ISSN: 2597-3835 (p); 2684-7019 (e)

Agroista: Jurnal Agroteknologi Vol. 10 (2026), No. 2
Journal home page: https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/AGI/
Page 131-143
Article history
Submitted : September 10th, 2026
Revised : November 13th, 2026
Accepted : November 12th, 2026
DOI : 10.55180/agi.v10i2.2783

Potensi Jenis Agen Hayati Sebagai Biokontrol untuk Menekan Intensitas Penyakit *Phytophthora palmivora* dan Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Kakao

Nabillah Anissa [1*)], Herfandi Lamdo[2], Tika Leoni Putri[3], Retno Wulansari[4], Habib Alim Laksono[1], Indra Saputra[1]

[1]Program Studi Produksi Tanaman Perkebunan, Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung, Indonesia.

[2]Program Studi Hortikultura, Jurusan Budidaya Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Lampung

[3]Program Studi Produksi dan Manajemen Industri Perkebunan, Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung

[4]Program Studi Pengelolaan Perkebunan Kopi, Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung

Jl. Soekarno Hatta No.10, Rajabasa Raya, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, 35144

[*)]E-mail korespondensi: nabillahanissa@polinela.ac.id

ABSTRACT

Sweet corn (Zea mays saccharata) is a horticultural commodity of high economic value whose Phytophthora palmivora is an important pathogen of cocoa that can reduce seedling quality during the nursery stage. This study aimed to evaluate the effectiveness of biological control agents in suppressing the intensity of Phytophthora palmivora disease, determine their effects on cocoa seedling growth, and identify the most effective biological control agent. The study was conducted using a randomized complete block design with six treatments: without biological control agent (P0), Trichoderma sp. at 20 g polybag $^{-1}$ (P1), mycorrhiza at 20 g polybag $^{-1}$ (P2), EM4 at 20 mL polybag $^{-1}$ (P3), Pseudomonas fluorescens at 20 mL polybag $^{-1}$ (P4), and Azotobacter at 20 mL polybag $^{-1}$ (P5), with four replications. The parameters observed included disease incubation period, disease intensity, plant height, number of leaves, stem diameter, and plant resistance level. The results showed that Trichoderma sp. provided the best performance, with the longest incubation period (13.44 days after inoculation [DAI]) and the lowest disease intensity (12.70%). Trichoderma sp. resulted in a plant height of 35.44 cm and 16.44 leaves, which were higher than those of the treatment without a biological control agent at 28 days after planting. EM4 also showed high effectiveness, with an incubation period of 12.38, disease intensity of 17.39%, plant height of 32.13 cm, and 16.13 leaves. Based on the resistance index, Trichoderma sp., EM4, and Azotobacter were classified as resistant. Pseudomonas fluorescens and mycorrhiza were classified as moderately resistant, whereas the treatment without a biological control agent was classified as highly susceptible. Overall, Trichoderma sp. was the most effective biological control agent

© 2026 The Authors
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

for suppressing Phytophthora palmivora disease while simultaneously promoting cocoa seedling growth.
Keywords: *Biological agents; Cocoa seedlings; Plant resistance; Phytophthora palmivora; Trichoderma sp.*

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan komoditas perkebunan penting yang berkontribusi terhadap perekonomian dan kesejahteraan petani. Keberhasilan produksi kakao sangat ditentukan oleh kualitas bibit. Salah satu kendala utama dalam pembibitan kakao adalah serangan penyakit busuk daun dan batang yang disebabkan oleh *Phytophthora palmivora*, yang dapat menurunkan kualitas bibit bahkan menyebabkan kematian tanaman pada tingkat serangan tinggi (Pertot & Elad, 2012). Penyakit yang disebabkan oleh *Phytophthora palmivora* merupakan masalah serius secara global karena dapat menyebabkan kehilangan hasil yang signifikan pada tanaman kakao (Erfandari dkk., 2024). Pengendalian penyakit yang selama ini dilakukan masih didominasi oleh penggunaan fungisida kimia sintetis. Namun, penggunaan fungisida kimia sintesis dapat meningkatkan resistensi patogen serta berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan, sehingga diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan. Pendekatan biokontrol berbasis agen hayati menjadi solusi yang potensial dan berkelanjutan. Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa agen hayati seperti *Trichoderma* spp. memiliki kemampuan antagonis yang tinggi terhadap *Phytophthora palmivora*, dengan tingkat penghambatan yang signifikan baik secara in vitro maupun in vivo (Contreras-Cornejo dkk., 2024). Selain itu, formulasi *Trichoderma* sebagai biofungisida juga terbukti efektif dalam menekan perkembangan patogen pada tanaman kakao (Anissa dkk., 2024). *Mikoriza* juga berperan penting dalam meningkatkan serapan unsur hara terutama fosfor, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik. Penggunaan *Mikoriza* dalam sistem pertanian berkelanjutan mampu meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman secara signifikan (Hasid & Yusuf, 2025).

Selain itu penelitian tentang aplikasi EM4, sebagai biofertilizer dapat meningkatkan kualitas tanah melalui peningkatan struktur tanah, ketersediaan hara, dan menekan penyakit dengan meningkatkan keseimbangan mikroba dalam tanah (Saputra & Muliawan, 2023; Woo & Pepe, 2018). Agen hayati lainnya seperti bakteri *Pseudomonas* spp. dan *Azotobacter* spp. termasuk dalam kelompok *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) yang memiliki peran penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. *Pseudomonas fluorescens*. mampu menghasilkan senyawa antibiotik, siderofor, serta enzim yang dapat menekan perkembangan patogen di rizosfer (Hasan dkk., 2024). Sementara itu, *Azotobacter* spp. berperan dalam fiksasi nitrogen bebas dari udara sehingga meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tanaman, terutama pada fase awal pertumbuhan. Mikroorganisme ini juga berkontribusi dalam

meningkatkan aktivitas mikroba tanah dan efisiensi pemupukan secara berkelanjutan (Jannah dkk., 2022). Tidak hanya sebagai agen pengendali penyakit, mikroorganisme hayati juga berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui peningkatan ketersediaan unsur hara dan aktivitas mikrobiologi tanah (Ansyori dkk., 2025; Błaszczyk dkk., 2014) .

Studi terbaru menunjukkan bahwa aplikasi agen hayati berpotensi meningkatkan pertumbuhan tanaman sekaligus menekan intensitas serangan penyakit melalui mekanisme yang berbeda, seperti peningkatan ketersediaan unsur hara, stimulasi pertumbuhan akar, kompetisi dengan patogen, serta produksi senyawa antimikroba (Sarun, 2026). Berbagai mikroorganisme, seperti *Trichoderma* spp., *mikoriza*, EM4, *Pseudomonas* spp., dan *Azotobacter* spp., telah banyak dikembangkan sebagai agen hayati yang mendukung pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Namun, potensi masing-masing agen hayati tersebut tidak selalu memberikan hasil yang sama karena dipengaruhi oleh karakteristik mikroorganisme, mekanisme kerjanya, kondisi lingkungan, media tanam, serta interaksinya dengan tanaman inang.

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut. Pertama, kesenjangan komparatif yaitu masih terbatasnya penelitian yang membandingkan efektivitas beberapa jenis agen hayati secara langsung dalam satu kondisi percobaan yang sama. Sebagian penelitian cenderung menguji satu jenis agen hayati secara terpisah, sehingga belum memberikan gambaran yang jelas mengenai agen hayati yang memiliki efektivitas lebih baik dibandingkan agen hayati lainnya. Padahal, setiap agen hayati memiliki mekanisme kerja yang berbeda. *Trichoderma* spp. berpotensi mengendalikan patogen melalui kompetisi ruang dan nutrisi, mikoparasitisme, serta produksi metabolit antijamur. *Mikoriza* berperan dalam meningkatkan penyerapan unsur hara dan memperluas jangkauan penyerapan air melalui jaringan hifa, sedangkan EM4 merupakan konsorsium mikroorganisme yang dimanfaatkan untuk mendukung aktivitas biologis tanah. Sementara itu, *Pseudomonas* spp. dan *Azotobacter* spp. memiliki potensi dalam mendukung pertumbuhan tanaman melalui mekanisme seperti pelarutan fosfat, produksi fitohormon, dan peningkatan ketersediaan nitrogen.

Kedua, kesenjangan kontekstual yaitu masih perlunya penelitian yang secara khusus menguji efektivitas berbagai agen hayati pada fase pembibitan tanaman kakao. Fase pembibitan merupakan tahap penting karena pertumbuhan bibit pada periode ini akan memengaruhi kualitas tanaman sebelum dipindahkan ke lahan. Kondisi pembibitan juga memiliki karakteristik tersendiri, terutama berkaitan dengan kelembapan, ketersediaan unsur hara, kondisi media tanam, dan keberadaan mikroorganisme di sekitar perakaran. Oleh karena itu, efektivitas agen hayati yang telah dilaporkan pada tanaman atau kondisi lingkungan lain belum tentu memberikan hasil yang sama ketika diaplikasikan pada bibit kakao.

Ketiga, kesenjangan pengukuran yaitu perlunya pengamatan yang tidak hanya berfokus pada peningkatan pertumbuhan tanaman, tetapi juga memperhatikan kemampuan agen hayati dalam menekan perkembangan penyakit. Kedua aspek tersebut penting untuk dinilai secara bersamaan agar efektivitas agen hayati dapat diketahui secara lebih menyeluruh. Pengamatan terhadap pertumbuhan bibit, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan perkembangan akar, perlu dikaitkan dengan pengamatan kesehatan tanaman, seperti kejadian dan intensitas penyakit. Dengan demikian, dapat diketahui apakah agen hayati yang mampu meningkatkan pertumbuhan juga memiliki kemampuan yang baik dalam menekan serangan penyakit.

Keempat, kesenjangan aplikatif yaitu masih dibutuhkannya informasi mengenai jenis agen hayati yang paling efektif dan berpotensi diterapkan pada kegiatan pembibitan kakao di tingkat petani. Hasil penelitian yang menunjukkan potensi suatu agen hayati belum tentu secara langsung dapat dijadikan dasar pemilihan teknologi untuk diterapkan di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan pengujian dalam kondisi pembibitan yang relevan dengan lingkungan lokal agar diperoleh informasi mengenai efektivitas masing-masing perlakuan sebagai dasar pengembangan teknik pengelolaan bibit kakao yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian penting dilakukan untuk membandingkan efektivitas beberapa jenis agen hayati, yaitu *Trichoderma*, *mikoriza*, EM4, *Pseudomonas* spp., dan *Azotobacter* spp., terhadap pertumbuhan dan kesehatan bibit kakao. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perbedaan respons bibit kakao terhadap masing-masing agen hayati, mengidentifikasi perlakuan yang memberikan hasil terbaik, serta menghasilkan informasi ilmiah yang dapat menjadi dasar dalam menentukan alternatif teknologi pengendalian penyakit dan peningkatan kualitas bibit kakao pada tingkat pembibitan.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan dan Laboratorium Politeknik Negeri Lampung pada April hingga Agustus 2026.

Metode Percobaan

Penelitian dilakukan dengan metode percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Penelitian dilakukan dengan 6 perlakuan yang diulang sebanyak 4 kali, sehingga diperoleh 24 perlakuan. Setiap plot percobaan terdiri dari 4 polybag sehingga total polybag yaitu 96 polybag. Perlakuan yang digunakan sebagai berikut:

P0 : Tanpa Agen Hayati (Kontrol)

P1 : Agen Hayati *Trichoderma* 20 gram polybag^{-1}

P2 : Agen Hayati *Mikoriza* 20 gram polybag^{-1}

P3 : Agen Hayati EM4 20 ml polybag^{-1}

P4 : Agen Hayati *Pseudomonas fluorescens* 20 ml polybag^{-1}

P5 : Agen Hayati *Azotobacter* 20 ml polybag^{-1}

Penyakit *Phytophthora palmivora* diinokulasi ke bibit kakao sebanyak 20 ml polybag^{-1} dengan cara disiramkan ke media tanam.

Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati dalam penelitian meliputi pertumbuhan tanaman, masa inkubasi penyakit bulai, intensitas penyakit bulai dan penilaian ketahanan tanaman.

1. Tinggi Tanaman (cm)

   Tinggi tanaman merupakan parameter pertumbuhan vegetatif yang diukur dari permukaan media tanam sampai titik tumbuh atau bagian tanaman tertinggi. Tinggi tanaman diukur menggunakan mistar atau meteran dengan satuan centimeter (cm). Pengukuran dilakukan dari permukaan media tanam sampai titik tumbuh tanaman.
2. Jumlah Daun (Helai)

   Jumlah daun menunjukkan perkembangan vegetatif tanaman selama periode pertumbuhan. Jumlah daun dihitung berdasarkan jumlah daun yang telah membuka sempurna pada setiap tanaman sampel.
3. Diameter Batang (cm)

   Diameter batang diukur menggunakan jangka sorong pada bagian batang yang telah ditentukan secara konsisten.
4. Masa Inkubasi Penyakit Bulai (hsi)

   Masa inkubasi merupakan waktu yang diperlukan sejak tanaman diinokulasi patogen sampai munculnya gejala awal penyakit *Phytophthora palmivora*. Pengamatan dilakukan setiap hari setelah inokulasi patogen. Masa inkubasi dihitung berdasarkan jumlah hari setelah inokulasi (HSI) sampai pertama kali muncul gejala.
5. Intensitas Penyakit (%)

   Intensitas penyakit digunakan untuk mengetahui tingkat perkembangan penyakit pada tanaman akibat perlakuan. Pengamatan dilakukan secara berkala setelah inokulasi patogen dengan mencatat jumlah tanaman yang menunjukkan gejala serta tingkat keparahan gejala pada masing-masing tanaman. Penilaian dapat menggunakan skoring berdasarkan persentase bagian daun yang menunjukkan gejala penyakit.
6. Penilaian Ketahanan Tanaman

   Perhitungan ketahanan tanaman terhadap penyakit bulai dilakukan berdasarkan data masa inkubasi dan intensitas penyakit. Masa inkubasi digunakan sebagai indikator

ketahanan berdasarkan lama waktu munculnya gejala penyakit, sedangkan intensitas penyakit digunakan untuk menunjukkan tingkat perkembangan penyakit pada tanaman. Nilai dari kedua parameter tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan indeks ketahanan tanaman berdasarkan metode Castillo et al. (1978) dalam Heroetadji (1983). Tanaman dengan masa inkubasi yang lebih lama dan intensitas penyakit yang lebih rendah menunjukkan tingkat ketahanan yang lebih tinggi.

Analisis Data

Data setiap parameter dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) pada taraf 5%. Apabila hasil analisis ragam menunjukkan pengaruh nyata terhadap perlakuan, maka dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Tinggi Tanaman Kakao

Data tinggi tanaman menunjukkan bahwa pada 7 hari setelah tanam (HST) belum terjadi perbedaan yang nyata antarperlakuan (notasi ns pada uji BNJ 5%), namun mulai 14 HST hingga 28 HST perbedaan menjadi nyata. Perlakuan P1 (*Trichoderma*) secara konsisten menghasilkan tanaman tertinggi (35,44 cm pada 28 HST, notasi b) dan berbeda nyata dengan kontrol P0 (28,19 cm, notasi a), P2/*Mikoriza* (29,69 cm, a), serta P4/*P. fluorescens* (28,69 cm, a). Perlakuan P3 (EM4) dan P5 (*Azotobacter*) berada pada kelompok intermediate (notasi ab) dengan nilai masing-masing 32,13 cm dan 31,88 cm. Keunggulan *Trichoderma* dalam memacu pertumbuhan tinggi tanaman sejalan dengan kemampuannya yang tidak hanya berperan sebagai agen antagonis terhadap patogen, tetapi juga sebagai mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman. *Trichoderma* spp. mampu berkolonisasi pada daerah perakaran, meningkatkan penyerapan unsur hara dan air, serta menghasilkan berbagai metabolit bioaktif yang memiliki aktivitas mirip fitohormon, termasuk indole-3-acetic acid (IAA), yang berperan dalam merangsang perkembangan akar dan pertumbuhan tanaman. Selain itu, beberapa spesies *Trichoderma* mampu melarutkan unsur hara di dalam tanah sehingga meningkatkan ketersediaannya bagi tanaman (Contreras-Cornejo dkk., 2024) Peningkatan perkembangan sistem perakaran dan efisiensi penyerapan hara tersebut selanjutnya dapat mendukung pertumbuhan vegetatif bibit kakao, termasuk pertambahan tinggi tanaman. Pemberian *Trichoderma* spp. pada bibit kakao juga dilaporkan mampu memperbaiki perkembangan sistem perakaran sehingga meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan unsur hara yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan tanaman (Puspita dkk., 2020).

Tabel 1. Tinggi Tanaman Kakao pada Berbagai Perlakuan Agen Hayati

Perlakuan	7 HSI	14 HSI	21 HSI	28 HSI
P0 : Tanpa Agen Hayati	26,69	27,19 a	27,94 a	28,19 a
P1 : *Trichoderma* 20 gram polybag^{-1}	31,63	33,25 b	34,00 b	35,44 b
P2 : *Mikoriza* 20 gram polybag^{-1}	26,88	27,31 a	28,25 a	29,69 a
P3 : EM4 20 ml polybag^{-1}	29,44	30,25 ab	31,13 ab	32,13 ab
P4 : *Pseudomonas fluorescens* 20 ml polybag^{-1}	26,81	27,19 a	28,63 a	28,69 a
P5 : *Azotobacter* 20 ml polybag^{-1}	29,00	29,69 ab	30,88 ab	31,88 ab
BNJ 5%	ns	5,46	5,30	5,25
KK %	8,38	8,17	7,70	7,34

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ pada taraf 5%; ns = tidak nyata.

Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman Kakao

Pola yang relatif serupa dengan tinggi tanaman juga teramati pada peubah jumlah daun, di mana perbedaan antarperlakuan baru nyata pada pengamatan akhir (28 HST). Perlakuan P1 (*Trichoderma*) dan P3 (EM4) menghasilkan jumlah daun tertinggi dan setara secara statistik (16,44 dan 16,13 helai, notasi b), berbeda nyata dengan kontrol P0 (13,56 helai, notasi a), P4 (13,81 helai,notasi a), dan P5 (13,75 helai, notasi a). Kesetaraan performa P3 dengan P1 pada peubah ini mengindikasikan bahwa EM4, sebagai formula konsorsium mikroorganisme fermentatif yang efektif mempercepat penguraian bahan organik pada media tanam sehingga menyediakan hara dalam bentuk tersedia secara lebih cepat, sekaligus menekan populasi mikroba merugikan melalui mekanisme kompetisi (Rizky dkk., 2023). Ketersediaan hara nitrogen yang lebih baik pada media yang diperkaya EM4 diduga mendukung pembentukan daun baru karena nitrogen berperan penting dalam sintesis klorofil.

Tabel 2. Jumlah Daun Kakao pada Berbagai Perlakuan Agen Hayati

Perlakuan	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST
P0 : Tanpa Agen Hayati	11,69	12,56	13,13	13,56 a
P1 : *Trichoderma* 20 gram polybag^{-1}	12,38	12,88	13,81	16,44 b
P2 : *Mikoriza* 20 gram polybag^{-1}	12,25	13,00	13,56	14,38 ab
P3 : EM4 20 ml polybag^{-1}	12,94	13,94	14,31	16,13 b
P4 : *Pseudomonas fluorescens* 20 ml polybag^{-1}	12,38	12,94	13,76	13,81 a
P5 : *Azotobacter* 20 ml polybag^{-1}	12,10	12,40	13,2	13,75 a
BNJ 5%	Ns	ns	ns	2,28

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ pada taraf 5%; ns = tidak nyata.

Pertumbuhan Diameter Batang Tanaman Kakao

Diameter batang tidak menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan pada 7, 14, dan 21 HST (ns), namun mulai berbeda nyata pada 28 HST (BNJ 5% = 2,28). Meskipun perbedaannya lebih moderat dibandingkan tinggi tanaman dan jumlah daun, perlakuan P1 (*Trichoderma*) tetap menunjukkan nilai tertinggi secara numerik (7,50 mm), diikuti P3/EM4

(7,29 mm) dan P2/*Mikoriza* (7,22 mm), sedangkan nilai terendah tetap pada kontrol P0 (6,87 mm) dan P5/*Azotobacter* (6,52 mm). Diameter batang merupakan peubah pertumbuhan sekunder yang responsnya terhadap perlakuan biasanya lebih lambat teramati dibandingkan tinggi tanaman maupun jumlah daun, karena pertambahan diameter berkaitan dengan aktivitas kambium yang berlangsung lebih lambat; koefisien keragaman (KK) yang menurun dari 9,86% pada 7 HST menjadi 8,17% pada 28 HST turut mendukung bahwa keragaman data semakin homogen seiring waktu pengamatan sehingga perbedaan antarperlakuan menjadi lebih terdeteksi pada umur akhir pengamatan.

Peran *Mikoriza* arbuskula (P2) dalam mendukung pertumbuhan bibit kakao terutama terletak pada perluasan jangkauan hifa eksternal yang berfungsi sebagai perpanjangan sistem perakaran, sehingga meningkatkan serapan fosfat dan air terutama pada media tanam dengan ketersediaan hara terbatas (Denola dkk., 2025). Namun demikian, karena manfaat *Mikoriza* sangat bergantung pada tingkat kolonisasi akar yang umumnya membutuhkan waktu untuk terbentuk secara optimal, responsnya terhadap pertumbuhan bibit pada fase awal pembibitan (≤ 28 HST) relatif belum semaksimal *Trichoderma* yang bekerja lebih cepat melalui mekanisme kompetisi ruang dan hara di rizosfer.

Tabel 3. Diameter Batang Kakao pada Berbagai Perlakuan Agen Hayati

Perlakuan	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST
P0 : Tanpa Agen Hayati	6,02	6,22	6,48	6,87
P1 : *Trichoderma* 20 gram polybag^{-1}	6,49	6,65	7,22	7,50
P2 : *Mikoriza* 20 gram polybag^{-1}	5,93	6,52	6,68	7,22
P3 : EM4 20 ml polybag^{-1}	6,26	6,51	6,83	7,29
P4 : *Pseudomonas fluorescens* 20 ml polybag^{-1}	5,74	6,18	6,58	6,92
P5 : *Azotobacter* 20 ml polybag^{-1}	5,73	5,90	6,18	6,52
BNJ 5%	ns	ns	ns	2,28
KK %	9,86	9,95	9,52	8,17

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ pada taraf 5%; ns = tidak nyata.

Masa Inkubasi dan Intensitas Penyakit

Masa inkubasi mencerminkan kecepatan patogen dalam menginfeksi jaringan inang; semakin panjang masa inkubasi maka semakin lambat proses infeksi berlangsung, yang mengindikasikan tingkat ketahanan inang yang lebih baik. Seluruh perlakuan agens hayati berbeda nyata dengan kontrol dan satu sama lain. Masa inkubasi terpanjang dicapai oleh P1/*Trichoderma* (13,44 hari setelah inokulasi/hsi, notasi f) yang tidak berbeda nyata dengan P3/EM4 (12,38 hsi, notasi f), diikuti P5/*Azotobacter* (11,19 hsi, notasi e), P2/*Mikoriza* (9,75 hsi, notasi d), dan P4/*P. fluorescens* (8,63 hsi, notasi c). Kontrol P0 memiliki masa inkubasi tersingkat (5,13 hsi, notasi a), menunjukkan bibit tanpa agens hayati paling cepat menampakkan gejala serangan.

Tabel 4. Masa Inkubasi dan Intensitas Penyakit pada Berbagai Perlakuan Agen Hayati

Perlakuan	Masa Inkubasi (hsi)	Intensitas Penyakit (%)
P0 : Tanpa Agen Hayati	5,13 a	56,68 g
P1 : *Trichoderma* 20 gram polybag^{-1}	13,44 f	12,70 a
P2 : *Mikoriza* 20 gram polybag^{-1}	9,75 d	29,77 c
P3 : EM4 20 ml polybag^{-1}	12,38 f	17,39 a
P4 : *Pseudomonas fluorescens* 20 ml polybag^{-1}	8,63 c	32,04 c
P5 : *Azotobacter* 20 ml polybag^{-1}	11,19 e	26,92 b
BNJ 5%	1,40	7,26
KK %	6,06	10,82

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ pada taraf 5%; ns = tidak nyata.

Pola serupa juga terlihat pada intensitas penyakit. Perlakuan P1/*Trichoderma* menghasilkan intensitas penyakit terendah (12,70%, notasi a) yang tidak berbeda nyata dengan P3/EM4 (17,39%,notasi a), diikuti P5/*Azotobacter* (26,92%, b), P2/*Mikoriza* (29,77%, notasi c), dan P4/*P. fluorescens* (32,04%, notasi c). Kontrol P0 memiliki intensitas penyakit tertinggi (56,68%, notasi g) dan berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya. Hasil ini konsisten dengan berbagai laporan yang menunjukkan bahwa aplikasi *Trichoderma* spp. mampu menekan perkembangan *Phytophthora palmivora* secara nyata baik pada uji in vitro maupun pada bibit kakao di rumah kaca (Puspita dkk., 2020). Efektivitas *Trichoderma* dalam menekan P. palmivora didukung oleh beberapa mekanisme antagonisme yang bekerja secara simultan, yaitu (1) mikoparasitisme, di mana hifa *Trichoderma* melilit dan menembus hifa patogen; (2) antibiosis, melalui sekresi metabolit dan enzim litik seperti kitinase, glukanase, dan protease yang mendegradasi dinding sel patogen; (3) kompetisi ruang tumbuh dan nutrisi di sekitar perakaran; serta (4) induksi ketahanan sistemik (induced systemic resistance/ISR) pada jaringan tanaman inang [32]. Kombinasi keempat mekanisme tersebut menjelaskan mengapa P1 memberikan masa inkubasi terpanjang sekaligus intensitas penyakit terendah pada penelitian ini.

Penilaian Ketahanan Tanaman Kakao

Berdasarkan hasil pengelompokan ketahanan, perlakuan kontrol P0 tergolong sangat rentan dengan indeks 0,77 dan berada pada interval 0,77–1,45. Perlakuan P2 (*Mikoriza*) dan P4 (*Pseudomonas fluorescens*) tergolong cukup tahan dengan indeks masing-masing 3,47 dan 3,08. Sementara itu, P1 (*Trichoderma*) dan P3 (EM4) termasuk dalam kategori tahan dengan indeks 5,01. Perlakuan P5 (*Azotobacter*) juga tergolong tahan dengan indeks 4,24. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian mikroorganisme mampu meningkatkan ketahanan bibit kakao terhadap serangan *Phytophthora palmivora* dibandingkan dengan tanaman tanpa perlakuan. Perlakuan *Trichoderma* menunjukkan tingkat ketahanan yang paling tinggi. Hal ini diduga karena *Trichoderma* dapat menekan perkembangan patogen

melalui persaingan ruang dan nutrisi, menghasilkan senyawa penghambat, serta melakukan mikoparasitisme. Selain itu, *Trichoderma* juga dapat merangsang mekanisme pertahanan tanaman sehingga tanaman lebih mampu menghadapi serangan patogen (Harman dkk., 2004; Woo dkk., 2014). Kemampuan tersebut dapat menjelaskan mengapa bibit kakao yang diberi *Trichoderma* memiliki tingkat ketahanan yang lebih baik dibandingkan kontrol.

Tabel 5. Penilaian Ketahanan Tanaman Kakao pada Perlakuan Agen Hayati

Perlakuan	MI (hsi)	IP (%)	Indeks Ketahanan	Interval	Kategori
P0 : Tanpa Agen Hayati	5,13 a	56,68 g	0,77	0,69	Sangat Rentan
P1 : *Trichoderma* 20 gram polybag^{-1}	13,44 f	12,70 a	5,01	0,69	Tahan
P2 : *Mikoriza* 20 gram polybag^{-1}	9,75 d	29,77 c	3,47	0,69	Cukup Tahan
P3 : EM4 20 ml polybag^{-1}	12,38 f	17,39 a	5,01	0,69	Tahan
P4 : *Pseudomonas fluorescens* 20 ml polybag^{-1}	8,63 c	32,04 c	3,08	0,69	Cukup Tahan
P5 : *Azotobacter* 20 ml polybag^{-1}	11,19 e	26,92 b	4,24	0,69	Tahan

Keterangan: MI: Masa Inkubasi, IP: Intensitas Penyakit

Perlakuan EM4 juga menunjukkan hasil yang sama, yaitu termasuk kategori tahan dengan indeks 5,01. EM4 mengandung berbagai kelompok mikroorganisme yang dapat membantu memperbaiki kondisi lingkungan perakaran dan mendukung pertumbuhan tanaman. Kondisi perakaran yang lebih baik dapat membantu tanaman tumbuh lebih sehat sehingga memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghadapi serangan patogen. Mikroorganisme yang hidup di sekitar perakaran juga dapat memengaruhi kesehatan tanaman melalui peningkatan ketersediaan hara dan interaksi dengan mikroorganisme lain di dalam tanah (Berg, 2009). *Mikoriza* dan P. fluorescens juga mampu meningkatkan ketahanan bibit kakao, meskipun masih berada pada kategori cukup tahan. *Mikoriza* dapat membantu tanaman dalam penyerapan unsur hara dan meningkatkan kemampuan tanaman menghadapi tekanan akibat patogen (Pozo & Azcón-Aguilar, 2007). Sementara itu, P. fluorescens dapat berperan sebagai mikroorganisme antagonis melalui kompetisi dengan patogen dan produksi senyawa yang dapat menghambat perkembangan patogen. Bakteri ini juga diketahui mampu merangsang ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit (Haas & Défago, 2005).

Perlakuan *Azotobacter* memiliki indeks 4,24 dan termasuk kategori tahan. Hasil ini menunjukkan bahwa *Azotobacter* juga memberikan pengaruh positif terhadap ketahanan bibit kakao. Peran *Azotobacter* dalam menyediakan nitrogen dan membantu pertumbuhan tanaman dapat membuat kondisi tanaman menjadi lebih baik, sehingga tanaman lebih mampu menghadapi serangan patogen (Aquilanti dkk., 2004). Secara keseluruhan, hasil

pengelompokan menunjukkan bahwa *Trichoderma* dan EM4 merupakan perlakuan yang paling baik dalam meningkatkan ketahanan bibit kakao terhadap P. palmivora. Kedua perlakuan tersebut memiliki indeks ketahanan tertinggi dan juga menunjukkan pertumbuhan bibit yang lebih baik. Dengan demikian, peningkatan pertumbuhan tanaman diduga turut mendukung kemampuan bibit dalam menghadapi serangan P. palmivora. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan *Trichoderma* dan EM4 memiliki potensi sebagai salah satu alternatif dalam mendukung pengendalian penyakit pada bibit kakao.

KESIMPULAN

Aplikasi agens hayati menunjukkan respons yang berbeda terhadap pertumbuhan bibit kakao pada umur 28 HST. Perlakuan *Trichoderma* menghasilkan nilai tertinggi pada parameter tinggi tanaman, yaitu 35,44 cm, dan jumlah daun sebanyak 16,44 helai. Sementara itu, perlakuan EM4 juga menunjukkan hasil yang baik pada parameter jumlah daun dengan rata-rata 16,13 helai. Pada parameter perkembangan penyakit *Phytophthora palmivora*, perlakuan *Trichoderma* menghasilkan masa inkubasi paling lama, yaitu 13,44 HSI, serta intensitas penyakit paling rendah sebesar 12,70%. Adapun perlakuan EM4 menghasilkan masa inkubasi 12,38 HSI dan intensitas penyakit sebesar 17,39%. Berdasarkan indeks ketahanan tanaman, perlakuan *Trichoderma*, EM4, dan *Azotobacter* termasuk dalam kategori tahan. Dengan demikian, *Trichoderma* menunjukkan respons terbaik pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, masa inkubasi penyakit, dan intensitas penyakit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Lampung melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) atas pendanaan Skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) DIPA Polinela Tahun Anggaran 2026. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF

Selama penyusunan naskah ini, penulis menggunakan ChatGPT (OpenAI GPT-6) semata-mata untuk membantu penyempurnaan bahasa, pemilihan kata, dan peningkatan kejelasan linguistik. Alat tersebut tidak digunakan untuk pengumpulan data, pemrosesan data, analisis data, ataupun interpretasi temuan penelitian. Setelah menggunakan alat ini, penulis meninjau dan menyunting naskah tersebut secara saksama serta bertanggung jawab penuh atas akurasi, integritas, dan isi dari publikasi ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Author	C	M	So	Va	Fo	I	R	D	O	E	Vi	Su	P	Fu
Nabillah Anissa	√	√	√											
Herfandi Lamdo				√	√	√								
Tika Leoni Putri							√	√	√					
Retno Wulansari										√	√	√		
Habib Alim Laksono													√	
Indra Saputra														√

C: Conceptualization	I: Investigation	Vi: Visualization
M: Methodology	R: Resources	Su: Supervision
So: Software	D: Data Curation	P: Project Administration
Va: Validation	O: Writing -Original Draft	Fu: Funding Acquisition
Fo: Formal Analysis	E: Writing -Review & Editing	

Berikan tanda ceklis (√)

DAFTAR PUSTAKA

Anissa, N., Lamdo, H., Annisa, I. S., & INdah, H. N. (2024). *Potensi Agen Hayati Trichoderma*. Insight Mediatama.

Ansyori, A., Lamdo, H., & Anissa, N. (2025). Comparative Effects of Trichoderma and EM4 in Aerobic–Anaerobic Tiered-Bucket Production on Liquid Organic Fertilizer and Compost Quality. *Agro Bali : Agricultural Journal*, *8*(3), 981–996. https://doi.org/10.37637/ab.v8i3.2540

Aquilanti, L., Favilli, F., & Clementi, F. (2004). Comparison of different strategies for isolation and preliminary identification of *Azotobacter* from soil samples. *Soil Biology and Biochemistry*, *36*(9), 1475–1483. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.024

Berg, G. (2009). Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: Perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *84*(1), 11–18. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2092-7

Błaszczyk, L., Siwulski, M., Sobieralski, K., Lisiecka, J., & Jędryczka, M. (2014). Trichoderma spp. - Application and prospects for use in organic farming and industry. *Journal of Plant Protection Research*, *54*(4), 309–317. https://doi.org/10.2478/jppr-2014-0047

Contreras-Cornejo, H. A., Schmoll, M., Esquivel-Ayala, B. A., González-Esquivel, C. E., Rocha-Ramírez, V., & Larsen, J. (2024a). Mechanisms for plant growth promotion activated by Trichoderma in natural and managed terrestrial ecosystems. *Microbiological Research*, *281*, 127621. https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127621

Denola, M. D., Armansyah, & Syarif, A. (2025). Pengaruh Jenis dan Dosis Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Media Tanah Bekas Tambang Kapur Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (Theobroma cacao L.). *Jagur Jurnal Agroteknologi*, *7*(2), 127–136. https://doi.org/10.25077/jagur.7.2.127-136.2025

Erfandari, O., Aziz, A., Sudirman, A., Soleha, & Anissa, N. (2024). *Pengelolaan Penyakit Tanaman Perkebunan*. PT. Literasi Nusantara Abadi Grup.

Haas, D., & Défago, G. (2005). Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology*, *3*(4), 307–319. https://doi.org/10.1038/nrmicro1129

Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). Trichoderma species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews. Microbiology*, *2*(1), 43–56. https://doi.org/10.1038/nrmicro797

Hasan, A., Tabassum, B., Hashim, M., & Khan, N. (2024). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as a Plant Growth Enhancer for Sustainable Agriculture: A Review. *Bacteria*, *3*(2), 59–75. https://doi.org/10.3390/bacteria3020005

Hasid, R., & Yusuf, M. (2025). *Mikoriza Arbuskula Sebagai Solusi Pertanian Berkelanjutan*. PT. Akselerasi Karya Mandiri. https://e-publisher.my.id/index.php/ptakm/article/view/170

Jannah, M., Jannah, R., & Fahrunsyah, F. (2022). Kajian Literatur: Penggunaan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Mengurangi Pemakaian Pupuk Anorganik pada Tanaman Pertanian. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, *5*(1), 41–49. https://doi.org/10.35941/jatl.5.1.2022.7940.41-49

Pertot, I., & Elad, Y. (2012). *CLIMATE CHANGE IMPACT ON PLANT PATHOGENS AND PLANT DISEASES*. Fondazione Edmund Mach. https://openpub.fmach.it/bitstream/10449/21772/1/EnviroChangeProject_Booklet2012_Pertot_Elad.pdf

Pozo, M. J., & Azcón-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, *10*(4), 393–398. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.05.004

Puspita, F., Ali, M., & Supriyadi, S. (2020). Kompatibilitas dan Daya Hambat Konsorsium Trichoderma spp. Endofit terhadap Penyakit Busuk Buah Kakao Phytophthora palmivora. *Jurnal Agrikultura*, *31*(2), 126–133. https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i2.26063

Rizky, P., Silvany, R., & Ningrum, R. A. (2023). Pengaruh Lamanya Waktu Fermentasi Menggunakan Aktivator Effective Microorganisme (EM4) Terhadap Kadar Nitrogen (N) Dan Phosfor (P) Pada Pupuk Organik Cair Dari Limbah Kulit Kakao. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, *7*(2), 221–226. https://doi.org/10.30743/cheds.v7i2.8189

Saputra, R., & Muliawan, A. (2023). Pengaruh Pupuk NPK 16-16-16 Mutiara dan EM4 (Effective Microorganisms4) Terhadap Pertumbuhan Varietas Tanaman Buah. *Jurnal Greenation Pertanian Dan Perkebunan*, *1*(2), 45–55. https://doi.org/10.38035/jgpp.v1i2.136

Sarun, H. (2026). Biological Control of Plant Pathogens Using Beneficial Microorganisms. *Journal of Agriculture and Environment*, *3*(3), 81–86. https://doi.org/10.5281/zenodo.18901206

Woo, S. L., & Pepe, O. (2018). Microbial Consortia: Promising Probiotics as Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1801. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01801

Woo, S. L., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., Pascale, A., Lanzuise, S., Manganiello, G., & Lorito, M. (2014). Trichoderma-based Products and their Widespread Use in Agriculture. *The Open Mycology Journal*, *8*(1), 71–126. https://doi.org/10.2174/1874437001408010071