanaman kakao.

Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) faktorial 2 faktor. Faktor pertama adalah prototipe pupuk hayati FMA Indigenus (P) dengan media pembawa berbeda terdiri atas 4 taraf (P_t = tanpa

pemberian prototipe/kontrol, P_g = prototipe dengan media pembawa zeolit granula/butiran, P_s = prototipe dengan media pembawa zeolit serbuk, dan P_v = prototipe dengan media pembawa pasir vulkanik), sedangkan faktor kedua adalah konsentrasi pupuk hayati cair (H) terdiri atas 3 taraf (H_0 = tanpa pemberian pupuk hayati cair/kontrol, H_1 = konsentrasi 10 ml/L air, H_2 = konsentrasi 20 ml/L air). Dengan demikian terdapat 12 perlakuan kombinasi dan masing masing diulang sebanyak 3 kali, sehingga dibutuhkan 36 pohon kakao sebagai sampel.

Penelitian diawali dengan pengambilan sampel tanah dan akar sebagai sumber spora mikoriza, di tiga lokasi perkebunan kakao yaitu Kecamatan Mendoyo, Jembrana, Kecamatan Selemadeg Timur, Tabanan dan Kecamatan Kubutambahan, Buleleng. Setelah itu dilakukan isolasi spora FMA di laboratorium. Prototipe pupuk hayati FMA dibuat dari kombinasi antara jenis isolat/genus mikoriza, jumlah spora, dan jenis media pembawa (*carrier*). Formulasi prototipe pupuk hayati untuk tiap tanaman terdiri atas 150 spora campuran/ konsorsium berbagai genus yang diambil dari 3 lokasi berbeda lalu ditaburkan dan diaduk merata dalam 1 kg media pembawa. Prototipe pupuk hayati tersebut ditebarkan secara merata pada

perakaran kakao mulai dari pangkal batang sampai 1 m dari pangkal batang. Sedangkan pupuk hayati cair disemprotkan ke daun secara merata, diberikan sebanyak 3 kali dengan interval 1 bulan sekali dan pemberian pertama adalah saat penelitian dimulai.

Data hasil penelitian dianalisis dengan sidik ragam (*analysis of variance/anova*) pada taraf 5% sesuai rancangan yang digunakan. Apabila interaksi berpengaruh nyata maka dilakukan uji lanjut dengan uji Duncan taraf 5%, sedangkan apabila interaksi berpengaruh tidak nyata maka dilakukan uji lanjut untuk pengaruh faktor tunggal dengan uji BNT taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan Interaksi antara perlakuan prototipe pupuk hayati FMA indigenus (P) dan konsentrasi pupuk hayati cair (H) berpengaruh tidak nyata terhadap semua variabel yang diamati. Perlakuan prototipe pupuk hayati FMA indigenus (P) berpengaruh sangat nyata terhadap munculnya bunga, sedangkan perlakuan konsentrasi pupuk hayati cair (H) berpengaruh sangat nyata terhadap munculnya tunas dan kandungan hara P daun (Tabel 1).

Tabel 1. Signifikansi pengaruh prototipe pupuk hayati FMA indigenus (P) dan konsentrasi pupuk hayati cair (H) serta interaksinya (PH) terhadap variabel yang diamati

No.	Variabel	Perlakuan		
		P	H	PH
1	Munculnya Bunga (hsa)	**	ns	ns
2	Munculnya Tunas (hsa)	ns	*	ns
3	Kandungan klorofil daun (SPAD)	ns	ns	ns
4	Kandungan air relatif daun (%)	ns	ns	ns
5	Kandungan hara P daun (%)	ns	**	ns
6	Kandungan gula total, reduksi, dan sukrosa daun	ns	ns	ns
7	Jumlah bunga per pohon (buah)	ns	ns	ns
8	Jumlah buah per pohon (buah)	ns	ns	ns
9	Berat buah panen per pohon (kg)	ns	ns	ns
10	Jumlah biji per pohon (buah)	ns	ns	ns
11	Berat kering jemur per biji (g)	ns	ns	ns
12	Berat biji kering jemur per pohon (g)	ns	ns	ns

Keterangan: ns: berpengaruh tidak nyata ($P \geq 0,05$); * : berpengaruh nyata ($P < 0,05$); **: Berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$).

Pada perlakuan prototipe pupuk hayati FMA indigenus, prototipe dengan media pembawa pasir vulkanik (Pv) cenderung memberikan berat buah panen per pohon tertinggi (24,07 kg) dibandingkan prototipe dengan media pembawa zeolit granula (Pg), zeolit serbuk (Ps) dan tanpa pemberian prototipe pupuk hayati (Pt) dengan nilai masing-masing 13,99 kg, 23,43 kg dan 15,42 kg. Hal tersebut berarti berat buah panen per pohon pada Pv lebih tinggi 72,05% dibandingkan dengan Pg dan lebih tinggi 56,10% dibandingkan dengan Pt. Tingginya berat buah panen per pohon pada Pv didukung oleh tingginya jumlah buah per pohon (53,74 buah) dan jumlah biji per pohon (2.199,07). Selain itu, didukung juga oleh jumlah buah per pohon (53,74 kg) dan jumlah bunga per pohon (86,78 buah). Berat buah dan jumlah buah per pohon yang tertinggi pada Pv menyebabkan berat biji kering jemur per pohon tertinggi (1,73 kg), namun secara statistik berbeda tidak nyata dengan taraf

perlakuan lainnya (Tabel 2). Tingginya jumlah bunga per pohon pada Pv berkaitan dengan munculnya bunga tercepat pada taraf tersebut (17,22 hsa).

Hasil dan komponen hasil kakao yang tinggi pada Pv berkaitan dengan tingginya kandungan klorofil daun pada taraf tersebut dengan nilai 41,18 SPAD. Klorofil daun merupakan pigmen yang berperan utama dalam proses fotosintesis untuk menyerap cahaya matahari sehingga tanaman mampu mengubah energi matahari menjadi energi kimia berupa gula (Putri, 2019). Dengan kandungan klorofil daun tertinggi pada Pv maka proses fotosintesis berjalan lancar dan hal tersebut didukung oleh Kandungan Air Relatif (KAR) daun yang juga relatif tinggi pada Pv. Kandungan KAR daun yang cukup menjamin lancarnya proses metabolisme tanaman dengan baik, termasuk proses fotosintesis, sehingga pertumbuhan dan hasil tanaman meningkat (Baccari *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2021).

Tabel 2. Pengaruh prototipe pupuk hayati FMA indigenus (P) dan konsentrasi pupuk hayati cair (H) serta interaksinya (PH) terhadap variabel yang diamati

No	Parameter	Prototipe Pupuk Hayati FMA Indigenus				Konsentrasi Pupuk Hayati Cair		
		Pt	Pg	Ps	Pv	H ₀	H ₁	H ₂
1	Munculnya Bunga (hst)	18,44 a	19,11 a	18,89 a	17,22 b	18,83 a	18,58 a	17,83 a
2	Munculnya tunas (hst)	17,22 a	17,67 a	18,11 a	18,44 a	18,92 a	16,58 b	18,08 ab
3	Kandungan klorofil daun (SPAD)	37,84 a	40,21 a	40,24 a	41,18 a	38,28 a	40,28 a	41,04 a
4	Kandungan air relatif daun (%)	76,29 a	76,37 a	77,90 a	74,43 a	74,84 a	75,42 a	76,48 a
5	Kandungan P daun (%)	0,11 a	0,07 a	0,09 a	0,10 a	0,06 b	0,08 b	0,14 a
6	Kandungan gula total daun (%)	2,58 a	2,63 a	3,28 a	3,14 a	2,90 a	3,10 a	3,20 a
7	Kandungan gula reduksi daun (%)	1,28 a	1,39 a	1,50 a	1,39 a	1,36 a	1,34 a	1,47 a
8	Kandungan sukrosa daun (%)	1,70 a	1,24 a	1,78 a	1,74 a	1,54 a	1,75 a	1,55 a
9	Jumlah bunga per pohon (buah)	55,39 a	39,44 a	62,94 a	86,78 a	54,13 a	58,46 a	70,83 a
10	Jumlah buah per pohon (buah)	39,24 a	35,44 a	50,78 a	53,74 a	37,78 a	39,68 a	56,94 a
11	Berat buah panen per pohon (kg)	15,42 a	13,99 a	23,43 a	24,07 a	15,11 a	16,57 a	26,00 a
12	Jumlah biji per pohon (buah)	1.650,73 a	1.450,39 a	2.077,83 a	2.199,07 a	1.545,87 a	1.623,73 a	2.330,17 a
13	Berat kering jemur per biji (g)	0,73 a	0,74 a	0,75 a	0,77 a	0,75 a	0,75 a	0,75 a
14	Berat biji kering jemur per pohon (kg)	1,06 a	1,11 a	1,46 a	1,73 a	1,14 a	1,17 a	1,71 a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada perlakuan dan baris menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% .

Kandungan klorofil daun yang lebih tinggi menyebabkan tanaman mampu menghasilkan gula total dan gula reduksi lebih tinggi. Tabel 2 menunjukkan kandungan klorofil daun pada Pv, Ps dan Pg yang lebih tinggi dibandingkan pada Pt menghasilkan kandungan gula total daun dan gula reduksi yang juga lebih tinggi, walaupun secara statistik berbeda tidak nyata. Hal tersebut membuktikan bahwa pada taraf pemberian prototipe pupuk hayati dengan media pembawa Pv, Ps dan Pg proses fotosintesisnya berjalan lebih baik karena ketiga taraf perlakuan tersebut mampu mengakumulasi gula total dan gula reduksi di daun lebih tinggi dibandingkan Pt. Lebih tingginya kandungan gula total dan gula reduksi daun pada Pv, Ps dan Pg karena pada taraf perlakuan tersebut terdapat inokulan FMA yang membantu tanaman kakao menyerap unsur hara dan air (Rai *et al.*, 2018; Rai *et al.*, 2019; Raimi *et al.*, 2021) sehingga proses fotosintesisnya berjalan lebih baik dibandingkan dengan Pt (kontrol) yang tidak diberikan inokulan FMA. Adanya FMA pada Pv, Ps dan Pg tidak hanya meningkatkan proses metabolisme pada tanaman kakao yang dicerminkan oleh meningkatkan kandungan gula total dan gula reduksi daun, tetapi juga meningkatkan kesuburan tanah. Tabel 4 menunjukkan tingkat kesuburan tanah pada Pv, Ps dan Pg pada akhir penelitian jauh lebih baik dibandingkan pada Pt yang ditunjukkan oleh kandungan C Organik, N Total, P tersedia, K tersedia dan kadar air tanah kapasitas lapang lebih tinggi.

Kesuburan tanah pada Pv, Ps dan Pg yang lebih baik dibandingkan pada Pt menunjukkan bahwa inokulan FMA pada prototipe pupuk hayati dengan media pembawa pasir vulkanik, zeolit serbuk dan zeolit granula mampu mengeksploitasi nutrisi/unsur hara dan air yang jauh dari daerah perakaran kemudian dibawa ke daerah perakaran (rhizosfer) tanaman kakao, kemudian unsur hara dan air tersebut digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Sasvari (2012) dan Herlina *et al.*

(2017) menyatakan bahwa FMA meningkatkan penyerapan unsur hara dari daerah yang jauh dari perakaran tanaman melalui struktur mikoriza yang membentuk luas permukaan akar lebih besar sehingga akar tanaman mempunyai kemampuan menyerap unsur hara secara lebih luas, lebih dalam, dan lebih cepat. Unsur hara yang paling utama dibantu penyerapannya oleh FMA melalui simbiosis antara tanaman dengan mikoriza adalah unsur fosfor (Brundrett, 2017; Sneha *et al.*, 2018; Ruan dan Sternfeld, 2020). Namun dalam penelitian ini, kandungan hara P daun pada Pv, Ps dan Pg ternyata lebih rendah dibandingkan P daun pada Pt, walaupun secara statistik berbeda tidak nyata (Tabel 2). Diduga hara P yang diserap pada taraf perlakuan yang diberikan inokulan FMA, hara P tersebut dengan segera digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan reproduktif tanaman kakao yang ditunjukkan oleh lebih baiknya pertumbuhan dan hasil kakao pada taraf perlakuan yang diberikan inokulan FMA, terutama pada Pv. Selain itu, ditunjukkan juga oleh lebih tingginya kandungan sukrosa pada taraf Pt (1,70%), yang mengindikasikan bahwa gula-gula hasil fotosintesis pada Pt tidak segera direspirasikan untuk menghasilkan energi (ATP) sehingga sukrosanya lebih banyak menumpuk di daun. Sementara pada Pv, Ps dan Pg, P yang diserap dengan bantuan FMA segera dimetabolisme untuk menghasilkan ATP sehingga kandungan P di daun pada taraf tersebut rendah yang diikuti dengan kandungan sukrosanya juga rendah, karena sukrosa segera dioksidasi untuk menghasilkan energi (ATP). Bechtaoui *et al.* (2021) dan Verlinden *et al.* (2022) menyatakan bahwa unsur P merupakan hara terpenting dalam penyiapan energi pada makhluk hidup termasuk tanaman karena hara P sebagai pembentuk ATP. P yang diserap oleh tanaman akan dimetabolisme, salah satunya menghasilkan ATP. Simanungkalit *et al.* (2013) menyatakan, P sangat berpengaruh pada pertumbuhan generatif karena unsur tersebut berperan

dalam meningkatkan pembungaan, meningkatkan translokasi hasil fotosintat, dan mempercepat pembentukan serta pembesaran buah. Dalam penelitian ini, inokulasi FMA dengan media pembawa pasir vulkanik (Pv) memberikan hasil kakao terbaik dan tingkat kesuburan tanah juga lebih baik dibandingkan dengan perlakuan media yang lainnya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Trisnayanti *et al.* (2021) bahwa pasir vulkanik dengan tekstur kasar dan kandungan hara yang rendah, sangat baik sebagai medium tumbuh inokulum mikoriza arbuskula.

Hasil pengamatan terhadap infeksi akar oleh FMA menunjukkan semua tanaman sampel terinfeksi oleh mikoriza dengan tingkat infeksi mencapai 100% (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa walaupun pada taraf Pt (kontrol) tanaman kakao tidak diberikan FMA tetapi infeksi akar oleh mikoriza tetap terjadi, yang berarti bahwa secara alami pada perakaran tanaman kakao sudah ada mikoriza. Mikoriza tersebut secara aktif melakukan simbiosis dengan kakao yang ditunjukkan dengan tingkat infeksi akar sampai mencapai 100%. Perbedaan antara

taraf Pt dengan taraf lainnya adalah tanaman kakao yang diinokulasi dengan FMA yaitu pada Pv, Ps dan Pg, kesuburan tanah pada akhir penelitian meningkat yang ditunjukkan oleh kandungan hara N, P, dan K tersedia lebih tinggi dibandingkan pada Pt (kontrol). Hal tersebut menunjukkan dengan pemberian FMA melalui prototipe pupuk hayati, keaktifan dan efektivitas simbiosis antara tanaman inang dengan mikoriza meningkat sehingga pertumbuhan tanaman dan kesuburan tanah meningkat. Trisnayanti *et al.* (2021) mendapatkan bahwa inokulasi mikoriza pada kakao menyebabkan kemampuan akar dalam mengeksplorasi unsur hara dan air semakin meningkat dengan semakin luasnya jangkauan akar karena adanya hifa mikoriza. Hifa mikoriza yang lebih halus mampu menjangkau unsur hara dan air pada pori-pori media yang lebih halus dan lebih jauh. Sahara *et al.* (2020) menyatakan bahwa pemberian mikoriza pada tanaman salak menyebabkan infeksi akar oleh mikoriza meningkat dan hal tersebut berkaitan dengan meningkatnya jumlah buah per tandan dan berat buah per tanaman.

Tabel 3. Pengaruh prototipe pupuk hayati FMA indigenus (P) dan perlakuan konsentrasi pupuk hayati cair (H) terhadap tingkat infeksi akar

Perlakuan	Infeksi akar tanaman setelah pengaplikasian prototipe pupuk hayati mikoriza (%)			
	P _t	P _g	P _s	P _v
H ₀	100%	100%	100%	100%
H ₁	100%	100%	100%	100%
H ₂	100%	100%	100%	100%

Keterangan: Tingkat infeksi akar oleh mikoriza dikelompokkan menjadi 5 kelas menurut Nurhandayani *et al.* (2013), yaitu: Kelas 1 bila infeksi akar 0% - 5% (sangat rendah), Kelas 2 bila infeksi akar 6% - 25% (rendah), Kelas 3 bila infeksi akar 26% - 50% (sedang), Kelas 4 bila infeksi akar 51% - 75% (tinggi), dan Kelas 5 bila infeksi akar 76% - 100% (sangat tinggi)

Pada perlakuan konsentrasi pupuk hayati cair, konsentrasi 20 ml.L⁻¹ (H₂) menghasilkan berat buah panen per pohon tertinggi (26,00 kg) namun berbeda tidak nyata dengan konsentrasi 10 ml.L⁻¹ (H₁) dan 0 ml.L⁻¹ (H₀)/kontrol dengan berat buah panen per pohon masing-masing 16,57 kg

dan 15,11 kg. Berat buah panen per pohon pada H₂ lebih tinggi 72,07% dibandingkan dengan H₀. Tingginya berat buah panen per pohon pada H₂ akhirnya menghasilkan berat biji kering jamur per pohon tertinggi yaitu 1, 71 g, atau meningkat masing-masing 31,57% dan 33,33% dibandingkan pada H₁ dan H₀

dengan berat biji kering jemur per pohon masing-masing 1,17 kg dan 1,14 kg. Tingginya berat buah per pohon pada H₂ didukung oleh jumlah buah per pohon dan jumlah biji per pohon, sementara jumlah buah per pohon yang tinggi berkaitan dengan jumlah bunga pada H₂ yang juga tertinggi,

walaupun secara statistik berbeda tidak nyata dengan H₁ dan H₀ (Tabel 2). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Rojas *et al.* (2020) bahwa berat buah kakao per pohon yang lebih tinggi berhubungan sangat erat dengan meningkatnya jumlah buah per pohon.

Tabel 4. Pengaruh media pembawa pupuk hayati FMA indigenus (P) terhadap kesuburan dan sifat fisik tanah.

Perlakuan	pH (1:2,5) H ₂ O	DHL (mmhos/ cm)	C Organik (%)	N Total (%)	P Tersedia (ppm)	K Tersedia (ppm)	Kadar Air (%)		Tekstur (%)		
							KU	KL	Pasir	Debu	Liat
Pt	6,6	0,35	2,57	0,45	9,82	101,72	10,09	42,66	33,10	28,50	38,40
	N	SR	S	S	SR	R				LB	
Pg	6,7	0,18	3,02	0,34	60,77	433,02	10,69	45,09	27,04	36,92	36,05
	N	SR	T	S	ST	ST				LB	
Ps	6,8	0,18	3,01	0,42	20,13	222,19	10,27	47,63	32,27	28,49	39,24
	N	SR	T	S	S	T				LB	
Pv	6,8	0,11	3,85	0,49	70,18	437,79	9,86	48,79	53,44	14,94	31,63
	N	SR	T	S	ST	ST				LLB	

Keterangan: - Analisis dilakukan di Laboratorium Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Unud (2022).
 - Singkatan: DHL = Daya hantar Listrik, KTK = Kapasitas Tukar Kation, KB = Kejenuhan Basa, KU = Kering Udara, KL = Kapasitas Lapang, C – carbon, N = Nitrogen, P = Fosfor, K = Kalium, N = Netral, SR = Sangat Rendah, S = Sedang, R = Rendah, ST = Sangat Tinggi, T = Tinggi, LB = Lempung Berliat, dan LLB = Lempung Liat Berpasir.
 - Metode pengukuran: C Organik metode Walkley & Black, N Total metode Kjeldahl, P dan K Metode Bray-1, KU dan KL metode Gravimetri, DHL metode kehantaran listrik, KTK dan KB metode pengekstrak NH₄Oac, dan Tekstur metode Pipet.

Berat biji per pohon yang tertinggi pada H₂ (1,71 kg) berkaitan dengan kandungan hara P daun yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan H₁ dan H₀ serta kandungan klorofil dan KAR daun yang juga tertinggi pada H₂ walaupun secara statistik berbeda tidak nyata dengan H₁ dan H₀ (Tabel 2). Data ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati cair 20 ml.L⁻¹ dengan cara disemprotkan ke daun mampu meningkatkan konsentrasi hara P di daun serta kandungan klorofil dan KAR daun. Hal tersebut terjadi karena pupuk hayati cair yang digunakan mengandung unsur hara P, K dan hara mikro Zn serta mikroorganisme yang mampu meningkatkan metabolisme tanaman sehingga pertumbuhan dan hasil kakao per

pohon meningkat. Meningkatnya konsentrasi hara P pada daun dalam penelitian ini dan dengan adanya hara-hara lain dalam pupuk hayati cair yang disemprotkan mendukung pertumbuhan tanaman kakao secara keseluruhan karena secara umum tanaman tidak hanya membutuhkan satu unsur hara saja. Fosfor merupakan bagian yang esensial dari berbagai gula fosfat yang berperan dalam reaksi-reaksi pada fase gelap fotosintesis, respirasi dan berbagai proses metabolisme lainnya sehingga dengan meningkatkan fosfor dalam jaringan daun akan meningkatkan proses fotosintesis, dibuktikan dengan lebih tingginya kandungan gula total dan gula reduksi pada taraf konsentrasi H₂ (Tabel 2).

SIMPULAN

Interaksi antara prototipe pupuk hayati FMA indigenus dengan media pembawa berbeda dan konsentrasi pupuk hayati cair berpengaruh tidak nyata terhadap semua variabel yang diamati. Prototipe pupuk hayati FMA indigenus dengan media pembawa pasir vulkanik memberikan berat buah (24,07 kg) dan berat biji kering jamur per pohon (1,73 kg) tertinggi tetapi berbeda tidak nyata dengan media pembawa zeolite serbuk, zeolite granula dan kontrol. Konsentrasi pupuk hayati cair 20 ml.L⁻¹ menghasilkan berat buah dan berat biji kering jamur per pohon tertinggi (26,00 kg 1.71 kg) tetapi berbeda tidak nyata dengan konsentrasi 10 ml.L⁻¹ dan 0 ml.L⁻¹.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Udayana atas dana yang diberikan melalui hibah penelitian Invensi Udayana tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Baccari, S., Elloumi, O., Chaari-Rkhis, A., Fenollosa, E., Morales, M., Drira, N., Abdallah, F.B., Fki, L., & Munne-Bosch, S. (2020). Linking leaf water potential, photosynthesis and chlorophyll loss with mechanisms of photo and antioxidant protection in juvenile olive trees subjected to severe drought. *Front. Plant Sci.* 11:614144. Doi: 10.3389/fpls.2020.614144
- Basri, A.H.H. (2018). Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Agrica Ekstensi*, 12(2): 74-78.
- Bechtaoui, N., Rabiou, M.K., Raklami, A., Oufdou, K., Hafidi, M., & Jemo, M. (2021). Phosphate-dependent regulation of growth and stresses management in plants. *Front. Plant Sci.* 12:679916. Doi: 10.3389/fpls.2021.679916.
- Brundrett, M.C. (2017). Distribution and evolution of mycorrhizal types and other specialized roots in Australia. *Ecol. Stud.* 230:361-394. Doi:10.1007/978-3-319-56363-3_17.
- Chauhan, S., Kaushik, S., & Aggarwal, A. (2013). AM fungal diversity in selected medicinal plants of Haryana, India. *Botany Research International* 6(2): 41-46.
- Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia.(2020). *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021*. <https://ditjenbun.pertanian.go.id/?publikasi=buku-statistik-perkebunan-2019-2021>.
- Etesami, H., Jeong, B.R., & Glick, B.R. (2021). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing bacteria, and silicon to P uptake by plant. *Front. Plant Sci.* 12:699618. Doi: 10.3389/fpls.2021.699618.
- Herlina, B., Sutejo, & Laksono, J. (2017). Peranan inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) dan pupuk fosfat terhadap produktivitas dan kandungan nutrisi *Indigofera zollingeriana*. *Sain Peternakan Indonesia* 12(2):184-190.
- Ishaq, L.F., Lukiwati, D.R., Benggu, Y.I., & Bako, P.O. (2021). Kajian jenis bahan pembawa dan lama simpan terhadap infektivitas dan efektivitas inokulan fungi mikoriza arbuskula. *Jurnal Agrotek Tropika*, 9(2): 177-188.
- Juniari, K., Rai, I.N., & Sukewijaya, I.M., (2020). Uji daya simpan dan efektivitas prototipe pupuk hayati mikoriza dengan media pembawa pasir vulkanik dan pasir laut. *Agrotrop Journal on Agriculture Science* 10 (2):165-177. Doi: 10.24843/AJoAS.2020.v10.i02.p06.
- Nurhandayani, R., Linda, R., & Khotimah, S. (2013). Inventarisasi jamur mikoriza vesikular arbuskular dari rhizosfer tanah gambut tanaman nanas (*Ananas comosus* L. Merr). *J. Protobiont* 2 (3):146-151.
- Putri, O.N.E. (2019). Analisis kandungan klorofil dan senyawa antosianin daun pucuk merah (*Syzygium oleana*) berdasarkan tingkat perkembangan daun yang berbeda. *Doctoral Dissertation*, UIN Raden Intan, Lampung.

- Rai, I.N., Suada, I.K., Praborini, M.W., & Wiraatmaja, I.W. (2018). Spore propagation of indigenous endomycorrhiza from several rooting areas of salak on different soil water content. *International Journal of Biosciences and Biotechnology* 5(2):155-167.
- Rai, I.N., Suada, I.K., Proborini, M.W., Wiraatmaja, I.W., Semenov, M., & Krasnov, G. (2019). Indigenous endomycorrhizal fungi at salak (*Salacca zalacca*) plantations in Bali, Indonesia and their colonization of the roots. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 20(8):2410-2416. Doi: 10.13057/biodiv/d200840.
- Raimi, A., Roopnarain, A., & Adelekea, R. (2021). Biofertilizer production in Africa: current status, factors impeding adoption and strategies for success. *Scientific African* 11:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021>.
- Ruan, Z., Ma, Q., & Sternfeld, E. (2020). Study biofertilizers in China: A potential strategy for China's sustainable agriculture current status and further perspectives. *Federal Ministry of Agriculture*. Published by: Sino-German Agricultural Centre.
- Rojas, K.E., García, M.C., Ceron, I.X., Ortiz, R.E., & Tarazon, M.P. (2020). Identification of potential maturity indicators for harvesting cacao. *Heliyon* 6: e03416. Doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03416.
- Sahara, N., Rai, I.N., & Wiraatmaja, I.W. (2021). Respon produksi dan kualitas buah salak gula pasir (*Salacca zalacca* var. Gula Pasir) terhadap dosis pupuk hayati mikoriza. *Agrotrop Journal on Agriculture Science* 11(2), 200-209.
- Sasvari, Z., Magurno, F., Galanics, D., Nhu Hang, T.T., Hong Ha, T.T., Huong, L.M., & Posta, K. (2012). Isolation and identification of arbuscular mycorrhizal fungi from agricultural fields of Vietnam. *American Journal of Plant Sciences* 3:1796-1801
- Simanungkalit, P., Ginting, J., & Simanungkalit, T. (2013). Respon pertumbuhan dan produksi tanaman melon (*Cucumis melo L.*) terhadap pemberian pupuk NPK dan pemangkasan buah. *Jurnal Online Agroteknologi*, 1(2), 238-248.
- Sneha, S., Anitha, B., Sahair, R.A., Raghu, N., Gopenath, T.S., Chandrashekrappa, G.K., & Basalingappa, K.M. (2018). Biofertilizer for crop production and soil fertility. *Academia Journal of Agricultural Research* 6(8):299-306.
- Song, X., Zhou, G., & He, Q. (2021). Critical leaf water content for maize photosynthesis under drought stress and its response to rewatering. *Sustainability* 13: 7218. Doi: 10.3390/su13137218.
- Sundari, S., Nurhindayati, T. & Trisnawati, I. (2011). Isolasi dan identifikasi mikoriza indigenous dari perakaran tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) di area persawahan Kabupaten Madura. *Skripsi: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh November*.
- Trisnayanti, N.K., Rai, I.N, & Wiraatmaja, I.W. (2021). Perbanyak Spora Endomikoriza Indigenous pada Perkebunan Kakao dengan Pemberian Media Tanam dan Kadar Air Tanah Berbeda. *Agrotrop Journal on Agriculture Science* 13(2): 161 – 173.
- Ura, R., Paembonan, S.A., & Umar, A. (2015). Karakteristik fungi arbuskular mikoriza genus glomus pada akar beberapa jenis pohon di hutan Kota Universitas Hasanudin. *Jurnal Alam dan Lingkungan* 6(11):23-28.
- Verlinden, M.S., Abdelgawad, H., Ven, A., Verryckt, L.T., Wieneke, S., Janssens, I.A., & Vicca, S. (2022). Phosphorus stress strongly reduced plant physiological activity, but only temporarily, in a mesocosm experiment with *Zea mays* colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. *Biogeosciences* 19: 2353–2364. Doi: 10.5194/bg-19-2353-2022.