

UJI EFEKTIVITAS AGEN HAYATI DALAM PENGENDALIAN PATOGEN PENYEBAB PENYAKIT SECARA IN VITRO

Testing The Effectiveness Of Biological Agents In Controlling Disease-Causing Pathogens In Vitro

Nur Febriansyah Rahmanda¹, Miranda¹, Muniroh¹, Indri Riyana¹, Jumita¹, Gholi Wedana
Nursyah¹, Gen Adi Wisangeni^{1*}

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Jl. Raya
Balunijuk, Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 33125

*E-mail Korespondensi: genadi.lab@ubb.ac.id

ABSTRACT

Alternative plant disease control can be carried out using biological agents in an effort to reduce chemical pesticides. The antagonistic mechanism possessed by biological agents has been widely used as an effective and environmentally friendly alternative. Biological agents that are often used for biocontrol include Trichoderma sp. and Gliocladium sp.. This experiment aims to determine the comparative antagonism of Trichoderma spp. and Gliocladium biological agents against Curvularia spp. and Fusarium spp. This experiment was conducted to test the antagonism of biological agents. The experimental factors tested to determine the inhibitory effect were Trichoderma sp. and Gliocladium sp. isolates. Next, pure cultures of Trichoderma sp. and Gliocladium spp., which were 7 days old, were inoculated into the medium to observe the contact between Trichoderma sp. and Curvularia sp., Trichoderma sp. and Fusarium sp., Gliocladium sp and Curvularia sp., and Gliocladium sp and Fusarium sp. The antagonistic test results showed that the Trichoderma sp. biological agent treatment was able to optimally inhibit the growth of Curvularia sp. and Fusarium sp. The Gliocladium sp. treatment was able to inhibit the growth of Fusarium sp., but was less optimal in inhibiting the growth of Curvularia sp.

Key words: Antagonism, Biocontrol, Biological Agent, Gliocladium, Trichoderma.

ABSTRAK

Alternatif pengendalian penyakit tanaman dapat dilakukan menggunakan agen hayati dalam upaya pengurangan pestisida kimia. Mekanisme antagonis yang dimiliki agen hayati telah banyak dijadikan sebagai alternatif yang efektif dan ramah lingkungan. Agen hayati yang sering dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai biokontrol diantaranya *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antagonis agen hayati *Trichoderma* spp., *Gliocladium* terhadap *Curvularia* spp. dan *Fusarium* spp. Percobaan ini dilakukan untuk melihat uji antagonis dari agen hayati. Faktor percobaan yang di uji untuk melihat daya hambat yaitu isolat *Trichoderma* sp. dan isolat *Gliocladium* sp. Selanjutnya, biakan murni *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* spp., yang sudah berumur 7 hari diinokulasikan ke dalam media untuk melihat terjadi kontak antara *Trichoderma* sp. dan *Curvularia* sp., *Trichoderma* sp. dan *Fusarium* sp., *Gliocladium* sp dan *Curvularia* sp., *Gliocladium* sp dan *Fusarium* sp. Berdasarkan pengamatan visual pada uji kultur ganda in vitro, perlakuan agen hayati *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp. dan *Fusarium* sp. secara optimal. Perlakuan *Gliocladium* sp., mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp., namun kurang optimal dalam menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp.

Kata kunci: Agen Hayati, Antagonisme, Biokontrol, Gliocladium, Trichoderma.

PENDAHULUAN

Pengendalian penyakit tanaman oleh petani pada umumnya masih sangat bergantung pada penggunaan pestisida kimia. Pestisida sering digunakan karena efektivitas cepat dalam mengurangi populasi patogen yang merugikan hasil tanaman budidaya sehingga hasil panen dapat meningkat (Tudi *et al.*, 2021). Namun, penggunaan pestisida secara terus menerus dalam frekuensi tinggi menyebabkan residu berbahaya dari pestisida semakin tinggi, sehingga dapat merusak tanaman dan lingkungan sekitar (Zhou *et al.*, 2025). Selain itu, paparan pestisida pada petani juga dapat menyebabkan gangguan kesehatan akut hingga kronis seperti gangguan pernapasan sampai risiko kanker (Shekhar *et al.*, 2024). Penggunaan pestisida kimia secara terus menerus juga menyebabkan patogen menjadi resistensi, hal tersebut mengurangi efektivitas dan meningkatkan biaya aplikasi (Fenta & Mekonnen, 2024). Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan alternatif pengendalian penyakit tanaman yang lebih aman dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif yang dapat digunakan dalam upaya pengendalian patogen tanaman yaitu dengan menggunakan agen hayati. Penggunaan agen hayati berupa mikroorganisme antagonis mampu mengendalikan patogen melalui berbagai mekanisme tanpa meninggalkan residu kimia berbahaya (Negi *et al.*, 2023). Pengendalian patogen dengan penggunaan agen hayati dianggap sebagai solusi pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan yang dapat menggantikan sebagian pestisida kimia (Beyari, 2025). Selain itu penggunaan agen hayati juga dapat meningkatkan kesehatan tanaman secara keseluruhan melalui stimulasi pertahanan alami tanaman, sehingga hal ini dapat dijadikan sebagai agen biokontrol yang sangat potensial untuk sistem pertanian berkelanjutan (Lahlali *et al.*, 2022; Saad *et al.*, 2022). Agen hayati yang sering dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai biokontrol diantaranya *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp.

Pengendalian hayati dengan menggunakan mikroorganisme antagonis, seperti *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp., telah banyak dijadikan sebagai alternatif yang efektif dan ramah lingkungan (Thambugala *et al.*, 2020). *Trichoderma* sp. dikenal sebagai jamur yang mampu menghambat pertumbuhan berbagai patogen melalui mekanisme fisik dan kimia, seperti produksi enzim pemecah dinding sel patogen (Oyesola *et al.*, 2025; Mukherjee *et al.*, 2021). *Gliocladium* sp. juga berperan dalam pengendalian hayati dengan kemampuan menghasilkan metabolit toksik bagi patogen dan mendukung kesehatan tanaman (Fardhani *et al.*, 2024).

Trichoderma sering digunakan terutama digunakan untuk mengendalikan penyakit tular tanah pada berbagai tanaman dan beberapa penyakit daun serta biji (Abbas *et al.*, 2022; Vicente *et al.*, 2020). Selain dapat mencegah penyakit pada tanaman, *Trichoderma* berfungsi untuk mendorong pertumbuhan tanaman, meningkatkan efisiensi pemanfaatan hara, meningkatkan ketahanan tanaman, dan memperbaiki polusi agrokimia (Al-surhanee, 2022; Fontana *et al.*, 2021). *Trichoderma* memiliki efek pengendalian pada berbagai jamur patogen tanaman, seperti *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Pseudocercospora* spp. dan *Colletotrichum* spp. dengan tingkat daya hambatnya mencapai 70-88% pada uji invitro (Zhang *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022). Al-askar *et al.*, (2021) menyatakan bahwa efek pengendaliannya mencapai 54,8%, yang 12,5% lebih tinggi daripada pestisida kimia karbendazim.

Gliocladium sp. memiliki karakteristik antagonis terhadap jamur patogen. Antagonisme *Gliocladium* sp. menghambat pertumbuhan jamur patogen melalui mekanisme kompetisi, parasitisme dan antibiosis (Fadiji & Babalola, 2020). *Gliocladium* sp. dapat mensintesis senyawa antibiotik termasuk gliotoksin, gliovirin, dan viridin. Gliotoksin yang dapat menghambat pertumbuhan miselium jamur patogen (Kalimutu *et al.*, 2020), sedangkan senyawa gliovirin dapat mengaglutinasi sitoplasma jamur patogen dan menyebabkan kerusakan dinding sel jamur, sementara viridin dapat menghambat perkecambahan spora jamur patogen seperti *Fusarium* sp. (Khalimi *et al.*, 2025). Penelitian lain menyebutkan bahwa *Gliocladium* sp. dapat menghambat pertumbuhan jamur patogen yang menyebabkan infeksi pada tanaman (Irmawatie *et al.*, 2025).

Dalam melakukan pengujian awal untuk melihat keefektifitasan dari agen hayati dapat dilakukan melalui uji in vitro. Metode uji in vitro menjadi langkah awal yang penting untuk menguji efektivitas

Trichoderma dan *Gliocladium* dalam menekan pertumbuhan patogen (Sopialena *et al.*, 2024). Melalui uji in vitro, interaksi langsung antara agen hayati dan patogen dapat ditelaah secara rinci dan dalam kondisi terkontrol (Ayaz *et al.*, 2023). Hasil uji in vitro memudahkan screening isolat unggul dengan kemampuan antagonistik terbaik (Li *et al.*, 2020).

Berdasarkan uraian penjelasan dari latarbelakang tersebut percobaan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antagonis agen hayati *Trichoderma* spp., *Gliocladium* terhadap *Curvularia* spp. dan *Fusarium* spp.

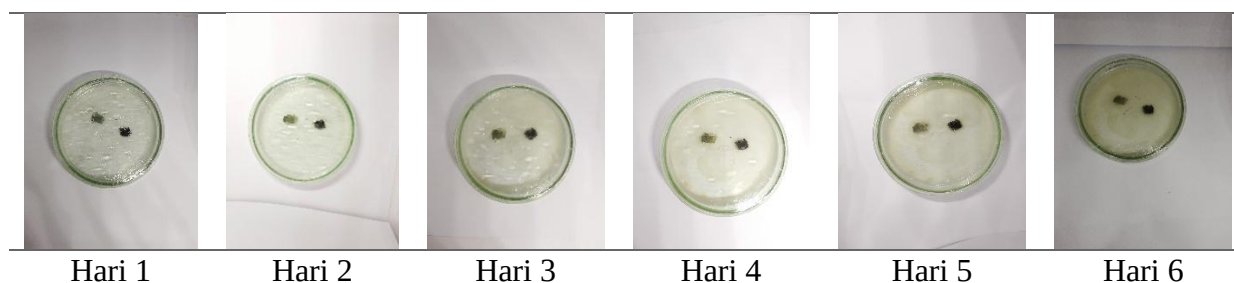
METODE PENELITIAN

Percobaan ini dilaksanakan pada bulan Oktober-November 2024. Percobaan ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Program Studi Agroteknologi, Jurusan Pertanian, Fakultas Pertanian, Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung. Bahan dan alat yang digunakan seperti cawan petri, media PDA, isolat *Trichoderma*, isolat *Gliocladium*, isolat *Curvularia* sp., isolat *Fusarium* sp., plastik wrapping, label, alat tulis, spatula, alkohol 70%, bunsen, kamera dan lembar pengamatan

Percobaan ini dilakukan untuk melihat uji antagonis dari agen hayati. Faktor percobaan yang di uji untuk melihat daya hambat yaitu isolat *Trichoderma* sp. dan isolat *Gliocladium* sp. Selanjutnya, biakan murni *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* spp., yang sudah berumur 7 hari diinokulasikan ke dalam media menggunakan alat spatula dari tepi koloni. Selanjutnya, tempatkan *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. isolasi potongan pada media PDA dari tepi cawan petri. Tempatkan masing-masing isolat *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. di cawan petri yang berbeda. Potongan isolat *Curvularia* sp. dan *Fusarium* sp. kemudian diinokulasikan pada media PDA di cawan petri dari tepi cawan petri di seberang *Trichoderma* sp. sedangkan untuk *Fusarium* letakan di bagian cawan petri berlawanan arah *Gliocladium*. Pertumbuhan koloni kemudian diamati pada masing-masing cendawan hingga terjadi kontak antara *Trichoderma* sp. dan *Curvularia* sp., *Trichoderma* sp. dan *Fusarium* sp., *Gliocladium* sp. dan *Curvularia* sp., *Gliocladium* sp. dan *Fusarium* sp. Pertumbuhan koloni diamati secara visual dan didokumentasikan dengan foto selama 6 hari pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

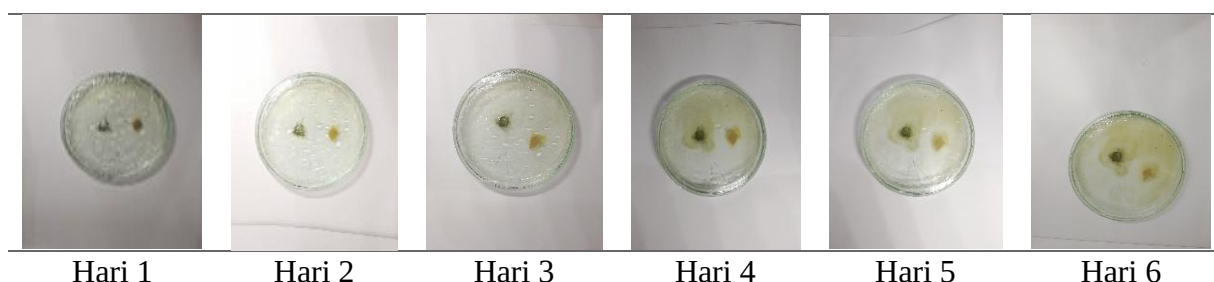
Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dengan *Curvularia* sp. (Gambar 1.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan antara agen hayati *Trichoderma* sp. dan *Curvularia* sp. Hasil menunjukkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Curvularia* sp., hasil ini dapat dilihat dimulai dari hari 1 pengamatan, walaupun belum terlihat jelas secara visual. Hasil yang lebih jelas terlihat dari hari ke 4 pengamatan, dimana sudah terlihat jelas bahwa *Trichoderma* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Curvularia* sp.



Gambar 1. Hasil Uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dengan *Curvularia* sp. selama 6 hari pengamatan. Keterangan ; Warna hijau ; *Trichoderma*, Warna hitam ; *Curvularia*.

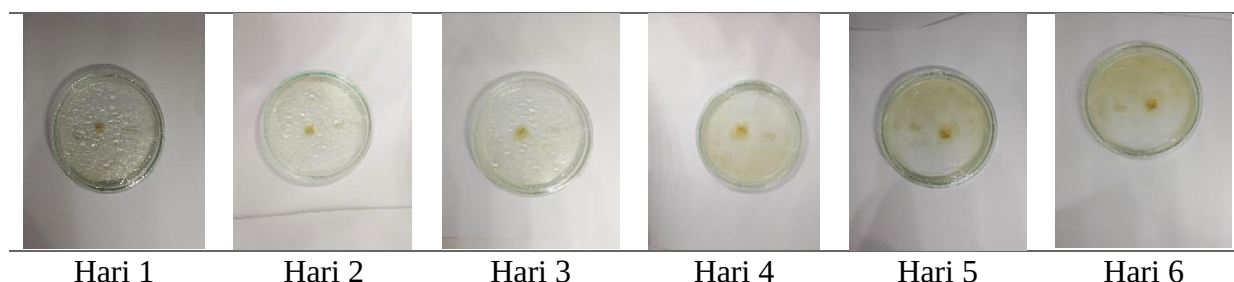
Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dengan *Fusarium* sp. (Gambar 2.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan antara agen hayati *Trichoderma*

sp. dan *Fusarium* sp. Hasil menunjukkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Fusarium* sp., hasil ini dapat dilihat dimulai dari hari 3 pengamatan, dimana sudah terlihat jelas secara visual. Hasil menunjukkan *Trichoderma* sp., sudah mendominasi pertumbuhan sehingga pertumbuhan *Fusarium* sp. tidak banyak mengalami pertumbuhan.



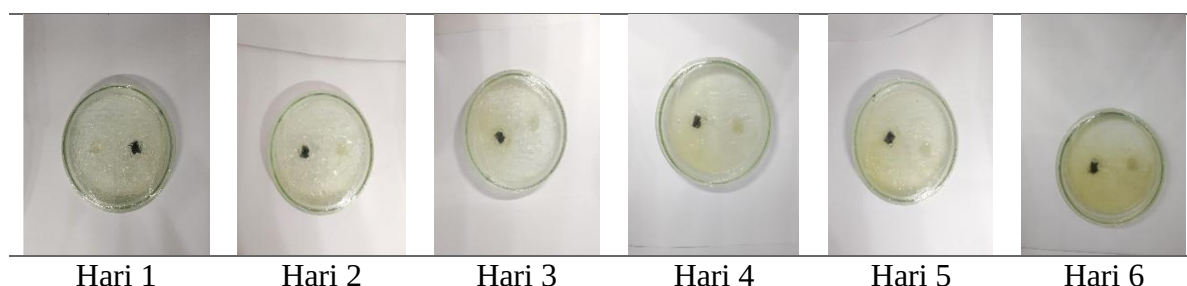
Gambar 2. Hasil Uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dengan *Fusarium* sp. selama 6 hari pengamatan. Keterangan ; Warna hijau ; *Trichoderma*, Warna Kuning ; *Fusarium*.

Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Fusarium* sp. (Gambar 3.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Fusarium* sp. Hasil menunjukkan bahwa agen hayati *Gliocladium* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Fusarium* sp., hasil ini dapat dilihat pada hari 3 pengamatan, dimana *Gliocladium* sp. mampu mendominasi pertumbuhan dari *Fusarium* sp., pada cawan petri. Hal ini menunjukkan bahwa *Gliocladium* sp., cukup efektif menekan pertumbuhan *Fusarium* sp. Hasil menunjukkan *Gliocladium* sp., sudah mendominasi pertumbuhan yang sudah mengelilingi *Fusarium* sp.



Gambar 3. Hasil Uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Fusarium* sp. selama 6 hari pengamatan. Keterangan ; Putih ; *Gliocladium*, Warna Kuning ; *Fusarium*.

Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Curvularia* sp. (Gambar 4.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan yang seimbang antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Curvularia* sp. Hasil menunjukkan bahwa agen hayati *Gliocladium* sp., belum mampu menahan pertumbuhan dari *Curvularia* sp., hasil ini dapat dilihat sampai hari 6 pengamatan, dimana *Gliocladium* sp. belum mampu mendominasi pertumbuhan dari *Curvularia* sp., pada cawan petri. Hal ini menunjukkan bahwa *Gliocladium* sp., belum terlalu optimal dalam mengendalikan *Curvularia* sp.



Gambar 4. Hasil Uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Curvularia* sp. selama 6 hari pengamatan. Keterangan ; Putih ; *Gliocladium*, Warna Hitam; *Curvularia*.

Pemanfaatan agen hayati sebagai agen untuk mengendalikan patogen pada tanaman menjadi solusi lebih ramah lingkungan dan mengurangi penggunaan pestisida kimia sintetik serta mendukung meningkatkan pertumbuhan tanaman. Shaili & Kabiraj, (2025) menyatakan bahwa pemanfaatan agen hayati dapat mengurangi penggunaan pestisida kimia dan dapat mengendalikan organisme pengganggu tanaman yang lebih efektif, sehingga dapat meningkatkan hasil panen. Fahad *et al.*, (2021) menyebutkan bahwa penggunaan agen hayati dapat membantu dalam menjaga populasi patogen yang dapat dikendalikan secara hayati, yang mendukung lingkungan menjadi ramah lingkungan dan mendukung pertanian berkelanjutan. Elnahal *et al.*, (2022) menyebutkan bahwa pemanfaatan agen hayati selain dapat meningkatkan ketahanan terhadap patogen, agen hayati dapat meningkatkan penyerapan nutrisi dan memperbaiki struktur tanah sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil pada tanaman.

Hasil uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dan *Curvularia* sp. menunjukkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp. mampu menahan pertumbuhan dari *Curvularia* sp. (Gambar 1.). Hal ini diduga karena *Trichoderma* sp. memiliki berbagai mekanisme antagonis yang efektif dalam menghambat patogen. Proses antagonisme yang dilakukan oleh *Trichoderma* sp. sebabkan karena persaingan antar dua patogen yang ditanam secara bersamaan. Harahap *et al.*, (2024) menyebutkan *Trichoderma* sp. bersifat antagonis terhadap *Curvularia* sp, sehingga dapat menghambat pertumbuhan dari patogen penyebab kerusakan pada tanaman. Hasil ini sejalan dengan penelitian Baiyee *et al.*, (2019) yang menyebutkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp, berkisaran 85,64%-93,03% melalui mekanisme kompetisi sehingga mampu menekan pertumbuhan *Curvularia* sp.. Yusmar *et al.*, (2023) menyatakan bahwa mekananisme antagonis yang dilakukan oleh *Trichoderma* sp. bersifat target, parasitisme dan ruang kompetisi yang efektif sehingga menekan pertumbuhan *Curvularia* sp.

Hasil uji antagonis menunjukkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Fusarium* sp. (Gambar 2). Penelitian Darmanto *et al.*, (2025) menyebutkan bahwa sifat antagonis dari *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. dengan daya hambatnya mencapai 91%. Zin & Badaluddin, (2020) menyatakan bahwa sifat daya hambat yang terjadi pada patogen disebabkan oleh kemampuan *Trichoderma* sp. sebagai parasit pada agen penyebab patogen dan membunuhnya setelah 120 jam inkubasi pada uji *dual culture*. Syarifah *et al.*, (2024) menyatakan bahwa penghambatan pada media PDA yang disebabkan oleh *Trichoderma* sp. terhadap *Fusarium* sp. disebabkan oleh karena terjadi mekanisme antibiosis dan kompetisi ruang.

Hasil uji antagonis perlakuan *Trichoderma* mampu menghambat terhadap pertumbuhan patogen *Curvularia* sp. dan *Fusarium* sp., hal ini mengindikasikan bahwa *Trichoderma* efektif untuk dijadikan sebagai agen pengendalian secara hayati. Guzman *et al.*, (2023) ; Poveda *et al.*, (2024) menyebutkan bahwa *Trichoderma* merupakan salah satu mikroorganisme yang sering digunakan sebagai agen pengendalian secara hayati karena bersifat seperti parasitisme, antibiotis, produksi metabolit sekunder dan induksi sistem pertahanan tanaman. Asad, (2022) menyebutkan bahwa mekanisme biokontrol yang dilakukan oleh *Trichoderma* , yang mengarah pada perlindungan tanaman yang efisien, dapat bersifat langsung ketika jamur berinteraksi dengan patogen melalui mikoparasitisme, kompetisi, atau antibiosis; dan secara tidak langsung dapat meningkatkan sistem pertahanan tanaman sehingga tanaman dapat mempertahankan diri terhadap patogennya. Gualtieri *et al.*, (2022) ; Tyskiewicz *et al.*, (2022) menyebutkan bahwa *Trichoderma* untuk menghasilkan sekitar 400 metabolit sekunder dengan sifat antagonis diantaranya peptaibol, poliketida, gislin, terpenoid, pirin dan antrakuinon yang aktivitas senyawanya bersifat fungisidanya serta menghasilkan senyawa metabolit non-volatil dan senyawa volatil yang memiliki kemampuan sebagai biokontrol.

Hasil uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Fusarium* sp. menunjukkan hasil terjadi persaingan antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Fusarium* sp., dimana agen hayati *Gliocladium* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Fusarium* sp. (Gambar 3.) Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Sofian *et al.*, (2025) yang menyebutkan bahwa agen hayati *Gliocladium* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. dengan tingkat daya hambatnya mencapai 60-75%. Hasil lain ditunjukkan pada penelitian Anadiasthy *et al.*, (2025) yang menyatakan bahwa daya hambat yang dihasilkan oleh agen hayati *Gliocladium* sp. terhadap *Fusarium* sp. mencapai 99% berdasarkan hasil uji

kultur ganda. Mukaromah *et al.*, (2025) menyatakan bahwa *Gliocladium* sp. juga memiliki kemampuan yang tidak kalah kuat dalam menghambat pertumbuhan patogen, terutama melalui produksi gliotoksin yang merupakan senyawa antifungi yang dimiliki oleh *Gliocladium* sp.

Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Curvularia* sp. (Gambar 4.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan yang seimbang antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Curvularia* sp. Anadiasthy *et al.*, (2025) menyatakan bahwa *Gliocladium* sp. memiliki kemampuan menghambat patogen lebih rendah dibandingkan dengan kemampuan penghambatan agen hayati lainnya, selanjutnya *Gliocladium* sp. hanya berfungsi sebagai kompetitor dan parasit serta tidak menghasilkan senyawa antibiosis. Malik *et al.*, (2022) menyatakan bahwa *Gliocladium* sp. akan lebih cepat dan menghambat pertumbuhan patogen apabila dalam proses mikoparasit banyak menyerap nutrisi.

KESIMPULAN

Hasil uji antagonis menunjukkan bahwa perlakuan agen hayati *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp. dan *Fusarium* sp. secara optimal. Perlakuan *Gliocladium* sp., mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp., namun kurang optimal dalam menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Program Studi Agroteknologi, Jurusan Pertanian, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan yang telah memfasilitasi kegiatan pembelajaran (*Team Base Project*).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., Zheng, H., Zuñiga, C., & Moya-elizondo, E. A. (2022). *Trichoderma* spp . Genes Involved in the Biocontrol Activity Against *Rhizoctonia solani*. *Front. Microbiol*, 13(May), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.884469>
- Al-askar, A. A., Saber, W. I. A., Ghoneem, K. M., Hafez, E. E., & Ibrahim, A. A. (2021). *Crude Citric Acid of Trichoderma asperellum : Tomato Growth*.
- Al-surhane, A. A. (2022). Saudi Journal of Biological Sciences Protective role of antifusarial eco-friendly agents (*Trichoderma* and salicylic acid) to improve resistance performance of tomato plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2933–2941. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.020>
- Anadiasthy, I. S., Bimantara, A., Alifianto, L. G., & Wicaksono, D. P. (2025). Antagonism Test of *Trichoderma harzianum* and *Gliocladium* sp . in the Golden Tricho Product Against *Fusarium* sp . *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3, 518–531.
- Asad, S. A. (2022). Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases - A review. *Ecological Complexity*, 49(June 2021), 100978. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>
- Ayaz, M., Ali, F., Yu, X., Yu, Q., Zhao, J., Yu, J., Qi, R., & Huang, W. (2023). Bacterial and Fungal Biocontrol Agents for Plant Disease Protection: Journey from Lab to Field, Current Status, Challenges, and Global Perspectives. *Molecules*, 28(6375), 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules28186735>
- Baiyee, B., Pornsuriya, C., Ito, S., & Sunpapao, A. (2019). *Trichoderma spirale* T76-1 displays biocontrol activity against leaf spot on lettuce (*Lactuca sativa* L .) caused by *Corynespora cassiicola* or *Curvularia aerea*. *Biological Control*, 129(June 2018), 195–200.

<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.018>

- Beyari, E. A. (2025). Alternatives to chemical pesticides: the role of microbial biocontrol agents in phytopathogen management: a comprehensive review. *Journal of Plant Pathology*, 107(1), 291–314. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01808-8>
- Darmanto, K., Lihawa, M., Husain, I., & Pulogu, S. I. (2025). Uji Antagonis Agen Hayati *Trichoderma* Sp. Terhadap *Colletotrichum Capsici* Dan *Fusarium* Sp. Dari Tanaman Cabai. *JATT*, 14(1), 52–66.
- Elnahal, A. S. M., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Desoky, E.-S. M., El-Tahan, A. M., Rady, M. M., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2022). The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *European Journal of Plant Pathology*, 162(4), 759–792. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02393-7>
- Fadiji, A. E., & Babalola, O. O. (2020). Elucidating Mechanisms of Endophytes Used in Plant Protection and Other Bioactivities With Multifunctional Prospects. *Front. Bioeng and Biotechnol*, 8(May), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00467>
- Fahad, S., Saud, S., Akhter, A., Ahsan, A., Hassan, S., Battaglia, M., Adnan, M., Wahid, F., Datta, R., Babur, E., Danish, S., & Zarei, T. (2021). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences Bio-based integrated pest management in rice: An agro-ecosystems friendly approach for agricultural sustainability. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(2), 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.12.004>
- Fardhani, D. M., Fuadiyah, D. A., Susila, W. A., & Afifah, I. (2024). Inhibition of *Gliocladium* sp against plant pathogenic fungus and their exoenzyme activity. *International Journal of Health Science and Technology*, 6(1), 45–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.31101/ijhst.v6i1.3312>
- Fenta, L., & Mekonnen, H. (2024). Microbial Biofungicides as a Substitute for Chemical Fungicides in the Control of Phytopathogens : Current Perspectives and. *Scientifica*, 2024(November), 1–22. <https://doi.org/10.1155/2024/5322696>
- Fontana, D. C., Paula, S. De, Torres, A. G., Hugo, V., Souza, M. De, Pascholati, F., Schmidt, D., & Neto, D. D. (2021). Endophytic Fungi : Biological Control and Induced Resistance to Phytopathogens and Abiotic Stresses. *Pathogens Review*, 10(570), 1–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pathogens10050570>
- Gualtieri, L., Monti, M. M., Mele, F., Russo, A., Pedata, P. A., & Ruocco, M. (2022). Volatile Organic Compound (VOC) Profiles of Different *Trichoderma* Species and Their Potential Application. *Journal of Fungi Article*, 8(989), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jof8100989>
- Guzman, Paulina, K., Ajay, Santos-villalobos, S. D. L., Parra-cota, F. I., Orozco-mosqueda, M. C., Fadiji, A. E., Hyder, S., Babalola, O. O., & Santoyo, G. (2023). *Trichoderma* Species : Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases — A Review. *Plants Review*, 12(432), 1–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Harahap, M. S., Siregar, E. J., Lubis, M. H., Harahap, H., Lubis, J. R., Muhammad, T., & Gunung, R. (2024). Optimalisasi Strategi Pengendalian Bercak Daun *Curvularia* sp. pada Pembibitan Kelapa Sawit di Desa Binanga. *Jumas : Jurnal Masyarakat*, 03(1995), 73–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.54209/jumas.v3i02.93spesies>
- Irmawatie, L., Adviany, I., Hamdani, D., Nurdin, R., Suswana, S., Ginger, E., Ginger, E., Ginger, R., & Biostimulant, A. (2025). Effects of *Gliocladium* sp . on Suppression of the Intensity of Scab Disease (*Streptomyces scabies* Lambert and Loria) and the Quality of Potato Seeds (*Solanum tuberosum* L .). *Central Research Institute for Agriculture (CeRIA)*, 19(1), 9–14. <https://doi.org/10.59651/ccria>
- Kalimutu, K., Bagus, I., Mahardika, K., Agung, A., & Putri, S. (2020). SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science) Antagonism Test of *Trichoderma atroviride* and *Gliocladium* sp . Bali Local Isolates As a Disease Control of Blendok Disease (*Botryodiplodia theobromae*) in Grapefruit (*Citrus grandis* L . Osbeck). *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)*, 04(02), 102–110. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22225/seas.4.2.2311.102-110>
- Khalimi, K., Wayan, N., & Leana, A. (2025). Antifungal Activity of *Gliocladium viride* against *Fusarium oxysporum*. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 30(April), 268–276.

<https://doi.org/10.18343/jipi.30.2.268>

- Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Kenfaoui, J., & Esmaeel, Q. (2022). Biological Control of Plant Pathogens : A Global Perspective. *Microorganisms Review*, 10(596), 1–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microorganisms10030596>
- Li, J., Hu, M., Xue, Y., Chen, X., Lu, G., & Zhang, L. (2020). microorganisms Screening , Identification and E ffi cacy Evaluation of Antagonistic Bacteria for Biocontrol of Soft Rot Disease Caused by *Dickeya zeae*. *Microorganisms*, 8(697), 2–19. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050697>
- Malik, A. F., Siagian, R., & Diyasti, F. (2022). Penghambatan *Gliocladium* Sp. Cordo. Terhadap *Phytophthora Capsici* Leonian. Penyebab Penyakit Busuk Pangkal Batang Lada Serta Bentuk Formulasinya. *AGROSCRIPT Journal of Applied Agricultural Sciences*, 4(1), 39–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.36423/agroscript.v4i1.972>
- Mukaromah, B. D., Bahri, S., & Indahsari, W. M. N. (2025). Exploration and Identification of *Gliocladium* sp as Biological Agent from the Rhizosphere of Tomato. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/jbekh.v12i1.390>
- Negi, R., Sharma, B., Kaur, S., Kaur, T., Khan, S. S., Kumar, S., Ramniwas, S., Rustagi, S., Singh, S., Rai, A. K., Kour, D., & Thakur, N. (2023). Microbial antagonists : diversity , formulation and applications for management of pest – pathogens. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00748-2>
- Oyesola, O. L., Kinge, R. T., & Obembe, O. O. (2025). Trichoderma: A Review of its Mechanisms of Action in Plant Sustainable Disease Control. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1492(1), 12008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1492/1/012008>
- Poveda, J., Millen, M. R., & Bailey, A. M. (2024). Analysis of Trichoderma as an effective biological control agent against the honey fungus (*Armillaria* spp .). *Biological Control*, 188(August 2023), 105424. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105424>
- Saad, A. M., Soliman, S. M., Salem, H. M., Ahmed, A. I., Babalghith, A. O., & Elrys, A. S. (2022). Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases : Mechanisms , challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 13(October), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.923880>
- Shaili, S. J., & Kabiraj, U. K. (2025). Fungal Biocontrol in Agriculture : A Sustainable Alternative to Chemical Pesticides – A Comprehensive Review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 26(01), 2305–2316. <https://doi.org/https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.26.1.0732>
Abstract
- Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2024). A systematic review of pesticide exposure , associated risks , and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*, 13(November), 101840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>
- Sofian, Sopialena, & Aprilia, R. (2025). Antagonistic Test of Endophytic Fungi from Black Pepper (*Piper nigrum* L .) against *Fusarium oxysporum* the Main Cause of *Fusarium* Wilt in Chili Plants (*Capsicum annuum* L .). *JAPSI (Journal of Agriprecision and Social Impact)*, 2(3), 368–387. <https://doi.org/10.62793/japsi.v2i3.75>
- Sopialena, Nadira, N., & Arwita, P. (2024). Antagonist Test of Trichoderma sp and *Gliocladium* sp Againts Fungal Pathogens That Cause Diseases on Tomato Plant. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 7(1), 78–84. <https://doi.org/DOI.210.35941/JATL>
- Syarifah, S. M., Sari, O. P., & Bimantara, A. (2024). Isolat Trichoderma sp . Asal Rizosfer Bambu dari Kecamatan Kedu , Kabupaten Temanggung (Pathogen Biological Control of *Fusarium oxysporum* f . sp . capsica using Isolated Trichoderma sp . of Bamboo Rhizosphere from Kedu District , Temanggung Regency). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 29(3), 454–460. <https://doi.org/10.18343/jipi.29.3.454>
- Thambugala, K. M., Daranagama, D. A., & Phillips, A. J. L. (2020). Fungi vs . Fungi in Biocontrol : An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Pathogens. *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 10(November), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.604923>

- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., & Chu, C. (2021). Agriculture Development , Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1112), 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Tyskiewicz, R., Nowak, A., & Ozimek, E. (2022). Trichoderma : The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *Molecular Sciences*, 23(2329), 1–28.
- Vicente, I., Baroncelli, R., Bernardi, R., Puntoni, G., Hermosa, R., Monte, E., Vannacci, G., & Sarrocco, S. (2020). Combined Comparative Genomics and Gene Expression Analyses Provide Insights into the Terpene Synthases Inventory in Trichoderma. *Microorganisms Article*, 8(1603), 1–20. <https://doi.org/doi:10.3390/microorganisms8101603>
- Yusmar, M., Aslamil, M., & Siti, Z. (2023). Uji Pelet Biofungisida Trichoderma Harzianum Mengandung Beberapa Bahan Alami terhadap Curvularia Sp . secara In Vitro. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, 507–519. <https://doi.org/https://doi.org/10.47687/snppvp.v4i1.674>
- Zhang, C., Wang, W., Xue, M., Liu, Z., Zhang, Q., & Hou, J. (2021). *The Combination of a Biocontrol Agent Trichoderma asperellum SC012 and Hymexazol Reduces the Effective Fungicide Dose to Control Fusarium Wilt in Cowpea*.
- Zhang, Y., Xiao, J., Yang, K., Wang, Y., Tian, Y., & Id, Z. L. (2022). *Transcriptomic and metabonomic insights into the biocontrol mechanism of Trichoderma asperellum M45a against watermelon*. 1–19.
- Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, 11(1), 100410. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>
- Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Annals of Agricultural Sciences Biological functions of Trichoderma spp . for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>