

Pengaruh *Bacillus subtilis* dan Mikoriza terhadap Pertumbuhan serta Serapan Fosfor pada Tanaman Cabai Rawit

Effects of *Bacillus subtilis* and Mycorrhizae on the Growth and Phosphorus Uptake of Chili Pepper (*Capsicum frutescens*)

*Adi Rastono¹, Lisa Dwifani Indarwati¹, Faza Yasmin Saidah¹, Vionita Tri Erida², Refa Firgiyanto³

¹Program Studi Budi Daya Tanaman Hortikultura Politeknik Pertanian dan Peternakan Mapena

²Laboratorium Politeknik Pertanian dan Peternakan Mapena

³Program Studi Produksi Tanaman Hortikultura, Politeknik Negeri Jember

KATA KUNCI

Alfisol soil,
Bacillus subtilis,
Chili,
Mycorrhiza,
Phosphorus (P).

HISTORI ARTIKEL

Diterima : 20-04-2026

Direvisi : 12-08-2026

Diterbitkan : 31-8-2026



This work is licensed under a
Creative Commons Attribution
4.0 International
License.

ABSTRAK

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi di Indonesia, namun produktivitasnya sering terhambat oleh rendahnya ketersediaan fosfor (P), khususnya pada tanah Alfisol dengan daya fiksasi fosfat tinggi. Tujuan dari penelitian adalah mengevaluasi pengaruh pupuk fosfat (SP36), *Bacillus subtilis*, dan mikoriza, baik secara tunggal maupun kombinasi, terhadap pertumbuhan dan serapan fosfor tanaman. Percobaan dilaksanakan di Tuban, Jawa Timur dengan menggunakan metode RAK, 8 perlakuan dan 3 ulangan. Parameter pengamatan meliputi berat kering pada 8 dan 10 MST, indeks luas daun (ILD) pada 12 MST, serta serapan fosfor. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan P₈ (pupuk P + *Bacillus subtilis* + mikoriza) memberikan hasil terbaik dengan berat kering 11,597 g, ILD 5,01 dan serapan fosfor 0,250 mg/tanaman. Efektivitas ini diduga berasal dari sinergi antara pupuk anorganik dan mikroorganisme dalam meningkatkan ketersediaan serta efisiensi serapan fosfor. Kombinasi ini berpotensi meningkatkan produktivitas cabai rawit di lahan marginal.

ABSTRACT

Cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.) is a high-value horticultural commodity in Indonesia, though its productivity is often limited by low phosphorus (P) availability, particularly in Alfisols with high phosphate fixation. This study evaluated the effects of phosphate fertilizer (SP36), *Bacillus subtilis*, and mycorrhizae individually and in combination on plant growth and P uptake conducted in Tuban, East Java. The experiment used a Randomized Block Design with eight treatments and three replications. Parameters included dry weight at 8 and 10 WAP, leaf area index (LAI) at 12 WAP, and phosphorus uptake. Results showed that treatment P₈ (P fertilizer + *B. subtilis* + mycorrhizae) yielded the best results: 11.597 g dry weight, 5.01 LAI, and 0.250 mg/plant P uptake. This effectiveness likely stems from the synergy between inorganic fertilizer and microorganisms in enhancing P availability and efficiency, offering potential to boost productivity in marginal lands.

How to Cite:

Rastono, A., Indarwati, L. D., Saidah, F. Y., Erida, V. T., Firgiyanto, R. (2026). Pengaruh *Bacillus subtilis* dan Mikoriza terhadap Pertumbuhan serta Serapan Fosfor pada Tanaman Cabai Rawit. *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 14(2), 53-59. <https://doi.org/10.33005/plumula.v14i2.314>

***Author Correspondent:**

Email: adirastono3@gmail.com

PENDAHULUAN

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan komoditas hortikultura strategis di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang konsisten. Namun, produktivitas cabai rawit masih dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah keterbatasan ketersediaan hara esensial di dalam tanah, khususnya fosfor (P) (Sumiratin, 2025). Ketersediaan fosfor pada lahan alfisol sering menjadi penghambat pertumbuhan, sebab sebagian unsur fosfor diikat oleh ion Fe dan Al (Muzadi & Rastono, 2023).

Unsur fosfor sangat esensial bagi tanaman karena terlibat langsung dalam metabolisme energi, fotosintesis, serta proses dasar pertumbuhan seperti multiplikasi dan elongasi sel (Lambers, 2022). Rendahnya ketersediaan dan serapan P pada tanah alfisol menuntut strategi pengelolaan hara yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Keterbatasan ketersediaan dan rendahnya efisiensi pengambilan P pada jenis tanah Alfisol mendorong perlunya penerapan strategi pemupukan yang lebih presisi serta aman bagi ekosistem. Penggunaan agen hayati tanah, khususnya bakteri *Bacillus* dan fungi mikoriza, diketahui efektif dalam mengoptimalkan aksesibilitas serta efektivitas pengambilan unsur P oleh vegetasi (Li dkk., 2023).

Bacillus merupakan mikroba fungsional yang mampu meningkatkan kadar P tersedia melalui pelarutan fosfat anorganik dengan bantuan sekresi asam organik (Pane dkk., 2022). Sementara itu, mikoriza, khususnya jenis arbuskular (AMF), membentuk asosiasi mutualistik dengan akar tanaman dan meningkatkan serapan air serta hara, terutama P, melalui perluasan permukaan penyerapan akar (Khan dkk., 2016).

Interaksi positif antara *Bacillus subtilis* dan mikoriza dapat menciptakan efek sinergis yang memacu perkembangan tanaman, sebagaimana terlihat dari bertambahnya biomassa kering, luasan daun (ILD), serta optimalnya penyerapan nutrisi (Hidayati dkk., 2017). Berat biomassa tanaman mencerminkan keberhasilan akumulasi hasil fotosintesis, sedangkan ILD merupakan indikator penting dalam mengukur kemampuan tanaman dalam menangkap cahaya (Sembada dkk., 2024). Meskipun potensi keduanya telah banyak dikaji pada berbagai tanaman, namun informasi mengenai perannya secara spesifik pada cabai rawit di lahan Alfisol masih terbatas.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui peran *Bacillus subtilis* dan mikoriza terhadap berat kering, indeks luas daun, dan serapan hara P pada cabai rawit di lahan alfisol (Sumiratin, 2025). Hasil studi ini diharapkan dapat mendukung transformasi teknologi pertanian cabai menuju metode yang lebih ramah lingkungan melalui optimalisasi peran mikrobiota fungsional.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada periode Juni hingga September 2023 di Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Lokasi ini berada pada ketinggian 47 m dpl, sekitar 60 km dari pusat Kota Tuban. Bahan penelitian meliputi lahan seluas 300 m², pupuk kandang, pupuk kimia (Urea, SP36, dan KCl), *Bacillus subtilis* dengan konsentrasi 10⁻⁹ cfu/ml, fungi mikoriza arbuskula sebanyak 10 gram per tanaman, pestisida, fungisida, serta bibit cabai rawit varietas lokal Tuban. Alat-alat yang digunakan antara lain traktor, cangkul, sabit, pompa air, timbangan analitik, oven, alat tulis, gunting, kamera digital, meteran, penggaris, jangka sorong, dan hand sprayer.

Studi ini menggunakan desain RAK yang terdiri atas delapan jenis perlakuan dengan tiga kali repetisi, sehingga menghasilkan 24 unit percobaan secara keseluruhan. Adapun perlakuan yang diuji melibatkan aplikasi mikoriza arbuskula, bakteri *Bacillus subtilis*, serta pupuk fosfat (SP36) dosis 300 kg/ha, baik diaplikasikan secara tunggal maupun dikombinasikan di antaranya:

- P₁ = Tanpa Perlakuan (Kontrol)
- P₂ = Pupuk P
- P₃ = *Bacillus subtilis*
- P₄ = Mikoriza
- P₅ = Pupuk P + *Bacillus subtilis*
- P₆ = Pupuk P + Mikoriza
- P₇ = *Bacillus subtilis* + Mikoriza
- P₈ = Pupuk P + *Bacillus subtilis* + Mikoriza

Lahan seluas 300 m² diolah dengan cara dibersihkan dari semak kemudian ditaraktor agar lahan gembur. Lahan yang telah diolah dibuat bedengan dengan luas 2,25 m² dengan jarak antar bedengan 50 cm. Setelah petakan terbentuk kemudian dilakukan pemberian pupuk kandang 30 ton/ha. Penanaman cabai rawit varietas lokal Tuban dilakukan setelah satu minggu aplikasi pupuk kandang dengan jarak 50 x 70 cm. Pengendalian

hama dan penyakit dilakukan jika menemui gejala. Agen hayati *B. subtilis* dengan dosis 15 ml/l, Pupuk P sebanyak 300 kg SP36/ha dan Fungi mikoriza dengan dosis 10 g diaplikasikan pada awal tanam. *Bacillus subtilis* dan pupuk P diaplikasikan dengan penyiraman di sekitar lubang tanam, sedangkan FMA diaplikasikan di daerah perakaran cabai. Pemupukan susulan dilakukan pada 15, 28, 42 HST dengan dosis urea 300 kg/ha dan KCl -250 kg/ha. Pengendalian hama dan penyakit tanaman dilakukan apabila muncul gejala.

Pada penelitian ini terdapat 3 variabel pengukuran untuk mengetahui respon tanaman cabai terhadap perlakuan yang diberikan diantaranya sebagai berikut:

Biomassa kering

Biomassa kering menggambarkan akumulasi total bahan organik hasil fotosintesis (fotosintat) tanaman setelah seluruh kadar air dihilangkan. Sampel yang digunakan fase generatif umur 8 dan 10 MST. Seluruh bagian tanaman meliputi batang, daun, akar, dan buah yang sudah dipisahkan dan dimasukkan dalam wadah dikeringkan didalam oven pada suhu 65°C hingga konstan. Hasil pengovenan ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian 0,0001 g.

Kapasitas Fotosintetik

Kapasitas fotosintetik ini dihitung melalui Indeks Luas Daun (ILD). ILD diperoleh dengan menghitung total luas daun per tanaman menggunakan *Leaf Area Meter* (LAM). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$ILD = \frac{\text{Total Luas Daun per Tanaman}(cm^2)}{\text{Luas Lahan Ternaungi}(cm^2)}$$

Efisiensi Serapan Hara P

Nilai ini dihitung melalui Tingkat serapan hara P dengan cara mengalikan konsentrasi P (%) dengan jumlah total biomassa kering. Bahan yang digunakan analisis serapan P meliputi batang, daun, akar, dan buah. Metode yang digunakan dalam proses analisis adalah destruksi basah (*Wet Digestion*) yang dilanjutkan dengan pembacaan warna pada spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 889 nm untuk memperoleh kadar P jaringan (%) (Sofyan dkk., 2022). Rumus yang digunakan untuk mengetahui serapan hara P pada tanaman sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Serapan Hara} = \frac{\text{Total Serapan Hara}}{\text{Berat Kering bahan}}$$

Evaluasi statistik dilakukan dengan metode ANOVA. Jika hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan, uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Kering

Indikator penting dalam menilai efektivitas pertumbuhan tanaman adalah berat kering, karena mencerminkan akumulasi biomassa hasil fotosintesis (Rastono & Firgiyanto, 2024). Berat kering menunjukkan efisiensi tanaman dalam menyerap dan mengonversi hara menjadi jaringan tanaman. Data mengenai pengaruh kombinasi *Bacillus subtilis* dan mikoriza terhadap berat kering tanaman cabai rawit pada fase generatif ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Bobot Kering 8 dan 10 MST

Perlakuan	Bobot Kering (gram)	
	Minggu Setelah Tanam (MST)	
	8	10
P ₁ = Tanpa Perlakuan (Kontrol)	1,767 b	6,733
P ₂ = Pupuk P	5,040 ab	6,920
P ₃ = <i>Bacillus subtilis</i>	8,577 a	10,740
P ₄ = Mikoriza	6,840 ab	11,970
P ₅ = Pupuk P + <i>Bacillus subtilis</i>	7,437 ab	7,730
P ₆ = Pupuk P + Mikoriza	5,947 ab	5,947
P ₇ = <i>Bacillus subtilis</i> + Mikoriza	10,733 a	10,733
P ₈ = Pupuk P + <i>Bacillus subtilis</i> + Mikoriza	11,597 a	11,597
BNT 5%	6,423	tn

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

Sumber: Data Diolah (2026)

Pada minggu ke-8 setelah tanam (8 MST), saat tanaman mulai memasuki fase awal pembungaan, data uji menunjukkan adanya perbedaan signifikan terhadap berat kering cabai rawit. Perlakuan kontrol memiliki berat kering paling rendah, sekitar 1,767 gram, yang secara statistik berbeda dari sebagian besar perlakuan lainnya. Ini menandakan bahwa tanpa tambahan unsur hara atau mikroba, pertumbuhan tanaman terganggu karena terbatasnya ketersediaan fosfor yang merupakan masalah umum pada tanah Alfisol.

Sebaliknya, perlakuan yang menggunakan mikroba fungsional, baik secara tunggal maupun kombinasi, mampu meningkatkan berat kering secara signifikan. Perlakuan kombinasi antara *Bacillus subtilis* dan mikoriza menghasilkan berat kering sekitar 10,733 gram, sementara perlakuan P₈ (pupuk P+ *Bacillus subtilis* + mikoriza) memberikan hasil tertinggi, yaitu 11,597 gram. Perlakuan P₃ (*Bacillus subtilis*) juga cukup efektif, menghasilkan berat kering sekitar 8,577 gram, yang jauh lebih tinggi dibanding kontrol.

Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan mikroba seperti *Bacillus* sp. dan mikoriza sangat membantu pertumbuhan tanaman, terutama dengan meningkatkan ketersediaan fosfor dan memperluas daerah serapan akar. Kombinasi keduanya bahkan memberikan efek sinergis yang memperkuat peran masing-masing dalam meningkatkan penyerapan hara dan pembentukan biomassa tanaman (Egamberdieva dkk., 2017).

Hasil uji statistik pengamatan fase generatif pada 10 MST menunjukkan bahwa seluruh perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap pembentukan buah. Meskipun perlakuan P₈ (pupuk P+ *Bacillus subtilis* + mikoriza) mencatat berat kering tertinggi sekitar 11,597 gram, serta mikoriza tunggal 11,970 gram dan P₇ (*Bacillus subtilis* + Mikoriza) 10,733 gram, seluruh perlakuan memiliki nilai statistik yang sama. Ini berarti peningkatan berat kering yang terjadi tidak berbeda secara signifikan antara perlakuan satu dengan yang lain pada fase ini.

Kondisi ini kemungkinan terjadi karena pertumbuhan tanaman mulai seragam setelah fase pembungaan. Pada tahap ini, semua tanaman telah memasuki fase generatif penuh dengan sistem akar yang berkembang baik. Pengaruh perlakuan, khususnya mikroba, mungkin telah maksimal pada fase awal pertumbuhan sehingga perbedaan antar perlakuan menjadi tidak terlihat saat tanaman mencapai kematangan. Sebagaimana temuan Khan dkk. (2016) yang menerangkan efektivitas pelarut fosfat lebih dominan pada fase vegetatif hingga pembungaan namun signifikansinya menyusut seiring bertambahnya usia tanaman menuju fase akhir.

Indeks Luas Daun

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa P₈ (Pupuk P + *Bacillus subtilis* + Mikoriza) menghasilkan nilai indeks luas daun tertinggi di 12 MST, yaitu 5,01 yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya yang disajikan pada Tabel 2.

Indeks luas daun mencerminkan kapasitas tanaman dalam melakukan fotosintesis. Nilai ILD yang tinggi meningkatkan kapasitas penyerapan cahaya melalui perluasan permukaan daun, yang berdampak pada peningkatan hasil asimilasi. Kombinasi pupuk fosfat dengan agens hayati seperti *Bacillus subtilis* dan mikoriza terbukti meningkatkan ketersediaan hara, khususnya fosfor, yang berperan dalam pertumbuhan jaringan dan pembentukan daun (Firdausi dkk., 2016). Perlakuan P₅ (Pupuk P + *Bacillus subtilis*) menunjukkan hasil ILD kedua tertinggi (4,86), diikuti oleh perlakuan P₄ (Mikoriza) dan P₇ (*Bacillus subtilis* + Mikoriza) yang masing-masing sebesar 4,63 dan 4,62. Hal ini menunjukkan bahwa baik *Bacillus subtilis* maupun mikoriza, secara tunggal maupun kombinasif, memberikan kontribusi positif terhadap pertumbuhan luas daun, meskipun efek paling maksimal terjadi saat dikombinasikan dengan pupuk P.

Tabel 2. Hasil Analisis Indeks Luas Daun 12 MST

Perlakuan	Indeks Luas Daun (ILD)
P ₁ = Tanpa Perlakuan (Kontrol)	3,64 d
P ₂ = Pupuk P	3,68 d
P ₃ = <i>Bacillus subtilis</i>	4,45 c
P ₄ = Mikoriza	4,63 bc
P ₅ = Pupuk P + <i>Bacillus subtilis</i>	4,86 ab
P ₆ = Pupuk P + Mikoriza	4,37 c
P ₇ = <i>Bacillus subtilis</i> + Mikoriza	4,62 bc
P ₈ = Pupuk P + <i>Bacillus subtilis</i> + Mikoriza	5,01 a
BNT 5%	0,21

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

Sumber: Data Diolah (2026)

Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi: Vol.14. No. 2 Juli 2026

Perlakuan tunggal P₂ (Pupuk P) hanya menghasilkan ILD sebesar 368,36, yang tidak berbeda nyata dengan P₁ (Kontrol) sebesar 3,64. Ini menunjukkan bahwa penggunaan pupuk P secara tunggal kurang efektif meningkatkan luas daun tanaman cabai rawit pada tanah alfisol, yang memiliki kemampuan ikatan fosfat cukup tinggi, sehingga sebagian besar fosfat tidak tersedia bagi tanaman. Peningkatan indeks luas daun secara signifikan pada perlakuan P₈ (Pupuk P + *Bacillus subtilis* + Mikoriza) menunjukkan pentingnya sinergi antara pupuk fosfat dan agens hayati untuk meningkatkan efisiensi penyerapan hara serta pertumbuhan tajuk tanaman.

Rahman dkk. (2015), melaporkan dalam penelitiannya bahwa mikroba pelarut fosfat dan mikoriza terbukti mampu memacu perkembangan dimensi serta bobot kering daun tanaman hortikultura. *Bacillus subtilis* melarutkan fosfat terikat di tanah dengan mengeluarkan asam-asam organik serta menyintesis hormon auksin yang memicu pemanjangan dan pelunakan dinding sel daun baru. Di waktu yang sama, fungi mikoriza memperluas jangkauan serapan air untuk meningkatkan tekanan turgor sekaligus memicu translokasi hormon sitokinin yang membelah sel-sel mesofil daun. Kombinasi pembentukan ATP dari ketersediaan hara P, hormon auksin dan sitokinin ini secara langsung mempercepat pembelahan sel sehingga mampu memperbesar permukaan daun secara optimal.

Serapan P

Proses pembelahan sel serta perkembangan struktur akar hingga fase generatif sangat bergantung pada ketersediaan fosfor, yang merupakan komponen utama dalam pembentukan energi molekuler (ATP) (Poirier dkk., 2022). Serapan hara P oleh tanaman yang dibantu *Bacillus subtilis* dan mikoriza meningkat secara signifikan dibanding tanpa bantuan mikroba. Hasil tersebut disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan P₈ (Pupuk P + *Bacillus subtilis* + Mikoriza) memberikan serapan hara fosfor tertinggi, yaitu sebesar 0,250 mg/tanaman. Peningkatan serapan P pada perlakuan ini diduga disebabkan oleh sinergi antara ketiga komponen tersebut. Pupuk P menyediakan fosfat yang langsung tersedia bagi tanaman, sementara *Bacillus subtilis* mampu melarutkan fosfat yang tidak tersedia menjadi tersedia untuk diserap oleh tanaman. Di sisi lain, mikoriza membantu memperluas area penyerapan akar melalui hifa eksternal dan meningkatkan efisiensi penyerapan fosfor (Rastono & Muzadi, 2025). Perlakuan P₇ (*Bacillus subtilis* + Mikoriza) juga menunjukkan hasil serapan P yang tinggi yaitu 0,217 mg/tanaman, meskipun tanpa penambahan pupuk fosfat anorganik, hal ini menunjukkan potensi agens hayati dalam meningkatkan efisiensi hara, terutama pada tanah yang miskin fosfor seperti tanah alfisol.

Perlakuan tunggal P₃ (*Bacillus subtilis*) dan P₄ (Mikoriza) menunjukkan hasil serapan P yang lebih tinggi dibandingkan kontrol dan pupuk P saja, masing-masing sebesar 0,157 mg dan 0,143 mg. Hal ini menegaskan bahwa baik *Bacillus subtilis* maupun mikoriza berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan dan penyerapan fosfor oleh tanaman cabai rawit. Sebaliknya, perlakuan P₁ (Kontrol) mencatatkan serapan hara P terendah sebesar 0,103 mg/tanaman, yang berbeda nyata dengan semua perlakuan kombinasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanpa perlakuan tambahan, penyerapan fosfor oleh tanaman menjadi sangat terbatas. Secara umum, kombinasi perlakuan organik dan hayati mampu meningkatkan efisiensi penyerapan fosfor tanaman secara signifikan dibandingkan penggunaan pupuk anorganik saja. Hal ini selaras dengan hasil penelitian sebelumnya oleh (Krisdayani dkk., 2020), yang menyatakan bahwa kombinasi pupuk hayati dan mikoriza dapat meningkatkan serapan P serta pertumbuhan tanaman pada tanah marginal.

Tabel 3. Hasil Analisis Serapan Hara P

Perlakuan	Serapan Hara P
P ₁ = Tanpa Perlakuan (Kontrol)	0,103 e
P ₂ = Pupuk P	0,117 de
P ₃ = <i>Bacillus subtilis</i>	0,157 c
P ₄ = Mikoriza	0,143 dc
P ₅ = Pupuk P + <i>Bacillus subtilis</i>	0,160 c
P ₆ = Pupuk P + Mikoriza	0,160 c
P ₇ = <i>Bacillus subtilis</i> + Mikoriza	0,217 b
P ₈ = Pupuk P + <i>Bacillus subtilis</i> + Mikoriza	0,250 a
BNT 5%	0,028

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

Sumber: Data Diolah (2026)

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, integrasi antara pupuk P, *Bacillus subtilis*, dan mikoriza (P_8) terbukti paling efektif dalam meningkatkan pertumbuhan dan penyerapan hara tanaman cabai rawit pada tanah Alfisol. Perlakuan ini menghasilkan nilai tertinggi pada semua parameter utama yang diamati, yaitu berat kering sebesar 11,597 gram pada 10 MST, indeks luas daun (ILD) sebesar 5,01 pada 12 MST, dan serapan hara fosfor sebesar 0,250 mg/tanaman. Keunggulan ini menunjukkan adanya sinergi antara pupuk fosfat sebagai sumber hara langsung, *Bacillus subtilis* sebagai pelarut fosfat, dan mikoriza sebagai agen yang memperluas area serapan akar. Kombinasi ini secara signifikan meningkatkan efisiensi penyerapan hara dan akumulasi biomassa dibandingkan perlakuan tunggal atau kontrol, menjadikannya strategi terbaik untuk mengoptimalkan pertumbuhan cabai rawit di lahan marginal seperti tanah Alfisol.

DAFTAR PUSTAKA

- Egamberdieva, D., Wirth, S. J., Alqarawi, A. A., Abd_Allah, E. F., & Hashem, A. (2017). Phytohormones and Beneficial Microbes: Essential Components For Plants to Balance Stress and Fitness. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2104. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02104>
- Firdausi, N., Muslihatin, W., & Hakim, J. A. R. (2016). Pengaruh Kombinasi Media Pembawa Pupuk Hayati Bakteri Pelarut Fosfat Terhadap Ph dan Unsur Hara Fosfor Dalam Tanah. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(3), 53–56.
- Hidayati, N., Hamim, H., & Mubarik, N. R. (2017). Aplikasi Pupuk Hayati (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) Yang Telah Disimpan Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung Var. BISMA. *Maduranch : Jurnal Ilmu Peternakan*, 2(1), 13. <https://doi.org/10.53712/maduranch.v2i1.50>
- Khan, A. L., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., Al-Farsi, Z., Al-Mamari, A., Waqas, M., Asaf, S., Elyassi, A., Mabood, F., Shin, J.-H., & Lee, I.-J. (2016). Endophytic Fungi From Frankincense Tree Improves Host Growth and Produces Extracellular Enzymes and Indole Acetic Acid. *PLOS ONE*, 11(6), e0158207. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158207>
- Krisdayani, P. M., Proborini, M. W., & Kriswiyanti, E. (2020). Pengaruh Kombinasi Pupuk Hayati Endomikoriza, Trichoderma Spp., dan Pupuk Kompos Terhadap Pertumbuhan Bibit Sengon (*Paraserianthes falcata* (L.) Nielsen). *Jurnal Sylva Lestari*, 8(3), 400. <https://doi.org/10.23960/jsl38400-410>
- Lambers, H. (2022). Phosphorus Acquisition and Utilization in Plants. *Annual Review of Plant Biology*, 73, 17–42. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102720-125738>
- Li, H.-P., Han, Q.-Q., Liu, Q.-M., Gan, Y.-N., Rensing, C., Rivera, W. L., Zhao, Q., & Zhang, J.-L. (2023). Roles of Phosphate-Solubilizing Bacteria in Mediating Soil Legacy Phosphorus Availability. *Microbiological Research*, 272, 127375. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127375>
- Muzadi, M., & Rastono, A. (2023). EFEKTIVITAS PEMBERIAN BPF DAN FMA TERHADAP PERTUMBUHAN AWAL TANAMAN CABAI RAWIT PADA TANAH ALFIISOL PADA MUSIM KEMARAU. *Jurnal Agrum*, 20(4), 336–343.
- Pane, R. D. P., Noviandi Ginting, E., & Hidayat, F. (2022). Mikroba Pelarut Fosfat dan Potensinya Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 27(1), 51–59. <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v27i1.81>
- Poirier, Y., Jaskolowski, A., & Clúa, J. (2022). Phosphate acquisition and metabolism in plants. *Current Biology*, 32(12), R623–R629. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.03.073>
- Rahman, R., Anshar, M., & Bahrudin. (2015). Aplikasi Bakteri Pelarut Fosfat, Bakteri Penambat Nitrogen dan Mikoriza Terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai (*Capsicum Annum* L.). *J. Agrotekbis*. <https://media.neliti.com/media/publications/248033-none-ab8dfb6.pdf>
- Rastono, A., & Firgiyanto, R. (2024). Growth and Production Response of Cayenne Pepper to Phosphate-Solubilizing Bacteria (BPF) And Arbuscular Mycorrhizal Fungi (FMA) In Alfisol Soil in Tuban Regency. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)*, 6(2), 173–184. <https://doi.org/10.36378/juatika.v6i2.3576>

- Rastono, A., & Muzadi, M. (2025). Effectiveness of Biological Agents In Improving The Growth of Cayenne Pepper (*Capsicum Frutescens*) in Alfisol Soil. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)*, 7(1). <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i1.3993>
- Sembada, A. A., Faizal, A., & Sulistyawati, E. (2024). Photosynthesis Efficiency As Key Factor in Decision-Making for Forest Design and Redesign: A Systematic Literature Review. *Ecological Frontiers*, 44(6), 1128–1139. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2024.07.008>
- Sofyan, E. T., Sara, D. S., Fitriatin, B. N., & Simanjuntak, B. (2022). Ketersediaan dan Serapan P Serta Hasil Jagung Manis (*Zea mays saccharata* Sturt.) Dengan Pemberian Pupuk Urea dan PK (11:14) Pada Inceptisols Di Jatinangor. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 24(1), 1–7. <https://doi.org/10.31186/jipi.23.1.53-60>
- Sumiratin, E. (2025). Efisiensi Faktor Produksi Pupuk Pada Tanaman Cabai Rawit Di Kecamatan Lambuya Kabupaten Konawe. *Journal of Student Research*, 3(2), 11–16. <https://doi.org/10.55606/jsr.v3i2.3666>