

Uji Kemampuan Cendawan Entomopatogen untuk Mendukung Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Cabai Merah Besar (*Capsicum annuum L.*)

Khusnul Khotimah¹, Ambar Susanti^{1*}, Siti Aminatuz Zuhria²

¹Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah

²Program Studi Rekayasa Pertanian dan Biosistem, Fakultas Pertanian, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah

*Email: sekarsasanti@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh aplikasi formulasi cair Cendawan Entomopatogen (CEP) *Beauveria bassiana* dan *Metarrhizium anisopliae* sebagai biostimulasi terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman cabai merah besar (*Capsicum annuum L.*). Penelitian dilaksanakan pada September–Desember 2024 di *greenhouse* Fakultas Pertanian Universitas KH. A. Wahab Hasbullah, Jombang, menggunakan metode deskriptif kuantitatif dan eksperimen dengan rancangan acak lengkap (RAL) terdiri atas 4 perlakuan dan 4 ulangan. Perlakuan meliputi: P0 = kontrol (tanpa CEP), P1 = *B. bassiana* 25 mL/L, P2 = *M. anisopliae* 25 mL/L, dan P3 = kombinasi *B. bassiana* 12,5 mL/L + *M. anisopliae* 12,5 mL/L. Pengamatan dilakukan tiap 7 hari hingga akhir fase vegetatif. Hasil penelitian menunjukkan aplikasi CEP melalui metode *soil drenching* berpengaruh terhadap beberapa parameter pertumbuhan. Tinggi tanaman berbeda nyata pada minggu ke-2, dengan nilai tertinggi pada P1 (31,1 cm). Jumlah daun tidak berbeda nyata, meskipun nilai tertinggi bervariasi antarminggu dan kontrol tetap terendah. Panjang akar tertinggi diperoleh pada P2 (21,4 cm) dan terendah pada kontrol (11,6 cm). Bobot basah akar berbeda nyata dengan nilai tertinggi pada P2 (2,25 g) dan terendah pada P0 (1,07 g). Selain itu, aplikasi cendawan meningkatkan pH tanah dari 4,0 menjadi 5,2 serta menaikkan kelembaban dari 3 menjadi 6,5 yang menunjukkan peran mikroba cendawan dalam memperbaiki kondisi tanah dan mendukung fisiologi tanaman cabai merah besar.

Kata kunci: Biostimulasi, Cabai Besar, Cendawan Entomopatogen

PENDAHULUAN

Tanaman cabai (*Capsicum spp.*) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang banyak dibudidayakan di Indonesia dan memiliki nilai ekonomi tinggi. Cabai merah besar (*Capsicum annuum L.*) merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan nasional yang menjadi perhatian pemerintah Indonesia saat ini. Hal ini disebabkan komoditi tersebut menjadi salah satu penentu tingkat inflasi di Indonesia (Ichwan et al., 2021). Berdasarkan laporan Badan Pusat Statistik (BPS) dalam statistika hortikultura, produksi cabai besar tahun 2023 mencapai 1,55 juta ton, naik sebesar 5,33% (78,67 ribu ton) dari tahun 2022. Konsumsi cabai besar oleh sektor rumah tangga tahun 2023 mencapai 675,02 ribu ton, naik sebesar 6,04% (38,46 ribu ton) dari tahun 2022. Sedangkan partisipasi rumah tangga terhadap konsumsi cabai besar adalah sebesar 75,25% (BPS, 2024).

Hal tersebut menunjukkan terdapat potensi besar bagi petani untuk meningkatkan pendapatan dan memenuhi kebutuhan masyarakat akan cabai merah besar. Walaupun produksinya meningkat, tantangan dalam budidaya tetap ada. Salah satu permasalahan utama adalah ketergantungan pada pupuk kimia yang berkepanjangan. Penggunaan pupuk kimia berlebihan selain menyebabkan degradasi tanah, juga mengurangi keanekaragaman hayati mikroba tanah yang penting dalam mendukung siklus nutrisi tanaman (Herdianto dan Setiawan, 2015). Hal ini memerlukan pendekatan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk memperbaiki kualitas tanah sekaligus meningkatkan hasil panen.

Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan pendekatan ramah lingkungan dalam meningkatkan kualitas tanah serta mendukung pertumbuhan tanaman. Salah satu solusi yang mulai dikembangkan adalah penggunaan zat atau mikroorganisme sebagai biostimulasi. Menurut Traon et al. (2014) Biostimulan tanaman merupakan zat atau mikroorganisme yang diaplikasikan pada tanaman, benih, atau lingkungan akar, bertujuan untuk merangsang proses alami tanaman yang menguntungkan efisiensi penggunaan nutrisi dan toleransi terhadap stres abiotik, terlepas dari kandungan nutrisinya atau kombinasi

zat. Salah satu mikroba penghasil senyawa bioaktif yang diduga dapat berpengaruh sebagai biostimulator adalah cendawan entomopatogen. Cendawan entomopatogen (CEP), selain dikenal sebagai agen pengendali hidup untuk hama, juga diduga berpotensi sebagai biostimulator untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi di tanah, merangsang pertumbuhan tanaman, dan memperbaiki struktur tanah (Saragih *et al.* 2019). Mekanisme ini terjadi melalui dekomposisi bahan organik, pelepasan enzim, dan peningkatan aktivitas mikroba tanah.

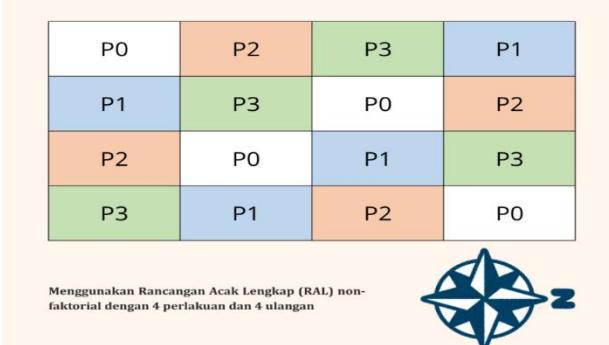
Beauveria bassiana (*B. bassiana*) merupakan salah satu CEP yang digunakan untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman baik di rizosfer maupun di jaringan tanaman. Penelitian Afandhi *et al.*, (2019) menunjukkan bahwa *B. bassiana* melalui metode pembasahan tanah mampu memacu pertumbuhan tanaman kacang panjang (*Phaseolus vulgaris*). Selain itu cendawan tersebut juga mempengaruhi tinggi tanaman cabai secara signifikan (Saragih *et al.*, 2019). *Metarhizium anisopliae* (*M. anisopliae*) juga dapat berperan dalam membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman inang. Penelitian Barra-Bucarei *et.al.* (2020) menunjukkan bahwa cendawan tersebut, selain mempunyai keunggulan dalam biokontrol serangan hama, juga memacu pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays*) dan meningkatkan bobot segar tanaman tersebut.

Namun, kajian mengenai cendawan entomopatogen sebagai biostimulator pada tanaman hortikultura cabai merah besar masih terbatas. Di sisi lain, para produsen perbanyakannya CEP masih berfokus pada pemanfaatannya sebagai biopestisida. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian terkait uji peran CEP sebagai biostimulator pertumbuhan tanaman cabai merah (*Capsicum annuum* L.). Penelitian dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh aplikasi CEP sebagai biostimulator terhadap respon pertumbuhan fase vegetatif tanaman cabai merah besar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan bulan September - Desember tahun 2024 di *green house* Fakultas Pertanian Universitas KH.A. Wahab Hasbullah Kabupaten Jombang. Alat dan bahan yang digunakan penelitian ini adalah media tanam berupa sekam dan tanah vertisol berasal dari Ngimbang Kabupaten Lamongan, *polybag*, plastik UV, bibit cabai merah besar varietas Elegance umur 28 hari setelah semai (HSS), formulasi cair *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* produksi *Green.id March Gallery* Lumajang dengan kerapatan spora masing – masing $3,6 \times 10^{10}$ konidia/mL, alat ukur, alat tulis, pH soil meter 2 in 1, dan timbangan analitik 0,01 g.

Metode penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif (Wiswasta *et al.*, 2017) dan eksperimen (Yuwanto, 2019) yang telah dimodifikasi. Metode deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan atau mendeskripsikan perkembangan visual tanaman selama masa penelitian secara sistematis dan terukur. Metode eksperimen digunakan untuk mengetahui pengaruh aplikasi cendawan entomopatogen terhadap pertumbuhan tanaman cabai merah besar. Data kuantitatif diperoleh dari pengukuran pengamatan variabel. Rancangan penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 4 kali ulangan. Pengamatan dilakukan setiap 7 hari sekali dan dilakukan eradikasi pada akhir fase vegetatif. Adapun komposisi perlakuan pemberian dosis formulasi cair CEP pada tanaman cabai besar adalah P0 = Kontrol (tanpa pemberian formulasi cair CEP), P1 = *B. bassiana* dosis 25 mL/L, P2 = *M. anisopliae* dosis 25 mL/L, dan P3 = kombinasi *B. bassiana* 12,5 mL/L + *M. anisopliae* 12,5 mL/L.



Gambar 1. Desain rancangan acak lengkap komposisi perlakuan pemberian dosis formulasi cair Cendawan Entomopatogen pada tanaman cabai merah

Suspensi CEP disiapkan dengan cara melarutkan formulasi cair sesuai dosis perlakuan ke dalam 1 liter air steril. Media tanam menggunakan campuran tanah dan sekam bakar dengan perbandingan 1:1. Setiap *polybag* berisi media tanam sebanyak 1,2 kg. Sebelum dipindahkan ke media tanam utama, bibit cabai terlebih dahulu diadaptasikan dengan cara diaduk lalu dibassisai sampai lembab, kemudian di diamkan selama sehari agar tidak mengalami stres saat tanam. Setelah tanam, dilakukan penyiraman secukupnya untuk menjaga kelembaban tanah. Cendawan entomopatogen diaplikasikan pada tanaman cabai merah dengan dosis yang sudah ditentukan, dengan teknik *soil drenching* (pembasahan tanah) (Youssef, 2022) yang telah dimodifikasi. Aplikasi ini dilakukan pada saat bibit cabai berusia 0, 1, 2, dan 3 minggu setelah tanam. Pemeliharaan merupakan tahap penting dalam proses budidaya untuk memastikan pertumbuhan optimal pada tanaman cabai merah.

Adapun parameter pengamatan yang dilakukan adalah tinggi tanaman, dengan cara mengukur tanaman mulai dari pangkal batang sampai ujung daun yang tertinggi (diurut keatas). Pengamatan ini dilakukan setiap 7 hari sekali setelah tanam sampai munculnya bunga. Penghitungan jumlah daun juga dilakukan dengan cara menghitung helai daun setiap tanaman cabai setiap 7 hari sekali sampai munculnya bunga. Selain itu panjang akar diukur dengan cara mengukurnya mulai dari pangkal akar sampai ujung akar terpanjang (diurut ke bawah). Berat basah akar dilakukan penimbangan bobot akar dengan timbangan analitik (gram). Pengukuran kelembaban dan pH tanah dilakukan dengan menggunakan alat ukur pH meter analog 2 in 1.

Analisis data dilakukan menggunakan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) satu arah (*One-Way ANOVA*). Pengolahan data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Jamovi versi 2.6.44. Uji ANOVA digunakan karena perlakuan yang diuji terdiri dari lebih dari dua kelompok, yaitu kontrol, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, dan kombinasi keduanya. Sebelum melakukan uji ANOVA, data telah melalui uji asumsi homogenitas. Dari hasil analisis ANOVA, diperoleh nilai signifikansi (*p-value*) < 0,05, yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata antar perlakuan terhadap parameter yang diamati, kemudian, uji lanjut menggunakan Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*) pada taraf signifikansi 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tinggi dan Jumlah Daun Tanaman

Pada hasil rata – rata tinggi dan jumlah daun tanaman cabai merah besar dari 4 perlakuan ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa berbeda nyata pada minggu ke-2. Meskipun hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan cendawan entomopatogen tidak memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap tinggi tanaman pada minggu ke-1, ke-3, dan ke-4, namun secara numerik terdapat perbedaan antar perlakuan yang cukup terlihat. Pada minggu ke-1, rata-rata tinggi tanaman tertinggi terdapat pada perlakuan P1 (20,3 cm), sedangkan yang terendah pada P2 (19 cm). Akan tetapi, pada minggu ke-3 dan ke-4, perlakuan P2 justru menunjukkan rerata tinggi tanaman tertinggi masing-masing sebesar 36,8 cm dan 42,5 cm, sedangkan perlakuan kontrol (P0) konsisten berada pada nilai terendah, yaitu 29,9 cm di minggu ke-3 dan 36,3 cm di minggu ke-4.

Tabel 1. Rata-rata tinggi dan jumlah daun tanaman cabai merah besar terhadap respon aplikasi CEP

Perlakuan	1 MST		2 MST		3 MST		4 MST	
	Tinggi (cm)	Jumlah Daun						
P0	19,3a	6,75a	25,8b	8,50a	29,9a	12,8a	36,3a	18,8a
P1	20,3a	6,50a	31,1a	10,5a	34,3a	12,0a	37,4a	14,5a
P2	19,0a	6,75a	30,1a	9,75a	36,4a	17,8a	42,5a	19,3a
P3	19,6a	6,50a	28,8ab	9,50a	34,1a	14,3a	39,6a	21,3a

Keterangan : P0 = Kontrol, P1 = *B. bassiana*, P2 = *M. anisopliae*, P3 = Kombinasi *B. bassiana* + *M. anisopliae*, MST = minggu setelah tanam. Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf 5%.

Berdasarkan parameter tinggi tanaman usia 2 MST menunjukkan bahwa perlakuan P1 berkisar 31,1 cm, berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol (P0). Hasil ini sejalan dengan Yanti et al., (2024) yang

melaporkan bahwa isolat *B. bassiana* mampu meningkatkan tinggi tanaman cabai merah secara signifikan mencapai rerata 40,4 cm. Hal ini dikarenakan, kemampuan *Beauveria* sp. sebagai endofit dalam memproduksi metabolit yang merangsang pertumbuhan seperti auksin. Oleh karena itu, perlakuan P1 pada fase vegetatif pertumbuhan tanaman dapat memberikan pengaruh terhadap elongasi batang.

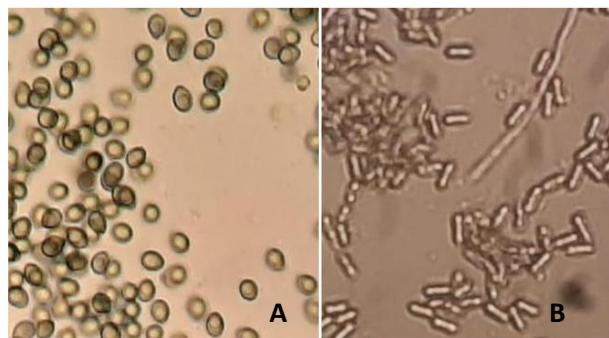
Selain itu pada usia yang sama, perlakuan P2 juga menunjukkan berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol (P0) dengan rerata tinggi tanaman mencapai 30,1 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa *Metarhizium* sp. diduga berkemampuan sebagai biostimulasi pertumbuhan tanaman pada fase vegetatif. Dutta *et al.*, (2015) melaporkan bahwa inokulasi *Metarhizium* sp. meningkatkan panjang batang dan akar serta biomassa tanaman tomat melalui mekanisme multifaktorial yang meliputi aktivitas hormon pertumbuhan yang dikeluarkan cendawan. Meskipun spesies tanamannya berbeda, kesamaan jenis cendawan menunjukkan bahwa *Metarhizium* sp. secara umum memiliki potensi dalam biostimulasi pertumbuhan tanaman. Selain itu, Siqueira *et al.*, (2020) melaporkan hal ini berkaitan dengan kemampuan *Metarhizium* secara umum untuk menghasilkan senyawa seperti asam indol-3-asetat (IAA) atau auksin dan siderofor serta enzim lainnya yang mendukung peningkatan pertumbuhan tanaman. Meskipun penelitian tersebut dilakukan pada tanaman tomat, memberikan hasil bahwa genus *Metarhizium* memiliki potensi sebagai biostimulasi pada berbagai jenis tanaman termasuk tanaman cabai merah besar.

Pada Tabel 1 menunjukkan perlakuan P3 dalam penelitian ini diberikan dengan dosis total yang setara dengan perlakuan tunggal (P1 dan P2) yaitu masing-masing setengah dari perlakuan tunggal. Hal ini dilakukan agar total konsentrasi tetap konsisten antarperlakuan. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan tidak memperoleh nilai tertinggi pada parameter tinggi tanaman. Da Silva *et al.* (2025) melaporkan hasil co-cultivation antar *Beauveria* sp. dan *Metarhizium* sp. dapat mengalami interaksi yang mempengaruhi produksi senyawa bioaktif dari masing-masing cendawan. Interaksi yang dimaksud meliputi kompetisi dan antagonisme, di mana kedua cendawan bersaing untuk mendapatkan ruang, nutrisi, dan sumber karbon di lingkungan perakaran tanaman. Persaingan ini dapat mengakibatkan salah satu cendawan mendominasi, sementara yang lain mengalami penekanan pertumbuhan atau aktivitas fisiologisnya. Selain itu, kemungkinan adanya senyawa metabolit yang bersifat antagonis juga dapat menghambat kolonisasi atau aktivitas cendawan lainnya. Akibat dari interaksi ini, efektivitas kolonisasi dan fungsi biostimulan dari masing-masing cendawan menjadi kurang optimal saat diaplikasikan secara bersamaan.

Menurut Wilberts *et al.* (2023), interaksi antara cendawan entomopatogen dan tanaman hortikultura seperti paprika (*Capsicum annuum*) menunjukkan bahwa tidak semua kombinasi strain dan kultivar menghasilkan respon yang sama. Beberapa strain, seperti *Cordyceps fumosorosea*, mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman secara signifikan ketika diinokulasikan pada kultivar tertentu, sedangkan pada kultivar lainnya tidak menunjukkan efek yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas cendawan sebagai agen biostimulasi tidak hanya bergantung pada sifat biologis cendawan itu sendiri, tetapi juga pada kesesuaian fisiologis tanaman inangnya. Kompatibilitas ini penting untuk memastikan bahwa cendawan dapat berkolonisasi secara endofitik tanpa mengganggu keseimbangan fisiologis tanaman, sehingga mampu memberikan efek positif terhadap parameter pertumbuhan seperti tinggi tanaman, jumlah daun, serta bobot akar dan tajuk.

Pada jumlah daun tanaman menunjukkan tidak berbeda nyata di setiap minggunya. Rerata jumlah daun tertinggi terdapat pada perlakuan P3 (21,3) sebaliknya rerata pertumbuhan terendah pada perlakuan P1 (14,5) pada 4 MST. Rerata pertumbuhan jumlah daun tanaman cabai merah besar ditunjukkan pada Tabel 2. Minggu ke-1 menunjukkan nilai rerata jumlah daun yang relatif sama. Namun, pada minggu ke-2, perlakuan P1 menunjukkan jumlah daun lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lain. Selanjutnya pada minggu ke-3, rerata tertinggi terdapat pada perlakuan P2, sedangkan minggu ke-4, rerata tertinggi pada perlakuan P3 (kombinasi keduanya), sementara P1 kebalikannya menjadi yang terendah.

Masing masing perlakuan jenis CEP menunjukkan pola pertumbuhan yang bervariasi. Hal ini, diduga setiap cendawan entomopatogen memiliki mekanisme kolonisasi yang berbeda. Menurut Greenfield *et al.* (2016), metode *soil drenching* menghasilkan kolonisasi endofit yang bertahan lama oleh *Metarhizium* sp., sedangkan *Beauveria* sp. cenderung menurun seiring waktu (Gambar 2). Analisis lebih lanjut oleh Liu *et al.* (2022) melaporkan bahwa setelah inokulasi pada jagung, *Beauveria* sp. menunjukkan kolonisasi cepat namun menurun dari 100 % menjadi 20 % dalam 28 hari, sedangkan *Metarhizium* sp. mempertahankan keberadaannya di berbagai jaringan tanaman hingga 35 hari.



Gambar 2. Spora Cendawan Entomopatogen (CEP) pembesaran 100x; *Beauveria bassiana* (*B. bassiana*) (A), dan *Metarhizium anisopliae* (*M. anisopliae*) (B) (Dokumentasi Pribadi, 2025)

Meskipun perlakuan menggunakan *B. bassiana* dan *M. anisopliae* diketahui memiliki potensi sebagai biostimulator, hasil penelitian ini tidak menunjukkan perbedaan nyata pada jumlah daun tanaman cabai. Kombinasi ini juga dapat menimbulkan konflik metabolismik karena adanya kompetisi nutrisi dan regulasi metabolism sekunder, sehingga produksi senyawa bioaktif menjadi tertekan saat kedua cendawan dikolaborasikan (da Silva et al., 2025).

2. Panjang Akar Tanaman dan Berat Akar Tanaman

Rata-rata panjang akar tanaman (cm) dan berat akar tanaman (g) terhadap respon aplikasi cendawan entomopatogen ditunjukkan pada Tabel 2, hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemberian formulasi CEP dari tiga perlakuan tidak perbedaan nyata terhadap panjang akar tanaman cabai merah besar. Nilai panjang akar tertinggi terdapat pada perlakuan P2 (21,4 cm), diikuti P1 (21,1 cm), P3 (13,5 cm), dan terendah pada P0 (11,6 cm). Meskipun terdapat perbedaan nilai rata-rata antarperlakuan, namun secara statistik tidak berbeda nyata, sedangkan berat basah akar menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Perlakuan P2 menghasilkan basah akar lebih berat sebesar 2,25 g dan berbeda nyata dengan P0 (1,07 g), meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P1 dan P3. Perlakuan kontrol (P0) menunjukkan berat basah akar terendah dibandingkan perlakuan lainnya.

Tabel 2. Rata-rata panjang akar tanaman (cm) dan berat akar tanaman (g) terhadap respon aplikasi CEP

Perlakuan	Panjang Akar (cm)	Berat Basah Akar (g)
P0	11,6 a	1,07 a
P1	21,1 a	1,64 ab
P2	21,4 a	2,25 b
P3	13,5 a	1,42 ab

Keterangan P0 = Kontrol, P1 = *B. bassiana*, P2 = *M. anisopliae*, P3 = Kombinasi *B. bassiana* + *M. anisopliae*, angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom berat basah akar menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji tukey pada taraf 5%.

Tabel 2 rata – rata panjang akar tanaman cabai merah besar pada perlakuan cendawan entomopatogen menunjukkan hasil tidak berbeda nyata secara statistik. Akan tetapi, rerata nilai panjang akar tertinggi ada terdapat pada perlakuan P2 sebesar 21,4 cm, diikuti oleh P1 sebesar 21,1 cm. sementara itu, perlakuan P3 menunjukkan panjang akar sebesar 13,5 cm dan perlakuan P0 (kontrol) terendah yaitu 11,6 cm, dapat dilihat pada Gambar 3 penampang panjang akar fase vegetatif tanaman cabai merah besar.



Gambar 3. Penampang Panjang Akar Tanaman Cabai Merah Besar. Keterangan: P0 = Kontrol, P1 = *B. bassiana*, P2 = *M. anisopliae*, P3 = Kombinasi *B. bassiana*+ *M. anisopliae* (Dokumentasi Pribadi, 2025).

Perbedaan rata-rata panjang akar yang tidak signifikan secara statistik menunjukkan bahwa aplikasi cendawan entomopatogen melalui metode *soil drenching* belum berpengaruh cukup kuat terhadap pertumbuhan akar tanaman cabai merah besar secara konsisten. Akan tetapi, kecenderungan peningkatan panjang akar pada perlakuan *M. anisopliae* (P2) dan *B. bassiana* (P1) menunjukkan potensi kedua cendawan tersebut sebagai biostimulasi yang dapat meningkatkan pertumbuhan sistem perakaran. Hal ini disebabkan oleh kemampuan cendawan entomopatogen dalam menghasilkan metabolit sekunder seperti hormon tumbuh IAA yang dapat merangsang perpanjangan akar (Liao *et al.*, 2014).

Selain itu, aplikasi melalui *soil drenching* memungkinkan spora cendawan lebih cepat berinteraksi dengan akar tanaman, meningkatkan peluang kolonisasi pada rizosfer dan memperbaiki penyerapan nutrisi (Rivas-Franco *et al.*, 2020). Ayalew *et al.*, (2022) menambahkan bahwa *B. bassiana* dan *M. annisopliae* mampu memproduksi caseinase (enzim serupa protease) dan lipase saat ditumbuhkan pada berbagai substrat yang menunjukkan kemampuan adaptasi tinggi terhadap kondisi materi organik. Adanya kolonisasi ini dapat menciptakan lingkungan yang lebih mendukung pertumbuhan akar, termasuk meningkatkan ketersediaan unsur hara. Akan tetapi pada perlakuan kombinasi (P3), mengalami perlambatan pertumbuhan panjang akar dibandingkan perlakuan tunggal kemungkinan disebabkan oleh kompetisi antar cendawan *B. bassiana* dan *M. anisopliae*, yang menghambat efektivitas kolonisasi atau produksi senyawa bioaktif yang mendukung pertumbuhan akar.

Tabel 2 rata - rata berat basah akar tanaman cabai merah besar menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan CEP. Pada perlakuan P2 sebesar 2,25 g, diikuti oleh P1 sebesar 1,64 g, P3 sebesar 1,4 g dan terendah pada P0 yaitu 1,07 g. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi *M. anisopliae* melalui metode *soil drenching* secara signifikan mampu meningkatkan pertumbuhan berat basah akar tanaman cabai merah besar dibandingkan perlakuan lainnya. Peningkatan berat basah akar ini berkaitan dengan kemampuan *Metarhizium* sp. dalam berkolonisasi di jaringan akar dan menghasilkan metabolit sekunder seperti asam indol-3-asetat dan enzim lainnya yang berperan dalam memperbaiki serapan unsur hara penting seperti fosfor dan nitrogen (Khan *et al.*, 2012). Proses ini mampu mendukung pertumbuhan sistem perakaran yang lebih sehat, sehingga meningkatkan akumulasi berat pada bagian akar. Analisis serupa menurut Moonjely dan Bidochla (2019), bahwa strain *M. anisopliae* mampu mengkolonisasi permukaan akar (*rhizoplane*) dan rizosfer pada tanaman monokotil dan dikotil dalam kurun 20 hari.

3. pH dan Kelembaban Media Tanah terhadap Aplikasi CEP

Hasil pengamatan terhadap pH dan kelembaban media tanam dapat dilihat pada Tabel 3, menunjukkan adanya peningkatan setelah aplikasi perlakuan. pH media meningkat dari 4,1 menjadi 5,2, sedangkan kelembaban relatif meningkat dari 3 menjadi 6,5. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi perlakuan sedikit memengaruhi kondisi fisik media tanam, khususnya dalam menaikkan tingkat keasaman dan kelembabannya.

Aplikasi perlakuan CEP diduga berpengaruh pada kondisi kimia lingkungan rhizosfer. Meskipun nilai pH masih berada dibawah kisaran ideal untuk pertumbuhan optimal cabai merah besar yaitu 5,5-6,8 (Sumarni, 2005 dalam Talli *et al.*, 2023) peningkatan ini menunjukkan perbaikan lingkungan tumbuh bagi tanaman. *M. anisopliae* dan *B. bassiana* diketahui mampu memodifikasi lingkungan rhizosfer melalui aktivitas metabolismenya, termasuk produksi enzim dan senyawa pelarut mineral. Aktivitas ini berpotensi untuk pelepasan unsur hara dan memodifikasi keseimbangan H⁺ di sekitar akar yang dapat meningkatkan pH (da Silva *et al.*, 2025). Behie dan Bidocka (2014) melaporkan transfer nitrogen menunjukkan aktivitas

degradasi bahan organik kompleks oleh *Metarhizium*, dimana miselium memecah jaringan serangga dan mengubah komposisi kimia tanah termasuk keseimbangan ion, yang bisa berkontribusi pada perubahan pH mikro-lokalnya.

Tabel 3. Hasil pH dan Kelembaban Media Tanah terhadap aplikasi CEP

Parameter	Sebelum aplikasi	Sesudah aplikasi
pH tanah	4,1	5,2
Kelembaban	3	6,5

Keterangan: Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur tanah analog dua fungsi (pH dan kelembaban) pada 0 MST(sebelum aplikasi) dan di 4 MST (setelah aplikasi).

Beauveria bassiana juga mampu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur mikro seperti Fe melalui mekanisme pelarutan biologis di rizosfer. Hal ini didukung oleh aktivitas metabolismenya dalam menghasilkan asam organik dan senyawa pelarut mineral, yang dapat mempengaruhi pH lokal di sekitar akar (Raya-Díaz *et al.*, 2017). Lebih lanjut Raya-Díaz *et al.* (2017) melaporkan bahwa *Beauveria* sp. mampu tumbuh optimal dalam kisaran pH 5 hingga 10, sementara *Metarhizium* sp. menunjukkan pertumbuhan biomassa tertinggi pada pH sekitar 7. Hal ini menandakan bahwa kedua cendawan tersebut lebih efektif tumbuh di lingkungan tanah yang tidak terlalu asam, dan kemungkinan melakukan kegiatan biologis yang menetralkan keasaman melalui produksi enzim atau metabolit, sehingga cendawan entomopatogen mampu menyesuaikan kondisi kimia tanah untuk mendukung ketersediaan hara bagi tanaman. Aktivitas mikroba ini juga dapat memodifikasi komposisi mikroba dan merangsang peningkatan mikroorganisme tanah lainnya yang bersifat menguntungkan, sehingga memperkuat proses netralisasi pH (Savazzini *et al.*, 2009). Oleh karena itu, aplikasi cendawan entomopatogen bukan hanya berfungsi sebagai agen hidup, tetapi juga dapat berperan dalam memperbaiki kualitas tanah melalui perubahan pH yang lebih mendekati kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan pengamatan menggunakan alat ukur kelembaban tanah 2 in 1 analog yang dapat dilihat di Tabel 3 menunjukkan peningkatan kelembaban tanah dari 3 menjadi 6,5 setelah aplikasi perlakuan cendawan entomopatogen. Peningkatan ini menunjukkan bahwa keberadaan *Beauveria bassiana* maupun *Metarhizium anisopliae* mampu memodifikasi kondisi fisik tanah. Murindangabo *et al.* (2023) melaporkan bahwa cendawan entomopatogen meningkatkan kelembaban tanah (*soil moisture retention*) serta memperbaiki struktur tanah melalui pembentukan agregat yang lebih stabil. Disisi lain Hokkanen dan Menzler-Hokkanen (2024) menambahkan bahwa senyawa *glomalin-like* dan polisakarida yang dihasilkan oleh cendawan tersebut memperkuat agregasi tanah, memperbaiki aerasi dan menahan air lebih lama. Proses ini mendukung lingkungan rhizosfer yang lebih seimbang, memfasilitasi pertumbuhan akar cabai merah, peningkatan penyerapan nutrisi, dan efektivitas kolonisasi cendawan sebagai agen biostimulan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, dan kombinasinya melalui metode *soil drenching* memberikan pengaruh bervariasi terhadap pertumbuhan cabai merah besar (*Capsicum annuum L.*). Tinggi tanaman berbeda nyata hanya pada minggu ke-2 dengan nilai tertinggi pada perlakuan P1 (31,1 cm), sedangkan minggu lainnya tidak berbeda nyata dan kontrol selalu terendah. Jumlah daun tidak berbeda nyata, namun nilai tertinggi bervariasi antar minggu, sementara kontrol tetap terendah. Panjang akar tidak berbeda nyata, tetapi tertinggi pada P2 (21,4 cm) dan terendah pada kontrol (11,6 cm). Bobot basah akar berbeda nyata dengan nilai tertinggi pada P2 (2,25 g) dan terendah pada P0 (1,07 g). Aplikasi cendawan juga meningkatkan pH tanah dari 4,0 menjadi 5,2, mendekati kisaran optimal pH 5,5–6,8, serta menaikkan kelembaban tanah dari 3 menjadi 6,5, yang mengindikasikan peran mikroba cendawan dalam menjaga kondisi tanah yang mendukung fisiologi tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandhi, A., Widjayanti, T., Emi, A. A. L., Tarno, H., Afifyanti, M., & Handoko, R. N. S. 2019. Endophytic fungi *Beauveria bassiana* Balsamo accelerates growth of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 6(1).
- Talli, W. I. S. A., Irawan, J. D., & Ariwibisono, F. X. 2023. Rancang bangun sistem monitoring kualitas tanah untuk tanaman cabai berbasis IoT (*Internet of Things*). JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 7(5), 2428–2435.
- Ayalew, H., Mekonnen, S., & Wondafrash, M. 2022. Extracellular enzyme production and pathogenicity of entomopathogenic fungi isolated from soil samples in Ethiopia. BMC Research Notes, 15(1), 231.
- Badan Pusat Statistik. 2024. *Statistika hortikultura 2023* (Vol. 5). <https://bps.go.id>
- Barra-Bucarei, L., González, M. G., Iglesias, A. F., Aguayo, G. S., Peñalosa, M. G., & Vera, P. V. 2020. *Beauveria bassiana* multifunction as an endophyte: Growth promotion and biologic control of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato. Insects, 11(9), 591.
- Behie, S. W., & Bidochka, M. J. (2014). *Ubiquity of insect-derived nitrogen transfer to plants by endophytic insect-pathogenic fungi: An additional branch of the soil nitrogen cycle*. Applied and Environmental Microbiology, 80(5), 1553–1560. <https://doi.org/10.1128/AEM.00185-14>
- da Silva, P. F., dos Santos, M. S. N., Araújo, B. A., Kerber, B. D., de Oliveira, H. A. P., Guedes, J. V. C., Mazutti, M. A., Tres, M. V., & Zabot, G. L. 2025. Co-cultivations of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Trichoderma harzianum* to produce bioactive compounds for application in agriculture. Fermentation, 11(1), 30.
- Dutta, P., Kaushik, H., Bhowmick, P., Puzari, K. C., & Hazarika, G. N. 2015. *Metarhizium anisopliae* as endophyte has the ability of plant growth enhancement. International Journal of Current Research, 7(4), 14300–14304.
- Greenfield, M., Gómez-Jiménez, M. I., Ortiz, V., Vega, F. E., & Parsa, S. 2016. *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. Biological Control, 95, 40–48.
- Herdianto, D. & Setiawan, A. 2015. Upaya peningkatan kualitas tanah melalui sosialisasi pupuk hayati, pupuk organik, dan olah tanah konservasi di Desa Sukamanah dan Desa Nanggerang Kecamatan Cigalontang Kabupaten Tasikmalaya. Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat, 4(1),
- Hokkanen, H. M., & Menzler-Hokkanen, I. 2024. Management of agricultural soils to support ecosystem services for pest control. In The Concept of Ecostacking: Techniques and Applications (pp. 94–113). GB: CABI.
- Ichwan, B., Novita, T., Eliyanti, & Masita, E. 2021. Aplikasi berbagai jenis plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil cabai merah (*Capsicum annuum* L.). Jurnal Media Pertanian, 6(1), 1–7.
- Khan, A. L., Kang, S. M., Waqas, M., You, Y. H., Kim, J. H., Shin, J. H., & Lee, I. J. 2012. Pure culture of *Metarhizium anisopliae* LHL07 reprograms soybean to higher growth and mitigates salt stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28(4), 1483–1494.
- Liao, X., O'Brien, T. R., Fang, W., & St. Leger, R. J. 2014. The plant beneficial effects of *Metarhizium anisopliae* species correlate with their association with roots. Applied Microbiology and Biotechnology, 98, 7089–7096.
- Liu, H., Yang, X., Wang, J., Tang, J., Chen, K., & Zhao, S. 2022. Colonization dynamics and plant growth promotion by endophytic entomopathogenic fungi in maize seedlings. Scientific Reports, 12(1), 1–12.
- Moonjely, S., & Bidochka, M. J. 2019. Generalist and specialist *Metarhizium* insect pathogens retain ancestral ability to colonize plant roots. Fungal Ecology, 41, 209–217.
- Murindangabo, Y. T., Kopecký, M., Perná, K., Nguyen, T. G., Konvalina, P., Kavková, M. 2023. Relevance of entomopathogenic fungi in soil–plant systems. Plant and Soil, 495(4).
- Raya-Díaz, S., Sánchez-Rodríguez, A. R., Segura-Fernández, J. M., del Campillo, M. D. C., & Quesada-Moraga, E. 2017. Entomopathogenic fungi-based mechanisms for improved Fe nutrition in sorghum plants grown on calcareous substrates. PLoS ONE, 12(10), e0185903.
- Rivas-Franco, F., Hampton, J. G., Narciso, J., Rostás, M., Wessman, P., Saville, D. J., Jackson, T. A., & Glare, T. R. 2020. Effects of a maize root pest and fungal pathogen on entomopathogenic fungal rhizosphere colonization, endophytism and induction of plant hormones. Biological Control, 150, 104347.

- Saragih, M., Trizelia, Nurbailis, & Yusniwati. 2019. Endophytic colonization and plant growth promoting effect by entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* to red chili (*Capsicum annuum L.*) with different inoculation methods. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 305(1), 012070.
- Savazzini, F., Longa, C. M. O., & Pertot, I. 2009. Impact of the biocontrol agent *Trichoderma atroviride* SC1 on soil microbial communities of a vineyard in Northern Italy. Soil Biology and Biochemistry, 41, 1457–1465.
- Siqueira, O. S., dos Santos, M. S. N., Araújo, B. de A., Kerber, B. D., de Oliveira, H. A. P., Guedes, J. V. C., Mazutti, M. A., Tres, M. V., & Zabot, G. L. 2020. Biotechnological potential of *Metarrhizium anisopliae* for bioprocesses: From biocontrol to plant growth promotion. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 29, 101779.
- Traon, D., Laurence, A., Ferdinand, Z., & Du Jardin, P. 2014. A legal framework for plant biostimulants and agronomic fertilizer additives in the EU (Contract No. 255/PP/ENT/IMA/13/1112420). European Commission, Enterprise & Industry Directorate-General. http://publications.europa.eu/resource/cellar/dbeffd43-98a5-4e39-a930-7dfa21816f8c.0001.02/DOC_1
- Wilberts, L., Rojas-Preciado, N., Jacquemyn, H., & Lievens, B. 2023. Fungal strain and crop cultivar affect growth of sweet pepper plants after root inoculation with entomopathogenic fungi. Frontiers in Plant Science, 14, 1196765.
- Wiswasta, I.G.A., I Made Sukamerta, Dewa Made Wedagama, & I Gusti Ayu Ari Agung. 2017. *Metode penelitian dan analisis statistik kuantitatif deskriptif (dilengkapi contoh model penelitian)*. Unmas Press (Universitas Mahasaraswati Press), Denpasar.84hal
- Yanti, D. P., Trizelia, T., Darnetty, D., & Trisno, J. 2024. Ability of *Beauveria bassiana* to suppress *Colletotrichum truncatum* and increase the growth of chili plants (*Capsicum annuum*). Jurnal Proteksi Tanaman, 8(1), 42–52.
- Youssef, S. M., El-Serafy, R. S., Ghanem, K. Z., Elhakem, A., & Abdel Aal, A. A. 2022. Foliar spray or soil drench: Microalgae application impacts on soil microbiology, morpho-physiological and biochemical responses, oil and fatty acid profiles of chia plants under alkaline stress. Biology, 11(12), Article 1844.
- Yuwanto, L. 2019. *Pengantar metode penelitian eksperimen*. Surabaya: Fakultas Psikologi, Universitas Surabaya.