

## **Uji Konsentrasi Metabolit Sekunder *Trichoderma* sp. terhadap *Alternaria porri* Penyebab Penyakit Bercak Ungu pada Bawang Merah**

**Faista Agri<sup>1\*</sup>, Tunjung Pamekas<sup>1</sup>, Yenny Sariasis<sup>1</sup>, Priyatiningih<sup>1</sup>, Hendri Bustamam<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu

Email: [faistaagris@gmail.com](mailto:faistaagris@gmail.com)

---

### **Abstrak**

Penyakit bercak ungu yang disebabkan oleh *Alternaria porri* merupakan salah satu kendala utama dalam budidaya bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) karena dapat menurunkan hasil panen hingga lebih dari 50%. Penggunaan pestisida kimia yang berlebihan berpotensi menimbulkan resistensi patogen dan pencemaran lingkungan, sehingga diperlukan alternatif pengendalian yang ramah lingkungan seperti pemanfaatan metabolit sekunder *Trichoderma* sp. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. terhadap pertumbuhan *A. porri* secara *in vitro* dan menentukan konsentrasi yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan patogen. Penelitian dilakukan di Laboratorium Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu menggunakan metode kultur gelas objek (*slide culture method*) pada media Potato Dextrose Agar (PDA). Perlakuan terdiri atas empat taraf konsentrasi metabolit sekunder, yaitu 0 ppm (kontrol), 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm, dengan dua ulangan. Parameter yang diamati adalah daya hambat pertumbuhan koloni *A. porri*, terhadap ekstrak metabolit sekunder *Trichoderma* sp. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh perlakuan metabolit sekunder mampu menghambat pertumbuhan *A. porri* dibanding kontrol, dan tingkat penghambatan meningkat seiring peningkatan konsentrasi. Perlakuan 300 ppm memberikan persentase hambatan tertinggi serta pertumbuhan koloni terendah, menunjukkan efektivitas optimal dalam menekan patogen. Dengan demikian, metabolit sekunder *Trichoderma* sp. pada konsentrasi 300 ppm berpotensi dikembangkan sebagai agen pengendali hayati ramah lingkungan untuk penyakit bercak ungu pada bawang merah.

Kata kunci: *Alternaria porri*, Bawang merah, *In vitro*, Metabolit sekunder, *Trichoderma* sp.

---

### **Abstract**

*Purple blotch disease caused by Alternaria porri is one of the major constraints in shallot (Allium ascalonicum L.) cultivation, as it can reduce yield by more than 50%. Excessive use of chemical pesticides may lead to pathogen resistance and environmental pollution; therefore, an environmentally friendly alternative control method is needed, such as the use of secondary metabolites of Trichoderma sp. This study aimed to determine the effect of various concentrations of Trichoderma sp. secondary metabolites on the growth of A. porri under in vitro conditions and to identify the most effective concentration in inhibiting pathogen growth. The research was conducted at the Plant Protection Laboratory, Faculty of Agriculture, University of Bengkulu, using the slide culture method on Potato Dextrose Agar (PDA) medium. The treatments consisted of four concentration levels of Trichoderma sp. secondary metabolites, namely 0 ppm (control), 100 ppm, 200 ppm, and 300 ppm, with two replications. The observed parameter was the of growth inhibition of A. porri colonies against the Trichoderma sp. metabolite extract. The results showed that all metabolite treatments inhibited A. porri growth compared to the control, and the inhibition level increased with higher concentrations. The 300 ppm treatment produced the highest inhibition percentage and the lowest colony growth, indicating optimal effectiveness in suppressing the pathogen. Therefore, Trichoderma sp. secondary metabolites at a concentration of 300 ppm have great potential to be developed as an environmentally friendly biocontrol agent against purple blotch disease in shallots.*

Keywords: *Alternaria porri*, *In vitro*, Secondary metabolites, Shallot, *Trichoderma* sp.

---

## PENDAHULUAN

Bawang merah merupakan salah satu komoditas sayuran yang mempunyai arti penting bagi masyarakat baik dari nilai ekonominya yang tinggi maupun kandungan gizinya. Bawang merah mengandung kalori, karbohidrat, lemak, protein, vitamin, dan mineral. Bawang merah juga mengandung senyawa allicin dan minyak atsiri yang bersifat bakterisida dan fungisida terhadap bakteri dan jamur (Wibowo, 2009).

Banyak kendala dalam meningkatkan produksi tanaman bawang merah salah satu kendala yang sangat penting dan sering kita jumpai yaitu adanya penyakit bercak ungu yang disebabkan oleh jamur patogen *Alternaria porri*. Penyakit bercak ungu pada tanaman bawang merah ini mengakibatkan kerugian yang cukup tinggi bagi para petani. Jamur *A. porri* biasanya menyerang pada bagian daun tanaman bawang merah namun pada kondisi tertentu jamur tersebut juga dapat menyerang batang maupun umbi (Ruswandari *et al.*, 2020). Risdiyanti (2023) menyatakan penyakit bercak ungu diketahui sebagai penyakit utama pada pertanaman bawang dan telah menjadi endemik di pusat-pusat pertanaman sehingga mengakibatkan kerugian yang cukup besar bagi petani. Persentase kehilangan hasil panen yang diakibatkan *A. porri* dapat mencapai 3-57%.

Jamur *A. porri* merupakan salah satu penyebab penyakit penting dalam budidaya bawang merah karena dapat menurunkan produksi bawang merah. Menurut Semangun (2004), *A. porri* menyebabkan penyakit bercak ungu pada tanaman bawang merah dengan gejala bercak warna kelabu keunguan pada daun, di dalamnya tampak garis melingkar seperti cincin, bercak membesar membentuk cekungan.

*Trichoderma* sp. adalah salah satu alternatif yang relatif aman bagi lingkungan. jamur ini diketahui memiliki kemampuan antagonis terhadap jamur patogen. Biasanya mudah ditemukan pada ekosistem tanah dan akar tanaman (Harman *et al.*, 2004). *Trichoderma* sp. adalah jamur saprofit tanah yang secara alami merupakan parasit yang menyerang banyak jenis jamur penyebab penyakit tanaman

Penggunaan jamur *Trichoderma* sp. dalam menghambat pertumbuhan patogen dapat dilakukan dengan pemberian formula cair berupa filtrat (Triasih *et al.*, 2022). Hal ini disebabkan karena filtrat *Trichoderma* sp. mampu menghasilkan enzim dan metabolit sekunder berupa kitinase,  $\beta$ -1,3- glukanase, polyketides, peptaibols, isonitriles serta antibiotik yang mampu menghambat pertumbuhan spora jamur dengan merusak dinding sel patogen (Dewi *et al.*, 2015; Antari *et al.*, 2020).

Hasil penelitian Wardana (2023) melaporkan bahwa kultur filtrat *Trichoderma* sp. mampu mengendalikan penyakit busuk pangkal batang pada tanaman kelapa sawit melalui mekanisme antagonisme kompetisi, antibiotis, hiperparatisme, dan produksi enzim litik sehingga mampu menghambat pertumbuhan patogen. Konsentrasi metabolit *Trichoderma* sp. 300 ppm merupakan konsentrasi yang efektif dalam menghambat pertumbuhan *Ganoderma boninense* dibanding konsentrasi 100 ppm dan 200 ppm.

Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh *Trichoderma* sp. mengandung senyawa viridin dan trikomidin yang memiliki sifat antibiosis. Menurut Susandi *et al.*, (2018) berdasarkan persentase daya hambat dengan menggunakan *Trichoderma* sp. terhadap pertumbuhan penyakit *A. porri*, menyatakan bahwa *Trichoderma* sp. memiliki kemampuan menekan perkembangan *A. porri*. Mekanisme penghambatan ini diduga terjadi melalui berbagai cara yang dimiliki jamur antagonis *Trichoderma* sp. dalam mengendalikan pertumbuhan patogen. Oleh karena itu, berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan upaya pengendalian pada tanaman bawang merah yang terinfeksi penyakit bercak ungu oleh *A. porri* dengan vaksinasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp.

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh berbagai konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. terhadap pertumbuhan *Alternaria porri* dan menentukan konsentrasi yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan patogen.

## METODE

Penelitian dilaksanakan pada September–Oktober 2025 di Laboratorium Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu. Penelitian ini menggunakan konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. yang terdiri dari empat taraf perlakuan, yaitu P0 = 0 ppm (kontrol), P1 = 100 ppm, P2 = 200 ppm, dan P3 = 300 ppm, masing-masing diulang sebanyak dua kali.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mikropipet dan tip, tabung reaksi, erlenmeyer, cawan petri, gelas objek, autoklaf, *laminar air flow* (LAF), shaker inkubator, sentrifuge, timbangan analitik, cork borer (5–7 mm), bunsen, jarum ose, pipet tetes, inkubator, gunting steril, serta alat dokumentasi pengamatan. Bahan penelitian terdiri atas sampel daun bawang merah yang menunjukkan gejala bercak ungu, isolat cendawan *Alternaria porri* dan *Trichoderma* sp., medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan *Potato Dextrose Broth* (PDB), aquades steril, NaOCl 1%, dextrose, nutrient broth, kentang, alkohol 70%, kertas tisu steril, serta ekstrak metabolit sekunder *Trichoderma* sp.

dengan konsentrasi 0 ppm (kontrol), 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm yang digunakan sebagai perlakuan pada pengujian in vitro.

Penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel daun bawang merah yang menunjukkan gejala bercak ungu dari lahan petani di Kabupaten Curup. Sampel dibersihkan, dipotong bagian yang terinfeksi, dan diisolasi pada medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) untuk mendapatkan koloni patogen *Alternaria porri*. Setelah koloni tumbuh, identifikasi dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis. Cendawan *Trichoderma* sp. diisolasi dari tanah perakaran tanaman bawang sehat menggunakan metode pengenceran bertingkat pada medium PDA, kemudian koloni yang tumbuh dimurnikan dan diidentifikasi. Medium *Potato Dextrose Broth* (PDB) disiapkan dengan merebus 200 g kentang dalam 1000 ml aquades, lalu ditambahkan *dextrose*, *nutrient broth*, dan aquades hingga volume satu liter, kemudian disterilkan menggunakan autoklaf.

Kultur *Trichoderma* sp. ditumbuhkan pada medium PDB dan diinkubasi menggunakan shaker dengan kecepatan 90 rpm pada suhu kamar selama dua minggu. Setelah inkubasi, kultur disentrifugasi pada kecepatan 6000 rpm selama lima menit untuk memperoleh supernatan yang berisi metabolit sekunder, yang kemudian disimpan pada suhu 4°C. Pengujian in vitro dilakukan menggunakan metode kultur gelas objek dengan menumbuhkan *Alternaria porri* pada medium PDA dan menambahkan metabolit sekunder *Trichoderma* sp. sesuai perlakuan konsentrasi, yaitu 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Pengamatan dilakukan terhadap pertumbuhan patogen untuk mengetahui pengaruh masing-masing konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. terhadap *Alternaria porri*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang meliputi proses isolasi, identifikasi, serta pengujian efektivitas berbagai konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. terhadap pertumbuhan *Alternaria porri* secara in vitro. Hasil yang diperoleh kemudian dibahas dengan mengaitkannya pada teori dan penelitian sebelumnya untuk menjelaskan mekanisme penghambatan yang terjadi.



Gambar 1. Isolasi penyakit bercak ungu

Proses isolasi dilakukan untuk memperoleh koloni murni *Alternaria porri* dari jaringan daun bawang merah yang memperlihatkan gejala khas bercak ungu. Secara visual, gejala awal pada daun tampak berupa bercak kecil berwarna kuning keunguan yang kemudian melebar, membentuk lingkaran konsentris menyerupai cincin dan menyebabkan jaringan daun mengering. Terlihat koloni jamur tumbuh dengan warna putih dan tekstur agak berbulu. Keberhasilan isolasi ini menunjukkan bahwa teknik sterilisasi dan pemilihan bagian jaringan terinfeksi telah tepat, karena menghasilkan pertumbuhan koloni jamur patogen tanpa adanya kontaminasi mikroorganisme lain. Tahap isolasi ini merupakan langkah penting untuk memastikan sumber inokulum yang digunakan pada tahap pengujian berasal dari patogen target, yaitu *A. porri*, penyebab utama penyakit bercak ungu pada bawang merah.



Gambar 2. Cendawan *Alternaria porri* secara makroskopis dan mikroskopis

Hasil pengamatan makroskopis terhadap koloni *A. porri* memperlihatkan pertumbuhan yang relatif cepat pada medium PDA dengan koloni berwarna putih. Bagian tepi koloni tampak tidak beraturan dengan permukaan sedikit berbulu dan bagian bawah koloni berwarna keunguan. Ciri morfologi ini sesuai dengan deskripsi *A. porri* oleh Semangun (2004), yang menegaskan bahwa warna koloni dapat menjadi indikator kuat dalam identifikasi awal jamur. Sementara itu, pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa konidiofor *A. porri* tegak, bersekat, dan berwarna cokelat gelap, sedangkan konidia berbentuk lonjong hingga gada (*clavate*), bersekat melintang 6–10 buah, serta tersusun seperti rantai di ujung konidiofor. Struktur konidia ini merupakan ciri diagnostik

khas genus *A. porri*. Morfologi tersebut mengonfirmasi bahwa isolat yang diperoleh merupakan *A. porri*, patogen utama penyebab penyakit bercak ungu pada bawang merah. Identifikasi ini menjadi dasar yang kuat untuk melanjutkan tahap pengujian antagonisme dengan metabolit sekunder *Trichoderma sp.*



Gambar 3. Cendawan *Trichoderma sp.* makroskopis dan mikroskopis

Koloni *Trichoderma sp.* yang diperoleh dari isolasi tanah perakaran tanaman bawang merah sehat menunjukkan pertumbuhan sangat cepat dan menyebar merata pada medium PDA. Secara makroskopis, koloni berwarna putih pada fase awal pertumbuhan dan kemudian berubah menjadi hijau muda hingga hijau tua pada fase sporulasi. Tekstur koloni tampak halus dan padat dengan bagian tepi tidak rata. Warna hijau khas ini dihasilkan oleh konidia *Trichoderma sp.* yang melimpah, menandakan kemampuan sporulasi tinggi dan vitalitas jamur yang baik.

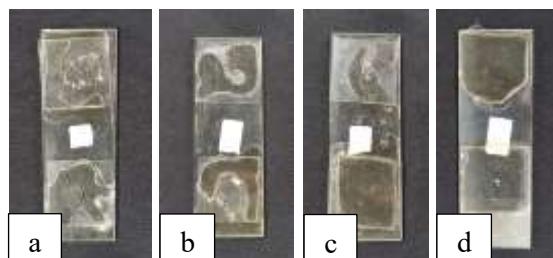
Pada pengamatan mikroskopis, terlihat konidiofor bercabang banyak, hialin, serta menghasilkan konidia bulat berukuran kecil yang membentuk kumpulan (massa konidia) di ujung cabang. Morfologi ini sejalan dengan karakteristik *Trichoderma* sebagaimana dijelaskan oleh Harman *et al.*, (2004), yakni jamur antagonis yang dikenal menghasilkan enzim litik seperti kitinase dan glukanase, serta senyawa metabolit sekunder seperti viridin dan trikomidin. Kemampuan ini menjadikan *Trichoderma sp.* efektif sebagai agen pengendali hidup (biokontrol) terhadap berbagai patogen tular tanah maupun tular udara.



Gambar 4. Metabolit sekunder *Trichoderma sp.*

Metabolit sekunder *Trichoderma sp.* diperoleh melalui proses fermentasi pada medium cair *Potato Dextrose Broth* (PDB) selama dua minggu menggunakan shaker.

Setelah masa inkubasi, suspensi kultur disentrifugasi untuk memisahkan supernatan yang mengandung senyawa metabolit. Secara visual, filtrat yang diperoleh tampak berwarna kekuningan, menunjukkan adanya akumulasi senyawa bioaktif hasil metabolisme sekunder. Metabolit sekunder ini diketahui mengandung berbagai senyawa antibiotik seperti gliotoksin, viridin, trikomidin, serta peptaibol yang memiliki aktivitas antifungi tinggi. Menurut Vinale *et al.*, (2008), senyawa-senyawa tersebut bekerja dengan cara mengganggu integritas membran sel patogen, menghambat pembentukan dinding sel, serta menekan aktivitas enzim patogen. Oleh karena itu, ekstrak metabolit ini memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan pengendali hayati yang ramah lingkungan, menggantikan sebagian fungsi fungisida kimia sintetik.



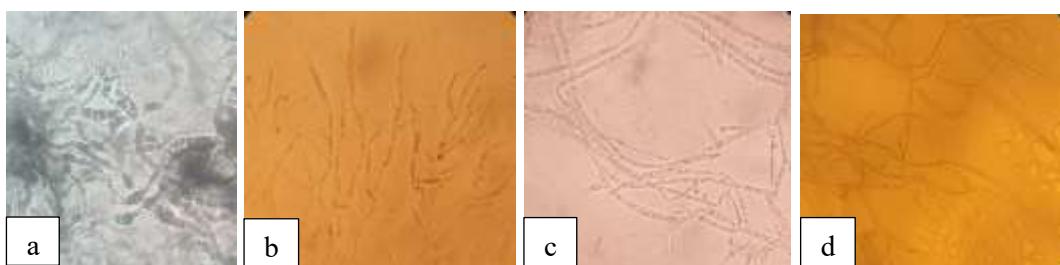
Gambar 5. Uji in vitro *Alternaria porri* dengan metabolit sekunder *Trichoderma* sp. a) Kontrol; b) Konsentrasi 100 ppm; c) Konsentrasi 200 ppm; d) Konsentrasi 300 ppm

Uji *in vitro* dilakukan untuk menilai efektivitas berbagai konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dalam menghambat pertumbuhan koloni *A. porri* pada medium PDA. Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan nyata antar perlakuan.

Pada perlakuan kontrol (0 ppm), koloni *A. porri* tumbuh cepat dan menutupi hampir seluruh permukaan media setelah beberapa hari inkubasi, menunjukkan tidak adanya hambatan. Pada konsentrasi 100 ppm, pertumbuhan koloni mulai terhambat, ditandai dengan diameter koloni yang lebih kecil dibandingkan kontrol. Selanjutnya, pada konsentrasi 200 ppm, hambatan semakin jelas dengan area pertumbuhan yang jauh berkurang. Sedangkan pada konsentrasi 300 ppm, pertumbuhan koloni *A. porri* hampir sepenuhnya terhenti, bahkan pada beberapa gelas objek tidak tampak pertumbuhan hifa baru.

Peningkatan daya hambat seiring bertambahnya konsentrasi metabolit menunjukkan adanya hubungan linear antara jumlah senyawa aktif dan intensitas penghambatan. Hal ini sejalan dengan penelitian Wardana (2023) yang menyatakan

bahwa konsentrasi metabolit *Trichoderma* sebesar 300 ppm memberikan penghambatan maksimal terhadap *Ganoderma boninense* pada tanaman kelapa sawit. Mekanisme penghambatan yang terjadi diduga melalui aktivitas antibiosis, yaitu pelepasan senyawa toksik yang mampu merusak struktur membran dan dinding sel *A. porri*, menyebabkan kebocoran sitoplasma, dan akhirnya menghambat pertumbuhan jamur. Selain itu, kemungkinan terdapat efek enzimatik dari senyawa seperti kitinase dan  $\beta$ -1,3-glukanase yang turut mempercepat degradasi dinding sel patogen.



Gambar 6. Pengamatan mikroskopis kelebatan hifa *Alternaria porri* a) Kontrol; b) Konsentrasi 100 ppm; c) Konsentrasi 200 ppm; d) Konsentrasi 300 ppm

Hasil pengamatan mikroskopis terhadap *Alternaria porri* setelah diberi perlakuan berbagai konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. menunjukkan adanya perbedaan morfologi hifa yang sangat jelas antarperlakuan. Perbedaan tampak pada tingkat kerapatan, ketebalan, dan bentuk hifa yang terbentuk. Secara umum, semakin tinggi konsentrasi metabolit yang diberikan, semakin rendah kelebatan serta kualitas pertumbuhan hifa.

Pada perlakuan kontrol (0 ppm), pengamatan mikroskopis memperlihatkan struktur hifa yang normal, tebal, dan bercabang banyak. Hifa tampak hialin hingga kecokelatan dengan permukaan halus dan percabangan yang teratur. Pertumbuhan hifa terlihat sangat padat dan membentuk anyaman rapat, menandakan bahwa pada kondisi tanpa perlakuan metabolit, *A. porri* mampu tumbuh secara optimal. Aktivitas metabolismik sel berlangsung baik karena tidak ada gangguan dari senyawa antibiosis, sehingga pembentukan dinding sel dan sintesis kitin berlangsung sempurna.

Pada perlakuan 100 ppm, mulai terlihat perubahan struktur hifa. Hifa masih tampak tumbuh dengan cukup baik, namun percabangan mulai berkurang dan diameter hifa sedikit mengecil. Beberapa ujung hifa tampak mengalami pembengkakan (*swelling*) dan tidak lagi tumbuh lurus seperti pada kontrol. Fenomena ini menunjukkan adanya gangguan awal pada aktivitas pertumbuhan ujung hifa akibat paparan senyawa bioaktif

dalam metabolit sekunder *Trichoderma sp.* yang mulai menghambat proses pembelahan sel.

Pada perlakuan 200 ppm, kelebatan hifa menurun tajam. Di bawah mikroskop, hifa tampak lebih tipis, rapuh, dan sebagian besar tidak beraturan. Percabangan menjadi jarang dan beberapa segmen hifa menunjukkan tanda-tanda vakuolisasi atau kerusakan internal. Perubahan morfologi ini diduga disebabkan oleh adanya senyawa antibiosis seperti viridin dan trikomidin yang mengganggu integritas membran plasma dan dinding sel jamur. Gangguan ini menyebabkan hilangnya keseimbangan osmotik dan kebocoran isi sel, yang pada akhirnya menghambat pembentukan hifa baru.

Perlakuan dengan konsentrasi 300 ppm memperlihatkan efek paling kuat terhadap morfologi *A. porri*. Hifa tampak sangat jarang, banyak yang mengalami fragmentasi atau pecah menjadi bagian-bagian kecil, dan tidak lagi membentuk jaringan hifa yang utuh. Beberapa hifa tampak mengalami lisis (pecah) dan kehilangan bentuk silindrinya. Warna hifa juga menjadi lebih pucat, menunjukkan berkurangnya kandungan sitoplasma akibat kerusakan membran. Keadaan ini menandakan bahwa pada konsentrasi tinggi, metabolit sekunder *Trichoderma sp.* mampu menimbulkan efek sitotoksik kuat terhadap sel *A. porri*, yang secara efektif menghambat pertumbuhan vegetatifnya.

Secara fisiologis, perubahan morfologi dan penurunan kelebatan hifa ini menggambarkan mekanisme kerja senyawa metabolit sekunder *Trichoderma sp.* yang bersifat antibiosis dan enzimatik. Menurut Vinale *et al.* (2008), senyawa metabolit seperti gliotoksin, peptaibol, dan trikomidin dapat menghambat sintesis protein, mengganggu struktur dinding sel, serta menurunkan permeabilitas membran. Selain itu, *Trichoderma sp.* juga menghasilkan enzim litik seperti kitinase,  $\beta$ -1,3-glukanase, dan protease yang dapat mendegradasi komponen utama dinding sel patogen, terutama kitin, sehingga struktur hifa menjadi lemah dan mudah rusak.

Penurunan kelebatan hifa secara mikroskopis juga menunjukkan bahwa metabolit *Trichoderma sp.* berpotensi menghambat pembentukan konidia, karena proses pembentukan spora pada jamur umumnya diawali dari ujung hifa yang aktif tumbuh. Dengan terhambatnya pertumbuhan hifa, siklus reproduksi patogen ikut terhambat, sehingga dapat menurunkan tingkat penyebaran penyakit di lapangan.

Hasil ini sejalan dengan temuan Susandi *et al.* (2018) yang melaporkan bahwa pemberian metabolit *Trichoderma sp.* dapat menyebabkan perubahan morfologi hifa patogen, meliputi penipisan, pengertuan, dan kerusakan pada ujung hifa. Fenomena

serupa juga dilaporkan oleh Wardana (2023) bahwa filtrat kultur *Trichoderma sp.* pada konsentrasi tinggi menyebabkan deformasi hifa dan penurunan densitas pertumbuhan pada patogen *Ganoderma boninense*. Hal ini menegaskan potensi metabolit sekunder *Trichoderma sp.* sebagai sumber senyawa antifungi alami yang dapat dimanfaatkan dalam strategi pengendalian hayati penyakit bercak ungu pada bawang merah secara ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metabolit sekunder *Trichoderma sp.* mampu menghambat pertumbuhan dan menurunkan kelebatan hifa *Alternaria porri* secara signifikan, dengan tingkat efektivitas yang meningkat seiring bertambahnya konsentrasi. Perlakuan 300 ppm menunjukkan hasil paling optimal, ditandai dengan hifa yang tipis, tidak teratur, dan mengalami kerusakan struktur. Hal ini menunjukkan bahwa metabolit sekunder *Trichoderma sp.* berpotensi besar sebagai agen pengendali hayati ramah lingkungan terhadap penyakit bercak ungu pada bawang merah. Saran Perlu dilakukan penelitian lanjutan secara *in vivo* di lahan pertanaman bawang merah untuk menguji efektivitas metabolit sekunder *Trichoderma sp.* dalam kondisi lingkungan nyata.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antari, N. M., Darmayasa, I. B. G., & Hardini, J. (2020). Efektivitas *Trichoderma asperellum* TKD dengan mediator pupuk kandang untuk mengendalikan penyakit layu Fusarium pada tanaman cabai merah (*Capsicum annum L.*). *Simbiosis*, 8(2), 63–71.
- Dewi, I. P., Maryono, T., Aeny, T. N., & Ratih, S. (2015). Kemampuan *Trichoderma* sp. dan filtratnya dalam menekan pertumbuhan *Sclerotium rolfsii* secara *in vitro*. *Jurnal Agrotek Tropika*, 3(1), 130–133.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56.
- Risdiyanti, R. L. (2023). *Antagonisme Streptomyces spp. terhadap Alternaria porri penyebab penyakit bercak ungu pada tanaman bawang merah (Allium ascalonicum L.)* (Skripsi). Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya.
- Ruswandi, V. R., Syauqi, A., & Rahayu, T. (2020). Uji antagonis jamur *Trichoderma viride* dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen *Alternaria porri* penyebab penyakit bercak ungu pada tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum L.*). *Jurnal Ilmiah Biosaintropis*, 5(2), 84–90.

- Semangun, H. (2004). *Penyakit-penyakit tanaman hortikultura di Indonesia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Susandi, Y. N. K., Sualang, D. S., & Paruntu, M. H. B. (2018). Antagonisme *Trichoderma* sp. terhadap *Alternaria porri* patogen penyakit bercak ungu tanaman bawang merah pada beberapa media. *Cocos*, 9(14), 1–11.
- Triasih, U., Wuryantini, S., & Agustini, D. (2022). Karakterisasi cendawan rizosfer kebun jeruk organik dan potensinya dalam menghambat pertumbuhan *Botryodiplodia theobromae* dan *Colletotrichum gloeosporioides*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 18(5), 205–212.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 1–10.
- Wardana, S. (2023). *Uji konsentrasi metabolit sekunder Trichoderma sp. terhadap penyakit busuk pangkal batang (BPB) Ganoderma boninense pada tanaman kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) Main Nursery* (Skripsi). Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Wibowo, S. (2009). *Budidaya bawang putih, bawang merah, dan bawang bombay*. Jakarta: Penebar Swadaya.