

PENGARUH BIOAMELIORAN TERHADAP SERAPAN NITROGEN DAN FOSFOR SERTA HASIL TUMPANGSARI JAGUNG-KEDELAI

EFFECT OF BIOAMELIORANT APPLICATION ON NITROGEN AND PHOSPHORUS UPTAKE AND YIELD IN A MAIZE-SOYBEAN INTERCROPPING SYSTEM

Wahyu Astiko^{1*}, Mohamad Taufik Fauzi¹, Lolita Endang Susilowati², dan Lalu Zulkifli³

¹Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Indonesia

²Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Indonesia

³Program Studi Ilmu Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Indonesia

*Corresponding Author. E-mail address: astiko@unram.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 31 July 2025

Peer Review: 18 August 2025

Accepted: 25 October 2025

KATA KUNCI:

Bioamelioran, lahan suboptimal, pupuk hayati mikoriza, serapan nitrogen dan fosfor, tumpangsari jagung-kedelai

KEYWORDS:

Bioameliorant, maize-soybean intercropping, mycorrhizal biofertilizer, nitrogen and phosphorus uptake, suboptimal land

ABSTRAK

Lahan suboptimal memiliki potensi besar sebagai lahan pertanian produktif di masa depan. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan, sistem tumpangsari merupakan alternatif budidaya yang efektif. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh berbagai formulasi bioamelioran terhadap serapan nitrogen (N), fosfor (P), dan hasil tumpangsari jagung-kedelai. Penelitian dilaksanakan pada Juni–Agustus 2025 di Dusun Sumur Mual, Desa Pemenang Barat, Kecamatan Pemenang, Kabupaten Lombok Utara. Analisis biologi dan kimia tanah dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Kimia Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram. Rancangan Acak Kelompok (RAK) digunakan dengan lima perlakuan dan tiga ulangan, yaitu: P0 (tanpa bioamelioran), F1 (10% kompos, 10% pupuk kandang, 10% biochar sekam, 70% pupuk hayati mikoriza), F2 (15%, 15%, 15%, 55%), F3 (20%, 20%, 20%, 40%), dan F4 (25%, 25%, 25%, 25%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan F4, yang terdiri atas campuran 25% kompos, 25% arang sekam, 25% pupuk kandang, dan 25% pupuk hayati mikoriza, menunjukkan hasil terbaik dalam meningkatkan populasi spora mikoriza dan persentase kolonisasi akar. Perlakuan ini juga memberikan hasil panen jagung dan kedelai yang lebih tinggi, serta meningkatkan konsentrasi hara tanah (N total dan P tersedia) dan serapan hara oleh tanaman. Aplikasi bioamelioran F4 mampu meningkatkan efektivitas bioamelioran dalam mendukung pertumbuhan dan produktivitas tumpangsari jagung-kedelai.

ABSTRACT

Suboptimal land holds substantial potential for future agricultural development. To improve land-use efficiency, intercropping systems represent a promising cultivation strategy. This study aimed to evaluate the effects of different bioameliorant formulations on nitrogen (N) and phosphorus (P) uptake, as well as yield performance in a maize–soybean intercropping system. The experiment was conducted from June to August 2025 in Dusun Sumur Mual, Pemenang Barat Village, North Lombok Regency, Indonesia. Soil biological and chemical analyses were carried out at the Soil Chemistry and Microbiology Laboratories, Faculty of Agriculture, University of Mataram. A randomized complete block design (RCBD) was applied with five treatments and three replications: P0 (without bioameliorant), F1 (10% compost, 10% manure, 10% rice husk biochar, and 70% mycorrhizal biofertilizer), F2 (15%, 15%, 15%, and 55%), F3 (20%, 20%, 20%, and 40%), and F4 (25%, 25%, 25%, and 25%). The results indicated that the F4 treatment produced the most favorable effects by significantly increasing mycorrhizal spore density and root colonization. This treatment also resulted in higher maize and soybean yields, enhanced soil nutrient status (total nitrogen and available phosphorus), and improved nutrient uptake by both crops. Overall, the application of the F4 bioameliorant formulation effectively enhanced soil fertility and promoted the growth and productivity of the maize–soybean intercropping system on suboptimal land.

1. PENDAHULUAN

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan sumber karbohidrat terbesar kedua setelah padi dan berperan penting dalam ketahanan pangan nasional. Selain sebagai sumber energi, jagung juga mengandung nutrisi penting seperti β -karoten, asam amino esensial, mineral (Ca, Mg, K, Na, P, dan Fe), isoflavon, serta asam lemak esensial (Deepak & Jayadeep, 2022). Namun, peningkatan konsumsi jagung belum diiringi oleh peningkatan produksi, sehingga kebutuhan domestik belum sepenuhnya terpenuhi oleh hasil produksi dalam negeri.

Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) juga merupakan komoditas strategis, sebagai sumber protein nabati yang ekonomis dan banyak digunakan dalam industri pangan, pakan ternak, maupun konsumsi langsung (Messina, 2022). Keterbatasan produksi dalam negeri menyebabkan ketergantungan terhadap impor masih tinggi (Anindita et al., 2017).

Salah satu strategi untuk meningkatkan efisiensi lahan dan produktivitas tanaman adalah melalui sistem tumpangsari (intercropping). Sistem ini memungkinkan dua atau lebih tanaman dibudidayakan secara bersamaan dalam satu lahan, sehingga memaksimalkan pemanfaatan ruang dan waktu (Dewi & Nadhira, 2025). Kombinasi jagung–kedelai merupakan pola tumpangsari yang potensial, karena kedelai dapat memfiksasi nitrogen dari atmosfer yang bermanfaat bagi jagung yang memiliki kebutuhan N tinggi (Nasar et al., 2023). Namun, adanya kompetisi antartanaman, terutama dominasi jagung terhadap kedelai, menjadi tantangan dalam sistem ini (Khotbawan et al., 2015).

Selain pengelolaan pola tanam, peningkatan produktivitas di lahan suboptimal juga dapat dilakukan melalui pemanfaatan bioamelioran. Bioamelioran merupakan kombinasi bahan organik (seperti kompos, pupuk kandang, dan arang sekam) dengan pupuk hayati seperti mikoriza, yang berfungsi memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Herawati et al., 2021; Astiko et al., 2021). Mikoriza memerlukan energi dari bahan organik untuk mendukung aktivitas dan kolonisasinya di dalam tanah. Kandungan bahan organik yang tinggi dalam bioamelioran juga berperan dalam meningkatkan aktivitas mikoriza serta ketersediaan hara, khususnya nitrogen (N) dan fosfor (P), yang esensial bagi pertumbuhan tanaman (Astiko et al., 2023; Astiko et al., 2021).

Simbiosis mikoriza dengan tanaman terbukti mampu meningkatkan efisiensi serapan hara, terutama fosfor, dan mendorong pertumbuhan serta hasil tanaman di lahan suboptimal (Astiko et al., 2013). Namun, efektivitas berbagai formulasi bioamelioran dalam meningkatkan serapan hara dan hasil panen sistem tumpangsari jagung–kedelai masih belum banyak dikaji secara spesifik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas beberapa formulasi bioamelioran terhadap serapan nitrogen (N), fosfor (P), dan hasil tumpangsari jagung–kedelai.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilaksanakan pada bulan Juni hingga Agustus 2025. Lokasi penelitian lapangan berada di Dusun Sumur Mual, Desa Pemenang Barat, Kecamatan Pemenang, Kabupaten Lombok Utara, dengan koordinat lokasi adalah 8°26'27.6" LS dan 116°6'7.2" BT. Lokasi penelitian berada pada ketinggian sekitar 5 m dpl, beriklim kering dengan zona iklim D3 hingga D4(3-4 bulan basah) yang mencerminkan kondisi kering menurut klasifikasi Oldeman. Analisis kadar N dan P tanah serta serapan N dan P oleh tanaman dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, sedangkan pengamatan jumlah spora dan persentase koloni akar oleh mikoriza dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian, Universitas Mataram.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan terdiri dari alat lapangan (cangkul, sekop, sabit, hand counter, dan alat tulis) serta alat laboratorium (oven, timbangan digital, mikroskop binokuler, magnetic stirrer, gelas piala, pinset, saringan bertingkat, sentrifugasi, corong, dan cawan petri). Bahan yang digunakan meliputi benih jagung varietas Bisi 18, kedelai varietas Dering 2, isolat mikoriza MAA01, pupuk kandang sapi, arang sekam, kompos, pupuk anorganik (urea dan NPK Phonska), pupuk daun Green Tonik, pestisida nabati OrgaNeem, serta bahan pendukung seperti tali rafia, kantong plastik, kertas label, tisu, dan bahan kimia analisis (metilen blue, KOH 10%, sukrosa, aquades, kertas saring).

2.3 Metode Penelitian

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan lima perlakuan dan tiga ulangan, sehingga terdapat total 15 unit percobaan. Adapun perlakuan yang diuji adalah: F0: Tanpa bioamelioran (kontrol), F1: 10% kompos + 10% pupuk kandang + 10% arang sekam + 70% pupuk hayati mikoriza, F2: 15% kompos + 15% pupuk kandang + 15% arang sekam + 55% pupuk hayati mikoriza, F3: 20% kompos + 20% pupuk kandang + 20% arang sekam + 40% pupuk hayati mikoriza, F4: 25% kompos + 25% pupuk kandang + 25% arang sekam + 25% pupuk hayati mikoriza.

2.4 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian meliputi pembersihan lahan dengan cara dicangkul hingga gembur, kemudian dibagi menjadi 15 petakan dengan ukuran 5 m × 5 m. Antarpetakan dipisahkan oleh saluran irigasi selebar 50 cm, dan setiap bedengan dibuat setinggi 20–25 cm. Perlakuan pada tiap blok ditata secara acak, dan jarak antar ulangan selebar 80 cm. Pola tanam yang digunakan adalah tumpangsari jagung-kedelai dengan susunan 3 baris jagung : 3 baris kedelai : 3 baris jagung. Jarak tanam untuk jagung adalah 60 × 20 cm, untuk kedelai 30 × 20 cm, dan jarak antar tanaman jagung-kedelai adalah 40 cm. Setiap petakan terdiri atas 72 lubang tanam jagung dan 48 lubang tanam kedelai, masing-masing lubang ditanami dua benih.

Bioamelioran diaplikasikan pada saat tanam sebanyak ±20 g per lubang tanam untuk setiap perlakuan (F1–F4), dengan komposisi bahan di dalamnya disesuaikan menurut proporsi masing-masing formulasi. Penyulaman dilakukan pada 7 hari setelah tanam (HST) dan penjarangan pada 14 HST, dengan menyisakan satu tanaman per lubang. Pemupukan dilakukan berdasarkan kebutuhan masing-masing tanaman, Jagung: Pemupukan I (7 HST): 60 kg/ha urea + 60 kg/ha NPK Phonska, Pemupukan II (21 HST): 60 kg/ha urea + 60 kg/ha NPK Phonska, Pemupukan III (28 HST): 60 kg/ha urea. Kedelai: Pemupukan I (7 HST): 40 kg/ha urea + 20 kg/ha NPK Phonska, Pemupukan II (28 HST): 20 kg/ha urea + 60 kg/ha NPK Phonska. Pupuk setelah dikonversi diberikan sebanyak 2,6 g/lubang untuk tanam tanaman jagung dan 1,3 g/lubang untuk tanam tanaman kedelai menggunakan wadah takar kecil (cup) yang telah dimodifikasi dan ditempatkan di sekitar lubang tanam.

Pemeliharaan tanaman meliputi penyiangan gulma dilakukan secara manual untuk menghindari kompetisi hara. Penyiraman mengandalkan curah hujan alami, jika terjadi kekeringan, dilakukan pengairan menggunakan sistem leb. Perlindungan tanaman menggunakan pestisida nabati OrgaNeem (azadirachtin) dengan konsentrasi 5 ml/L air, disemprotkan setiap 3 minggu sekali. Adapun pengamatan fase vegetatif dilakukan pada 42 HST saat muncul bunga jantan dan betina, dan pengamatan hasil panen dilakukan pada 92 HST, ditandai dengan 75% daun menguning serta warna tongkol jagung dan polong kedelai menjadi cokelat.

Parameter pengamatan meliputi: Bobot kering tongkol jagung dan polong kedelai per petak, Bobot pipilan jagung per petak, Bobot biji kedelai per petak, Kadar hara tanah (N dan P), Serapan N dan P oleh tanaman. Penentuan total nitrogen tanah dan tanaman dilakukan melalui destruksi

dengan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan distilasi NaOH, diukur menggunakan metode indofenol secara kolorimetri ($\lambda = 636 \text{ nm}$) atau titrasi H_2SO_4 (Page *et al.*, 1982; Lisle *et al.*, 1990), sedangkan fosfor tersedia dianalisis menggunakan ekstraksi Bray & Kurtz I dan pembacaan spektrofotometer pada $\lambda = 693 \text{ nm}$ (Bray & Kurtz, 1945). Jumlah spora mikoriza diamati dengan teknik pengayakan basah dan sentrifugasi berdasarkan metode Brundrett *et al.* (1996), sedangkan persentase kolonisasi akar dianalisis dengan metode pewarnaan (*clearing and staining*) menurut Kormanik dan Graw (1982), dan dihitung menggunakan teknik *Gridline Intersect* (Giovannetti dan Mosse, 1980).

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan Analisis Sidik Ragam (ANOVA) dengan bantuan perangkat lunak Minitab. Jika terdapat perbedaan nyata antar perlakuan, dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konsentrasi dan Serapan Hara N dan P

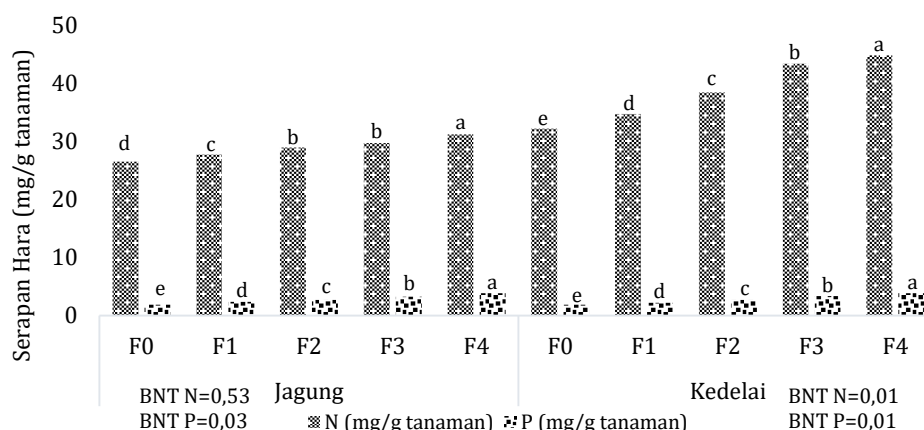
Hasil penelitian mengenai konsentrasi hara tanah (N total dan P tersedia) serta serapan hara oleh tanaman jagung dan kedelai tersaji dalam Tabel 1 dan Gambar 1. Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa aplikasi bioamelioran dengan komposisi F4 (25% kompos, 25% pupuk kandang, 25% arang sekam, dan 25% pupuk hayati mikoriza) memberikan peningkatan signifikan terhadap kandungan N total dan P tersedia di tanah, baik pada umur 42 maupun 92 hari setelah tanam (HST).

Pada perlakuan F4, kandungan N total tanah pada tanaman jagung meningkat sebesar 18,84%, sedangkan pada tanaman kedelai meningkat dari 1,43 g/kg menjadi 1,98 g/kg. Demikian pula, kandungan P tersedia meningkat 38,46% pada jagung, dan pada kedelai meningkat dari 23,63 mg/kg menjadi 25,13 mg/kg meningkat 6,34%. Peningkatan ketersediaan hara diikuti dengan peningkatan serapan hara oleh tanaman, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.

Tabel 1. Rata-Rata Konsentrasi Hara Tanah N total dan P tersedia pada Tumpangsari Jagung dan Kedelai Umur 42 dan 92 HST

Perlakuan	N (g/kg)		P (mg/kg)	
	42 HST	92 HST	42 HST	92 HST
Jagung				
F0	1,17 e	1,57 e	11,12 e	14,16 e
F1	1,27 d	1,65 d	15,21 d	15,41 d
F2	1,37 c	1,73 c	19,60 c	20,32 c
F3	1,56 b	1,84 b	22,74 b	23,21 b
F4	1,91 a	2,27 a	25,11 a	31,43 a
BNT 5%	0,01	0,01	0,02	0,02
Kedelai				
F0	1,12 d	1,57 e	11,64 e	13,43 e
F1	1,22 d	1,64 d	14,35 d	14,33 d
F2	1,27 c	1,74 c	16,24 c	19,24 c
F3	1,37 b	1,85 b	19,19 b	22,11 b
F4	1,43 a	1,98 a	23,63 a	25,13 a
BNT 5%	0,01	0,01	0,02	0,02

Keterangan: Nilai rerata yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%, F0: tanpa perlakuan bioamelioran, F1: 10% berat pupuk kompos + 10% berat arang sekam + 10% berat pupuk kandang + 70% berat pupuk hayati mikoriza, F2: 15% berat pupuk kompos + 15% berat arang sekam + 15% berat pupuk kandang + 55% berat pupuk hayati mikoriza, F3: 20% berat pupuk kompos + 20% berat arang sekam + 20% berat pupuk kandang + 40% berat pupuk hayati mikoriza, F4: 25% berat pupuk kompos + 25% berat arang sekam + 25% berat pupuk kandang + 25% berat pupuk hayati mikoriza.



Gambar 1. Konsentrasi Serapan Hara Tanaman (N dan P) pada Tumpangsari Jagung dan Kedelai Umur 42 HST. Grafik tiap tanaman yang diikuti huruf yang sama pada warna yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%. Keterangan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada umur 42 HST, perlakuan F4 menunjukkan peningkatan serapan hara yang signifikan dibandingkan dengan kontrol (F0). Pada tanaman jagung, serapan nitrogen meningkat 17,75%, dan serapan fosfor 108,10%. Sementara itu, pada tanaman kedelai, serapan nitrogen meningkat 39,21%, dan serapan fosfor meningkat 106,45%. Peningkatan serapan nitrogen dan fosfor ini tidak hanya disebabkan oleh ketersediaan hara yang lebih baik, tetapi juga oleh simbiosis antara tanaman kedelai dengan bakteri *Rhizobium* dan mikoriza yang mampu memfiksasi nitrogen dari atmosfer dan menyerap fosfor yang tidak tersedia menjadi tersedia. Menurut Schwember *et al.*, (2013) *Rhizobium* yang hidup dalam nodul akar kedelai mengikat nitrogen atmosfer menjadi senyawa amonia (NH_3), yang kemudian dikonversi menjadi senyawa organik seperti asam amino, sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Selain itu, bioamelioran yang digunakan juga mengandung pupuk hayati berbasis arbuskular mikoriza fungi (AMF). Mikoriza diketahui mampu meningkatkan ketersediaan dan serapan fosfor melalui aktivitas hifa yang menembus jaringan akar tanaman, memperluas area serapan, dan menghasilkan enzim fosfatase yang melarutkan senyawa P tidak larut dalam tanah (Astiko *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2017; Smith & Read, 2010).

Menurut Astiko *et al.* (2021a), kombinasi antara mikoriza dan bahan organik mampu meningkatkan jumlah spora, kolonisasi akar, serta pertumbuhan dan hasil tanaman. Hal ini diperkuat dengan peran arang sekam dan kompos sebagai sumber energi dan media tumbuh mikroba tanah yang mendukung perkembangan mikoriza (Suleman *et al.*, 2024). Islam *et al.*, (2024) menyatakan bahwa fosfor merupakan makronutrien terpenting kedua setelah nitrogen, namun ketersediaannya di tanah sering terhambat oleh ikatan dengan kation Fe, Al, atau Ca. Kehadiran mikroba pelarut fosfat dalam bioamelioran dapat membantu memobilisasi P yang terikat tersebut sehingga dapat diserap oleh tanaman. (Pang *et al.*, 2024). Secara keseluruhan, perlakuan F4 terbukti memberikan pengaruh paling signifikan terhadap peningkatan konsentrasi dan serapan hara N dan P baik pada tanaman jagung maupun kedelai. Hal ini menegaskan efektivitas formulasi bioamelioran dengan proporsi seimbang antara kompos, pupuk kandang, arang sekam, dan pupuk hayati mikoriza dalam memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan efisiensi pemupukan di lahan suboptimal (Susilowati *et al.*, 2024).

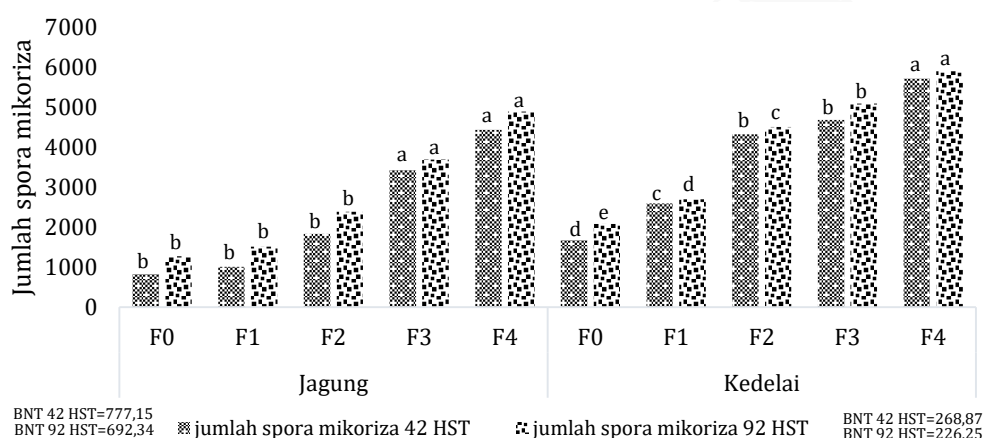
3.2 Spora dan Kolonisasi Akar Mikoriza

Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa perlakuan F4 menghasilkan jumlah spora dan persentase kolonisasi akar mikoriza tertinggi pada kedua tanaman uji, yaitu jagung dan kedelai. Pada

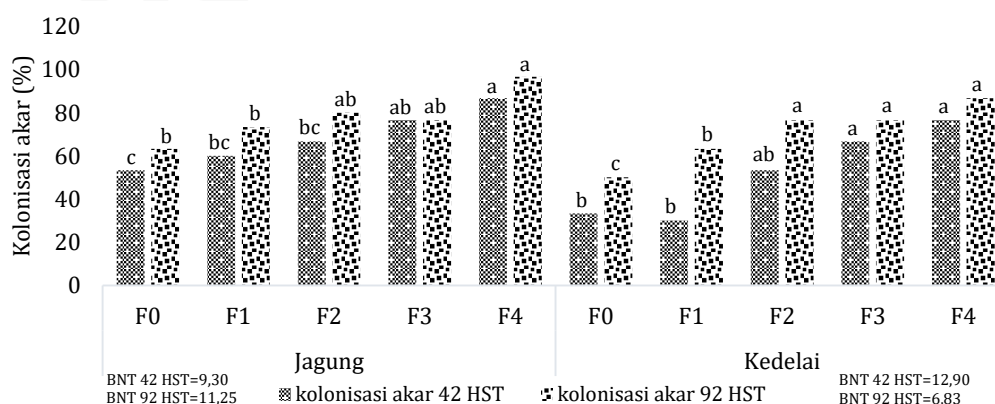
tanaman jagung, jumlah spora mencapai 4.244 spora/100 g tanah dengan 86,67% kolonisasi akar pada umur 42 HST, yang kemudian meningkat menjadi 4.881 spora/100 g tanah dan 96,67% kolonisasi pada 92 HST. Sementara itu, pada tanaman kedelai, jumlah spora mencapai 5.705,3 spora/100 g tanah dengan 76,67% kolonisasi pada 42 HST, dan meningkat menjadi 5.894 spora/100 g tanah serta 86,67% kolonisasi pada umur 92 HST.

Peningkatan jumlah spora dan kolonisasi akar ini disebabkan oleh pengaruh bioamelioran yang mengandung bahan organik dan mikroorganisme tanah, termasuk inokulan AMF. Aplikasi bioamelioran terbukti meningkatkan ketersediaan hara makro (N dan P), yang menjadi faktor penting bagi pertumbuhan dan aktivitas mikoriza. Menurut Astiko *et al.* (2022), mikroorganisme dalam bioamelioran berperan dalam mendegradasi bahan organik menjadi unsur hara yang mudah diserap tanaman, sekaligus menjadi sumber energi dan media tumbuh bagi mikoriza.

Variasi komposisi bahan organik dalam bioamelioran juga berdampak pada populasi mikroba tanah dan dinamika simbiosis akar. Semakin tinggi kandungan bahan organik (seperti pada F4), semakin tinggi pula C-organik tanah dan aktivitas biologisnya, yang mendukung perkembangan spora dan intensitas kolonisasi akar (Liu *et al.*, 2023; Simarmata *et al.*, 2016).



Gambar 2. Jumlah Spora (per 100 g tanah) pada Tumpangsari Jagung dan Kedelai Umur 42 dan 92 HST. Grafik batang jagung dan kedelai yang diikuti huruf yang sama pada warna yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%. Keterangan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Persentase Kolonisasi (%) pada Tumpangsari Jagung dan Kedelai Umur 42 dan 92 HST. Grafik batang yang diikuti huruf yang sama pada warna yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%. Keterangan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

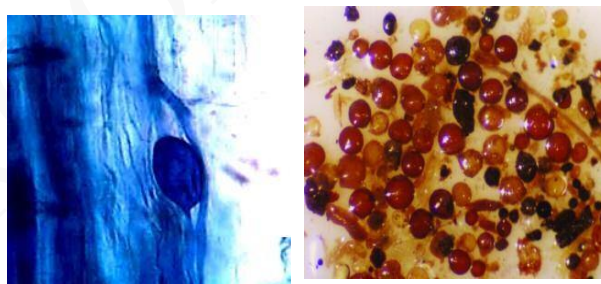
Menariknya, jumlah spora bebas di tanah kedelai lebih tinggi dibandingkan dengan tanah jagung. Hal ini dapat dikaitkan dengan keberadaan bintil akar kedelai yang mengandung bakteri *Rhizobium*, yang menyediakan nitrogen hasil fiksasi biologis. Nitrogen tersebut tidak hanya bermanfaat bagi tanaman, tetapi juga bagi pertumbuhan mikoriza. Mikoriza juga membantu ketersediaan fosfor (P), yang sangat dibutuhkan dalam pembentukan bintil akar (Ma & Chen, 2021). Dengan demikian, terjadi hubungan simbiosis saling menguntungkan antara mikoriza, *Rhizobium*, dan tanaman kedelai dalam sistem tumpangsari jagung-kedelai (Li & Wu, 2011).

Sebaliknya, kolonisasi mikoriza pada akar jagung lebih tinggi dibandingkan pada kedelai. Hal ini dapat dijelaskan oleh perbedaan morfologi akar antara kedua tanaman. Akar jagung yang bersifat lebih lunak dan memiliki sistem akar serabut memungkinkan penetrasi hifa mikoriza lebih mudah dan luas (Ma et al., 2021a). Struktur akar seperti ini meningkatkan efektivitas kolonisasi dan luas permukaan serapan hara melalui jaringan hifa eksternal (Sobat, 2022).

Menarik pula bahwa pada perlakuan F0 (tanpa aplikasi bioamelioran), infeksi mikoriza tetap terdeteksi, meskipun pada tingkat yang lebih rendah. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Sivakumar (2013), yang melaporkan bahwa infeksi mikoriza secara alami dapat terjadi pada lahan tanpa inokulasi, karena spora mikoriza telah terdapat dalam tanah, meskipun jenis dan efektivitasnya bervariasi. Pengamatan mikroskopis terhadap kolonisasi akar dan massa spora mikoriza disajikan pada Gambar 4.

3.3 Bobot Hasil Tanaman Jagung dan Kedelai

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi bioamelioran dengan berbagai komposisi bahan organik berpengaruh nyata terhadap bobot hasil tanaman jagung dan kedelai pada petak berukuran 5 m × 5 m. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2, perlakuan F4 menghasilkan bobot kering tongkol jagung (BKT) sebesar 17,28 kg, bobot kering polong kedelai (BKP) 2,06 kg, bobot pipilan jagung (BPJ) 10,40 kg, dan bobot biji kedelai (BBK) 0,67 kg per petak. Nilai ini meningkat secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan tanpa bioamelioran (F0), yang masing-masing hanya sebesar 13,06 kg, 1,17 kg, 8,46 kg, dan 0,24 kg.



Gambar 4. Kolonisasi akar dan massa spora jamur mikoriza di bawah mikroskop.

Tabel 2. Bobot Kering Tongkol, Bobot Kering Polong, Bobot Pipilan Jagung dan Kedelai per Petak (kg)

Bioamelioran	BKT	BKP	BPJ	BBK
F0	13,06 ^b	1,17 ^c	8,46 ^d	0,24 ^e
F1	13,86 ^b	1,24 ^c	9,19 ^c	0,33 ^d
F2	14,09 ^b	1,36 ^{bc}	9,77 ^b	0,41 ^c
F3	14,80 ^b	1,66 ^b	9,93 ^{ab}	0,53 ^b
F4	17,28 ^b	2,06 ^a	10,40 ^a	0,67 ^a
BNT 5%	1,21	0,20	0,30	0,04

Keterangan: Nilai rerata yang diikuti huruf pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%, keterangan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.2; BKT = Bobot Kering Tongkol, BKP = Bobot Kering Polong, BPJ = Bobot Pipilan Jagung, BBK = Bobot Biji Kedelai, keterangan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Peningkatan hasil tersebut diduga kuat dipengaruhi oleh pemberian bioamelioran dengan komposisi bahan organik yang optimal, terutama pada perlakuan F4. Bahan organik seperti kompos, pupuk kandang, arang sekam, dan pupuk hayati dalam bioamelioran memberikan sumber hara makro dan mikro, meningkatkan ketersediaan nutrisi tanah, serta mendukung aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan dalam proses mineralisasi (Hu *et al.*, 2024).

Menurut Sianipar (2019), penggunaan pupuk organik seperti kompos meningkatkan produksi fotosintat yang berperan dalam pembentukan biomassa generatif, termasuk biji dan polong. Ren *et al.*, (2021) juga menegaskan bahwa peningkatan bobot tongkol berkorelasi langsung dengan besarnya fotosintat yang ditranslokasikan ke organ tersebut. Semakin tinggi laju transportasi hasil fotosintesis, semakin besar akumulasi fotosintat di tongkol atau polong, yang berdampak pada bobot hasil panen.

Pemberian bioamelioran dengan dosis bahan organik tinggi juga mendukung sintesis gula dan senyawa kompatibel yang mempercepat translokasi karbohidrat ke bagian generatif tanaman (Ma *et al.*, 2020). Hal ini terbukti dari peningkatan bobot pipilan dan biji yang signifikan pada perlakuan F4 dibandingkan perlakuan lainnya. Ketersediaan hara yang cukup juga memperkuat metabolisme tanaman, meningkatkan aktivitas fisiologis seperti pembelahan dan pembesaran sel. Lilay *et al.*, (2024) menjelaskan bahwa metabolisme tanaman yang optimal mendukung pertumbuhan dan perkembangan organ generatif, termasuk tongkol dan polong. Proses ini berlangsung efektif ketika tanaman mendapatkan pasokan nutrisi yang seimbang serta didukung oleh faktor lingkungan seperti cahaya dan ketersediaan air.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa komposisi bioamelioran yang seimbang dan kaya bahan organik, seperti pada perlakuan F4, mampu meningkatkan produktivitas tumpangsari jagung-kedelai secara signifikan, baik dari aspek biomassa maupun hasil biji.

4. KESIMPULAN

Perlakuan F4, yang terdiri atas campuran 25% kompos, 25% arang sekam, 25% pupuk kandang, dan 25% pupuk hayati mikoriza, menunjukkan hasil terbaik dalam meningkatkan populasi spora mikoriza dan persentase kolonisasi akar. Perlakuan ini juga memberikan hasil panen jagung dan kedelai yang lebih tinggi, serta meningkatkan konsentrasi hara tanah (N total dan P tersedia) dan serapan hara oleh tanaman. Aplikasi bioamelioran F4 mampu meningkatkan efektivitas bioamelioran dalam mendukung pertumbuhan dan produktivitas tumpangsari jagung-kedelai.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kemendiktisaintek dan LPPM Universitas Mataram atas pendanaan yang diberikan pada tahun anggaran 2025.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anindita, R., A.Q. Pudjiastuti, & N. Baldina. 2017. Food self-sufficiency through land area expansion (CGE analysis in Indonesia). In *ICSAFS Conference Proceedings: 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Food Security: A Comprehensive Approach*. KnE Life Sciences. 2017: 362–373.
- Astiko, W., N.M.L. Ernawati, & I.P. Silawibawa. 2023. Aplikasi beberapa formulasi bioamelioran terhadap konsentrasi hara N, P dan pertumbuhan tumpangsari jagung-kedelai di tanah berpasir Lombok Utara. *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. 10(1): 67–77.

- Astiko, W., N.M.L Ernawati, & I.P. Silawibawa. 2021. Konsentrasi hara N, P dan pertumbuhan tanaman pada tumpangsari jagung-kedelai yang ditambahkan mikoriza, bahan organik dan nutrisi tanaman di lahan suboptimal Lombok Utara. *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. 9: 260–268.
- Astiko, W., N.M.L Ernawati, & I.P. Silawibawa. 2022. The yield of maize-soybean intercropping on mycorrhizal inoculation treatment and plant nutrition provision in suboptimal land North Lombok, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1107(1): 012006.
- Astiko, W., M. Isnaini, M.T. Fauzi, & I. Muthahanas. 2021a. Konsentrasi hara, serapan hara, dan pertumbuhan pada beberapa varietas kedelai dengan aplikasi paket pemupukan pupuk hayati mikoriza, bahan organik, dan anorganik di lahan kering. *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. 9 : 279–288.
- Astiko, W., W. Wangiyana, & L.E. Susilowati. 2019. Indigenous mycorrhizal seed-coating inoculation on plant growth and yield, and NP-uptake and availability on maize-sorghum cropping sequence in Lombok's drylands. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 42(3): 1131-1146.
- Astiko, W., I.R. Sastrahidayat, S. Djauhari, & A. Muhibuddin. 2013. The role of indigenous mycorrhiza in combination with cattle manure in improving maize yield (*Zea mays* L) on sandy loam of northern Lombok, eastern Indonesia. *Journal of Tropical Soils*. 18(1): 53–58.
- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, & T. Grove. 1996. *Examining mycorrhizal associations*. <http://irt-pw-cp1.irt.csus.edu/jbaxter/wp-content/uploads/2016/02/1996-Brundrett-et-alMycorrhizal-Methods-Book>. Retrieved February 26, 2019.
- Bray, R. H., & L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. 59(1): 39–46.
- Deepak, T.S., & P.A. Jayadeep. 2022. Prospects of maize (corn) wet milling by-products as a source of functional food ingredients and nutraceuticals. *Food Technology and Biotechnology*. 60(1): 109–120.
- Dewi, D.S., & A. Nadhira. 2025. Dampak pola tanam tumpangsari jagung dan kedelai terhadap produktivitas dan kesuburan tanah pada lahan kering. *All Fields of Science Journal Liaison Academia and Society*. 5(2): 14–24.
- Giovannetti, M., & B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*. 84(3): 489–500.
- Herawati, A., J. Syamsiyah, M. Mujiyo, M. Rochmadtulloh, A.A. Susila, & M.R. Romadhon. 2021. Mycorrhizae and a soil ameliorant on improving the characteristics of sandy soil. *Sains Tanah Journal of Soil Science and Agroclimatology*. 18(1): 73–80.
- Hu, W., Y. Zhang, X. Rong, X. Zhou, J. Fei, J. Peng, & G. Luo. 2024. Biochar and organic fertilizer applications enhance soil functional microbial abundance and agroecosystem multifunctionality. *Biochar*. 6(3): 1-17.
- Islam, M., K.H. Siddique, L.P. Padhye, J. Pang, Z.M. Solaiman, D. Hou, & N. Bolan. 2024. A critical review of soil phosphorus dynamics and biogeochemical processes for unlocking soil phosphorus reserves. *Advances in Agronomy*. 185:153–249.
- Khotbawan, I., H. Hawalid, & R.I.S. Aminah. 2015. Pengaruh jarak tanam dan pemberian pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dan jagung (*Zea mays* L.) dengan pola tanam tumpangsari di lahan lebak. *Klorofil: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Pertanian*. 10(2): 76–81.
- Kormanik, P.P., & A.C. McGraw. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhiza in plant roots. In N. C. Schenk (Ed.), *Methods and principles of mycorrhizal research* (pp. 244). The American Phytopathological Society.
- Lilay, G.H., N. Thiébaut, D. du Mee, A.G. Assunção, J.K. Schjoerring, S. Husted, & D.P. Persson. 2024. Linking the key physiological functions of essential micronutrients to their deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*. 242(3): 881–902.

- Liu, W., Z. Yang, Q. Ye, Z. Peng, S. Zhu, H. Chen, & H. Huang. 2023. Positive effects of organic amendments on soil microbes and their functionality in agro-ecosystems. *Plants*. 12(22): 3790.
- Li, S.M., & F. Wu. 2011. Nitrogen uptake facilitation in soybean/maize intercropping system inoculated with rhizobium and arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*. 17(1): 110–116.
- Lisle, L., J. Gaudron, & R. Lefroy. 1990. *Laboratory techniques for plant and soil analysis*. Armidale, Australia: UNE-ACIAR-Crawford Fund.
- Ma, Y., & R. Chen. 2021. Nitrogen and phosphorus signaling and transport during legume– rhizobium symbiosis. *Frontiers in Plant Science*. 12: 683601.
- Ma, X., X. Li, & U. Ludewig. 2021a. Arbuscular mycorrhizal colonization outcompetes root hairs in maize under low phosphorus availability. *Annals of Botany*. 127(1): 155–166.
- Ma, Y., M.C. Dias, & H. Freitas. 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*. 11: 591911.
- Messina, M. 2022. Perspective: Soybeans can help address the caloric and protein needs of a growing global population. *Frontiers in Nutrition*. 9: 909464.
- Nasar, J., C.J. Zhao, R. Khan, H. Gul, H. Gitari, Z. Shao, & J. Yang. 2023. Maize-soybean intercropping at optimal N fertilization increases the N uptake, N yield and N use efficiency of maize crop by regulating the N assimilatory enzymes. *Frontiers in Plant Science*. 13: 1077948.
- Pang, F., Q. Li, M.K. Solanki, Z. Wang, Y.X. Xing, & D.F. Dong. 2024. Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms. *Frontiers in Microbiology*. 15: 1383813.
- Page, A.L., R.H. Miller, & D.R. Keeney. 1982. *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties* (2nd ed.). Madison, USA: American Society of Agronomy.
- Ren, H., Y. Jiang, M. Zhao, H. Qi, & C. Li, C. 2021. Nitrogen supply regulates vascular bundle structure and matter transport characteristics of spring maize under high plant density. *Frontiers in Plant Science*. 11: 602739.
- Schwember, A.R., J. Schulze, A. Del Pozo, & R.A. Cabeza. 2019. Regulation of symbiotic nitrogen fixation in legume root nodules. *Plants*. 8(9): 333.
- Simarmata, T., T. Turmuktini, B.N. Fitriatin, & M.R. Setiawati. 2016. Application of bioameliorant and biofertilizers to increase the soil health and rice productivity. *HAYATI Journal of Biosciences*. 23(4): 181–184.
- Sianipar, G. 2019. Respon pertumbuhan dan produksi tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) terhadap pemberian kompos batang jagung dan pupuk organik cair limbah ampas tebu. *Disertasi*. Universitas Medan Area.
- Sivakumar, N. 2013. Effect of edaphic factors and seasonal variation on spore density and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane fields. *Annals of Microbiology*. 63(1): 151–160.
- Smith, S.E., & D.J. Read. 2010. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press.
- Suleman, D.S., S. Alam, & D.N. Yusuf. 2024. Pengaruh biochar sekam padi dan inokulan mikoriza terhadap pH tanah, P tersedia dan pertumbuhan jagung pada tanah ultisol. *Jurnal Agrium*. 21(4): 283–292.
- Sobat, E. 2022. *Maize root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi* (Master's thesis). McGill University. Canada.
- Susilowati, L.E., S. Sukartono, M.F. Akbar, B.H. Kusumo, A. Suriadi, A.S. Leksono, & F. Fahrudin. 2024. Assessing the synergistic effects of inorganic, organic, and biofertilizers on rhizosphere properties and yield of maize. *Sains Tanah - Journal of Soil Science and Agroclimatology*. 21(1): 104–116.

Wang, X.X., E. Hoffland, G. Feng, & T.W. Kuyper. 2017. Phosphate uptake from phytate due to hyphae-mediated phytase activity by arbuscular mycorrhizal maize. *Frontiers in Plant Science*. 8: 684.

PROOFREADING