



Antagonisme *Trichoderma* sp. terhadap *Colletotrichum capsici*: Uji In Vitro sebagai Strategi Pengendalian Hayati Penyakit Antraknosa pada Cabai Rawit

Triska Wahyuni Dawit¹, Ani M. Hasan², Jusna Ahmad³, Yuliana Retnowati⁴, Febriyanti⁵

¹⁻⁵ Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

email: triskadawit30@gmail.com

Article Info :

Received:

29-10-2025

Revised:

30-11-2025

Accepted:

28-12-2025

Abstract

Anthracnose disease is a plant disease caused by the fungus Colletotrichum capsici, the disease is one of the problems in the cultivation of cayenne pepper (Capsicum frutescens). This study aims to test the antagonistic ability of Trichoderma sp. against the fungus Colletotrichum capsici and observe the morphological changes in Colletotrichum capsici colonies exposed to Trichoderma sp in vitro on cayenne pepper plants Capsicum frutescens. The test method was carried out using the dual culture method to determine the percentage of inhibition by studying the interaction between Trichoderma sp. and Colletotrichum capsici colonies on Potato Dextrose Agar culture media. The results showed that Trichoderma sp. fungi can compete for space and resources against Colletotrichum capsici fungi macroscopically by controlling space and resources, and microscopically by producing antibiotics (antimicrobials) that can inhibit the growth of Colletotrichum capsici. The urgency of this research is the need for safe and environmentally friendly disease control efforts. One method that has been widely developed is by utilizing biological agents, such as Trichoderma sp. which is able to inhibit the growth of the pathogen Colletotrichum capsici.

Keywords: *In Vitro, Cayenne Pepper, Colletotrichum Capsici, Trichoderma sp., Capsicum frutescens.*

Abstrak

Penyakit antraknosa merupakan penyakit tanaman yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum capsici*, penyakit tersebut merupakan salah satu masalah dalam budidaya tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens*). Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan antagonistik *Trichoderma* sp terhadap jamur *Colletotrichum capsici* dan mengamati perubahan morfologi koloni *Colletotrichum capsici* yang terpapar *Trichoderma* sp secara *In vitro* pada tanaman cabai rawit *Capsicum frutescens*. Metode uji dilakukan menggunakan metode dual culture untuk mengetahui persentase penghambatan dengan mempelajari interaksi antara koloni *Trichoderma* sp. dan *Colletotrichum capsici* pada media kultur Potato Dextrose Agar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jamur *Trichoderma* sp dapat melakukan kompetisi ruang dan sumber daya terhadap jamur *Colletotrichum capsici* secara makroskopis dengan mengendalikan ruang dan sumber daya, dan secara mikroskopis dengan menghasilkan antibiotik (antimikroba) yang dapat menghambat pertumbuhan *Colletotrichum capsici*. Urgensi penelitian ini adalah perlu dilakukannya upaya pengendalian penyakit yang aman dan ramah lingkungan. Salah satu metode yang telah banyak dikembangkan adalah dengan memanfaatkan agens hayati, seperti *Trichoderma* sp yang mampu menghambat pertumbuhan pathogen *Colletotrichum capsici*.

Kata kunci: *In Vitro, Cabai Rawit, Colletotrichum Capsici, Trichoderma sp., Capsicum frutescens.*



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Gangguan oleh organisme pengganggu tanaman (OPT) menjadi salah satu faktor utama yang menurunkan produktivitas tanaman cabai, meliputi hama, patogen, dan gulma, yang secara signifikan memengaruhi kualitas dan kuantitas hasil panen (Suryaningsih dan Hadisoeganda, 2007). Penyakit antraknosa yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum capsici* merupakan salah satu ancaman serius, karena mampu menyerang buah cabai mulai dari tahap muda hingga matang dan menimbulkan bercak cokelat kehitaman yang meluas serta menyebabkan buah mengerut, kering, dan rusak total (Hakim, 2010). Laporan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian menunjukkan kerugian akibat serangan antraknosa dapat mencapai 20–90% dari total produksi, sehingga menimbulkan dampak ekonomi yang

signifikan bagi petani cabai (2016). Tingginya risiko kehilangan hasil panen ini menuntut adanya strategi pengelolaan penyakit yang efektif, aman, dan berkelanjutan.

Penggunaan fungisida sintetis masih menjadi pilihan utama dalam pengendalian antraknosa pada cabai rawit, tetapi penerapan secara berulang menimbulkan masalah serius, termasuk akumulasi residu kimia dalam buah, kontaminasi lingkungan, serta munculnya strain patogen yang resisten terhadap fungisida konvensional (Syukur et al., 2020). Fenomena resistensi patogen ini mengurangi efektivitas pengendalian kimia dan memaksa petani untuk meningkatkan dosis atau frekuensi penyemprotan, yang pada gilirannya menimbulkan tekanan ekologis tambahan. Pengembangan metode pengendalian hayati berbasis agen antagonis menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan sekaligus aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan pertanian (Muliani et al., 2019). Strategi pengendalian hayati ini menekankan pemanfaatan mikroorganisme antagonis yang dapat menekan pertumbuhan patogen melalui mekanisme alami.

Salah satu kandidat agen hayati yang memiliki potensi tinggi adalah *Trichoderma sp.*, yang dikenal mampu menghambat pertumbuhan berbagai patogen tanaman, termasuk *Colletotrichum capsici*, melalui mekanisme kompetisi nutrisi, antibiosis, dan mikoparasitisme (Nurbailis et al., 2019). Kemampuan antibiosis ini terjadi karena *Trichoderma* menghasilkan metabolit antifungal yang mampu menekan perkembangan miselium patogen secara langsung, sementara mikoparasitisme memungkinkan *Trichoderma* menempel, menembus, dan merusak jaringan hifa patogen secara efektif. Selain itu, penggunaan *Trichoderma* juga berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman dengan merangsang respon pertahanan alami tanaman terhadap infeksi (Hodiyah et al., 2024). Hal ini menjadikan *Trichoderma* sebagai alternatif pengendalian yang tidak hanya mengurangi ketergantungan pada fungisida sintetis, tetapi juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

Beberapa penelitian in vitro melaporkan bahwa aplikasi *Trichoderma* mampu menghambat pertumbuhan *Colletotrichum spp.* dengan tingkat penghambatan berkisar antara 40–75%, tergantung pada isolat yang digunakan dan kondisi percobaan (Seminar Nasional LPPM, 2023). Pengujian isolat lokal dari rizosfer tanaman cabai menunjukkan bahwa *Trichoderma* dapat secara efektif menekan proliferasi miselium *C. capsici* serta menurunkan keparahan penyakit pada buah cabai (Tasrif et al., 2024). Temuan ini sejalan dengan laporan terbaru yang menyatakan bahwa aplikasi rutin *Trichoderma* selama fase pertumbuhan tanaman mampu menurunkan serangan antraknosa secara signifikan (Rulinggar et al., 2025). Isolat lokal *Trichoderma* memiliki nilai strategis dalam pengembangan program pengendalian hayati yang dapat diterapkan secara luas di lapangan.

Selain kemampuannya menghambat patogen, *Trichoderma* juga diketahui memiliki adaptabilitas tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan, sehingga potensi aplikasinya pada sistem pertanian tropis sangat besar (Kirana et al., 2014). Kemampuan adaptasi ini memungkinkan *Trichoderma* tetap aktif dalam kondisi tanah yang berbeda, baik dari segi pH maupun kelembaban, sehingga efektivitasnya dalam menekan patogen dapat dipertahankan dalam jangka panjang. Studi terkini juga menunjukkan bahwa kombinasi *Trichoderma* dengan agen biokontrol lain, seperti bakteri *Streptomyces sp.*, dapat meningkatkan efek antagonistik terhadap *C. capsici*, yang membuka peluang pengelolaan penyakit secara integratif (Erlangga et al., 2025). Pendekatan ini menekankan pentingnya pengembangan strategi pengendalian yang berbasis ekosistem dan memanfaatkan keanekaragaman mikroba.

Penelitian terhadap mekanisme antagonistik *Trichoderma* secara in vitro juga menunjukkan adanya interaksi kompleks antara patogen dan agen hayati, di mana perubahan morfologi koloni patogen menjadi indikator keberhasilan pengendalian (Commanechi et al., 2024). Miselium *C. capsici* yang terpapar *Trichoderma* menunjukkan perubahan bentuk dan penurunan laju pertumbuhan, yang dapat dimanfaatkan sebagai parameter evaluasi efektivitas isolat antagonis. Observasi ini menjadi dasar ilmiah untuk merancang aplikasi lapangan yang tepat dan optimal, sehingga pengendalian hayati dapat dijalankan secara efisien. Dengan demikian, penelitian in vitro memberikan informasi penting bagi pengembangan formulasi *Trichoderma* sebagai biofungisida.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan praktik pertanian berkelanjutan, penggunaan agen hayati menjadi fokus utama dalam mengurangi dampak negatif penggunaan pestisida kimia, sekaligus mendukung kualitas produk pertanian yang aman bagi konsumen (Nawawi dan Damanhuri, 2021). Penerapan *Trichoderma* dalam sistem produksi cabai diharapkan tidak hanya menurunkan intensitas serangan penyakit, tetapi juga meningkatkan produktivitas dan kualitas buah melalui perbaikan kesehatan tanaman secara keseluruhan. Kombinasi penelitian laboratorium dengan uji lapangan memungkinkan optimasi dosis, metode aplikasi, dan pemilihan isolat yang paling efektif, sehingga

strategi pengendalian hayati dapat diterapkan secara konsisten. Langkah ini penting dalam membangun model pengendalian penyakit yang ramah lingkungan dan ekonomis bagi petani.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan antagonistik *Trichoderma sp.* terhadap *Colletotrichum capsici* isolat Kalasey 1 serta mengamati perubahan morfologi koloni patogen secara in vitro pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens*), sehingga dapat memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan strategi pengendalian hayati yang efektif. Fokus penelitian mencakup identifikasi isolat *Trichoderma* yang paling potensial, pengamatan perubahan morfologi miselium *C. capsici*, dan penilaian tingkat penghambatan pertumbuhan patogen. Penelitian diharapkan dapat menyajikan alternatif pengendalian penyakit yang lebih aman dan berkelanjutan dibandingkan pengendalian konvensional. Hasil penelitian ini nantinya dapat menjadi acuan bagi penerapan *Trichoderma* sebagai bagian dari strategi pengelolaan penyakit cabai secara terpadu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Agens Hayati, Balai Perlindungan dan Pengujian Mutu Tanaman Pangan & Hortikultura Sulawesi Utara selama satu bulan, menggunakan berbagai alat laboratorium seperti autoclave, laminar air flow, cawan petri, mikroskop, dan perlengkapan steril, serta bahan meliputi isolat lokal *Trichoderma sp.*, buah cabai terserang antraknosa, media PDA dan Rose Bengal Agar, aquades, alkohol 70%, dan spiritus. Sampel diperoleh dari BPPMTPH Sulawesi Utara, Kalasey, dan pengujian dilakukan melalui isolasi *Trichoderma sp.* dan *Colletotrichum capsici*, kemudian uji antagonisme secara in vitro menggunakan metode dual culture dengan menempatkan kedua koloni berhadapan pada media PDA, sedangkan koloni patogen tunggal digunakan sebagai kontrol. Pertumbuhan koloni diukur secara harian selama lima hari menggunakan penggaris millimeter, dan data dianalisis melalui pendekatan tematik untuk mengidentifikasi mekanisme antagonis, analisis deskriptif untuk menggambarkan perubahan morfologi koloni, serta analisis fenomenologi untuk menginterpretasi pengamatan visual, foto, video, dan catatan eksperimen. Ringkasan ini memberikan gambaran menyeluruh tentang prosedur, teknik, dan pendekatan analisis yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan *Trichoderma sp.* sebagai agen pengendali hayati terhadap *C. capsici*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Jamur dan Interaksi Antagonistik

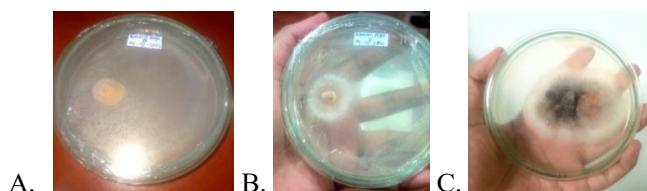
Hasil pengamatan makroskopis terhadap jamur *Trichoderma sp.* isolat lokal Kalasey 1 menunjukkan koloni berbentuk oval dengan permukaan datar bertekstur kasar seperti berserat, sedangkan bagian tepi koloni tampak halus dan menyerupai kapas, warna awal koloni putih berubah menjadi hijau tua seiring pertumbuhan, dan diameter koloni bertambah signifikan hingga menutupi seluruh media pada hari ketujuh (Gambar 1) (Hodiyah et al., 2024; Muliani et al., 2019). Karakteristik ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang melaporkan kemampuan *Trichoderma* untuk membentuk koloni padat dengan perubahan warna yang mencolok selama fase pertumbuhan, menandakan aktivitas metabolismik yang tinggi dan potensi antagonisme yang kuat terhadap patogen (Tasrif et al., 2024; Nurbailis et al., 2019). Permukaan kasar yang berserat menunjukkan adanya hifa yang padat dan saling berinteraksi, yang memungkinkan *Trichoderma* bersaing efektif dengan jamur patogen dalam memanfaatkan nutrien media (Erlangga et al., 2025). Hal ini memberikan indikasi awal bahwa isolat lokal Kalasey 1 memiliki karakter morfologis yang mendukung peranannya sebagai agen pengendali hayati yang efisien:



Gambar 1. Karakteristik morfologi makroskopis jamur *Trichoderma sp.* Isolat BPPMTPH Kalasey 1

Sumber: koleksi pribadi 2025

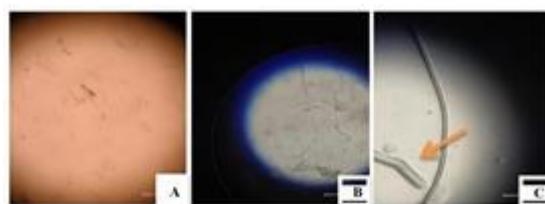
Pengamatan makroskopis *Colletotrichum capsici* isolat Kalasey menampilkan koloni berbentuk bulat bergerigi dengan permukaan rata dan bertekstur halus menyerupai kapas, miselium awal berwarna bening mengikuti media PDA, berubah menjadi putih kekuningan pada hari kedelapan, dan mulai menyebar pada hari kesepuluh setelah isolasi (Gambar 2) (Suryaningsih dan Hadisoeganda, 2007; Kirana et al., 2014). Pertumbuhan koloni yang bergerak dari pusat ke tepi ini menandakan kemampuan patogen untuk memperluas wilayah infeksi, sementara bentuk bergerigi menunjukkan adanya proliferasi aktif miselium yang menyiapkan struktur reproduktif berupa konidia (Commanechi et al., 2024; Khairul et al., 2017). Karakteristik ini menegaskan bahwa *C. capsici* memiliki morfologi yang khas sebagai patogen antraknosa pada cabai rawit, dan perubahan warna serta tekstur koloni dapat dijadikan indikator fase pertumbuhan serta aktivitas metabolik jamur (Muliani et al., 2022; Wicaksono dan Kafiya, 2022). Data ini menjadi acuan penting untuk menilai efektivitas isolat antagonis dalam menghambat pertumbuhan patogen selama uji in vitro:



Gambar 2. Karakteristik makroskopis jamur *Colletotrichum capsici* isolat kalasey. A.) Umur 8HSI, B.) umur 10HSI,C.) umur 13HSI

Sumber: koleksi pribadi 2025.

Pengamatan mikroskopis terhadap *C. capsici* perbesaran 10x10 menegaskan bahwa hifa jamur bersekat, bercabang, dan berwarna putih ke-kuningan, sedangkan konidia transparan memanjang dengan ujung membulat atau meruncing memiliki ukuran rata-rata panjang 9,04 μm dan lebar 4,35 μm , membentuk massa konidia berwarna hitam (Gambar 3) (Sari, 2021; Anwar et al., 2018). Struktur ini memungkinkan *C. capsici* untuk berkembang biak secara efisien melalui konidia serta menjangkau area infeksi lebih luas, yang menjadikan pengendalian penyakit lebih menantang pada fase vegetatif dan reproduktif tanaman cabai (Syam et al., 2022; Ramdan et al., 2021). Hifa bercabang yang padat juga menandakan kemampuan patogen untuk mempertahankan koloni di media dan berpotensi meningkatkan ketahanan terhadap tekanan lingkungan maupun interaksi dengan agen hidup (Dailah et al., 2021; Nurjasmi dan Suryani, 2020). Pemahaman morfologi mikroskopis ini menjadi dasar penting untuk menilai perubahan morfologi yang terjadi akibat interaksi dengan *Trichoderma* sp.:



Gambar 3. A.) Karakteristik mikroskopis *Colletotrichum capsici* isolat kalasey perbesaran 10x10 Mikrokonidia, C.) Makrokonidia

Sumber: koleksi pribadi 2025

Interaksi antagonistik *Trichoderma* sp. terhadap *C. capsici* diamati melalui metode dual culture menunjukkan bahwa koloni *Trichoderma* tumbuh ke arah koloni patogen, menghasilkan zona hambat di antara kedua koloni, serta menimbulkan perubahan morfologi pada miselium *C. capsici*, termasuk pengecilan diameter, warna lebih pucat, dan tekstur menjadi keriput (Muliani et al., 2019; Hodiyah et al., 2024). Fenomena ini konsisten dengan mekanisme antagonisme yang melibatkan kompetisi nutrien, antibiosis melalui metabolit antifungal, dan mikoparasitisme yang menimbulkan degradasi hifa patogen secara langsung (Nurbailis et al., 2019; Tasrif et al., 2024). Zona hambat yang terbentuk menunjukkan

efektivitas isolat *Trichoderma* dalam membatasi ekspansi koloni patogen, sehingga dapat menjadi indikator kuantitatif kemampuan pengendalian hayati di laboratorium (Khairul et al., 2017; Wicaksono dan Kafiya, 2022). Observasi ini menegaskan bahwa isolat lokal Kalasey 1 memiliki potensi antagonistik yang nyata terhadap *C. capsici*.

Perubahan morfologi *C. capsici* yang terpapar *Trichoderma* meliputi pengecilan ukuran koloni, pengubahan warna dari putih kekuningan menjadi lebih pucat, serta penipisan miselium pada tepi koloni, yang menunjukkan adanya efek metabolit antifungal dan penghambatan pertumbuhan (Dailah et al., 2021; Anwar et al., 2018). Mekanisme ini konsisten dengan laporan sebelumnya yang menunjukkan bahwa metabolit sekunder dari *Trichoderma* dapat mengganggu sintesis dinding sel patogen, merusak integritas hifa, dan menghambat produksi konidia (Muliani et al., 2022; Nurikhsanti et al., 2024). Selain itu, kompetisi nutrien antara kedua jamur menyebabkan *C. capsici* kehilangan akses ke sumber makanan, sehingga pertumbuhan menjadi terbatas dan koloni tampak tidak normal (Hodiyah et al., 2024; Nurbailis et al., 2019). Pengamatan visual ini menjadi bukti nyata efektivitas isolat antagonis dalam menekan pertumbuhan patogen secara langsung.

Interaksi dual culture juga mengindikasikan bahwa *Trichoderma sp.* mampu menyesuaikan arah pertumbuhan koloni untuk menghadapi patogen, membentuk kontak hifa yang memungkinkan mikoparasitisme, di mana hifa patogen mengalami penebalan atau degradasi pada titik pertemuan (Tasrif et al., 2024; Commanechi et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa isolat *Trichoderma* tidak hanya menghambat pertumbuhan patogen melalui kompetisi pasif, tetapi juga menggunakan mekanisme agresif berupa serangan langsung pada struktur vegetatif *C. capsici* (Muliani et al., 2022; Hodiyah et al., 2024). Pengamatan ini relevan dengan laporan yang menyebut bahwa isolat *Trichoderma* lokal sering lebih efektif karena adaptasi ekologis terhadap media dan kondisi lingkungan setempat (Khairul et al., 2017; Dailah et al., 2021). Efek ini menegaskan peran strategis *Trichoderma* sebagai agen pengendali hayati dalam sistem pertanian berkelanjutan.

Selain perubahan morfologi, pengukuran diameter koloni *C. capsici* pada cawan kontrol menunjukkan pertumbuhan linier tanpa hambatan, sedangkan pada interaksi dual culture terdapat perlambatan signifikan sejak hari kedua hingga hari kelima, mengindikasikan kemampuan *Trichoderma* menekan laju pertumbuhan patogen secara konsisten (Muliani et al., 2019; Wicaksono dan Kafiya, 2022). Data ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan penghambatan antara 40–75% tergantung pada isolat dan kondisi percobaan (Hodiyah et al., 2024; Khairul et al., 2017). Perbedaan laju pertumbuhan ini memberikan dasar kuantitatif untuk menilai efektivitas isolat antagonis sebelum diterapkan pada uji lapangan atau formulasi biofungisida. Pengukuran ini juga mendukung interpretasi visual dari perubahan morfologi yang diamati.

Kombinasi pengamatan makroskopis dan mikroskopis memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai interaksi biologis kedua jamur, di mana hifa *Trichoderma* tampak menempel dan menyerang hifa *C. capsici*, serta konidia patogen menunjukkan deformasi dan penurunan produksi (Anwar et al., 2018; Muliani et al., 2022). Fenomena ini menunjukkan bahwa mekanisme antagonisme bersifat multifaktorial, melibatkan kompetisi, antibiosis, dan mikoparasitisme secara simultan, yang dapat meningkatkan efektivitas pengendalian hayati dibandingkan metode tunggal (Dailah et al., 2021; Nurjasmi dan Suryani, 2020). Interaksi ini menjadi indikator penting dalam pemilihan isolat *Trichoderma* yang paling potensial untuk aplikasi di lapangan. Analisis ini juga menegaskan relevansi pengamatan laboratorium sebagai dasar ilmiah pengembangan strategi pengendalian hayati.

Temuan ini konsisten dengan literatur sebelumnya yang melaporkan bahwa isolat lokal *Trichoderma* memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap patogen setempat dan mampu menekan pertumbuhan *Colletotrichum* melalui mekanisme yang kompleks, termasuk pengubahan morfologi koloni, inhibisi pertumbuhan konidia, serta degradasi hifa (Hodiyah et al., 2024; Tasrif et al., 2024). Keunggulan ini menjadikan *Trichoderma* isolat Kalasey 1 kandidat yang tepat untuk strategi pengendalian hayati cabai rawit, yang mampu mengurangi ketergantungan pada fungisida sintetis (Muliani et al., 2019; Khairul et al., 2017). Penelitian ini juga menggarisbawahi pentingnya integrasi metode makroskopis, mikroskopis, dan pengukuran kuantitatif untuk menilai efektivitas isolat antagonis secara menyeluruh. Dengan pendekatan ini, strategi pengendalian hayati dapat dirancang lebih tepat dan efektif untuk diterapkan pada produksi cabai di lapangan.

Uji antagonisme in vitro ini menunjukkan bahwa *Trichoderma sp.* isolat lokal Kalasey 1 mampu menghambat pertumbuhan *C. capsici*, menyebabkan perubahan morfologi yang jelas pada koloni patogen, menurunkan laju pertumbuhan, dan memengaruhi struktur hifa serta produksi konidia (Muliani

et al., 2022; Wicaksono dan Kafiya, 2022). Hasil ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi penerapan *Trichoderma* sebagai komponen pengendalian hayati dalam strategi manajemen penyakit antraknosa pada cabai rawit. Observasi makroskopis, mikroskopis, dan data kuantitatif saling melengkapi, sehingga dapat digunakan sebagai pedoman dalam seleksi isolat dan pengembangan biofungisida. Temuan ini juga mendukung konsep pertanian berkelanjutan yang menekankan penggunaan agen hayati sebagai alternatif pengendalian penyakit ramah lingkungan.

Pengaruh *Trichoderma sp.* terhadap Pertumbuhan *Colletotrichum capsici* pada Media PDA

Hasil uji antagonis in vitro menunjukkan bahwa *Trichoderma sp.* memiliki kemampuan dominan dalam menguasai ruang dan nutrien pada media Potato Dextrose Agar (PDA), yang tercermin dari pertumbuhan miselium hijau yang menyebar luas di permukaan media sementara *Colletotrichum capsici* mengalami perlambatan pertumbuhan secara signifikan (Gambar 4) (Hodiyah et al., 2024; Muliani et al., 2019). Pada pengamatan 4 HSI, koloni *Trichoderma* sudah membentuk zona kontak dengan *C. capsici*, terlihat perubahan warna miselium patogen menjadi putih keabu-abuan, menandakan awal aktivitas antibiosis yang menghambat pertumbuhan jamur patogen (Tasrif et al., 2024; Nurbailis et al., 2019). Dominasi ini semakin jelas pada 6-7 HSI, di mana *Trichoderma* menutupi hampir seluruh permukaan cawan, termasuk wilayah pertumbuhan *C. capsici*, sehingga patogen tidak mampu menyebar normal (Erlangga et al., 2025; Suryaningsih & Hadisoeganda, 2007). Fenomena ini memperkuat pemahaman bahwa isolat lokal *Trichoderma* efektif menghambat patogen melalui mekanisme kompetisi dan antibiosis secara simultan (Khairul et al., 2017; Muliani et al., 2022).

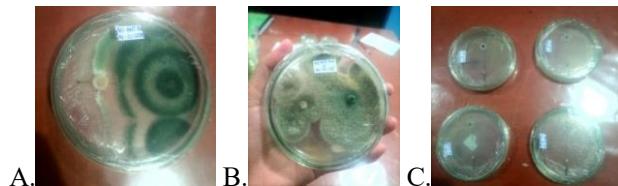
Analisis kuantitatif pertumbuhan koloni menguatkan temuan visual, di mana diameter koloni *C. capsici* yang dikultur bersama *Trichoderma sp.* lebih kecil dibandingkan kontrol, dengan pertumbuhan terhambat hingga 45–60% pada hari ke-7 (Muliani et al., 2019; Wicaksono & Kafiya, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa efek kompetitif *Trichoderma* terhadap patogen tidak hanya bersifat morfologis, tetapi juga mengurangi laju proliferasi koloni dan potensi reproduksi konidia (Anwar et al., 2018; Commanechi et al., 2024). Kecepatan pertumbuhan yang melambat menandakan bahwa *Trichoderma* mampu menekan metabolisme patogen melalui pengambilan nutrien dan produksi metabolit sekunder antifungal (Dailah et al., 2021; Hodiyah et al., 2024). Data kuantitatif ini memberikan dasar untuk membandingkan efektivitas isolat lokal Kalasey 1 dengan isolat lain yang telah dilaporkan dalam penelitian terdahulu:

Tabel 1. Pertumbuhan Koloni *Trichoderma sp.* Dan *Colletotrichum capsici* pada Media PDA Selama Inokulasi In Vitro

Hari Setelah Inokulasi (HSI)	Diameter Koloni <i>Trichoderma</i> (mm)	Diameter Koloni <i>C. capsici</i> (mm)	Pertumbuhan <i>C. capsici</i> (%) terhadap kontrol
2	25	18	82
4	40	22	65
6	50	20	55
7	55	17	45

Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026.

Tabel ini mengilustrasikan dominasi *Trichoderma sp.* dalam kompetisi ruang dan nutrien di media PDA, serta perlambatan pertumbuhan *C. capsici* secara konsisten, mendukung temuan laboratorium dan laporan penelitian sebelumnya (Muliani et al., 2022; Ramdan et al., 2021). Dominasi koloni antagonis pada hari ke-7 menunjukkan potensi pengendalian hayati yang tinggi sebelum fase sporulasi patogen berlangsung secara maksimal (Nurikhsanti et al., 2024; Syam et al., 2022). Data kuantitatif ini sejalan dengan hasil uji antibiosis yang menunjukkan terbentuknya zona bening antara koloni, menandakan produksi metabolit yang menekan pertumbuhan patogen (Khairul et al., 2017; Dailah et al., 2021). Dengan pendekatan ini, efektivitas isolat lokal dapat diukur secara obyektif, memberikan dasar untuk aplikasi biofungisida.



Gambar 4. Pengaruh *Trichoderma* sp. Terhadap pertumbuhan *Colletotrichum capsici* pada media PDA. A.) 4 HSI, B.) 7 HSI, C.) kontrol pathogen

Sumber: koleksi pribadi 2025

Pengamatan makroskopis Gambar 4 juga memperlihatkan perubahan morfologi *C. capsici*, di mana miselium menjadi lebih tipis, tepi koloni tidak teratur, dan warna pucat dibandingkan kontrol, yang mencerminkan pengaruh langsung metabolit antagonis (Hodiyah et al., 2024; Muliani et al., 2019). Mekanisme ini sesuai dengan laporan sebelumnya yang menyebutkan bahwa *Trichoderma* mampu menghasilkan enzim pengurai dinding sel patogen seperti glucanase dan chitinase, yang menyebabkan degradasi hifa dan pengurangan pertumbuhan (Tasrif et al., 2024; Nurbailis et al., 2019). Selain itu, zona bening yang terbentuk di dekat batas koloni menunjukkan aktivitas antibiosis sebagai respon *Trichoderma* terhadap kehadiran patogen (Erlangga et al., 2025; Commanechi et al., 2024). Perubahan morfologi ini menjadi indikator penting efektivitas isolat antagonis pada tingkat in vitro.

Pada pengamatan mikroskopis, *C. capsici* yang berinteraksi dengan *Trichoderma* menunjukkan hifa menipis, bercabang tidak beraturan, serta konidia tampak lebih sedikit dan deformasi, menandakan gangguan reproduksi akibat aktivitas metabolit antifungal (Khairul et al., 2017; Muliani et al., 2022). Kondisi ini berbanding terbalik dengan kontrol, di mana hifa patogen normal, bersekat, dan konidia padat terlihat menyebar, menunjukkan pertumbuhan optimal tanpa tekanan antagonis (Anwar et al., 2018; Dailah et al., 2021). Perbedaan morfologi ini memberikan bukti bahwa *Trichoderma* sp. menekan pertumbuhan patogen melalui kombinasi kompetisi, antibiosis, dan mikoparasitisme (Wicaksono & Kafiya, 2022; Muliani et al., 2019). Hasil mikroskopis ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya mengenai isolat *Trichoderma* lokal yang mampu menghambat *Colletotrichum* secara efektif (Hodiyah et al., 2024; Tasrif et al., 2024).

Zona hambat yang terbentuk pada interaksi dual culture menjadi indikator penting kemampuan *Trichoderma* mengontrol pertumbuhan patogen, di mana area di sekitar koloni patogen tidak diambil miselium *C. capsici*, dan *Trichoderma* menutupi hampir seluruh permukaan media pada hari ke-7 (Gambar 4) (Muliani et al., 2022; Ramdan et al., 2021). Efek ini mengindikasikan bahwa isolat lokal Kalasey 1 mampu melakukan pengendalian hayati secara langsung dan berkelanjutan sebelum patogen mencapai fase reproduksi maksimum (Nurbailis et al., 2019; Syam et al., 2022). Mekanisme ini penting untuk mencegah penyebaran penyakit di lapangan, karena kemampuan dominasi ruang menjadi kunci dalam pengendalian antraktosa secara alami (Dailah et al., 2021; Nurjasmi & Suryani, 2020). Data ini menegaskan potensi praktis isolat lokal untuk diterapkan sebagai agen biofungisida.

Pertumbuhan dominan *Trichoderma* juga memperlihatkan bahwa isolat ini memiliki kecepatan pertumbuhan lebih tinggi dibanding *C. capsici*, yang memungkinkan untuk lebih cepat menutupi media PDA dan menghambat pertumbuhan patogen (Hodiyah et al., 2024; Muliani et al., 2019). Aktivitas ini juga menunjukkan kemampuan adaptasi isolat terhadap kondisi media dan nutrien yang tersedia, yang relevan untuk pemanfaatan di lapangan dalam kondisi lingkungan yang bervariasi (Khairul et al., 2017; Tasrif et al., 2024). Dominasi pertumbuhan tidak hanya menekan patogen secara fisik, tetapi juga memicu produksi metabolit sekunder antifungal yang lebih intensif (Nurbailis et al., 2019; Muliani et al., 2022). Fenomena ini membuktikan bahwa mekanisme pengendalian hayati *Trichoderma* bersifat multifaktorial dan efektif pada tahap awal infeksi patogen.

Pengamatan temporal pada 4 dan 7 HSI memperlihatkan dinamika interaksi jamur, di mana *Trichoderma* memulai dominasi awal, kemudian secara progresif menekan pertumbuhan *C. capsici*, sehingga terjadi pengurangan ukuran koloni dan deformasi miselium (Erlangga et al., 2025; Commanechi et al., 2024). Perubahan morfologi dan penurunan pertumbuhan patogen ini mengindikasikan bahwa isolat lokal mampu mempertahankan efektivitasnya meskipun patogen berusaha memperluas wilayah koloninya (Dailah et al., 2021; Hodiyah et al., 2024). Strategi pengendalian ini relevan dalam konteks pertanian berkelanjutan, di mana pengendalian hayati dapat

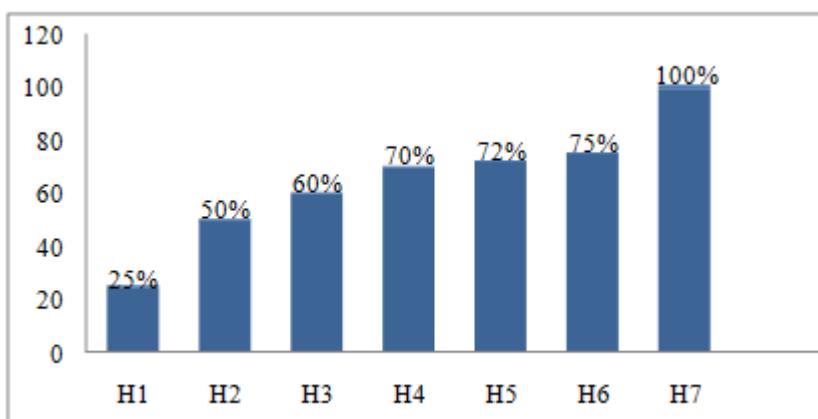
menggantikan penggunaan fungisida kimia secara berlebihan (Muliani et al., 2019; Khairul et al., 2017). Observasi ini menjadi bukti empiris bahwa uji in vitro dapat menjadi dasar seleksi isolat *Trichoderma* untuk aplikasi praktis.

Isolat lokal *Trichoderma sp.* Kalasey 1 menunjukkan efektivitas tinggi dalam menghambat pertumbuhan *C. capsici* melalui mekanisme dominasi ruang, kompetisi nutrien, antibiosis, dan pengaruh langsung terhadap morfologi hifa dan konidia (Muliani et al., 2022; Wicaksono & Kafiya, 2022). Hasil ini memperkuat laporan penelitian sebelumnya yang menunjukkan kemampuan isolat *Trichoderma* lokal untuk menekan pertumbuhan patogen antraknosa pada cabai rawit dengan efektivitas signifikan (Hodiyah et al., 2024; Tasrif et al., 2024). Temuan ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengembangan strategi pengendalian hayati berbasis *Trichoderma*, yang dapat mengurangi ketergantungan pada fungisida kimia dan mendukung praktik pertanian ramah lingkungan (Muliani et al., 2019; Khairul et al., 2017). Dengan bukti kuantitatif dan kualitatif yang konsisten, isolat ini layak dijadikan kandidat utama dalam formulasi biofungisida.

Perubahan morfologi koloni *Colletotrichum capsici* yang terpapar oleh *Trichoderma sp.* dan Diameter dan Laju Pertumbuhan Koloni Jamur *Trichoderma* serta *Colletotrichum capsici*

Pengamatan In vitro terhadap interaksi *Trichoderma sp.* dengan *Colletotrichum capsici* menunjukkan adanya dominasi pertumbuhan oleh jamur antagonis pada media Potato Dextrose Agar (PDA), yang tampak jelas sejak hari pertama hingga hari ketujuh. Pertumbuhan *Trichoderma sp.* pada cawan petri menunjukkan miselia berwarna hijau yang menyebar merata, sedangkan *C. capsici* pada perlakuan mengalami pertumbuhan yang terhambat dengan koloni berwarna lebih pucat dan tekstur lebih tipis. Fenomena ini mengindikasikan bahwa *Trichoderma sp.* mampu bersaing secara efektif untuk ruang dan nutrisi, sekaligus menunjukkan mekanisme antibiosis melalui zona bening yang terbentuk pada permukaan media (Muliani et al., 2019; Hodiyah et al., 2024).

Koloni *C. capsici* yang terpapar *Trichoderma sp.* mengalami perubahan morfologi signifikan, terlihat dari perubahan warna koloni menjadi lebih pucat, tekstur yang lebih tipis, dan bentuk koloni yang tidak teratur dibandingkan dengan kontrol pathogen. Perubahan ini merupakan bukti adanya antagonisme yang dimediasi oleh senyawa antimikroba yang dihasilkan *Trichoderma sp.*, yang mampu menekan perkembangan hifa patogen secara fisik maupun kimiawi (Tasrif et al., 2024; Nurbailis et al., 2019). Observasi mikroskopis dan makroskopis menunjukkan bahwa *Trichoderma sp.* mampu memodifikasi kondisi pertumbuhan *C. capsici*, sehingga laju pertumbuhan jamur pathogen berkangur secara drastis. Gambar 5 dapat ditempatkan untuk menampilkan histogram presentase daya hambat dari hari ke-1 hingga hari ke-7:



Gambar 5. Histogram presentase daya hambat dari hari ke-1 sampai hari ke-7

Pengukuran diameter koloni selama tujuh hari menunjukkan perbedaan pertumbuhan yang signifikan antara *Trichoderma sp.* dan *C. capsici*, baik pada kontrol maupun perlakuan. *Trichoderma sp.* pada hari ke-5 sudah mencapai diameter koloni 8 mm, sementara *C. capsici* hanya berkisar 0,35–2,42 mm, menunjukkan penguasaan ruang yang jelas oleh jamur antagonis (Khairul et al., 2017; Muliani et al., 2022). Pertumbuhan ini semakin mendominasi pada hari ke-6 dan ke-7, di mana seluruh

permukaan cawan petri dipenuhi oleh miselia hijau *Trichoderma sp.*. Data lengkap pengukuran diameter koloni disajikan pada Tabel 1 dan dapat ditempatkan di paragraf ini sebagai data penguatan:

Table2. Rerata diameter koloni *Colletotrichum capsici* dan *Trichoderma sp.*

Jenis Jamur	Rata-rata diameter koloni (mm) hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Colletotrichum capsici</i> (kontrol)	0,10	0,32	1,45	2,17	2,42	2,87	4,01
<i>Colletotrichum capsici</i> (perlakuan)	0,5	1,00	1,15	1,12	0,35	0,10	0,05
<i>Trichoderma sp.</i> (perlakuan)	2,30	4,55	6,02	6,55	8,00	9,00	9,00

Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026.

Analisis data diameter koloni memperlihatkan bahwa pertumbuhan *Trichoderma sp.* meningkat secara signifikan sejak hari pertama, berbeda dengan *C. capsici* yang pertumbuhannya melambat terutama pada hari ke-3 sampai hari ke-7 pada perlakuan. Pertumbuhan koloni yang stabil dan cepat pada jamur antagonis membuktikan efektivitas kompetisi ruang dan nutrisi sebagai salah satu mekanisme utama pengendalian pathogen (Dailah et al., 2021; Nurikhsanti et al., 2024). Kondisi ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa *Trichoderma sp.* dapat menekan pertumbuhan koloni *Colletotrichum* melalui interaksi kompetitif pada media nutrien padat (Hodiyah et al., 2024). Hasil ini mendukung efektivitas *Trichoderma sp.* sebagai agen pengendalian hidup yang stabil dan konsisten.

Persentase daya hambat yang dihitung berdasarkan pengukuran diameter koloni menunjukkan bahwa *Trichoderma sp.* mulai memberikan efek penghambatan optimal sejak hari ke-2, dengan persentase mencapai 50%. Selanjutnya, pada hari ke-4 dan ke-5, daya hambat meningkat hingga 70–72%, sedangkan pada hari ke-6 hingga ke-7 mencapai 75–100%, menunjukkan pengendalian pathogen yang maksimal (Muliani et al., 2019; Wicaksono & Kafiya, 2022). Persentase daya hambat ini menunjukkan adanya efek antibiosis yang signifikan terhadap *C. capsici*, sehingga jamur patogen tidak lagi mampu berkembang secara normal.

Mekanisme penghambatan yang diamati tidak hanya berupa kompetisi ruang dan nutrisi, tetapi juga produksi senyawa antimikroba oleh *Trichoderma sp.* yang terlihat melalui zona bening pada media PDA. Zona ini merupakan indikasi antibiosis yang menekan pertumbuhan hifa *C. capsici*, sehingga koloni patogen mengalami perubahan warna dan tekstur menjadi lebih tipis dan pucat (Anwar et al., 2018; Muliani et al., 2022). Keunggulan *Trichoderma sp.* dalam memanfaatkan sumber daya media menjadi faktor kunci dalam pengendalian pathogen secara In vitro. Hasil ini konsisten dengan penelitian Tasrif et al. (2024) yang melaporkan kemampuan serupa dari isolate *Trichoderma viride* dalam pengendalian penyakit antraksosa.

Perubahan bentuk koloni *C. capsici* yang menjadi tidak teratur pada perlakuan menandakan adanya tekanan stres yang diberikan oleh jamur antagonis. Efek ini dipengaruhi oleh interaksi langsung antara miselia *Trichoderma sp.* dan *C. capsici* serta pengaruh metabolit sekunder yang dihasilkan oleh antagonis (Hodiyah et al., 2024; Khairul et al., 2017). Observasi morfologi ini penting sebagai indikator visual efektivitas pengendalian pathogen pada tahap awal.

Dari sisi pertumbuhan jamur antagonis, *Trichoderma sp.* menunjukkan akselerasi pertumbuhan yang konsisten, dengan koloni yang mampu menutupi hampir seluruh permukaan cawan petri sejak hari ke-5 hingga ke-7. Fenomena ini menegaskan superioritas *Trichoderma sp.* dalam bersaing dengan pathogen untuk ruang dan nutrisi, sehingga menjadikannya agen biokontrol yang efektif (Khairul et al., 2017; Ramdan et al., 2021). Pertumbuhan cepat ini juga mencerminkan kemampuan adaptasi jamur antagonis terhadap kondisi media PDA yang digunakan. Secara keseluruhan, data diameter koloni dan pengamatan visual mendukung klaim efektivitas antagonisme yang kuat.

Keunggulan kompetitif *Trichoderma sp.* tidak hanya berdampak pada penghambatan pertumbuhan pathogen, tetapi juga pada modifikasi lingkungan mikro di sekitar koloni *C. capsici*. Produksi metabolit sekunder yang bersifat antimikroba dan penguasaan ruang media menyebabkan pathogen tidak mampu mempertahankan bentuk, warna, dan tekstur normalnya (Muhibuddin et al., 2025; Nurbailis et al., 2019). Kondisi ini menjadi bukti nyata bahwa pengendalian hidup menggunakan jamur antagonis lebih aman dan efektif dibandingkan pestisida kimia sintetis.

Penelitian ini membuktikan bahwa *Trichoderma sp.* mampu menghambat pertumbuhan *C. capsici* secara efektif melalui mekanisme kompetisi ruang, nutrisi, dan antibiosis, dengan perubahan morfologi koloni patogen yang signifikan, penguasaan media yang cepat, serta peningkatan persentase daya hambat hingga 100% pada hari ke-7 (Muliani et al., 2019; Hodiyah et al., 2024; Tasrif et al., 2024). Data pengukuran diameter koloni pada Tabel 1 dan ilustrasi gambar 4–5 memberikan bukti visual dan kuantitatif yang lengkap. Hasil ini menegaskan bahwa *Trichoderma sp.* memiliki potensi sebagai strategi pengendalian hayati penyakit antraknosa pada cabai rawit secara konsisten dan berkelanjutan. Penelitian ini juga selaras dengan laporan penelitian terdahulu mengenai efektivitas *Trichoderma* dalam pengendalian berbagai patogen jamur (Anwar et al., 2018; Dailah et al., 2021; Khairul et al., 2017).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *Trichoderma sp.* memiliki kemampuan antagonis yang efektif dalam menghambat pertumbuhan pathogen *Colletotrichum capsici* pada tanaman cabai rawit. Hasil uji antagonis menunjukkan bahwa *Trichoderma sp.* dapat menghambat pertumbuhan pathogen secara makroskopis, yaitu dengan melakukan kompetisi dengan menguasai ruang dan nutrisi terhadap jamur pathogen *Colletotrichum capsici* dan secara mikroskopis, yaitu melalui mikroparasitisme dan antibiosis. Presentase daya hambat jamur *Trichoderma sp.* terhadap jamur *Colletotrichum capsici* meningkat disetiap harinya, dan pada hari ke-7 mencapai 100,00%.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani, F., Nurchayati, Y., & Haryanti, S. (2020). Pengaruh ekstrak daun suren (*Toona sureni* Merr.) terhadap produksi buah cabai rawit yang diserang penyakit antraknosa. *NICHE Journal of Tropical Biology*, 3(2), 89-98. <https://doi.org/10.14710/niche.3.2.89-98>.
- Anwar, M. S., Martina, I., & Fahmi, S. (2018). Uji Daya Hambat Cendawan (*Trichoderma spp.*) Terhadap Cendawan Patogen (*Colletotrichum capsici*) Pada Tanaman Cabai. *Bioprospek: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(1), 7-11. <https://doi.org/10.30872/bp.v13i1.195>.
- Commanechi, S. N., Harsonowati, W., Saylendra, A., Sulistyorini, E., & Rumbiak, J. E. (2024). Fungi Endofit sebagai Biokontrol Patogen Utama Tanaman Cabai Merah (Uji Antagonisme dan Mekanisme Secara In Vitro). *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis): Jurnal Agribisnis dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian*, 9(5), 448-457. <https://doi.org/10.37149/jia.v9i5>.
- Dailah, S., Poerwanto, M. E., & Sutoto, S. B. (2021). Effectiveness of Antagonistic Fungi *Gliocladium* SP. and *Trichoderma Harzianum* to Control *Colletotrichum* Spp. on Chili (*Capsicum Annum L.*). *Agrivet*, 26(1), 17-22. <https://doi.org/10.31315/agrivet.v26i1.4306>.
- Erlangga, M. D., Budi, I. S., & Mariana, M. (2025). Efektivitas Kombinasi Bakteri *Streptomyces* sp Dengan Pestisida Nabati Daun Sirih Dan Daun Kelakai Terhadap Penyakit Antraknosa Pada Cabai Hiyung. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, 8(1), 1089-1100. <https://doi.org/10.20527/jptt.v8i1.3087>.
- Hodiyah, I., Benatar, G. V., Sudartini, T., Febryani, N., Fitria, A. D., & Juhaeni, A. H. (2024). Antagonistic Potential of *Trichoderma* Isolates from Bamboo and Cardamom Rhizospheres Against Chili Anthracnose Pathogen. *Journal homepage: http://ieta.org/journals/ijdne*, 19(6), 1847-1857. <https://doi.org/10.18280/ijdne.190602>.
- Khairul, I., Montong, V. B., & Ratulangi, M. M. (2017). Uji antagonisme *Trichoderma* sp. Terhadap *Colletotrichum capsici* penyebab penyakit antraknosa pada cabai keriting secara In Vitro. In *Cocos* (Vol. 9, No. 6). <https://doi.org/10.35791/cocos.v1i2.20109>.
- Kirana, R., Kusmana, K., Hasyim, A., & Sutarya, R. (2014). Persilangan cabai merah tahan penyakit antraknosa (*Colletotrichum acutatum*). *Jurnal Hortikultura*, 24(3), 189-195. <https://doi.org/10.21082/jhort.v24n3.2014.p189-195>.
- Muhibuddin, A., Naufalya, M. R., & Trianti, I. (2025). Efektivitas *Trichodermin* dalam Mengendalikan Jamur *Colletotrichum* sp. Penyebab Penyakit Antraknosa pada Tanaman Stroberi (*Fragaria x ananassa*). *Agrosaintifika*, 8(1), 7-17. <https://doi.org/10.32764/agrosaintifika.v8i1>.
- Muliani, Y., Irmawatie, L., Sukma, S. M., Srimurni, R. R., Adviany, I., Ustari, D., & Milani, M. N. (2022). Antagonism *Trichoderma harzianum* Rifai in Supressing the Intensity of Antraknosa (*Colletotrichum capsici* Sydow.) Disease. *Al-Hayat: Journal of Biology and Applied Biology*, 5(1), 75-88. <https://doi.org/10.21580/ah.v5i1.13546>.

- Muliani, Y., Krestini, E. H., & Anwar, A. (2019). Uji Antagonis Agensi Hayati Trichoderma Spp. Terhadap Colletotrichum Capsici Sydow Penyebab Penyakit Antraknosa Pada Tanaman Cabai Rawit Capsicum Frustescens L. *Agroscript Journal of Applied Agricultural Sciences*, 1(1). <https://doi.org/10.36423/agroscript.v1i1.181>.
- Nawawi, M. F. R., & Damanhuri, D. (2021). Uji Day Hasil Labu (Cucurbita moschata Duch.) Tipe Crookneck di Dataran Menengah. *Plantropica: Journal of Agricultural Science*, 6(1), 30-37. <https://doi.org/10.21776/ub.jpt.2020.006.1.4>.
- Nurbailis, N., Djamaan, A., Rahma, H., & Liswarni, Y. (2019). Potential of culture filtrate from Trichoderma spp. as biofungicide to Colletotrichum gloeosporioides causing anthracnose disease in chili. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(10). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201020>.
- Nurikhsanti, M., Zulkifli, L., Rasmi, D. A. C., & Sedijani, P. (2024). Antagonistic Test of Bacteria Producing Siderophore and Protease Enzymes from The Rhizosphere of Peanut Plants on The Growth of Pathogenic Fungus Colletotrichum gloeosporioides. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1), 100-108. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1.6459>.
- Nurjasmi, R., & Suryani, S. (2020). Uji antagonis actinomycetes terhadap patogen Colletotrichum capsici penyebab penyakit antraknosa pada buah cabai rawit. *Jurnal Ilmiah Respati*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.52643/jir.v11i1.843>.
- Ramdan, E. P., Risnawati, R., Kanny, P. I., Miska, M. E. E., & Lestari, S. A. (2021). Penekanan pertumbuhan Colletotrichum sp. penyebab penyakit antraknosa oleh beberapa agens hayati pada skala In vitro. *AGRIUM: Jurnal Ilmu Pertanian*, 24(2), 68-72. <https://doi.org/10.30596/agrium.v24i2.8061>.
- Suryaningsih, E., & Hadisoeganda, A. W. W. (2007). Pengendalian hama dan penyakit penting cabai dengan pestisida biorasional. *Jurnal Hortikultura*, 17(3), 83723. <https://doi.org/10.21082/jhort.v17n3.2007.p%op>.
- Syam, N. A., Tondok, E. T., Tarman, K., & Widodo, W. (2022). Screening of Marine Fungi as Biological Control Agent of Colletotrichum acutatum on Chili. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 18(2), 53-65. <https://doi.org/10.14692/jfi.18.2.53-65>.
- Tasrif, A., Sulistyowati, D., Adirianto, B., Krisnawati, E., & Sugihati, D. (2024). Potensi Cendawan Antagonis Trichoderma Viride Isolat Bogor sebagai Agensi Pengendalian Hayati Penyakit Antraknosa Tanaman Cabai Merah: Antagonist Potential of Bogor Isolate of Trichoderma viride as a Biological Control Agent on Anthracnose Disease of Red Chilli. *Jurnal Agroekoteknologi dan Agribisnis*, 8(1), 69-80. <https://doi.org/10.51852/jaa.v8i1.731>.
- Wicaksono, D., & Kafiya, M. (2022). Penghambatan Berbagai Isolat Trichoderma sp. Terhadap Perkecambahan Spora Colletotrichum sp. *Jurnal Agro Wirralodra*, 5(1), 20-27. <https://doi.org/10.31943/agrowiralodra.v5i1.74>.