

PENGARUH ENKAPSULASI BENIH CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.) DENGAN BERBAGAI BAHAN PEMBAWA PADA BAHAN AKTIF *Trichoderma* UNTUK PENGENDALIAN PENYAKIT LAYU FUSARIUM

EFFECT OF ENCAPSULATION OF CAYENNE PEPPER (*capsicum frutescens* L.) SEEDS WITH VARIOUS CARRIER INGREDIENTS ON ACTIVE INGREDIENTS *TRICHODERMA* TO CONTROL FUSARIUM WILT DISEASE

Taufik Hidayat^{1*}, Herry Nirwanto¹, Yenny Wuryandari¹

¹Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

*E-mail Korespondensi : herry_n@upnjatim.ac.id

PERKEMBANGAN ARTIKEL:

Diterima: 1-4-2024

Direvisi: 30-4-2024

Disetujui: 4-5-2024

KEYWORDS:

Cayenne Pepper, Seed
encapsulation, *Trichoderma*

ABSTRACT

Fusarium wilt is a significant disease affecting cayenne pepper plants, caused by the fungal pathogen *Fusarium*. One promising biocontrol solution involves the use of beneficial fungi such as *Trichoderma*. This study evaluated the efficacy of seed encapsulation using different carrier materials and *Trichoderma* active ingredients in suppressing *Fusarium* wilt progression. The experiment was conducted at the Plant Health Laboratory and Greenhouse of UPN "Veteran" East Java from September 2023 to January 2024. A completely randomized design (CRD) was employed, consisting of seven treatments and three replicates. Statistical analysis was performed using ANOVA followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level. The findings demonstrated that the carrier material and *Trichoderma* formulation significantly influenced *Fusarium* wilt suppression. *In vitro* tests revealed an inhibition rate exceeding 50%, while *in vivo* trials reduced disease incidence below 40%. The most effective combinations were glutinous rice flour (*in vitro*) and compost (*in vivo*) when paired with *Trichoderma harzianum*, proving optimal in inhibiting the pathogen's growth in cayenne pepper.

ABSTRAK

Layu *Fusarium* menjadi penyakit krusial pada tanaman cabai rawit akibat infeksi jamur *Fusarium*. Salah satu solusi pengendaliannya adalah pemanfaatan agens hayati seperti jamur *Trichoderma*. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas enkapsulasi benih menggunakan berbagai bahan pembawa dan bahan aktif *Trichoderma* dalam menekan perkembangan penyakit layu *Fusarium*. Kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Tanaman dan Green House UPN "Veteran" Jawa Timur selama periode September 2023 hingga Januari 2024. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tujuh perlakuan dan tiga kali pengulangan. Data dianalisis melalui uji ANOVA dan dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf 5%. Hasil penelitian membuktikan bahwa pemilihan bahan pembawa dan bahan aktif *Trichoderma* secara signifikan memengaruhi efikasi pengendalian layu *Fusarium*. Pada uji *in vitro*, kombinasi tersebut menunjukkan daya hambat >50%, sedangkan uji *in vivo* berhasil menurunkan intensitas serangan di bawah 40%. Bahan pembawa tepung ketan (*in vitro*) dan kompos (*in vivo*) yang dikombinasikan dengan *Trichoderma harzianum* terbukti paling optimal dalam menekan pertumbuhan patogen penyebab layu *Fusarium* pada cabai rawit.

KATA KUNCI:

Cabai Rawit, Enkapsulasi
benih, *Trichoderma*

1. PENDAHULUAN

Budidaya cabai rawit seringkali mengalami kendala, terutama serangan penyakit tanaman. Salah satu patogen utama adalah jamur *Fusarium*, penyebab penyakit layu *Fusarium* yang menyerang tanaman sejak fase perkecambahan hingga dewasa. Serangan ini dapat menurunkan produktivitas tanaman secara signifikan (Mahartha et al., 2013), sehingga diperlukan upaya pengendalian untuk mengurangi kerusakan.

Petani umumnya mengandalkan pestisida kimia untuk mengatasi penyakit pada cabai rawit. Namun, penggunaan yang tidak terkontrol dapat menimbulkan dampak lingkungan serius. Arif (2015) menyatakan bahwa pestisida kimia bersifat toksik dan berbahaya jika tidak dikelola dengan tepat, berpotensi menimbulkan efek negatif jangka panjang.

Sebagai alternatif, *Trichoderma* menjadi agens hayati potensial untuk mengendalikan layu *Fusarium*. Penelitian Suanda (2019) membuktikan bahwa *Trichoderma* efektif menghambat pertumbuhan *Fusarium* pada tanaman hortikultura (tomat, cabai) dan penyakit JAP pada cengkeh. Untuk optimalkan aplikasinya, berbagai studi mengeksplorasi metode enkapsulasi benih guna melindungi spora jamur antagonis. Bahan pembawa seperti zeolit, gypsum (anorganik), atau kompos dan tepung (organik) tidak hanya menjaga viabilitas jamur tetapi juga menyediakan nutrisi makro-mikro, sehingga meningkatkan daya tekan terhadap patogen (Marieska et al., 2022).

Pemilihan bahan pembawa dalam enkapsulasi benih menentukan keberhasilan teknik seed coating. Bahan tersebut berperan penting dalam menyediakan nutrisi bagi agens hayati seperti *Trichoderma*. Menurut Wijaya et al. (2012), bahan pembawa berkarbohidrat tinggi terbukti meningkatkan viabilitas *Trichoderma*. Kompos, khususnya, merupakan media ideal karena mengandung unsur hara makro dan mikro yang mendukung pertumbuhan jamur antagonis. Hasil penelitian Rulinggar et al. (2017) menunjukkan bahwa *Trichoderma* dan *Streptomyces* berkembang lebih optimal pada media kompos dibandingkan bekatul atau jagung. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh berbagai bahan pembawa dan formulasi *Trichoderma* dalam enkapsulasi benih cabai rawit untuk pengendalian layu *Fusarium*.

2. BAHAN DAN METODE

Pelaksanaan penelitian berlangsung dari September 2023 hingga Januari 2024 di Laboratorium Kesehatan Tanaman dan Greenhouse Fakultas Pertanian UPN "Veteran" Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan pendekatan in vitro dan in vivo untuk memperoleh data yang komprehensif.

Pada tahap in vitro, penelitian difokuskan untuk menguji kemampuan antagonis *Trichoderma* dalam berbagai formulasi bahan pembawa terhadap patogen *Fusarium*. Sedangkan pada tahap in vivo, penelitian dilakukan untuk menganalisis masa inkubasi dan efektivitas pengendalian penyakit layu *Fusarium* pada kondisi terkontrol. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor. Faktor pertama adalah bahan pembawa enkapsulasi (kompos, tepung beras putih, tepung ketan putih) dan faktor kedua adalah bahan aktif, yaitu *Trichoderma asperellum* dan *Trichoderma harzianum*. Kombinasi perlakuan yaitu: HT(*T.harzianum*+tepung ketan); HB(*T.harzianum*+tepung beras); HK(*T.harzianum*+kompos); AT(*T.asperellum*+tepung ketan); AB(*T.asperellum*+tepung beras); AK(*T.asperellum*+kompos).

Pelaksanaan Penelitian

a. Enkapsulasi Benih

Kegiatan enkapsulasi benih dilakukan dengan cara memanen isolat *Trichoderma* yang berumur 7 hari dari media PDA yang selanjutnya diencerkan sampai kerapatan konidia 10^6

spora/ml. Sebanyak 100 ml suspensi konidia *Trichoderma* dimasukan ke dalam *hand sprayer* steril dengan ditambahkan larutan perekat berupa *gum arabic* sebanyak 20 ml yang telah dilarutkan dengan aquades sebelumnya. Benih cabai dimasukan ke dalam mesin enkapsulator. Suspensi *Trichoderma* yang sudah dicampur dengan larutan perekat selanjutnya disemprotkan pada benih cabai menggunakan *hand sprayer*. Bahan pembawa kering (kompos, tepung beras putih, tepung ketan putih) yang telah steril dimasukan pada mesin enkapsulator yang berfungsi sebagai pembungkus benih. Kegiatan penyalutan selesai maka mesin diberhentikan. Selanjutnya benih disaring pada saringan berukuran 200 mesh. Benih selanjutnya diangin-anginkan selama 30 menit, kemudian disemaikan pada *tray* semai hingga tumbuh dan siap dipindah tanam pada polybag \pm 25 hari setelah semai.

b. Daya Hambat

Uji antagonis bertujuan mengukur kemampuan *Trichoderma* dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* pada media PDA. Metode yang digunakan adalah biakan ganda (*dual culture*), dimana isolat *Trichoderma* dan *Fusarium* ditumbuhkan secara berhadapan dalam cawan Petri yang sama.

Efektivitas formula kapsul *Trichoderma* dievaluasi dengan membandingkan luas koloni *Fusarium* pada perlakuan antagonis terhadap kontrol (Suanda, 2019). Parameter penghambatan dihitung menggunakan PIRG (Persentase Inhibisi Pertumbuhan Radial) dengan rumus:

$$PIRG = \frac{R1 - R2}{R1} \times 100\%$$

Keterangan:

PIRG : Precentage inhibition of Radial Growth (Daya Hambat)

R1 : Luas koloni patogen pada kontrol

R2 : Luas koloni patogen pada perlakuan *dual culture*

c. Masa Inkubasi dan Intensitas Serangan Penyakit Layu *Fusarium* (*In vivo*)

Tanaman dibudidayakan dalam polybag berukuran 20x20x5 cm yang diisi media tanam steril berupa campuran tanah dan kompos (1:1). Media tanam yang sudah steril selanjutnya diinokulasi dengan patogen *Fusarium*. Inokulasi dilakukan 5 hari sebelum pindah tanam dengan cara menyiramkan suspensi jamur *Fusarium* dengan kerapatan 10^6 spora/ml sebanyak 25 ml per polybag. Bibit cabai yang berumur 25 hari setelah semai selanjutnya ditanam pada lubang polybag. Pengamatan difokuskan pada: (1) masa inkubasi (interval antara inokulasi hingga muncul gejala pertama), dan (2) intensitas serangan penyakit.

Masa inkubasi didefinisikan sebagai periode yang diperlukan patogen untuk menginfeksi tanaman hingga timbul gejala awal layu. Pada penelitian ini, pengamatan dimulai sejak inokulasi *Fusarium* hingga terlihat gejala layu pada daun. Intensitas penyakit diamati setiap 5 hari hingga hari ke-30 pascainokulasi dengan mencatat persentase daun layu pada 126 tanaman sampel (6 tanaman per ulangan).

Setiap 5 hari dilakukan pengamatan intensitas penyakit dengan mengamati perkembangan gejala layu, pengamatan dilakukan sampai hari ke 30 setelah inokulasi. Jumlah tanaman sampel pengamatan pada setiap ulangan ada 6 tanaman sehingga total sampel yang digunakan adalah 126 tanaman cabai rawit. Keparahan penyakit dinilai dengan skala sebagai berikut:

0 : tanpa gejala

1 : 1-10% daun layu

2 : 11-30% daun layu

3 : 31-60% daun layu

4 : 61-99% daun layu

5 : 100% daun layu

Indeks penyakit dihitung menggunakan formula (Arwiyanto, 1995).

$$I = \frac{\sum_{i=0}^k k \cdot nk}{Z \times N} \times 100\%$$

Keterangan:

I : nilai indeks penyakit

k : skala keparahan

nk : jumlah tanaman pada setiap kategori skala

N : jumlah total tanaman

Z : kategori serangan tertinggi.

Data kemampuan hambat, intensitas penyakit, dan viabilitas benih dianalisis dengan ANOVA menggunakan SPSS. Jika terdapat perbedaan signifikan, dilanjutkan uji Duncan pada taraf signifikansi 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Daya Hambatan

Berdasarkan pengamatan dan analisis ragam menunjukkan bahwa jamur *Trichoderma* yang diformulasikan dengan bahan pembawa memiliki viabilitas untuk tumbuh dengan baik sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan jamur patogen *Fusarium* (Tabel 1). Daya hambat formula pada hari ke 1 pengamatan menunjukkan hasil berbeda nyata, dimana pada perlakuan AK mampu menekan jamur *Fusarium* sebesar 47,33% dan perlakuan AT mampu menekan sebesar 28,00%. Pengamatan pada hari ke 4 menunjukkan hasil berbeda nyata pada perlakuan HT dengan kemampuan hambat 66,00% dan AB sebesar 36,67%.

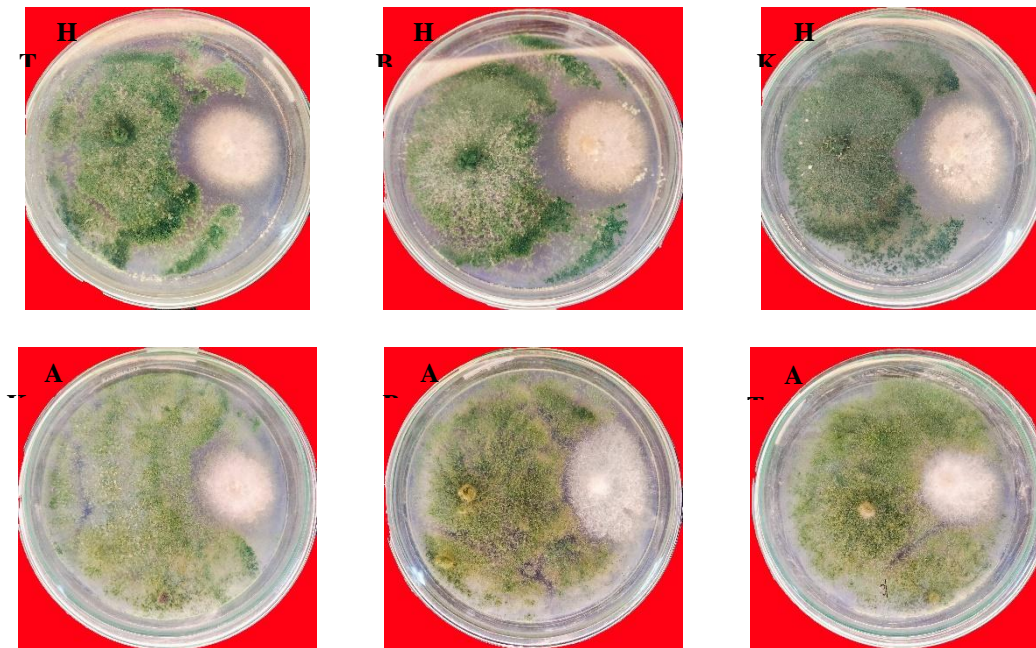
Tabel 1. Daya Hambat *Trichoderma* terhadap *Fusarium*

Perlakuan	Daya Hambat <i>Trichoderma</i> (%) Pengamatan (Hari)				
	1	2	3	4	5
<i>T.harzianum</i> +Tp.Beras	9,33 a	21,67a	56,67a	54,00 ab	70,33a
<i>T.harzianum</i> +Tp.Ketan	28,00 ab	47,00a	65,00a	66,00 b	72,67a
<i>T.harzianum</i> +Kompos	18,67 a	33,67a	58,00a	49,67 ab	66,00a
<i>T.asperellum</i> +Tp.Beras	18,67 a	33,00a	55,00a	36,67 a	63,00a
<i>T.asperellum</i> +Tp.Ketan	14,00 a	22,00a	46,67a	43,00 ab	59,67a
<i>T.asperellum</i> +Kompos	47,33 b	33,67a	65,00a	65,00 ab	74,67a
DMRT 5%	23,84	29,98	28,27	28,81	25,09

Keterangan: angka-angka dengan notasi yang sama tidak memiliki perbedaan signifikan berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%.

Perbedaan bahan pembawa yang dikombinasikan dengan bahan aktif *Trichoderma* memberikan pengaruh signifikan terhadap kemampuan penghambatan patogen *Fusarium*. Perlakuan AK pada pengamatan hari pertama mampu menekan pertumbuhan jamur patogen *Fusarium* paling tinggi yaitu 47,33% sedangkan hari keempat perlakuan HT merupakan perlakuan terbaik yaitu 66,00%. Besarnya daya hambat yang dihasilkan oleh perlakuan AK dan

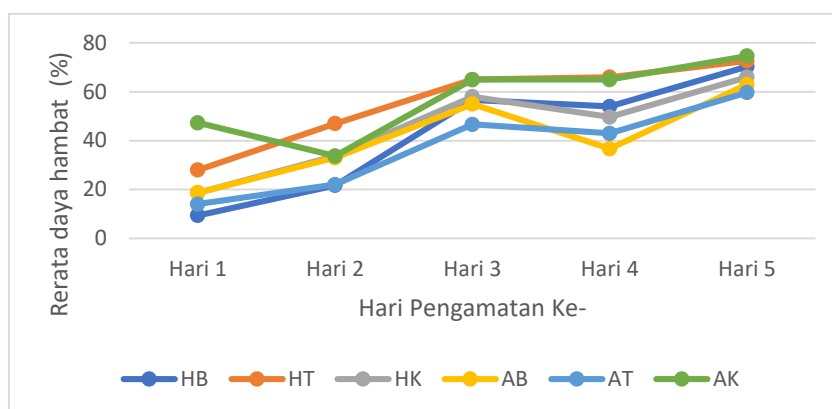
HT diduga disebabkan oleh faktor bahan pembawa serta mekanisme yang dihasilkan oleh spesies *Trichoderma*. Bahan pembawa kompos dan tepung ketan diduga sesuai sebagai media tumbuh dari *Trichoderma* sehingga dengan adanya tambahan nutrisi dari bahan pembawa yang digunakan akan mempercepat pertumbuhan *Trichoderma* dibandingkan dengan jamur patogen *Fusarium*. Temuan ini sejalan dengan penelitian Rulinggar et al. (2017) yang melaporkan bahwa kompos merupakan media ideal bagi pertumbuhan *Trichoderma* dan *Streptomyces*. Selain itu, Uruilal et al. (2018) menyatakan bahwa tepung ketan dengan kandungan karbohidrat tinggi mampu memenuhi kebutuhan nutrisi *Trichoderma* untuk pertumbuhan dan perkembangannya.



Gambar 1. Hasil mekanisme uji antagonis formula enkapsulasi benih terhadap jamur *Fusarium*. Keterangan: HT (*T.harzianum* + tepung ketan), HB (*T.harzianum* + tepung ketan), HK (*T.harzianum* + kompos), AK (*T.asperellum* + kompos), AB (*T.asperellum* + tepung beras), AT (*T.asperellum* + tepung ketan).

Mekanisme yang dihasilkan oleh *Trichoderma asperellum* dalam penelitian ini adalah mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi ditandai dengan pertumbuhan yang cepat dibandingkan dengan jamur *Fusarium* (Gambar 1). Akibat dari mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi ini adalah ketersediaan nutrisi dan ruang bagi patogen lebih sedikit, sehingga patogen terhambat pertumbuhannya karena tidak memiliki ruang tumbuh. Temuan ini didukung penelitian (Lila et al., 2023) yang melaporkan *Trichoderma asperellum* mampu menghambat *Phytophthora* dengan mekanisme serupa, mencapai daya hambat rata-rata $58,74 \pm 4,58\%$.

Perlakuan *Trichoderma harzianum* menunjukkan indikasi aktivitas antibiosis, ditandai dengan terbentuknya zona bening di antara kedua jamur (Gambar 1). Hasil ini sejalan dengan penelitian (Muhibuddin et al., 2021) yang membuktikan metabolit sekunder *Trichoderma harzianum* (alkaloid, flavonoid, steroid, dan saponin) mampu menghambat *Fusarium oxysporum* (79%) dan *Alternaria solani* (61%) melalui mekanisme antibiosis.



Gambar 2. Daya Hambat *Trichoderma* terhadap *Fusarium* pada HT (*T.harzianum* + tepung ketan), HB (*T.harzianum* + tepung beras), HK (*T.harzianum* + kompos), AK (*T.asperellum* + kompos), AB (*T.asperellum* + tepung beras), AT (*T.asperellum* + tepung ketan).

Meskipun pada pengamatan akhir tidak ditemukan perbedaan nyata antar perlakuan, seluruh kombinasi bahan pembawa dengan *Trichoderma* menunjukkan kemampuan hambat >50% terhadap *Fusarium* (Tabel 1). Menurut Amaria et al. (2013) kriteria efektivitas dibagi menjadi: hambat tinggi (70-100%), sedang (40-69%), dan rendah (<40%). Temuan ini mengkonfirmasi bahwa meskipun bahan pembawa berbeda tidak memberikan pengaruh signifikan secara statistik, seluruh formulasi tetap efektif dalam mengendalikan *Fusarium* berdasarkan kriteria standar.

Masa Inkubasi

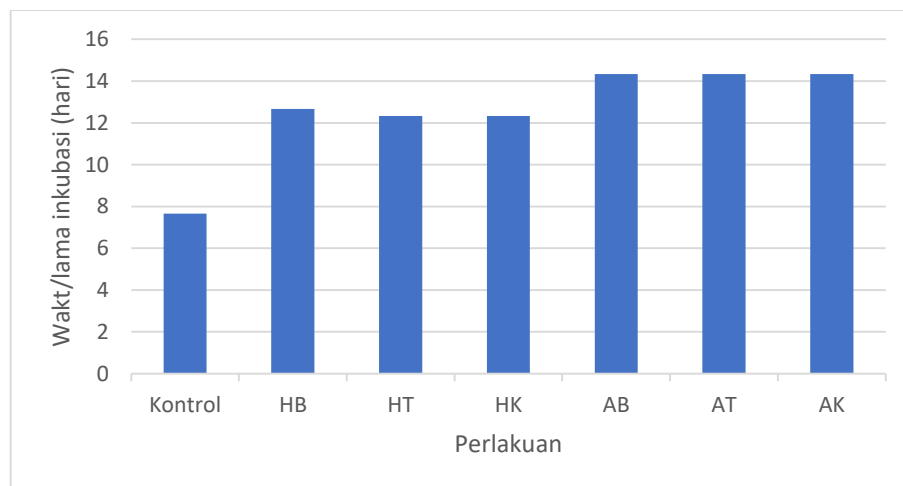
Masa inkubasi merujuk pada periode yang diperlukan patogen untuk memicu gejala atau menginfeksi tanaman. Faktor-faktor seperti konsentrasi dan virulensi jamur patogen, serta ketahanan tanaman, memengaruhi durasi ini. Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis statistik (Tabel 2), terdapat perbedaan signifikan dalam masa inkubasi *Fusarium* antara perlakuan kontrol dan perlakuan bahan aktif *Trichoderma*. Kontrol menunjukkan masa inkubasi tercepat, yaitu gejala muncul pada 7 Hari Setelah Inokulasi (HSI). Sebaliknya, perlakuan *Trichoderma* terbukti lebih efektif menekan perkembangan gejala layu fusarium. *Trichoderma harzianum* berhasil memperlambat masa inkubasi hingga 5 HSI, sedangkan *Trichoderma asperellum* memperpanjangnya sebanyak 7 HSI dibandingkan kontrol.

Tabel 2. Masa Inkubasi

Perlakuan	Masa Inkubasi
Kontrol	7,67 a
<i>T.harzianum</i> +Tp.Beras	12,67 b
<i>T.harzianum</i> +Tp.Ketan	12,33 b
<i>T.harzianum</i> +Kompos	12,33 b
<i>T.asperellum</i> +Tp.Beras	14,33 b
<i>T.asperellum</i> +Tp.Ketan	14,33 b
<i>T.asperellum</i> +Kompos	14,33 b
DMRT 5%	2,80

Keterangan: angka-angka dengan notasi yang sama tidak memiliki perbedaan signifikan berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%.

Perpanjangan masa inkubasi pada benih yang diberi perlakuan enkapsulasi menggunakan *Trichoderma* diduga terjadi karena persaingan antara patogen dan jamur antagonis. Kondisi ini menyebabkan proses infeksi patogen menjadi lebih lambat dibandingkan dengan tanaman yang tidak menggunakan agens hayati. *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma asperellum* memiliki kemampuan efektif dalam menghambat pertumbuhan patogen tular tanah seperti *Fusarium*, sehingga memperlambat munculnya gejala penyakit. Kelompok jamur *Trichoderma* dapat mengendalikan *Fusarium* karena mampu mendominasi sistem perakaran tanaman, menghalangi patogen untuk melakukan penetrasi. Penelitian dari Nurbailis & Martinius, (2012) mendukung hal ini dengan menunjukkan bahwa kolonisasi *Trichoderma* pada akar bibit pisang berperan dalam menekan penyakit layu *Fusarium* sekaligus meningkatkan pertumbuhan tanaman. Semakin tinggi tingkat kolonisasi, semakin terhambat perkembangan penyakit, dengan kolonisasi optimal mencapai 80% yang menghasilkan pertumbuhan tanaman paling baik.



Gambar 3. Masa Inkubasi *Fusarium* pada HT (*T.harzianum* + tepung ketan), HB (*T.harzianum* + tepung beras), HK (*T.harzianum* + kompos), AK (*T.asperellum* + kompos), AB (*T.asperellum* + tepung beras), AT (*T.asperellum* + tepung ketan).

Perlambatan masa inkubasi diduga terjadi karena kolonisasi jamur antagonis *Trichoderma* pada sistem perakaran tanaman cabai, sehingga meningkatkan ketahanan tanaman. Penelitian Sutarman (2017) membuktikan bahwa beberapa spesies *Trichoderma* dapat menunda munculnya gejala penyakit busuk batang pada cabai merah akibat infeksi *Fusarium oxysporum* hingga 12 hari setelah inokulasi.

Intensitas Serangan

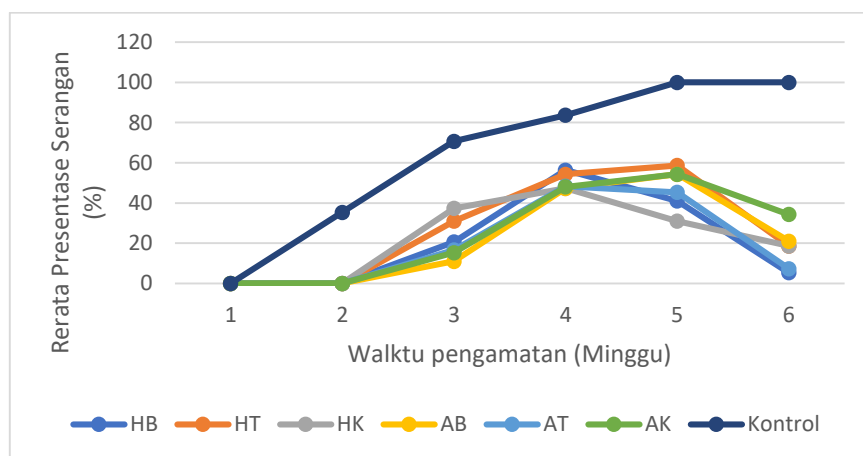
Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis statistik, perlakuan enkapsulasi benih menggunakan bahan pembawa dan agen hayati *Trichoderma* memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan intensitas penyakit layu fusarium pada tanaman cabai rawit jika dibandingkan dengan kontrol. Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa intensitas serangan patogen pada perlakuan enkapsulasi dengan *Trichoderma* secara nyata lebih rendah daripada perlakuan tanpa perlakuan antagonis.

Tabel 3. Persentase Serangan Penyakit Layu Fusarium Berdasarkan Minggu Pengamatan

Perlakuan	Intensitas Serangan Penyakit (%) pada Pengamatan					
	1	2	3	4	5	6
<i>T.harzianum</i> +Tp.Beras	0a	0b	20,67a	56,33a	41bc	5,33a
<i>T.harzianum</i> +Tp.Ketan	0a	0b	31a	54,33a	58,67d	18,67a
<i>T.harzianum</i> +Kompos	0a	0b	37,33a	47,33a	31a	18,67a
<i>T.asperellum</i> +Tp.Beras	0a	0b	11a	47,33a	54,33cd	21a
<i>T.asperellum</i> +Tp.Ketan	0a	0b	16,67a	48,33a	45,33bc	7,33a
<i>T.asperellum</i> +Kompos	0a	0b	15,33a	40,33a	54,33cd	34,33a
Kontrol	0a	35,33a	70,67b	83,67a	100e	100b
DMRT 5%	0	3,01	36,17	37,59	13,52	30,39

Pada pengamatan minggu kedua, perlakuan kontrol menunjukkan gejala serangan layu Fusarium sebesar 35,33%, berbeda nyata dengan perlakuan enkapsulasi *Trichoderma* yang sama sekali belum menunjukkan gejala. Minggu ketiga mencatat peningkatan serangan pada kontrol hingga 70,67%, berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Hasil pengamatan minggu keempat memperlihatkan bahwa semua perlakuan, termasuk kontrol, tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Namun pada minggu kelima, perlakuan *Trichoderma harzianum* + kompos menunjukkan tingkat serangan 31%, berbeda nyata dengan perlakuan lain, sementara kontrol mencapai intensitas serangan maksimal (100%). Pengamatan akhir (minggu keenam) menunjukkan semua perlakuan *Trichoderma* tidak berbeda nyata, kecuali kontrol yang tetap menunjukkan serangan 100%.

anaman pada perlakuan kontrol menunjukkan intensitas serangan layu fusarium yang lebih tinggi dan berkembang lebih cepat dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini diduga karena perlakuan menggunakan bahan aktif *Trichoderma* mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit tersebut. Penelitian Putra et al. (2019) membuktikan bahwa *Trichoderma* dapat menekan perkembangan layu fusarium pada cabai rawit hingga hanya 30% intensitas serangan. Mekanisme kerja *Trichoderma* meliputi kemampuan mengkolonisasi dan berkembang biak pada sistem perakaran berbagai jenis tanaman. Kolonisasi yang efektif ini diduga mampu menginduksi respons ketahanan tanaman cabai rawit terhadap patogen. Temuan serupa dilaporkan Yulia et al. (2017) yang menunjukkan bahwa *Trichoderma* berhasil menekan 100% penyakit JAP pada pembibitan karet melalui mekanisme kolonisasi akar.



Gambar 4. Intensitas Serangan Penyakit Layu Fusarium pada HT (*T.harzianum* + tepung ketan), HB (*T.harzianum* + tepung beras), HK (*T.harzianum* + kompos), AK (*T.asperellum* + kompos), AB (*T.asperellum* + tepung beras), AT (*T.asperellum* + tepung ketan).

Gambar 4 menunjukkan perkembangan intensitas serangan layu *Fusarium* pada seluruh perlakuan penelitian, termasuk kontrol. Terjadi penurunan gejala penyakit yang ditandai dengan berkurangnya jumlah daun layu secara bertahap pada setiap periode pengamatan. Variasi tingkat keparahan gejala ini sangat dipengaruhi oleh efektivitas agens hayati dalam menekan pertumbuhan patogen. Perlakuan kombinasi kompos dan *Trichoderma harzianum* memberikan hasil terbaik dengan intensitas serangan terendah pada minggu kelima pengamatan. Temuan ini didukung oleh penelitian Hardianti et al. (2014) yang menjelaskan bahwa *T. harzianum* mampu beradaptasi dengan baik di lingkungan tanah melalui beberapa mekanisme, antara lain kemampuan memanfaatkan berbagai substrat organik dan menghasilkan antibiotik furanon yang efektif menghambat perkembangan spora dan hifa patogen. Dominasi *T. harzianum* dalam rizosfer ini melindungi sistem perakaran dari infeksi patogen, sehingga tanaman dapat tumbuh secara optimal.

4. KESIMPULAN

Pemilihan bahan pembawa yang berbeda untuk *Trichoderma* terbukti memengaruhi keberhasilan pengendalian penyakit layu *Fusarium* pada cabai rawit. Formulasi tepung ketan dengan *Trichoderma harzianum* mencapai tingkat penekanan penyakit melebihi 50% dalam uji in vitro, sementara kombinasi kompos dengan *T. harzianum* mencatat intensitas serangan di bawah 40% pada uji in vivo. Kedua formulasi ini berpotensi besar sebagai agen hayati pengendali layu *Fusarium* yang efektif. Untuk penyempurnaan produk, perlu dilakukan kajian lebih mendalam mengenai: (1) stabilitas formula selama penyimpanan, (2) rasio optimal bahan pembawa, serta (3) peningkatan kinerja formulasi. Pengembangan ini diharapkan dapat menghasilkan produk biokontrol yang lebih stabil dan efisien dalam menekan perkembangan patogen tular tanah di lapangan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Amaria, W., Taufiq, E., & Harni, R. (2013). Seleksi dan identifikasi jamur antagonis sebagai agens hayati jamur akar putih *Rigidoporus microporus* pada tanaman karet. *Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar*, 4(1), 55–64.
- Arif, A. (2015). Pengaruh Bahan Kimia Terhadap Penggunaan Pestisida Lingkungan. *Alchemy*, 3(4), 134–143.
- Arwiyanto. (1995). Strategi Pengendalian Layu Bakteri Tembakau Cerutu di Sumatera Utara Secara Terpadu. *Ekspose Hasil Penelitian Tembakau Deli IV, Medan*.
- Hardianti, A. R., Yuni, S. R., & Mahanani, T. A. (2014). Efektivitas Waktu Pemberian *Trichoderma harzianum* dalam Mengatasi Serangan Layu *Fusarium* pada Tanaman Tomat Varietas Ratna. *Lentera Bio*, 3(1), 21–25. <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio>
- Lila, K. D. L. S. K., Proborini, M.W., & Wijayanti, F. E. (2023). Potensi *Trichoderma asperellum* TKD dalam Menghambat *Phytophthora* spp. pada Benih Kakao Selama Masa Penyimpanan. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 8, 40–50. <https://doi.org/10.24002/biota.v8i1.6076>
- Mahartha, K. A., Khalimi, K., & Wirya, G. N. A. S. (2013). Uji efektivitas rizobakteri sebagai agen antagonis terhadap *fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* penyebab penyakit layu *fusarium* pada tanaman cabai rawit (*capsicum frutescens* L.). *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika (Journal of Tropical Agroecotechnology)*, 2(3), 145–154.
- Amaria, W., Taufiq, E., & Harni, R. (2013). Seleksi dan identifikasi jamur antagonis sebagai agens hayati jamur akar putih *Rigidoporus microporus* pada tanaman karet. *Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar*, 4(1), 55–64.
- Arif, A. (2015). Pengaruh Bahan Kimia Terhadap Penggunaan Pestisida Lingkungan. *Alchemy*, 3(4), 134–143.

- Arwiyanto. (1995). Strategi Pengendalian Layu Bakteri Tembakau Cerutu di Sumatera Utara Secara Terpadu. *Ekspose Hasil Penelitian Tembakau Deli IV, Medan*.
- Hardianti, A. R., Yuni, S. R., & Mahanani, T. A. (2014). Efektivitas Waktu Pemberian Trichoderma harzianum dalam Mengatasi Serangan Layu Fusarium pada Tanaman Tomat Varietas Ratna. *Lentera Bio*, 3(1), 21–25. <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio>
- Lila, K. D. L. S. K., Proborini, M.W., & Wijayanti, F. E. (2023). Potensi Trichoderma asperellum TKD dalam Menghambat Phytophthora spp. pada Benih Kakao Selama Masa Penyimpanan. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 8, 40–50. <https://doi.org/10.24002/biota.v8i1.6076>
- Mahartha, K. A., Khalimi, K., & Wirya, G. N. A. S. (2013). Uji efektivitas rizobakteri sebagai agen antagonis terhadap fusarium oxysporum f.sp. capsici penyebab penyakit layu fusarium pada tanaman cabai rawit (capsicum frutescens l.). *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika (Journal of Tropical Agroecotechnology)*, 2(3), 145–154.
- Marieska, S. H., Wiyatiningsih, S., & Nirwanto, H. (2022). Viabilitas Trichoderma sp . pada Enkapsulasi Benih Selada dalam Beberapa Masa Penyimpanan Viability of Trichoderma sp . on Lettuce Seed Encapsulation in Various Shelf Life. *Agrohita Jurnal Agroteknonologi*, 7(3), 555–559.
- Muhibuddin, A., Salsabila, S., & Sektiono, A. W. (2021). Kemampuan antagonis Tricoderma harzianum terhadap beberapa jamur patogen penyakit tanaman. *Agrosaintifika*, 4(1), 225–233. <https://doi.org/10.32764/agrosaintifika.v4i1.2371>
- N, Rulinggar, P., Mujoko, T., & Radiyanto, I. (2017). Formulasi Streptomyces sp. dan Trichoderma sp. Berbahan Dasar Media Beras Jagung, Bekatul dan Kompos. *Berkala Ilmiah Agroteknologi Plumula*, 5(1), 30–40. <http://ejournal.upnjatim.ac.id/index.php/plumula/article/view/775>
- Nurbailis, N., & Martinius, M. (2012). Pengaruh Kolonisasi Trichoderma spp. pada Akar Bibit Pisang terhadap Perkembangan Penyakit Layu Fusarium (Fusarium oxysporum f. sp. cubense). *Jurnal Natur Indonesia*, 13(3), 220-225. <https://doi.org/10.31258/jnat.13.3.220-225>
- Putra, I. M. T. M., Phaabiola, T. A., & Suniti, N. W. (2019). Pengendalian Penyakit Layu Fusarium oxysporum f.sp. capsici pada Tanaman Cabai Rawit Capsicum frutescens di Rumah Kaca dengan Trichoderma sp yang Ditambahkan pada Kompos. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 8(1), 103–117.
- Suanda, I. W. (2019). Karakterisasi morfologis Trichoderma sp. isolat JB dan daya hambatnya terhadap jamur Fusarium sp. penyebab penyakit layu fusarium dan jamur akar putih dari berbagai tanaman. *Jurnal Widya Biologi*, 10 (02), 99–112. <https://doi.org/10.32795/widyabiologi.v10i02.407>
- Sutarman. (2017). Potensi Trichoderma harzianum sebagai pengendali Fusarium oxysporum penyebab busuk pangkal batang tanaman cabai merah (Capsicum annum L.). *Agritech*, XIX (2): 144-155.
- Urulil, C., Kalay, A. M., Kaya, E., & Siregar, A. (2018). Pemanfaatan Kompos Ela Sagu, Sekam Dan Dedak Sebagai Media Perbanyak Agens Hayati Trichoderma harzianum Rifai. *Agrologia*, 1(1). <https://doi.org/10.30598/a.v1i1.295>
- Wijaya, I., Oktarina, & Virdanuriza, M. (2011). Pembiakan massal jamur Trichoderma sp. pada beberapa media tumbuh sebagai agen hayati pengendalian penyakit tanaman. *Agritrop Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 87–92.
- Yulia, E. Y., Istifadah, N., Widiyanti, F., & Utami, H. S. (2017). Antagonisme Trichoderma spp. terhadap Jamur Rigidoporus lignosus (Klotzsch) Imazeki dan Penekanan Penyakit Jamur Akar Putih pada Tanaman Karet. *Agrikultura*, 28(1), 47–55. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v28i1.13226>