

Pemberian Kascing, *Glomus sp.*, dan *Agrobacterium pusense* untuk Meningkatkan Kolonisasi Akar, Serapan P, dan Pertumbuhan Kedelai Hitam (*Glycine max* (L.) Merrill) pada Inceptisols Jatinangor

Anne Nurbaity, Raia Zaviera Dristiarini & Anni Yuniarti

Departmen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran
Jl. Soekarno km 21, Jatinangor - Jawa Barat, Indonesia

Korespondensi: a.nurbaity@unpad.ac.id

ABSTRACT

Low soil fertility was a major factor limiting national black soybean productivity. Black soybean, a functional food crop rich in isoflavones, requires effective fertilization to enhance growth. Environmentally friendly alternatives such as vermicompost and biofertilizers offer sustainable options. This study aimed to evaluate the effects of vermicompost and biofertilizers on root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), phosphorus (P) uptake, and black soybean growth, and to identify the most effective treatment. The experiment was conducted from December 2024 to February 2025 in a plastic house at Bale Tatanen, Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, West Java. A Randomized Group Design with 12 treatment combinations and three replications was used. Treatments consisted of 5 and 10 tonnes ha^{-1} of vermicompost combined with either AMF or nitrogen-fixing bacteria (NFB), which were applied to the planting holes. Data were analyzed using ANOVA and the Scott-Knott test at a 5% significance level. Observed parameters included AMF root colonization, P uptake, plant height, number of leaves, chlorophyll index, leaf area, and dry weights of roots and shoots. The results showed that vermicompost and biofertilizers increased AMF colonization, P uptake, plant height, leaf number, chlorophyll index, and shoot dry weight. The application of 5 tonnes ha^{-1} vermicompost combined with AMF was the most effective treatment. This study provided useful recommendations for vermicompost and biofertilizer application to support soil fertility improvement and black soybean growth on marginal lands.

Keywords: *Arbuscula Mycorrhiza Fungi (AMF), Biofertilizer, Black Soybean, Inceptisols, Vermicompost*

1. PENDAHULUAN

Kedelai hitam adalah komoditas tanaman pangan yang digunakan sebagai bahan baku kecap. Menurut Badan Pusat Statistik (2024), rerata hasil panen kedelai di Indonesia tahun 2023, yaitu sebesar 14,56 kuintal per hektar mengalami depresiasi produktivitas dibandingkan tahun sebelumnya. Rerata hasil panen tahun 2022 mencapai 15,43 kuintal per hektar (Badan Pusat Statistik, 2022). Salah satu penyebab penurunan produktivitas kedelai nasional adalah kesuburan tanah yang rendah. Inceptisols tergolong jenis tanah marginal dengan distribusi geografis cukup luas di Indonesia dan memiliki pH asam, kandungan hara seperti nitrogen dan fosfor yang sedang sampai rendah, serta KTK rendah. Unsur hara makro terutama fosfor (P) merupakan komponen penting dalam perkembangan akar lateral, peningkatan fotosintesis, dan hasil biji,

sehingga perlu adanya upaya untuk meningkatkan ketersediaan dan serapan unsur hara P tanaman khususnya pada tanah marginal sehingga meningkatkan produksi kedelai hitam (Gotz *et al.*, 2023).

Optimalisasi pertumbuhan tanaman dapat diupayakan melalui peningkatan ketersediaan hara di dalam tanah, salah satunya melalui aplikasi pupuk organik seperti kascing serta agen hayati seperti Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) dan Bakteri Penambat Nitrogen (BPN) yang berperan dalam mendukung efisiensi nutrisi tanah secara biologis. Pupuk hayati merupakan pupuk mengandung mikroorganisme hidup yang memiliki kapabilitas untuk memperbaiki sifat tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman melalui penyediaan unsur hara dan peningkatan hara tanah (Figiel *et al.*, 2025). Bakteri penambat nitrogen memiliki kapabilitas dalam memperkaya total

nitrogen tanah, mengoptimalkan serapan nitrogen, dan mendukung pertumbuhan tanaman. Patel dan Panchal (2020) menyatakan bahwa beberapa isolat BPN seperti isolat *Azotobacter vinelandii* dan *Bacillus niabensis* dapat menambat nitrogen, melarutkan fosfat dan, menghasilkan hormon IAA dengan jumlah yang berbeda-beda.

Bakteri dapat melarutkan fosfat dengan menghasilkan enzim fosfatase, asam-asam organik, eksopolisakarida, dan siderofor (Pane dkk., 2022). Kaur *et al.* (2022) menyatakan bahwa strain *Agrobacterium pusense* JAS1 menghasilkan siderofor yang dapat mengikat dan melarutkan ion Fe^{3+} dalam tanah. Siderofor melepas ikatan Fe-P dengan membentuk kompleks siderofor besi sebagai penyusun enzim nitrogenase dan dapat dimanfaatkan juga oleh tanaman untuk peningkatan biomassa akar (Lurthy *et al.*, 2021). Menurut Oedjijono dan Iriyanti (2017), *Azospirillum* spp. dapat menghasilkan hormon Indole Acetic Acid (IAA), melarutkan P hingga 236%, memproduksi siderofor, dan menambat nitrogen ketika dikultur dengan *Bacillus* spp (Yaadesh *et al.*, 2023).

Fungi FMA memiliki peran penting sebagai pupuk hayati dalam meningkatkan ketersediaan fosfor (P) dan serapan P pada tanah Inceptisols. Tanah Inceptisols yang umumnya memiliki ketersediaan P rendah disebabkan oleh pengikatan dengan unsur logam seperti Aluminium. Proses pelepasan ikatan fosfor dari unsur logam ini dapat dimediasi oleh fungi mikoriza arbuskula yang bersimbiosis dengan akar tanaman inang.

Menurut Sirait (2023), pemanfaatan FMA dalam pertanian dapat merupakan pendekatan yang ramah lingkungan untuk meningkatkan penyerapan unsur P dalam tanah melalui pelepasan ikatan logam fosfor dengan asam organik dan enzim fosfatase, serta peluasan area serapan hara oleh akar dengan menghasilkan hifa eksternal. Simanjuntak dan Misdiani (2023) menyatakan bahwa fungi

mikoriza arbuskula diaplikasikan sebagai pupuk hayati pada pertanaman kedelai sebanyak 15 g/tanaman pada 2 MST menunjukkan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai.

Aktivitas BPN dan FMA dipengaruhi oleh faktor abiotik seperti pH, KTK, dan bahan organik dalam tanah. Fungi mikoriza arbuskula membutuhkan kondisi pH tanah yang optimum dan KTK tanah yang tinggi untuk sporulasi dan menginfeksi akar (Mukhongo *et al.*, 2023). Kapasitas tukar kation merepresentasikan potensi tanah dalam melakukan proses adsorpsi dan pertukaran ion-ion bermuatan positif (kation) pada permukaan koloid tanah yang mengindikasikan jumlah hara dalam tanah. Tingginya KTK dalam tanah mengindikasikan potensi kandungan unsur hara tersedia yang cukup untuk pertumbuhan tanaman dan menghasilkan eksudat akar yang merupakan sumber nutrisi bagi FMA (Wisnubroto dkk., 2024).

Kascing memiliki kontribusi signifikan dalam perbaikan kesuburan tanah melalui penyediaan unsur hara dan menunjang pertumbuhan tanaman (Ichwan dkk., 2022). Selain itu, kascing juga berfungsi sebagai sumber nutrisi bagi mikroorganisme yang ada di dalam tanah, bersifat ramah lingkungan, serta dapat meningkatkan pH tanah (Sunawan dkk., 2022). Menurut Batubara dkk. (2022) penggunaan kascing sebagai pupuk dasar dalam media tanam dengan dosis $5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ dapat menyediakan unsur N, P, K untuk tanaman, lebih ekonomis, dan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai.

Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji pengaruh dan mengidentifikasi perlakuan kascing dan pupuk hayati terbaik yang mampu meningkatkan kolonisasi akar oleh FMA, serapan fosfor (P), dan pertumbuhan tanaman kedelai hitam, parameter tersebut. Temuan dalam penelitian ini berpotensi menjadi sumber rujukan ilmiah yang relevan bagi praktisi pertanian serta masyarakat untuk pemanfa-

atan kascing, FMA, dan BPN sebagai inovasi teknologi berkelanjutan untuk mengoptimalkan serapan unsur hara tanaman dan kesuburan tanah.

2. BAHAN DAN METHODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2024 hingga Februari 2025 di rumah plastik di Bale Tatanen pada ketinggian ± 770 meter di atas permukaan laut (m dpl). Analisis dilakukan di Laboratorium Biologi Tanah, dan Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran.

Kegiatan dalam penelitian ini meliputi persiapan media tanam, aplikasi kascing, inokulasi FMA dan BPN, penanaman, pemupukan, pemeliharaan tanaman, dan pengambilan sampel tanah dan tanaman, serta analisis laboratorium.

Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi polibeg ukuran 35 x 35 cm, timbangan analitik, oven, meteran, petridish, mikroskop binokuler, pinset, counter, dan gelas ukur 500 ml. Sedangkan bahan yang digunakan terdiri dari Inceptisols asal Jatiningor, benih kedelai hitam BS87, inokulan Fungi Mikoriza Arbuskula (*Glomus* sp. dan *Gigaspora* sp.) dengan kepadatan 10 spora/g, inokulan Bakteri Penambat Nitrogen (*Agrobacterium pusense*) dengan kepadatan 10⁷ CFU/ml, kascing, pupuk N, P, K, bahan kimia untuk pewarnaan akar dan pengukuran serapan P.

Desain eksperimental yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 12 perlakuan yang direplikasi sebanyak tiga kali, menghasilkan 36 satuan perlakuan untuk dianalisis. Susunan perlakuan yang diuji pada penelitian ini ditampilkan dalam Tabel 1.

Persiapan media tanam untuk perlakuan pemberian kascing dilakukan dengan mencampurkan Inceptisols dengan kascing sesuai dosis yang telah ditetapkan. Setiap polibeg berukuran 35 x 35 cm diisi dengan 5 kg

tanah. Menurut Sitawati dkk. (2020) rekomendasi dosis pupuk untuk tanaman kedelai, yaitu urea sebanyak 25 kg ha⁻¹, TSP sebanyak 75 kg ha⁻¹, dan KCl sebanyak 50 kg ha⁻¹. Dosis pupuk anorganik yang diaplikasikan merupakan setengah dari rekomendasi, yaitu pupuk urea sebanyak 0,31 g/tanaman, dosis TSP 0,94 g/tanaman, dan dosis KCl 0,63 g/tanaman.

Tabel 1 Kombinasi perlakuan dosis kascing dan pupuk hayati

Kode	Kombinasi Perlakuan
A	Tanpa kascing, tanpa pupuk hayati (kontrol)
B	Tanpa kascing, FMA
C	Tanpa kascing, BPN
D	Tanpa kascing, FMA+BPN
E	Kascing 5 ton/ha
F	Kascing 5 ton/ha + FMA
G	Kascing 5 ton/ha + BPN
H	Kascing 5 ton/ha + FMA + BPN
I	Kascing 10 ton/ha
J	Kascing 10 ton/ha + FMA
K	Kascing 10 ton/ha + BPN
L	Kascing 10 ton/ha + FMA + BPN

Aplikasi inokulan FMA sebanyak 15 g/polibeg dilakukan seminggu sebelum tanam secara penaburan pada lubang tanah sedalam 5 cm dari permukaan tanah. Setiap polibeg ditanam dua benih kedelai yang diletakkan pada lubang sedalam 3 cm dari permukaan tanah. Penjarangan dilakukan hingga 2 MST apabila terdapat dua benih yang berkecambah. Inokulasi BPN pada 14 HST dilakukan dengan cara penyiraman pada media tanam 10 ml dengan kepadatan 10⁷ CFU/ml ke dalam 50 ml air untuk penyiraman tanaman.

Pemupukan urea tahap kedua diberikan saat tanaman memasuki usia 2 minggu setelah tanam (MST).

Kegiatan penyiraman dilakukan rutin secara manual sebanyak 300 ml menggunakan gelas ukur pada dua waktu penyiraman harian, yaitu pagi dan sore. Pemeliharaan tanaman berlangsung hingga mencapai akhir fase vegetatif, yang ditandai dengan munculnya

bakal bunga. Pengambilan 72 sampel tanah dan tanaman kedelai hitam dilakukan secara manual setelah tanaman berumur 40-45 HST.

Beberapa indikator pengamatan dalam penelitian ini meliputi kolonisasi akar, tinggi tanaman, jumlah daun trifoliolate, indeks klorofil dan luas daun, berat kering akar dan tajuk, serta serapan fosfor pada tanaman kedelai hitam. Analisis kolonisasi akar oleh FMA dilakukan dengan metode *gridline intersection* (Wang *et al.*, 2023). Pengamatan tinggi tanaman dan jumlah daun dilakukan secara manual setiap minggu menggunakan meteran dan penghitungan langsung. Indeks klorofil daun diukur pada 40 hari setelah tanam (HST) menggunakan klorofil meter SPAD (*Soil Plant Analysis Development*). Bobot kering akar dan tajuk diamati setelah fase vegetatif akhir, dengan memisahkan bagian akar dan tajuk, kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu 60 °C selama 48 jam sebelum ditimbang menggunakan timbangan analitik (Mekkaoui *et al.*, 2024). Serapan fosfor tanaman dianalisis setelah fase vegetatif akhir menggunakan metode destruksi basah dengan bantuan alat *digester* (BPSIT Tanah dan Pupuk, 2023).

Data hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan uji analisis ragam (ANOVA) menggunakan aplikasi SPSS versi 21. Uji lanjutan dilakukan untuk mengetahui perbedaan respon pada setiap perlakuan menggunakan uji gugus Scott-Knott pada taraf kepercayaan 5% menggunakan perangkat lunak Smart-statXL versi 3.6.5.4.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Kascing dan Pupuk Hayati terhadap Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskula dalam Akar Kedelai Hitam

Kolonisasi akar merupakan indikator untuk mengukur derajat infeksi FMA ke dalam akar tanaman setelah perlakuan kascing dan pupuk hayati diaplikasikan. Berdasarkan hasil uji Scott-Knott pada Tabel 2, kombinasi kascing dan pupuk hayati memberikan pengaruh yang

signifikan terhadap persentase kolonisasi FMA pada akar. Perlakuan J (kascing 10 ton/ha dan FMA) tidak berbeda signifikan dengan perlakuan B (FMA, tanpa kascing) dan F (kascing 5 ton/ha dan FMA), namun berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Persentase kolonisasi FMA dalam akar cenderung lebih pada meningkat perlakuan J (kascing 10 ton/ha dan FMA), yaitu 50,51% yang dikategorikan tinggi. Perlakuan kascing yang dikombinasikan dengan FMA dan BPN menunjukkan persentase kolonisasi akar oleh FMA lebih besar dari perlakuan pemberian kascing dengan BPN secara tunggal.

Inokulasi FMA ke dalam media tanam meningkatkan persentase kolonisasi akar, karena terjadi peningkatan jumlah propagul aktif di rhizosfer yang mampu menginfeksi akar tanaman (Wu *et al.*, 2024). Kombinasi FMA dengan kascing 10 ton/ha paling efektif dalam mendukung kolonisasi akar. Benaffari *et al.* (2022) menyatakan bahwa kascing 10 ton/ha dapat menstimulasi perkembangan FMA. Penyediaan rasio N/P yang ideal dan peningkatan unsur N, P, dalam tanah berperan penting dalam perkembangan FMA (Lin *et al.*, 2020).

Perlakuan A (kontrol) menunjukkan adanya kolonisasi FMA dalam akar yang sangat rendah. Hal ini disebabkan karena perlakuan kontrol tidak mendapat penambahan propagul FMA aktif yang dapat menginfeksi akar tanaman. Tanpa penambahan inokulum FMA, tanah hanya mengandung propagul FMA lokal dengan jumlah yang umumnya terbatas. Jumlah propagul FMA lokal aktif dalam tanah yang terbatas menyebabkan simbiosis dengan akar tanaman tidak optimal (Marrassini *et al.*, 2025).

Penambahan inokulum FMA pada tanah yang mengandung FMA indigenous berpotensi menimbulkan interaksi sinergis dalam meningkatkan penyerapan hara, namun juga dapat memicu kompetisi karena FMA indigenous umumnya lebih adaptif terhadap kondisi

tanah lokal (Buil *et al.*, 2025). Pemberian inokulum FMA dan kascing dalam penelitian ini menunjukkan interaksi sinergis dengan FMA indigenous, yang ditunjukkan peningkatan persentase kolonisasi akar pada perlakuan B (FMA, tanpa kascing), F (kascing 5 ton/ha dan FMA), dan J (kascing 10 ton/ha dan FMA).

Keberhasilan inokulasi FMA dan BPN secara bersamaan dipengaruhi oleh kompatibilitas antar mikroorganisme, jenis, dan jumlah mikroorganisme dalam tanah. Inokulasi BPN secara bersamaan dengan FMA kemungkinan menyebabkan kompetisi dan gangguan biologis antar mikroorganisme yang mempengaruhi kolonisasi FMA dalam akar tanaman. Menurut Ji *et al.* (2024) inokulasi BPN dan

pupuk urea (300 mg N/kg) dapat mempengaruhi biomassa mikroorganisme berbasis perubahan karbon dan nitrogen, mengganggu struktur dan kemampuan kolonisasi FMA dalam akar tanaman. Beberapa BPN dapat menghasilkan senyawa metabolit antagonistik seperti siderofor dan HCN yang dapat menghambat patogen dan mempengaruhi perkembangan mikroorganisme lain disekitarnya (Poveda *et al.*, 2020). Oleh karena itu, aplikasi FMA tunggal meminimalkan gangguan partumbuhan akibat mikroganisme lain. Hal ini dikarenakan adanya persaingan untuk memperebutkan ruang di rhizosfer dan karbon dari akar, sehingga menurunkan kolonisasi FMA dibandingkan inokulasi FMA tunggal.

Tabel 2 Pengaruh kascing dan pupuk hayati terhadap rata-rata kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskula dalam akar

Kode	Kombinasi Perlakuan		Kolonisasi FMA	
	Kascing	Pupuk Hayati	Rataan (%)	Kategori*
A	Kontrol	Tanpa pupuk hayati	3,48 a	Sangat rendah
B	Kontrol	FMA	38,93 c	Sedang
C	Kontrol	BPN	10,34 a	Rendah
D	Kontrol	FMA + BPN	18,22 a	Rendah
E	5 ton/ha	Tanpa pupuk hayati	9,08 a	Rendah
F	5 ton/ha	FMA	45,74 c	Sedang
G	5 ton/ha	BPN	11,55 a	Rendah
H	5 ton/ha	FMA + BPN	26,76 b	Sedang
I	10 ton/ha	Tanpa pupuk hayati	13,74 a	Rendah
J	10 ton/ha	FMA	50,51 c	Tinggi
K	10 ton/ha	BPN	12,90 a	Rendah
L	10 ton/ha	FMA + BPN	27,48 b	Sedang

Keterangan: Kesamaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan bahwa antarperlakuan tidak berbeda secara signifikan pada uji gugus Scott-Knott pada taraf 5%. FMA = Fungi Mikoriza Arbuskula. BPN = Bakteri Penambat Nitrogen. A= tanpa kascing dan pupuk hayati. B = tanpa kascing, FMA. C = tanpa kascing, BPN. D = tanpa kascing, FMA dan BPN. E = kascing 5 ton/ha, tanpa pupuk hayati. F = kascing 5 ton/ha, FMA. G = kascing 5 ton/ha, BPN. H = kascing 5 ton/ha, FMA dan BPN. I = kascing 10 ton/ha, tanpa pupuk hayati. J = kascing 10 ton/ha, FMA. K= kascing 10 ton/ha, BPN. L= kascing 10 ton/ha, FMA dan BPN.
*Persentase tingkat kolonisasi fungi mikoriza dalam akar tanaman diklasifikasikan menurut Syarifuddin dkk. (2024).

3.2 Pengaruh Kascing dan Pupuk Hayati terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai Hitam

Parameter pengamatan pertumbuhan tanaman meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, klorofil daun, luas daun, serta bobot kering akar dan tajuk untuk mengetahui pengaruh

kascing dan pupuk hayati terhadap pertumbuhan kedelai hitam. Berdasarkan hasil uji Scott-Knott pada Tabel 3, kombinasi kascing dan pupuk hayati memberikan pengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, klorofil daun, dan berat kering tajuk tanaman kedelai hitam.

Tabel 3 Pengaruh kascing dan pupuk hayati terhadap rata-rata pertumbuhan kedelai hitam

Kode	Rata-Rata Pertumbuhan Kedelai Hitam					
	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun (Helai)	Klorofil Daun (unit)	Luas Daun (cm ²)	Berat Kering Akar (gram)	Berat Kering Tajuk (gram)
A	41,77 a	8,33 a	38,29 a	42,50	29,43	7,30 a
B	42,53 a	11,00 a	37,76 a	49,96	29,50	9,04 a
C	42,22 a	11,33 a	36,54 a	45,11	27,47	7,02 a
D	42,57 a	9,67 a	38,81 a	47,08	32,33	5,99 a
E	48,80 b	16,67 a	42,27 b	55,0,3	37,70	13,95 b
F	52,10 b	14,00 b	40,77 b	49,42	34,60	13,72 b
G	46,40 a	12,33 b	40,98 b	44,58	31,43	10,73 a
H	49,50 b	9,67 a	41,48 b	41,99	33,20	9,06 a
I	52,10 b	16,67 b	46,33 b	58,35	34,93	12,81 b
J	52,13 b	13,67 b	42,70 b	56,15	37,47	16,07 b
K	46,73 a	15,33 b	42,01 b	52,95	28,47	15,67 b
L	51,63 b	17,00 b	43,10 b	70,73	33,40	15,32 b

Keterangan: Kesamaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan bahwa antarperlakuan tidak berbeda secara signifikan pada uji gugus Scott-Knott pada taraf 5%. FMA = Fungi Mikoriza Arbuskula. BPN = Bakteri Penambat Nitrogen. A= tanpa kascing dan pupuk hayati. B = tanpa kascing, FMA. C = tanpa kascing, BPN. D = tanpa kascing, FMA dan BPN. E = kascing 5 ton/ha, tanpa pupuk hayati. F = kascing 5 ton/ha, FMA. G = kascing 5 ton/ha, BPN. H = kascing 5 ton/ha, FMA dan BPN. I = kascing 10 ton/ha, tanpa pupuk hayati. J = kascing 10 ton/ha, FMA. K= kascing 10 ton/ha, BPN. L= kascing 10 ton/ha, FMA dan BPN.

3.2.1 Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman menjadi salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur pertumbuhan tanaman setelah diberikan perlakuan kascing dan pupuk hayati. Hasil pengamatan dan analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian kascing dan pupuk hayati berpengaruh nyata terhadap pada 6 MST (Tabel 3).

Perlakuan E (kascing 5 ton/ha, tanpa pupuk hayati), F (kascing 5 ton/ha dan FMA), H (kascing 5 ton/ha dan FMA+BPN), I (kascing 10 ton/ha, tanpa pupuk hayati), J (kascing 10 ton/ha dan FMA), dan L (kascing 10 ton/ha dan FMA+BPN) berbeda signifikan terhadap seluruh perlakuan yang lainnya pada 6 MST. Sementara itu, perlakuan kombinasi kascing dengan FMA dan BPN (H dan L) cenderung meningkatkan tinggi tanaman dibandingkan kombinasi kascing dengan BPN secara tunggal (G dan K). Hal ini menunjukkan adanya siner-

gisme antara kascing, FMA dan BPN dalam menyediakan nutrisi untuk tanaman.

Kascing merupakan pupuk organik yang memiliki keunggulan sebagai penyedia unsur hara dan perbaikan struktur serta aerasi tanah sehingga memperbaiki sistem perakaran tanaman dapat terbentuk yang mendukung pertumbuhan tanaman (Mahmud *et al.*, 2020). Fungi Mikoriza Arbuskula menghasilkan hifa eksternal yang dapat memperluas dan mengefisiensikan penyerapan hara tanaman (Zong *et al.*, 2023). Menariknya, tinggi tanaman pada perlakuan F (kascing 5 ton/ha + FMA) setara dengan perlakuan I (kascing 10 ton/ha tanpa pupuk hayati) pada 6 MST, yang mengindikasikan bahwa inokulasi FMA dapat mengurangi kebutuhan dosis kascing.

3.2.2 Jumlah Daun

Pengamatan jumlah daun tanaman kedelai dilakukan dengan menghitung jumlah

daun trifoliolate satu persatu. Berdasarkan Tabel 3, kascing dan pupuk hayati mempengaruhi jumlah daun tanaman kedelai hitam 6 MST secara signifikan. Perlakuan F (kascing 5 ton/ha dan FMA), G (kascing 5 ton/ha dan BPN), I (kascing 10 ton/ha), J (kascing 10 ton/ha dan FMA), K (kascing 10 ton/ha dan BPN), dan L (kascing 10 ton/ha dan FMA+BPN) menunjukkan nilai rerata jumlah daun yang berbeda signifikan dengan perlakuan yang lainnya pada 6 MST. Berdasarkan hasil tersebut, mengindikasikan adanya kontribusi kascing dan pupuk hayati dalam mendukung pembentukan daun.

Peningkatan jumlah daun terjadi pada perlakuan kascing dosis 5 dan 10 ton/ha. Menurut Mahmud *et al.* (2020), kascing meningkatkan pertumbuhan melalui penyediaan nitrogen, fosfor, dan sulfur yang berperan dalam mendukung pembelahan sel, metabolisme, dan pembentukan daun. Kandungan fitohormon seperti auksin, giberelin, dan sitokinin dalam kascing juga merangsang pembentukan daun (Rehman *et al.*, 2023). Kascing sebagai penyedia unsur hara dan FMA yang meningkatkan efisiensi penyerapan fosfor serta air melalui hifa eksternal, mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman, termasuk pembentukan daun (Xiao *et al.*, 2023).

Kascing dosis 5 ton/ha dengan aplikasi FMA atau BPN secara tunggal cenderung lebih meningkatkan jumlah daun dibandingkan jika dengan kombinasi FMA+BPN. Perlakuan H (kascing 5 ton/ha, FMA dan BPN) menunjukkan jumlah daun yang tidak berbeda dengan perlakuan D (FMA dan BPN, tanpa kascing), tetapi berbeda nyata dengan perlakuan L (kascing 10 ton/ha, FMA dan BPN). Berdasarkan hal tersebut, diduga bahwa pemberian kascing 5 ton/ha belum mampu menyediakan sumber energi dan nutrisi yang cukup, sehingga terjadi perebutan nutrisi oleh FMA, BPN dalam tanah dan tanaman yang mempengaruhi simbiosis antara

mikroorganisme dengan tanaman. Pemberian pembenah tanah organik dengan dosis moderat dapat menurunkan keanekaragaman bakteri dan jaringan mikroba secara signifikan, sehingga sangat memengaruhi keseimbangan simbiosis mikroba seperti FMA dan bakteri pelarut nutrisi (BPN). Pemberian pembenah tanah organik meningkatkan karbon dalam waktu singkat menarik lebih banyak mikroorganisme dengan kapasitas untuk melakukan penguraian, sehingga mikroba hayati yang diinokulasikan (FMA atau BPN) harus bersaing untuk mendapatkan sumber daya yang dapat mengurangi efektivitas simbiosis dengan tanaman (Ding *et al.*, 2024).

3.2.3 Klorofil Daun

Pengamatan klorofil daun dilakukan pada saat tanaman kedelai hitam mencapai fase vegetatif akhir. Akhir fase vegetatif ditunjukkan oleh munculnya calon bunga pada bagian ketiak daun. Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 3, menunjukkan pemberian kascing dan pupuk hayati berpengaruh nyata terhadap peningkatan indeks klorofil daun tanaman kedelai hitam. Perlakuan E (kascing 5 ton/ha, tanpa pupuk hayati), F (kascing 5 ton/ha dan FMA), G (kascing 5 ton/ha dan BPN), H (kascing 5 ton/ha dan FMA+BPN), I (kascing 10 ton/ha, tanpa pupuk hayati), J (kascing 10 ton/ha dan FMA), K (kascing 10 ton/ha dan BPN), L (kascing 10 ton/ha dan FMA+BPN) berbeda signifikan dari perlakuan A (kontrol), B (FMA), C (BPN), dan D (FMA + BPN).

Terjadi peningkatan indeks klorofil daun pada tanaman seiring dengan pemberian kascing (dosis 5 dan 10 ton/ha). Pemberian kascing dosis 5 dan 10 ton/ha meningkatkan indeks klorofil daun. Kascing memperkaya media tanam dengan unsur penting bagi kloroplas, seperti Mg dan Fe, serta meningkatkan aktivitas enzim fotosintesis (Mahmud *et al.*, 2020). Kandungan unsur hara dalam kascing terutama Magnesium dan Zinc

dapat meningkatkan pigmen dan menjaga stabilitas struktur membran kloroplas sehingga efisiensi fotosintesis meningkat (Dang *et al.*, 2024).

Pemberian kascing yang dikombinasikan FMA dan BPN menunjukkan peningkatan indeks klorofil lebih tinggi dibandingkan aplikasi FMA atau BPN secara tunggal. Temuan Mpongwana *et al.* (2023) mendukung bahwa inokulasi FMA bersama dengan Rhizobium, menunjukkan peningkatan pigmen klorofil yang signifikan pada tanaman legum. Fungi Mikoriza Arbuskula dikenal memiliki kemampuan yang tinggi dalam menyediakan unsur hara, terutama P dan asam amino, yang merupakan pemacu pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan kandungan klorofil (Khosropour *et al.*, 2022). Bakteri penambat nitrogen meningkatkan kandungan klorofil melalui penyediaan NH_4^+ dan asam amino seperti glutamat dan glutamina yang berperan penting dalam biosintesis klorofil.

3.2.4 Luas Daun

Luas daun merupakan salah satu indikator penting untuk mengukur pertumbuhan tanaman. Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 3, aplikasi kascing dan pupuk hayati tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap luas daun tanaman kedelai hitam.

Perkembangan luas daun tanaman dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dalam *greenhouse* seperti faktor suhu dan jarak tanam. Suhu maksimum dalam *greenhouse* pada saat pemeliharaan tanaman berkisar 32-47°C. Kisaran suhu maksimum ini dapat menghambat perluasan daun kedelai. Hal ini sejalan dengan Jumrani dan Bhatia (2019) yang menyatakan bahwa pada kondisi suhu 38°C menyebabkan penurunan luas daun kedelai hingga 31% dan pada suhu 42°C terjadi penurunan luas daun hingga 48%.

Selain itu, jarak tanam juga berpengaruh terhadap luas daun tanaman kedelai. Jarak yang terlalu rapat menghambat masuknya

cahaya akibat penutupan kanopi, sedangkan jarak yang terlalu lebar tidak secara efektif meningkatkan luas daun. Saiin *et al.*, (2023) melaporkan bahwa luas daun tanaman meningkat seiring rendahnya kepadatan populasi tanaman yang dipengaruhi oleh jarak tanam yang lebih luas. Luas daun per tanaman lebih besar pada jarak tanam 50 cm ($\pm 1,451 \text{ cm}^2$) dibandingkan jarak tanam 25 cm ($\pm 0,908 \text{ cm}^2$). Ruang tanam yang luas mendorong pertumbuhan batang dan cabang, tetapi tidak selalu disertai peningkatan luas daun (Ran *et al.*, 2023).

Meskipun secara statistik perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap luas daun, data menunjukkan bahwa perlakuan L (kascing 10 ton/ha + FMA dan BPN) memberikan rata-rata luas daun tertinggi ($70,73 \text{ cm}^2$), diikuti oleh perlakuan I dan J. Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan peran sinergis kascing sebagai penyedia unsur hara makro dan mikro, serta pupuk hayati (FMA dan BPN) yang meningkatkan efisiensi penyerapan dan ketersediaan hara esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan magnesium (Mg) (Meena *et al.*, 2022). Han *et al.* (2024) menyatakan bahwa FMA dapat meningkatkan penyerapan unsur hara makro seperti K, Ca, dan Mg yang berkontribusi terhadap peningkatan area daun dan pertumbuhan tajuk tanaman.

3.2.5 Berat Kering Akar Tajuk

Berat kering akar dan tajuk mengacu pada massa akar dan tajuk setelah dikeringkan, sehingga nilainya bergantung pada ukuran dan volume bagian tersebut. Tabel 3 menunjukkan bahwa kascing dan pupuk hayati tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap berat kering akar, namun berpengaruh signifikan terhadap berat kering tajuk.

Pemberian kascing dan pupuk hayati tidak berpengaruh signifikan terhadap berat kering akar. Hal ini diduga karena ketersediaan unsur hara esensial seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang tinggi di sekitar perakaran

menyebabkan kesuburan tanah meningkat. Kondisi ini menyebabkan tanaman tidak perlu memperluas sistem perakaran untuk mencukupi asupan hara. Hasil penelitian Lopez *et al.* (2022) juga mendukung bahwa akar tanaman akan berkembang lebih luas pada kondisi tanah kekurangan nutrisi, untuk memperbaiki serapan nutrisinya.

Sementara itu, aplikasi kascing (dosis 5 dan 10 ton/ha) dan pupuk hayati (FMA dan BPN) memberikan pengaruh signifikan terhadap berat kering tajuk. Perlakuan E (kascing 5 ton/ha), F (kascing 5 ton/ha dan FMA), I (kascing 10 ton/ha), J (kascing 10 ton/ha dan FMA), K (kascing 10 ton/ha dan BPN), dan L (kascing 10 ton/ha dan FMA+BPN) berbeda signifikan dengan perlakuan yang lainnya. Hal ini, mengindikasikan adanya sinergisme antara kascing dan pupuk hayati dalam meningkatkan berat kering tajuk melalui penyediaan unsur hara, serta senyawa organik dan hormon pemacu pertumbuhan alami, sehingga mendukung proses metabolisme dan sintesis jaringan oleh kascing. Sementara itu, FMA meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara seperti fosfor, magnesium, dan kalium melalui perluasan area serapan akar dan aktivasi gen transporter mineral yang berperan dalam pembentukan klorofil dan fotosintesis (Zong *et al.*, 2023).

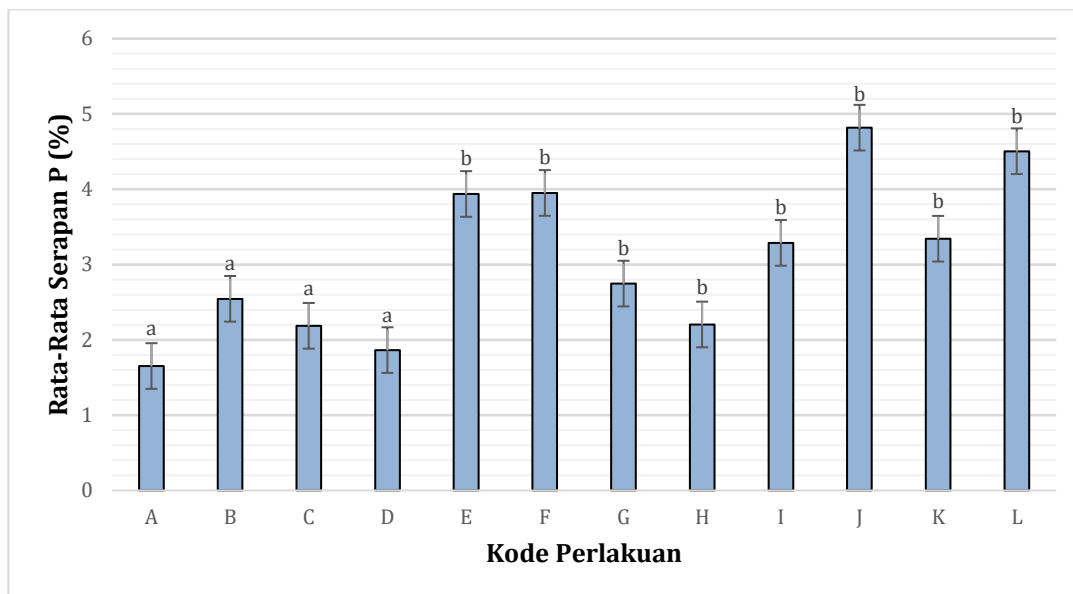
Perlakuan A (kontrol) dan D (FMA dan BPN, tanpa kascing) menunjukkan nilai rata-rata berat kering tajuk yang lebih rendah, mengindikasikan bahwa pupuk hayati memerlukan dukungan bahan organik untuk berperan secara efisien. Temuan Kaur *et al.* (2022) menginformasikan bahwa *Agrobacterium pusense* membutuhkan sumber karbon eksternal untuk tumbuh dan berfungsi secara optimal. Kombinasi kascing dan pupuk hayati lebih efektif dalam mendukung pertumbuhan tajuk dibanding pemberian pupuk hayati tanpa bahan organik.

Perlakuan K (kascing 10 ton/ha, BPN) dan L (kascing 10 ton/ha, FMA dan BPN) cenderung lebih meningkatkan berat kering tajuk dibandingkan perlakuan G (kascing 5 ton/ha, BPN) dan H (kascing 5 ton/ha, FMA dan BPN). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian kascing dengan dosis yang lebih tinggi dapat meningkatkan berat kering tajuk. Kascing merupakan bahan organik yang kaya unsur hara makro dan mikro, serta hormon pengatur pertumbuhan seperti sitokinin, giberelin, dan auksin (Ichwan dkk., 2022).

Nitrogen, fosfor, kalium, magnesium, dan sulfur merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman. Menurut (de Bang *et al.*, 2020) nitrogen dan fosfor berperan penting dalam sintesis klorofil, protein, ATP, dan pembentukan jaringan daun serta batang. Selanjutnya kalium, magnesium, dan sulfur mendukung pertumbuhan tajuk melalui pengaturan turgor, aktivitas fotosintesis, dan sintesis protein. Fitohormon dalam kascing seperti auksin, giberelin, dan sitokinin merangsang pembelahan dan pemanjangan sel, termasuk pada jaringan meristem daun (Rehman *et al.*, 2023).

3.3 Pengaruh Kascing dan Pupuk Hayati terhadap Serapan P Tanaman Kedelai Hitam

Serapan fosfor tanaman merupakan indikator untuk mengukur efisiensi penyerapan unsur fosfor yang tersedia dalam tanah oleh akar tanaman. Berdasarkan hasil uji gugus Scott-Knott pada Gambar 1. Perlakuan kascing dan pupuk hayati mempengaruhi secara signifikan serapan P tanaman kedelai hitam. Perlakuan F (kascing 5 ton/ha dan FMA), H (kascing 5 ton/ha dan FMA+BPN), I (kascing 10 ton/ha), J (kascing 10 ton/ha dan FMA), K (kascing 10 ton/ha dan BPN), dan L (kascing 10 ton/ha dan FMA+BPN) berbeda signifikan terhadap perlakuan yang lainnya.



Gambar 1 Pengaruh kascing dan pupuk hayati terhadap rata-rata serapan P tanaman

Keterangan: Kesamaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan bahwa antarperlakuan tidak berbeda secara signifikan pada uji gugus Scott-Knott pada taraf 5%. FMA = Fungi Mikoriza Arbuskula. BPN = Bakteri Penambat Nitrogen. A= tanpa kascing dan pupuk hayati. B = tanpa kascing, FMA. C = tanpa kascing, BPN. D = tanpa kascing, FMA dan BPN. E = kascing 5 ton/ha, tanpa pupuk hayati. F = kascing 5 ton/ha, FMA. G = kascing 5 ton/ha, BPN. H = kascing 5 ton/ha, FMA dan BPN. I = kascing 10 ton/ha, tanpa pupuk hayati. J = kascing 10 ton/ha, FMA. K= kascing 10 ton/ha, BPN. L= kascing 10 ton/ha, FMA dan BPN.

Perlakuan kascing 5 dan 10 ton/ha yang dikombinasikan dengan FMA baik aplikasi tunggal ataupun bersamaan (FMA+BPN), mengindikasikan peran sinergis antara kascing dan FMA dalam meningkatkan serapan P tanaman. Hal ini diduga karena kascing memperkaya media tanam dengan karbon dan fosfor, sementara FMA memperluas area penyerapan melalui hifa eksternal dan membantu pelarutan fosfor yang tidak tersedia melalui aktivitas enzimatis. Hasil penelitian Koskey *et al.* (2023) menunjukkan bahwa kombinasi kascing dan FMA secara signifikan meningkatkan kolonisasi akar dan serapan fosfor pada tanaman lentil dan *berseem clover*.

Perlakuan tanpa kascing cenderung kurang efektif karena FMA dan BPN memerlukan sumber karbon untuk perkembangan dan metabolismenya. Penambahan kascing sebagai pupuk organik memperbaiki kondisi tanah dan memperkuat peran pupuk hayati, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan fosfor oleh tanaman. Menurut Saha *et al.*,

(2022) kascing memiliki kemampuan untuk menyediakan unsur hara seperti unsur kalium, nitrogen, fosfor, kalsium, karbon untuk tanaman, memberikan nutrisi untuk mikroorganisme yang terdapat dalam tanah, dan meningkatkan pH.

4. KESIMPULAN

Merujuk pada hasil empiris yang diperoleh penelitian ini, ditetapkan sejumlah simpulan sebagai berikut:

1. Kascing dan pupuk hayati meningkatkan kolonisasi akar oleh FMA, serapan P, tinggi tanaman saat umur 6 MST, jumlah daun, indeks klorofil daun, dan berat kering tajuk. Akan tetapi, kascing dan pupuk hayati tidak meningkatkan tinggi tanaman pada 1-5 MST, jumlah daun pada 2,4, dan 5 MST, luas daun, dan berat kering akar.
2. Kascing 5 ton/ha yang dikombinasikan dengan FMA merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kolonisasi

akar, tinggi tanaman, jumlah daun, klorofil daun, berat kering tajuk, dan serapan fosfor tanaman kedelai hitam.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2024. Analisis Produktivitas Jagung dan Kedelai di Indonesia (Hasil Survei Ubinan) 2023. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Batubara, S., Sudjatkiko, S., dan Pujiwati, H. 2022. Respon pertumbuhan dan hasil tiga varietas kedelai terhadap dosis vermikompos pada tanah Ultisol. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Pesisir (SENATASI) Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu, 1(1): 36–45.
- Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Rahou, Y.A., Ben-Laouane, R., Ahmed, H.B., Mitsui, T., Baslam, M., Abdelilah, M. 2022. The native arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of Quinoa. *Plants*, 11(3): 393.
- Buil, P.A., Jansa, J., dan Rozmoš, M. 2025. Soil cropping selects for nutrient efficient but more costly indigenous mycorrhizal fungal communities. *Biol. Fertil Soils*, 61(1): 841–859.
- Dang, K., Mu, J., Tian, H., Gao, D., Zhou, H., Guo, L., Shao, X., Geng, Y., and Zhang, Q. 2024. Zinc regulation of chlorophyll fluorescence and carbohydrate metabolism in saline-sodic stressed rice seedlings. *BMC Plant Biology*, 24 (1): 464-482.
- de Bang, T.C., Husted, S., Laursen, K.H., Persson, D.P., dan Schjoerring, J.K. 2020. The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, 229 (5): 2446-2469.
- Ding, Y., Gao, X., Shu, D., Siddique, K.H.M., Song, X., Wu, P., Li, C., dan Zhao, X. 2024. Enhancing soil health and nutrient cycling through soil amendments: Improving the synergy of bacteria and fungi. *Science of The Total Environment*, 923 (1): 171332.
- Figiel, S., Rusek, P., Ryszko, U., dan Brodowska, M. S. 2025. Microbially enhanced biofertilizers: technologies, mechanisms of action, and agricultural applications. *Agronomy*, 15(5), 1191-1220.
- Gotz, L.F., Holzschuh, M.J., Vargas, V.P., Teles, A.P.B., Martins, M.M., dan Pavinato P.S. 2023. Phosphate management for high soybean and maize yields in expansion areas of Brazilian Cerrado. *Agronomy*, 13(1): 158-172.
- Han, A.Q., Chen, S.B., Zhang, D.D., Liu, J.; Zhang, M.C., Wang, B., Xiao, Y., Liu, H.T., Guo, T.C., Kang, G.Z., dan Li, G.Z. 2024. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and nutrient uptake in wheat under low potassium stress. *Plants*, 14 (9): 1288-1308.
- Ichwan, B., Setiaji, H., Armando, Y.G., Eliyanti, Zulkarnain, dan Ayuandriani, L. 2022. Aplikasi vermikompos dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil melon (*Cucumis melo* L.). *Jurnal Media Pertanian*, 7(2): 66-71.
- Ji, C., Ge, Y., Zhang, H., Zhang, Y., Xin, Z., Li, J., Zheng, J., Liang, Z., Cao, H., dan Li, K. 2024. Interactions between halotolerant nitrogen-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi under saline stress. *Frontiers in Microbiology*, 15 (1): 1288865.
- Jumrani, K., dan Bhatia, V.S. 2019. Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. *Physiology and Molecular Biology of Plants: An International Journal of Functional Plant Biology*, 24(1): 37–50.
- Kaur, J., Mudgal, G., Chand, K., Singh, G.B., Perveen, K., Bukhari, N.A., Debnath, S., Mohan, T.C., Charukesi, R., dan Singh, G. 2022. An exopolysaccharide-producing novel *Agrobacterium pusense* strain JAS1 isolated from snake plant enhances plant growth

- and soil water retention. Scientific Reports, 12(1): 21330-21360.
- Khosropour, E., Weisany, W., Tahir, N., dan Hakimi, L. 2022. Vermicompost and biochar can alleviate cadmium stress through minimizing its uptake and optimizing biochemical properties in *Berberis integerrima* Bunge. Environmental Science and Pollution Research, 29 (3): 17476-17486.
- Koskey, G., Avio, L., Turrini, A., Sbrana, C., dan Barberi, P. 2022. Biostimulatory effect of vermicompost extract enhances soil mycorrhizal activity and selectively improves crop productivity. Plant Soil, 484(1): 30-32.
- Lin, C., Wang, Y., Liu, M., Li, Q., Xiao, W., dan Song, X. 2020. Effects of nitrogen deposition and phosphorus addition on arbuscular mycorrhizal fungi of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*). Scientific Reports, 10(1): 12260.
- Lopez, G., Ahmadi, S.H., Amelung, W., Athmann, M., Ewert, F., Gaiser, T., Gocke, M.I., Kautz, T., Postma, J., Rachmilevitch, S., Schaaf, G., Schnepf, A., Stoschus, A., Watt, M., Yu P., dan Seidel, S.J. 2023. Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. Front. Plant Science, 13(1): 1067498.
- Lurthy, T., Pivato, B., Lemanceau, P., dan Mazurier, S. 2021. importance of the rhizosphere microbiota in iron biofortification of plants. Front. Plant Science, 12(1): 744445.
- Mahmud, M., Abdulla, R., dan Yaacob, J.S. 2020. Effects of vermicompost on growth, nutrient uptake, and bioactivity of pineapple (*Ananas comosus* var. MD2). Agronomy, 10(9): 1333-1355.
- Marrassini, V., Ercoli, L., Paredes, A.V.A. 2025. Positive response to inoculation with indigenous arbuscular mycorrhizal fungi as modulated by barley genotype. Agron. Sustain. Dev., 45(21): 1-20.
- Meena, V.S., Choudhary, M., Yadav, R.P., dan Meena, S.K. 2022. Sustainable Crop Production-Recent Advances. 1st ed. IntechOpen. London. 208p.
- Mekkaoui, F., Ait-El-Mokhtar, M., Zaari Jabri, N., Amghar, I., Essadssi, S., dan Hmyene, A. 2024. The use of compost and arbuscular mycorrhizal fungi and their combination to improve tomato tolerance to salt stress. Plants, 13(16): 2225-2243.
- Mpongwana, S., Manyevere, A., Mupangwa, J., Mpendulo, C.T., dan Mashamaite, C.V. 2023. Foliar nutrient content responses to bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* on three herbaceous forage legumes. Front. Sustain. Food Syst. 7(1): 1256717.
- Mukhongo, R.W., Ebanyat, P., Masso, C., dan Tumuhairwe, J.B. 2023. Composition and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in sweet potato producing areas in Uganda. Frontier, Soil Science, 3 (1):1152524
- Oedjijono dan N. Iriyanti. 2017. Peningkatan nutrien onggok dan dedak sebagai bahan baku pakan melalui fermentasi menggunakan *Azospirillum* sp. JG3. J. Widyariset 3 (2): 173-182.
- Pane, R.D.P., Ginting, N.E., dan Hidayat, F. 2022. Mikroba pelarut fosfat dan potensinya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Warta PPKS, 27(1): 51-59.
- Patel, P., dan Panchal, K. 2020. Effect of Free-Living Nitrogen Fixing and Phosphate Solubilizing Bacteria on Growth of *Gossypium hirsutum* L. Asian Journal of Biological and Life Sciences, 9(2): 169-176.
- Poveda, J., Abril-Urias, P., dan Escobar, C. 2020. Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: *Trichoderma*, mycorrhizal and endophytic fungi. Frontiers in Microbiology, 11(1): 992-1006.
- Ran, X., Zhou, J., Mao, T., Wu, S., Wu, Q., Chen, G., dan Zhai, Y. 2023. The Effect of plant and row configuration on the growth and yield of multiple cropping of soybeans in Southern Xinjiang,

- China. Sustainability, 15(19): 14608-14626.
- Rehman, S.U., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., dan Fanizzi, F.P. 2023. Vermicompost: enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. *Agronomy*, 13(1): 1134-1159.
- Saiin, S.S., Ismail, M.F., Ismail, R., dan Razak, S.A. 2023. Effect of different soil types and plant densities on growth dynamics and yield of sweet corn (*Zea mays* L.). Peninsular Malaysia: *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 9(1): 1–20.
- Simanjuntak, N.K. dan Missdiani, S.A. 2023. Respon tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap aplikasi berbagai dosis Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA). *Jurnal Ilmu Pertanian Agronitas*, 5(2): 244–252.
- Sirait, G., Alexander, I. J., dan Silaban, R. 2023. Analysis of the utilization of hydroponic media in welsh onion cultivation (*Allium fistulosum* L.). *Al-Hayat: Journal of Biology and Applied Biology*, 6(2): 147-157.
- Sitawati, R., Turmuktini, T., dan Kurniawan, A. 2020. Paket inovasi bahan organik untuk efisiensi pupuk anorganik (N P K) peningkatan pertumbuhan dan hasil beberapa genotipe kedelai hitam (*Glycine max* L. Merrill). *Agroscience*, 10(2): 160-168.
- Sunawan, S., Isnawan, T., dan Rahayu, S. 2022. Pengaruh pupuk kascing terhadap sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman sawi (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Agriflora*, 3(1): 25–32.
- Wisnubroto, M.P., Armansyah, Anwar, A., dan Suhendra, D. 2024. Eksplorasi dan identifikasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) serta karakteristik tanah lahan pasca tambang batu bara pada tingkat kelerengan berbeda di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. *Jurnal Agrikultura*, 35(1): 112-125.
- Wu, Y., Chen, C., and Wang, G. 2024. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves plant biomass and nitrogen and phosphorus nutrients: a meta-analysis. *BMC Plant Biology*, 24 (1): 960-973.
- Xiao, X., Liao, X., Yan, Q., Xie, Y., Chen, J., Liang, G., Chen, M., Xiao, S., Chen, Y., dan Liu, J. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth, water status, and nutrient uptake of *Cinnamomum migao* and the soil nutrient stoichiometry under drought stress and recovery. *Journal of Fungi*. 9(1): 321-344.
- Yaadesh, S., Tomar, G. S., Kaushik, R., Prasanna, R., dan Grover, M. 2023. *Azospirillum-Bacillus* associations: synergistic effects on in vitro PGP traits and growth of pearl millet at early seedling stage under limited moisture conditions. *3 Biotech*, 13(3): 90-104.
- Zong, J., Zhang, Z., Huang, P., dan Yang, Y. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviates salt stress in *Xanthoceras sorbifolium* through improved osmotic tolerance, antioxidant activity, and photosynthesis. *Frontiers in Microbiology*, 14 (8): 1739- 1752.