

PENGARUH PEMBERIAN *Trichoderma asperellum* TZ11D11 TERHADAP PENYAKIT LAYU FUSARIUM (*Fusarium sp.*) DAN PRODUKSI TANAMAN BAWANG MERAH (*Allium ascalonicum* L.)

The Effect of Application of Trichoderma asperellum TZ11D11 on Fusarium Wilt Disease (Fusarium sp.) and Production of Shallots (Allium ascalonicum L.)

Nurdila Talib, Rida Iswati*, Siska Irhamnawati Pulogu

Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo

Jl. Prof. Dr. Ing. BJ Habibie, Kabupaten Bone Bolango 96554

E-mail: * rida_iswati@ung.ac.id

ABSTRACT

This study aims to determine the administration of *Trichoderma asperellum* TZ11D11 against Fusarium wilt disease in shallot plants. This study was conducted at the Laboratory of the Agricultural Plant Protection Agency of Gorontalo Province and agricultural land in Hulawa Village, Telaga District, Gorontalo Regency, from February to May 2025. This study used a Completely Randomized Design (CRD) with negative control treatments (T0), Positive control of chemical pesticide application (T1), application of *Trichoderma Asperellum* TZ11D11 5 grams (T2), application of *Trichoderma Asperellum* TZ11D11 10 grams (T3), and application of *Trichoderma Asperellum* TZ11D11 15 grams (T4) each repeated 8 times, so that 40 experimental units were obtained. The variables observed were the incubation period, disease incidence, attack intensity, number of bulbs, and bulb weight. Data analysis used ANOVA and a further LSD test at a significance level of 5%. The results showed that *T. asperellum* TZ11D11 treatment was effective in extending the incubation period, reducing disease incidence, and reducing the intensity of Fusarium wilt disease attacks on shallot plants. A higher dose of *T. asperellum* TZ11D11 15 grams significantly reduced the attack rate and produced an average bulb weight of 56.46 g, and the number of bulbs was 18.25 per clump.

Keywords: *Trichoderma asperellum* TZ11D11; Dosage; Fusarium wilt; Shallot

PENDAHULUAN

Bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura penting di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam berbagai masakan. Namun, produktivitas bawang merah sering mengalami penurunan akibat serangan penyakit tanaman, salah satunya adalah penyakit layu Fusarium yang disebabkan oleh patogen *Fusarium* sp.

Fusarium sp. termasuk patogen tular tanah yang mampu bertahan lama di dalam tanah melalui pembentukan klamidospora, bahkan tanpa adanya tanaman inang (Udiarto et al., 2005). Serangan penyakit ini dapat menyebabkan kerugian hasil yang cukup besar. Penelitian Prakoso et al. (2016)

melaporkan bahwa kehilangan hasil akibat penyakit layu Fusarium pada tanaman bawang merah dapat melebihi 50%.

Serangan penyakit layu fusarium pada tanaman bawang merah ditandai dengan pertumbuhan batang semu dan daun yang tidak normal, seperti daun yang melintir ke kiri atau ke kanan disertai perubahan warna daun menjadi pucat. Gejala tersebut terjadi karena patogen *F. oxysporum* menginfeksi dan mengkolonisasi sistem perakaran sehingga menghambat proses penyerapan air dan unsur hara oleh tanaman (Nuryani et al., 2020). Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan hingga kegagalan produksi pada budidaya bawang merah.

Salah satu pendekatan pengendalian penyakit yang semakin banyak dikembangkan adalah pengendalian hayati dengan memanfaatkan agen hayati. Salah satu

mikroorganisme yang berpotensi sebagai agen pengendali hayati adalah *Trichoderma* sp. Jamur ini merupakan kelompok jamur tanah saprofit yang diketahui memiliki berbagai fungsi penting, antara lain sebagai pengendali patogen tanaman, pemacu pertumbuhan tanaman, serta sebagai agen dekomposer dalam tanah (Woo *et al.*, 2023). Selain itu, *Trichoderma* sp. juga berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara melalui proses biodekomposisi bahan organik sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Hadi *et al.*, 2023).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih menggunakan isolat *Trichoderma* komersial atau isolat nonlokal yang belum tentu memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap kondisi lingkungan setempat. Selain itu, sebagian penelitian masih terbatas pada uji laboratorium (*in vitro*) dan belum banyak yang menguji efektivitasnya secara langsung pada tanaman (*in planta*), khususnya pada tanaman bawang merah.

Salah satu isolat lokal yang berpotensi dikembangkan sebagai agen hayati adalah *Trichoderma asperellum* TZ11DI1 yang berasal dari Gorontalo. Isolat lokal umumnya memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap kondisi agroekosistem setempat, seperti karakteristik tanah, suhu, kelembapan, serta interaksi dengan mikroflora lokal. Iswati *et al.*, (2024) melaporkan bahwa isolat *Trichoderma* indigenus asal Gorontalo mampu menghambat pertumbuhan *Rhizoctonia* sp., menekan penyakit hawar pelepah, serta meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung melalui peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, serta perkembangan sistem perakaran. Selain

itu, isolat tersebut juga diketahui mampu menginduksi ketahanan tanaman terhadap serangan patogen.

Meskipun potensi isolat lokal *Trichoderma asperellum* TZ11DI1 telah teridentifikasi, penelitian mengenai aplikasinya pada tanaman bawang merah masih sangat terbatas. Hingga saat ini belum banyak laporan ilmiah yang secara khusus mengevaluasi efektivitas isolat tersebut dalam mengendalikan penyakit layu fusarium pada bawang merah. Padahal, bawang merah merupakan komoditas hortikultura penting yang rentan terhadap serangan patogen tular tanah seperti *Fusarium oxysporum*.

Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas isolat lokal *Trichoderma asperellum* TZ11DI1 sebagai agen pengendali hayati sekaligus pemacu pertumbuhan tanaman bawang merah dengan memanfaatkan isolat lokal yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan setempat. Diharapkan teknologi pengendalian hayati ini dapat menjadi alternatif yang lebih efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan dalam mendukung peningkatan produksi bawang merah di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari–Mei 2025 di lahan pertanian Desa Hulawa, Kecamatan Telaga, Kabupaten Gorontalo dan Laboratorium Balai Perlindungan Tanaman Pertanian Provinsi Gorontalo.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan kontrol negatif (T0), kontrol positif aplikasi pestisida kimia (T1), aplikasi *Trichoderma asperellum* TZ11DI1 5 gram (T3), aplikasi *Trichoderma asperellum* TZ11DI1 10 gram (T2), dan aplikasi *Trichoderma asperellum* TZ11DI1 15 gram (T3) masing-masing diulang 8 kali, sehingga didapat 40 unit percobaan.

Parameter pengamatan terdiri dari masa inkubasi, kejadian penyakit, intensitas serangan, jumlah umbi dan berat umbi per rumpun. Data dianalisis dengan Analysis of Variance (ANOVA) dan jika berbeda nyata maka dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Masa Inkubasi

Tabel 1. Rata-Rata Masa Inkubasi Layu *Fusarium* Pada Tanaman Bawang Merah

Perlakuan	Hari Setelah Inokulasi (HSI)
Kontrol (-)	12.25a
Kontrol (+)	23.63bc
<i>T. asperellum</i> 5 gram	20.13b
<i>T. asperellum</i> 10 gram	21.88bc
<i>T. asperellum</i> 15 gram	27.13c
BNT 5%	6.12

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji BNT 5%

Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan kontrol (-) menunjukkan masa inkubasi tercepat, yaitu 12.25 hari, membuktikan seberapa cepat patogen bisa menyebabkan gejala tanpa adanya perlindungan, sedangkan perlakuan *T. asperellum* 15 gram memberikan masa inkubasi terpanjang, yaitu 27.13 hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan dosis *T. asperellum* berhubungan positif dengan penundaan infeksi.

Pemberian *T. asperellum* mampu menunda gejala infeksi layu *Fusarium* melalui aksi mikoparasitisme, di mana *T. asperellum* menyerang dan menghancurkan miselium patogen. Proses ini menghambat perkembangan awal patogen, memperpanjang periode inkubasi (Jamil 2021). Sharma (2021) menyebutkan bahwa *Trichoderma* sp. bersaing langsung dengan patogen *Fusarium* untuk mendapatkan nutrisi dan ruang, yang pada akhirnya mengurangi potensi patogen untuk berkembang biak

Masa inkubasi penyakit merupakan indikator virulensi patogen dan kecepatan respons pertahanan tanaman. Data masa inkubasi menunjukkan lama waktu dari inokulasi patogen *Fusarium* sp. hingga muncul pertama kali pada tanaman bawang merah. Berikut adalah hasil pengamatan waktu inkubasi dengan berbagai perlakuan (Tabel 1).

secara cepat, sehingga menunda masa inkubasi gejala layu. *Trichoderma* sp. mampu memicu respons pertahanan sistemik pada tanaman, menginduksi produksi enzim yang berkaitan dengan ketahanan dan senyawa anti-jamur, yang memperlambat perkembangan patogen dan memperpanjang masa inkubasi (Díaz-Gutiérrez et al., 2021).

Trichoderma sp. menghasilkan senyawa organik volatil yang secara langsung dapat menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp, sehingga berperan dalam penundaan masa inkubasi penyakit (Asad 2022). Pemberian *T. asperellum* dalam dosis yang lebih tinggi cenderung lebih efektif dalam memperlama masa inkubasi, yang dapat memberikan waktu bagi tanaman untuk berkembang lebih kuat sebelum infeksi menjadi parah.

Kejadian Penyakit

Pengamatan kejadian penyakit dilakukan terhadap tanaman yang menunjukkan gejala layu *Fusarium* sp. dengan interval waktu 1 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat

perbedaan pengaruh perlakuan terhadap kejadian penyakit (Tabel 2).

Perlakuan kontrol (-) menunjukkan tingkat kejadian penyakit tertinggi pada 6 dan 7 MST, menandakan tingginya intensitas serangan pada tanaman tanpa perlakuan pemberian *T. asperellum*. Sedangkan kontrol (+) menunjukkan kemampuan dalam mengendalikan penyakit, dengan kejadian penyakit yang lebih rendah sepanjang waktu pengamatan.

Berdasarkan data hasil analisis, penggunaan dosis yang lebih tinggi (15 gram) dari *T. asperellum* menunjukkan efektivitas yang lebih baik dibandingkan dengan dosis yang lebih rendah (5 dan 10 gram). Peningkatan dosis *T. asperellum* dari 5 gram ke 15 gram menunjukkan penurunan tingkat kejadian penyakit yang signifikan. Semakin tinggi dosis, semakin banyak inokulum agen hayati yang semakin mampu bersaing dengan patogen, yang berarti semakin tinggi perlindungan terhadap tanaman sehingga kejadian penyakit menjadi rendah. Hal ini konsisten dengan studi yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi agen hayati dapat meningkatkan aktivitas antagonis terhadap patogen (Nu'man 2023).

Penggunaan *T. asperellum* meningkatkan aktivitas enzim pertahanan di dalam tanaman, seperti peroksidase dan fenilalanin amonia-lyase, yang berkontribusi pada peningkatan resistensi terhadap patogen (Hasnas *et al.*, 2025). Penggunaan *Trichoderma* sp. tidak hanya berfungsi sebagai agen pengendali patologis, tetapi juga memicu mekanisme pertahanan alami tanaman, membuka jalur jasmonik dan etilen yang menguatkan perlindungan tanaman terhadap serangan lebih lanjut (Dutta *et al.*, 2024).

T. asperellum berkompetisi untuk ruang dan nutrisi dengan *Fusarium* sp. serta memproduksi senyawa antimikroba yang menghambat pertumbuhan patogen. Rivera-Méndez *et al.*, (2020) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa aplikasi *T. asperellum* T25 mampu mereduksi indeks penyakit lebih dari 60% dibandingkan dengan kontrol yang tidak diaplikasikan, menunjukkan efektivitas tinggi sebagai agen hayati pada kondisi tropis dengan tekanan penyakit tinggi. Pemberian *Trichoderma* sp. di tanah yang terinfeksi mampu mengurangi kejadian penyakit dan meningkatkan kesehatan tanaman akibat keseimbangan mikroba tanah yang lebih baik (Pedrero-Méndez *et al.*, 2025).

Tabel 2. Rata-rata Kejadian Penyakit Layu *Fusarium* pada Tanaman Bawang Merah

Perlakuan	Kejadian Penyakit (%)				
	3 MST	4 MST	5 MST	6 MST	7 MST
Kontrol (-)	14.80	25.54	68.51b	90.00b	90.00b
Kontrol (+)	4.06	14.80	14.80a	47.03a	47.03a
<i>T. asperellum</i> 5 gram	14.80	25.54	47.03ab	79.26b	79.26b
<i>T. asperellum</i> 10 gram	4.06	14.80	36.28ab	47.03b	57.77ab
<i>T. asperellum</i> 15 gram	4.06	4.06	14.80a	36.28a	25.16a
BNT 5%	tn	tn	39.36	38.31	37.95

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji BNT 5%

Intensitas Serangan

Pengamatan intensitas serangan penyakit layu *Fusarium* yang disebabkan

oleh patogen *Fusarium* sp. disajikan pada Tabel 3. Data intensitas serangan dikumpulkan dengan interval waktu satu

minggu pada minggu ke-4 MST hingga ke-7 MST.

Analisis data (Tabel 3) menunjukkan bahwa pada minggu ke-6 dan ke-7 setelah tanam (MST), terdapat penurunan dalam intensitas serangan pada perlakuan pemberian *T. asperellum* dibandingkan dengan kontrol negatif, khususnya 15 gram yang menunjukkan hasil terendah dengan persentase serangan masing-masing sebesar 12.90% pada 6 MST dan 19.16% pada 7 MST. Hasil ini sejalan dengan temuan sebelumnya oleh Rahmawati (2023), yang juga melaporkan efektivitas *Trichoderma sp.* dalam penekanan patogen tanah serupa.

Chohan *et al.* (2024) dalam penelitiannya menerangkan bahwa *T. asperellum* merupakan agen biokontrol yang efektif untuk menekan intensitas penyakit layu *Fusarium*. *Trichoderma spp.* dapat secara signifikan mengurangi pertumbuhan miselium *F. oxysporum*. Lebih lanjut, Sudantha dan Suwardji (2021) mengungkapkan dalam penelitiannya bahwa penggunaan biofungisida *Trichoderma sp.* dapat mengendalikan penyakit layu *Fusarium*. Pada bawang merah dan menunjukkan efektivitasnya dalam mengurangi intensitas penyakit, *Trichoderma sp.* menghambat pertumbuhan spora dan hifa patogen dengan cara menembus ke dalam sel jamur patogen.

Tabel 3. Rata-rata Intensitas Serangan Layu *Fusarium* pada Tanaman Bawang Merah

Perlakuan	Intensitas Serangan (%)				
	3 MST	4 MST	5 MST	6 MST	7 MST
Kontrol (-)	8.98	10.11	25.18b	43.60b	62.85b
Kontrol (+)	6.06	6.06	7.82a	17.18a	24.51a
<i>T. asperellum</i> 5 gram	8.92	9.37	17.14ab	32.50b	45.23b
<i>T. asperellum</i> 10 gram	6.06	6.47	12.51a	21.14a	29.30a
<i>T. asperellum</i> 15 gram	4.06	4.06	7.70a	12.90a	19.16a
BNT 5%	tn	tn	12.66	16.36	22.38

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji BNT 5%

Hasna *et al.*, (2025) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa *T. asperellum* secara signifikan mengurangi tingkat keparahan penyakit, menunjukkan potensinya sebagai agen biokontrol. *Trichoderma sp.* dapat berperan sebagai agen biokontrol dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen tanah (Amin *et al.*, 2024). *Trichoderma sp.* bekerja melalui kompetisi ruang dengan jamur patogen penyebab penyakit, termasuk memproduksi enzim antifungal (Kubicek *et al.*, 2019).

Trichoderma sp. memicu *induced systemic resistance* (ISR) dengan aktivasi jalur jasmonat/etilen, peningkatan enzim pertahanan (PAL, peroksidase), serta

akumulasi fenolat yang memperpanjang masa inkubasi dan menurunkan keparahan pada pengamatan berikutnya (Díaz-Gutiérrez *et al.*, 2021; Dutta *et al.*, 2024; Hasna *et al.*, 2025). Sejalan dengan itu, dosis yang lebih tinggi dalam perlakuan menghasilkan kemiringan lebih landai dan intensitas akhir lebih rendah, menegaskan adanya respons dosis biokontrol (Nu'man, 2023).

Secara praktis, hasil ini mengindikasikan bahwa aplikasi *Trichoderma sp.* sejak awal (pratanam/awal MST) penting untuk menggeser awal infeksi (inkubasi lebih lama) dan mengflatten laju peningkatan serangan sepanjang musim. Kombinasi dosis dan waktu aplikasi yang tepat akan memaksimalkan dua efek sekaligus, yaitu

penekanan patogen dan priming ketahanan tanaman, yang pada akhirnya berkorelasi dengan peningkatan komponen hasil (jumlah dan berat umbi) (Dutta et al., 2024; Yağmur et al., 2024).

Jumlah Umbi

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *T. asperellum* berdampak terhadap komponen hasil, khususnya jumlah umbi pada tanaman bawang merah. Berdasarkan data hasil analisis, rerata jumlah umbi antarperlakuan menunjukkan adanya perbedaan.

Perlakuan *T. asperellum* 15 gram menghasilkan rerata jumlah buah tertinggi 19.38 yang berbeda nyata dari *T. asperellum* 10 gram 12.75, *T. asperellum* 5 gram 10.13, Kontrol (+) 10, dan Kontrol (-) 7.13. Pemberian *T. asperellum* meningkatkan jumlah buah secara konsisten dibandingkan dengan kontrol, dengan efek terbesar pada perlakuan *T. asperellum* 15 gram. Satu-satunya perlakuan yang tidak berbeda adalah Kontrol (+) dengan perlakuan *T. asperellum* 5 gram, yang mengindikasikan bahwa efek nyata mulai jelas pada perlakuan *T. asperellum* 10 gram dan sangat kuat pada perlakuan *T. asperellum* 15 gram. (Tabel 4.).

Tabel 4. Rata-rata jumlah umbi pada tanaman bawang merah dengan perlakuan *Trichoderma* sp.

Perlakuan	Jumlah umbi
Kontrol (-)	7.13a
Kontrol (+)	10b
<i>T. asperellum</i> 5 gram	10.13b
<i>T. asperellum</i> 10 gram	12.75c
<i>T. asperellum</i> 15 gram	19.38d
BNT 5%	0.86

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji BNT 5%

Trichoderma spp., termasuk *T. asperellum*, menekan *F. oxysporum* melalui kombinasi kompetisi, mikoparasitisme, antibiosis, dan induksi ketahanan sistemik (ISR). Penekanan perkembangan penyakit di fase vegetatif-reproduktif mengurangi gugur bunga/bakal buah dan meningkatkan keberhasilan pembentukan buah, sehingga jumlah buah meningkat. Awal et al. (2024) menegaskan bahwa empat mekanisme ini merupakan pilar biokontrol *Trichoderma* sp. sekaligus mencatat kontribusi langsung terhadap peningkatan komponen hasil.

T. asperellum memicu respons perlindungan awal yang membuat tanaman merespons patogen lebih cepat sehingga tersedia lebih banyak asimilat untuk pertumbuhan generatif. Sehim et

al., (2023) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa *T. asperellum* memperkuat pertumbuhan dan menekan *F. oxysporum* pada tomat melalui priming; meskipun komoditas berbeda, mekanisme ini relevan pada bawang merah karena kesamaan pola infeksi *Fusarium* sp.

Beragam penelitian terbaru melaporkan bahwa *Trichoderma* sp. meningkatkan perkembangan akar, ketersediaan fosfor dan nitrogen, serta efisiensi penggunaan hara. Kondisi nutrisi dan perakaran yang lebih baik menguntungkan pembentukan organ generatif, sehingga jumlah buah meningkat (Contreras-Cornejo et al., 2024).

Berat Umbi

Berdasarkan data hasil penelitian yang disajikan pada Tabel 5, perlakuan *T.*

asperellum dapat meningkatkan berat umbi pada tanaman bawang merah.

Perlakuan *T. asperellum* 15 gram memberikan rerata berat umbi tertinggi yaitu 37.71 gram dan berbeda nyata dari seluruh perlakuan; sebaliknya, Kontrol (-) memberikan rerata berat buah terendah yaitu 16.63 gram. Secara praktis,

dibandingkan dengan Kontrol (+), peningkatan rata-rata berat buah adalah sekitar 36,1 pada *T. asperellum* 5 gram, 43,9 % pada 10 gram, dan 106 % pada 15 gram. Sedangkan dibandingkan Kontrol (-), kenaikan pada Kontrol (+) mencapai 49.2 % pada *T. asperellum* 5 gram, 57.8 % pada 10 gram, dan 126.7% pada 15 gram.

Tabel 5. Rata-rata Berat Umbi pada Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma* sp.

Perlakuan	Berat umbi
Kontrol (-)	16.63a
Kontrol (+)	18.23b
<i>T. asperellum</i> 5 gram	24.80c
<i>T. asperellum</i> 10 gram	26.23d
<i>T. asperellum</i> 15 gram	37.71e
BNT 5%	0.59

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji BNT 5%

Yağmur et al. (2024) mengombinasikan jamur mikoriza arbuskula dan *T. harzianum* pada tanaman bawang merah, yang menunjukkan penurunan keparahan penyakit disertai perbaikan parameter pertumbuhan dan hasil, mengisyaratkan bahwa pendekatan hayati meningkatkan kinerja agronomi bawang merah. Penelitian Parawansa (2025) juga melaporkan bahwa *Trichoderma* sp. efektif menekan penyakit tular tanah dan meningkatkan komponen hasil, termasuk berat umbi per rumpun, khususnya bila dikombinasikan dengan pengelolaan bahan organik dan kesehatan tanah.

Peningkatan penyerapan hara dan kolonisasi *Trichoderma* sp. di rizosfer sering meningkatkan panjang dan percabangan akar, memperbaiki ketersediaan P melalui pelarutan fosfat, dan meningkatkan efisiensi penggunaan N. Akar yang lebih sehat mempercepat akumulasi biomassa pada tanaman. Penelitian Dutta et al. (2024) pada bawang menampilkan bahwa beberapa strain *Trichoderma* sp. mampu memodulasi pertumbuhan dan hasil

bawang di lahan lapang, memperkuat relevansi temuan ini untuk bawang merah.

KESIMPULAN

Perlakuan *T. asperellum* TZ11DI1 efektif dalam memperpanjang masa inkubasi, menekan kejadian penyakit serta mengurangi intensitas serangan penyakit layu *Fusarium* pada tanaman bawang merah. Dosis yang lebih tinggi dari *T. asperellum* TZ11DI1 secara signifikan menurunkan tingkat serangan dibandingkan dengan kontrol negatif. Aplikasi *T. asperellum* TZ11DI1 berkontribusi pada peningkatan hasil produksi, dengan rata-rata berat umbi tertinggi 37,71 gram dan jumlah umbi 19,38.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan moral dan teknis sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Penghargaan khusus ditujukan kepada dosen pembimbing, laboratorium, serta lembaga terkait yang telah

menyediakan bimbingan dan fasilitas selama proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asad, S. A. (2022). *Trichoderma: A biocontrol agent against soil-borne plant pathogens.* Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-93882-4>
- Awal, A., Rahman, M., & Hossain, M. (2024). Biological control of soil-borne diseases by *Trichoderma* spp.: Recent advances and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1392847. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1392847>
- Awal, M. A., Nur S. A., Dedat P., Reza F. D., Ratu S., Yusmin Y., Nurul S., and Febri D. (2024). Mechanisms of Action and Biocontrol Potential of *Trichoderma* against *Fusarium* in Horticultural Crops. *Cogent Food and Agriculture* 10(1). doi:10.1080/23311932.2024.2394685.
- Chohan, Safeer A., Muhammad Akbar, and Umer Iqbal. (2024) “Trichoderma Based Formulations Control the Wilt Disease of Chickpea (*Cicer Arietinum* L.) Caused by *Fusarium Oxysporum* f. Sp. *Ciceris*, Better When Inoculated as Consortia: Findings from Pot Experiments under Field Conditions.” *PeerJ* 12(8). doi:10.7717/peerj.17835.
- Contreras-Cornejo, Hexon Angel, Monika Schmoll, Blanca Alicia Esquivel-Ayala, Carlos E. González-Esquivel, Victor Rocha-Ramírez, and John Larsen. (2024) “Mechanisms for Plant Growth Promotion Activated by *Trichoderma* in Natural and Managed Terrestrial Ecosystems.” *Microbiological Research* 281(August 2023). doi:10.1016/j.micres.2024.127621.
- Díaz-Gutiérrez, Carol, Catalina Arroyave, Mercè Llugany, Charlotte Poschenrieder, Soledad Martos, and Carlos Peláez. (2021) “Trichoderma *Asperellum* as a Preventive and Curative Agent to Control *Fusarium* Wilt in *Stevia Rebaudiana*.” *Biological Control* 155: 104537. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104537>
- Dutta, Ram, Satish Kumar, K. Jayalakshmi, A. Radhakrishna, Kiran Bhagat, D. C. Manjunatha Gowda, V. Karuppaiah, et al. (2024). “Potential of *Trichoderma* Strains to Positively Modulate Plant Growth Processes and Bulb Yield in Rabi Onion.” *Frontiers in Sustainable Food Systems* 8(September): 1–13. doi:10.3389/fsufs.2024.1427303
- Hasna, Mahbuba Kaniz, Nipa Rani Paul, Mohammad Mahbubul Haque, Md. Shahidul Haque Bir, Md. Arshad Ali, and Khim Phin Chong. 2025. “Biocontrol Efficacy of *Trichoderma Asperellum* against *Fusarium* Wilt in Tomato Plants by Induction of the Host Defense Genes.” *Discover Plants* 2(1). doi:10.1007/s44372-025-00224-1.
- Iswati, R., Aini, L. Q., Soemarno, & Abadi, A. L. (2024). Exploration and characterization of indigenous *Trichoderma* spp. as antagonist of *Rhizoctonia solani* and plant growth promoter of maize. *Biodiversitas*, 25(4), 1375–1385. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250405>
- Jamil, Arshi. (2021) “Antifungal and Plant Growth Promoting Activity of *Trichoderma* Spp. Against *Fusarium Oxysporum* f. Sp. *Lycopersici* Colonizing Tomato.” *Journal of Plant Protection Research* 61(3): 243–53. doi:10.24425/jppr.2021.137950.
- Kubicek, Christian P., Andrei S. Steindorff, Komal Chenthamara, Gelsomina Manganiello, Bernard Henrissat, Jian Zhang, Feng Cai, et al. (2019) “Evolution and Comparative Genomics

- of the Most Common *Trichoderma* Species.” *BMC Genomics* 20(1): 1–24. doi:10.1186/s12864-019-5680-7.
- Nu'man, Muhammad. (2023) “Efektivitas Penggunaan Cendawan Antagonis *Trichoderma Harzianum* Untuk Pengendalian Penyakit Layu Pada Tanaman Bawang Merah.” *Aleph* 87(1,2): 149–200.
- Pedrero-Méndez, Alberto, Marco Cesarini, David Mendoza-Salido, Arianna Petrucci, Sabrina Sarrocco, Enrique Monte, and Rosa Hermosa. (2025) “*Trichoderma* Strain-Dependent Direct and Indirect Biocontrol of *Fusarium* Head Blight Caused by *Fusarium Graminearum* in Wheat.” *Microbiological Research* 296(March). doi:10.1016/j.micres.2025.128153.
- Prakoso Ega Bramantya, S. W. dan H. N. (2016). Uji Identifikasi hama dan penyakit pada tanaman bawang Ketahanan Berbagai Kultivar Bawang Merah (*Allium Ascalonicum*) terhadap Infeksi Penyakit Moler (*Fusarium oxysporum* f. sp. cepae) Endurance Test on Different Cultivars Shallots (*Allium ascalonicum*) Against Infectious. *Plumula*, 5(1).
- Rahmawati I. (2023) “Efektivitas Penggunaan Cendawan Antagonis *Trichoderma Harzianum* Untuk Pengendalian Penyakit Layu Pada Tanaman Bawang Merah.” *J Compr Sci* 2(5): 1133–1144. doi:https://doi.org/10.59188/jcs.v2i5.329.
- Rivera-Méndez, William, Miguel Obregón, María E. Morán-Diez, Rosa Hermosa, and Enrique Monte. 2020. “*Trichoderma Asperellum* Biocontrol Activity and Induction of Systemic Defenses against *Sclerotium Cepivorum* in Onion Plants under Tropical Climate Conditions.” *Biological Control* 141(November 2019): 104145. doi:10.1016/j.biocontrol.2019.104145.
- 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).
- Win T, Przemyslaw Malec BB, Khan S, Fu P. (2021) Newly isolated strain of *Trichoderma asperellum* from disease-suppressive soil is a potential biocontrol agent to suppress *Fusarium* soil-borne fungal phytopathogens. *Journal of Plant Pathology*. 103: 549–561. <https://doi.org/10.1007/s42161-021-00780-x>
- Wiyatiningsih, S. (2007) Kajian Epidemi Penyakit Moler pada Bawang Merah. <http://pasca.ugm.ac.id/id/promotion.view.php?dc.id=6>. (Diakses pada 27 September 2020)
- Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., Monte, E. (2023). *Trichoderma*: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *International Journal of Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 312 -326.
- Yağmur, Abdulaziz, Semra Demir, Sirel Canpolat, Younes Rezaee Danesh, Beatrice Farda, Rihab Djebaili, Loretta Pace, and Marika Pellegrini. (2024) “Onion *Fusarium* Basal Rot Disease Control by Arbuscular Mycorrhizal Fungi and *Trichoderma Harzianum*.” *Plants* 13(3). doi:10.3390/plants13030386.