

Identifikasi jamur endofit dari tumbuhan *Sonneratia alba* J. E. Smith dan potensi antagonisnya terhadap jamur *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler

Identification of *Sonneratia alba* J. E. Smith endophytic fungi and its antagonists potential to the fungi *Alternaria Alternata* (Fr.) Keissler

Reinardus Bonfilio Angkur*, Sang Ketut Sudirga, Junita Hardini

Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana.

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali - 80361

*Email: reinfilio009@student.unud.ac.id

Diterima
1 Agustus 2024

Disetujui
6 November 2024

INTISARI

Alternaria alternata adalah jamur patogen penyebab penyakit *early blight* tanaman tomat yang mengakibatkan penurunan produksi mencapai 79% di beberapa negara. Solusi biokontrol alternatif untuk mengatasi masalah ini dapat memanfaatkan jamur endofit yang berasosiasi dengan tumbuhan mangrove. Tumbuhan mangrove *Sonneratia alba* memiliki banyak senyawa bioaktif dan strain jamur endofit yang telah banyak dimanfaatkan di bidang agrikultur hingga farmakologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jamur endofit dari tumbuhan *S. alba* dan mengetahui kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan jamur *A. alternata*. Hasil penelitian teridentifikasi 5 spesies jamur endofit, salah satunya *Penicillium* sp. yang memiliki penghambatan tertinggi terhadap *A. alternata* sebesar $73,96 \pm 2,24\%$. Filtrat jamur endofit *Penicillium* sp. KPM-2.1 secara signifikan ($P \leq 0,05$) menunjukkan daya hambat terbesar pada konsentrasi 100% (v/v) terhadap koloni *A. alternata*, yakni sebesar $37,76 \pm 1,97\%$. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa filtrat jamur *Penicillium* sp. KPM-2.1 kurang efektif sebagai antagonis *A. alternata* dibandingkan filtrat jamur endofit pembanding *Trichoderma harzianum* KPD-1, yakni sebesar $72,64 \pm 1,90\%$.

Kata kunci: mekanisme antagonis, jamur endofit, mangrove, dual culture, filtrat

ABSTRACT

Alternaria alternata is the fungal pathogen that causes early blight disease in tomato plants which results in production declines of up to 79% in several countries. An alternative biocontrol solution to overcome this problem can utilize endophytic fungi associated with mangrove plants. *Sonneratia alba* mangrove plant has many bioactive compounds and endophytic fungal strains which have been widely used in the agricultural and pharmacological fields. This research aims to identify endophytic fungi from *S. alba* and determine their ability to inhibit the growth of *A. alternata* fungi. The results of the research identified 5 species, one of them is *Penicillium* sp. with the highest inhibition against *A. alternata* namely $73.96 \pm 2.24\%$. Filtrate of the endophytic fungus *Penicillium* sp. significantly ($P \leq 0.05$) showed the greatest inhibitory power at a concentration of 100% (v/v) against *A. alternata* colonies, namely $37.76 \pm 1.97\%$. Based on these results, it can be concluded that the filtrate of *Penicillium* sp. KPM-2.1 fungus is less effective as an antagonist of *A. alternata* than filtrate of the comparative endophytic fungus *Trichoderma harzianum* KPD-1, which is $72.64 \pm 1.90\%$.

Keywords: antagonistic mechanism, endophytic fungi, mangrove, dual culture, filtrat

PENDAHULUAN

Alternaria adalah jamur penyebab penyakit *early blight* yang seringkali menginfeksi dan menyebabkan kerugian tanaman dari famili Solanaceae, salah satunya tomat. Data Badan Pusat Statistik Provinsi Bali tahun 2023 menunjukkan penurunan produksi tomat (ton) terbesar di Provinsi Bali pada tahun 2022 yakni sebesar 50,65%. Gejala penyakit *early blight* pada tanaman tomat dicirikan dari bercak kosentris kecokelatan pada daun, diameter bercak antara 1-2 cm, serta terdapat klorosis di sekitar bercak (Kumar et al., 2022). Kehilangan hasil tahunan yang disebabkan oleh *Alternaria* di Amerika Serikat, Australia, Inggris, dan India, mencapai 79% (Gulzar et al., 2018). Muthanas dan Isain (2019) melaporkan kejadian penyakit yang disebabkan oleh jamur *Alternaria* sp. pada 2 varietas tomat di lahan kering Amor-Amor, Lombok Utara mencapai 62,5%. Park et al. (2024) menambahkan bahwa *A. alternata* memiliki tingkat patogenitas tinggi serta lebih resisten terhadap fungisida dibandingkan jamur patogen daun lainnya.

Pengendalian penyakit menggunakan pestisida sintetik secara terus-menerus dapat mengakibatkan resistensi patogen serta akumulasi pestisida di tanah hingga produk yang dihasilkan (Istifadah et al., 2020). Berdasarkan hal tersebut, diperlukan solusi alternatifnya salah satunya memanfaatkan jamur endofit. Jamur endofit adalah jamur yang bersimbiosis mutualisme dengan jaringan tumbuhan sehat tanpa merugikan tumbuhan inangnya. Jamur endofit mampu meningkatkan kemampuan kompetitif dan resistensi tumbuhan inang terhadap patogen, sedangkan tumbuhan inang memberikan nutrisi bagi jamur endofit (Pavithra et al., 2020). Jamur endofit dari ekosistem mangrove dianggap menarik karena ekosistemnya yang berada di antara ekosistem laut dan darat sehingga tahan terhadap perubahan lingkungan dari segi biotik maupun abiotik (Ola et al., 2020). Bali memiliki kawasan hutan mangrove yang dikenal sebagai Taman Hutan Raya Ngurah Rai, dengan spesies dominannya yaitu prapat (*Sonneratia alba* J. E. Smith) (Harizon et al., 2015).

Penelitian yang dilakukan oleh Hati et al. (2024), memperoleh jamur endofit seperti *Penicillium* sp. BPL-3b dan *Trichoderma harzianum* KPD-1 yang diisolasi dari tumbuhan *S. alba* asal Taman Hutan Raya Ngurah Rai daerah Batu Lumbang. Jamur-jamur tersebut telah banyak dimanfaatkan dalam menekan pertumbuhan jamur patogen pada tanaman tomat. Dilaporkan dalam Wulandari et al. (2014), 4 isolat *Penicillium* spp menghasilkan penghambatan sebesar 46,43-100% terhadap *Phytophthora infestans* penyebab penyakit hawar daun tomat. Selain itu, kultur filtrat *Trichoderma* spp. mampu menghambat pertumbuhan miselia *Alternaria solani* secara *in vitro* sebesar 48,73-62,5% (Imran et al., 2023). Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengendalikan pertumbuhan jamur *A. alternata* dengan memanfaatkan jamur endofit dari tumbuhan *S. alba*. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan strategi pengendalian penyakit dan meningkatkan produktivitas komoditas tomat secara berkelanjutan.

MATERI DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Sampel daun, kulit batang, dan buah *Sonneratia alba* dikoleksi dari Kawasan Mangrove Hutan Raya Ngurah Rai Mertasari, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Provinsi Bali. Proses penelitian dilakukan di Laboratorium Biokimia dan Mikologi Program Studi Biologi Universitas Udayana, serta Laboratorium Molekuler Forensik Universitas Udayana. Penelitian dilakukan dari Desember 2023 sampai April 2024.

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi media *Potato Dextrose Agar* (PDA), media *Potato Dextrose Broth* (PDB), fungisida sintetik *Mancoseb 80 WP*, natrium hipoklorit, etanol 70%, akuades steril, dan pewarna *Lactophenol Cotton Blue*. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Ziplock*, label, *plastic wrap*, cawan Petri, *cork borer* 5 mm, kertas cakram 5 mm, *Laminar Air Flow* (LAF) *Telstar AV-100*, kaca preparat dan kaca penutup, jarum *ent*, *orbital shaker Labnet Orbit™ 1900*, alat *sentrifuge Hettich EBA III*, mikropipet, mikrotip, dan, kertas saring milipore 0,45 µm.

Rancangan percobaan

Rancangan percobaan yang dilakukan berupa Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan jumlah perlakuan dan ulangan dari setiap percobaan berpatokan pada ketentuan minimal menurut Iwhah et al. (2018), yakni $t \times (r-1) > 15$ (t = jumlah perlakuan; r = jumlah ulangan).

Pengambilan sampel

Sampel daun, kulit batang, dan buah *Sonneratia alba* dikoleksi secara *purposive sampling*. Pengambilan sampel dilakukan pada pohon dewasa berukuran tinggi 15-25 meter, dari tiga titik berbeda dengan jarak minimal 10 meter antar titik. Masing-masing pohon diambil satu helai daun, satu buah, serta satu kulit batang. Kriteria sampel yang diambil berupa sampel yang sehat dan dewasa. Daun dewasa yang dipilih berwarna hijau gelap, berada pada titik tumbuh ke-3 hingga 5 dari pucuk. Buah matang berwarna hijau, berdiameter 5-8 cm dengan kelopak bunga dan putik yang masih tertinggal. Kulit batang diambil dari batang utama bukan ranting maupun lapisan gabus. Daun dan buah sehat artinya utuh tanpa adanya gejala infeksi mikroba maupun gigitan serangga, sementara kulit batang sehat tidak memiliki gejala infeksi mikroba dan masih terlindungi lapisan gabus. Sampel diambil dengan pisau steril, dimasukkan ke dalam *Ziplock* secara terpisah, diberikan kode label, dan disimpan ke dalam *cool box*.

Isolasi, pemurnian, dan identifikasi jamur endofit dari Tumbuhan *Sonneratia alba*

Sampel dicuci dengan air mengalir, kemudian direndam menggunakan etanol 70% selama 1 menit untuk sterilisasi permukaan sampel. Sampel dibilas menggunakan akuades steril lalu direndam dalam larutan natrium hipoklorit 2% selama 1 menit. Sampel kembali dibilas, dikeringkan, dan dipotong kecil-kecil ± 2 cm. Sebanyak 5 potongan sampel diletakkan pada Petri berisi media PDA. Sampel diinkubasi selama 7 hari pada suhu 27 °C. Jamur endofit yang telah tumbuh serta tampak berbeda secara makroskopis dimurnikan dengan dipotong koloninya menggunakan *cork borer* berdiameter 5 mm lalu diletakkan pada media PDA baru. Biakan murni diinkubasi selama 7-14 hari pada suhu 27 °C. Tahapan isolasi dan pemurnian dilakukan secara aseptik di dalam *Laminar Air Flow* (LAF).

Biakan murni jamur endofit yang telah tumbuh diidentifikasi berdasarkan ciri-ciri makroskopis dan mikroskopis. Parameter identifikasi secara makroskopis yaitu warna koloni, warna sebalik koloni, tekstur koloni, produksi eksudat, dan adanya garis kosentris. Pengamatan secara mikroskopis dilakukan dengan pembuatan preparat jamur menggunakan pewarna *Lactophenol Cotton Blue* (LPCB) lalu diamati menggunakan mikroskop binokuler pada perbesaran 100-400 kali. Parameter identifikasi secara mikroskopis yaitu jenis hifa, struktur

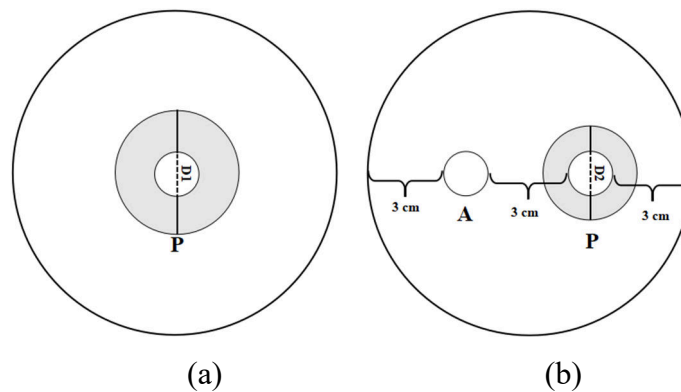
konidiofor, bentuk konidia, dan ukuran konidia. Pengukuran konidia menggunakan *software Image Raster 3*. Identifikasi dilakukan sampai tingkat genus berdasarkan buku kunci identifikasi jamur dari Barnett & Hunter (1972).

Peremajaan dan Reidentifikasi Biakan Murni *Alternaria alternata*

Biakan murni *A. alternata* diperoleh dari Pusat Studi Pangan dan Gizi Universitas Gadjah Mada dalam bentuk biakan media miring. Biakan diinkubasi terlebih dahulu selama beberapa hari, kemudian diremajakan dengan menginokulasi secuplik koloni jamur ke dalam cawan Petri berisi PDA. Selanjutnya diinkubasi kembali selama 7 hari pada suhu 27 °C. Isolat jamur *A. alternata* yang telah tumbuh diperbanyak untuk digunakan ke tahap selanjutnya. Setelah itu, direidentifikasi dengan mengacu pada buku '*Fungi and Food Spoilage*' dari Pitt & Hocking (2009).

Uji Aktivitas Antagonis Jamur Endofit dari Tumbuhan *Sonneratia alba* terhadap jamur *Alternaria alternata*

Uji aktivitas antagonis antara jamur endofit terhadap *A. alternata* dilakukan dengan metode biakan ganda (*dual culture*) sesuai dengan tata letak pada Gambar 1. Biakan *A. alternata* ditumbuhkan pula di tengah cawan Petri berisi media PDA sebagai perlakuan kontrol negatif (Dewi et al., 2015). Perlakuan kontrol positif juga diujikan menggunakan 20 µL *Mancoseb* 2% (w/v) yang dipipet pada *paper disk* 5 mm. Selain itu, jamur endofit *Trichoderma harzianum* KPD-1 dari stok biakan penelitian sebelumnya (diisolasi dari tumbuhan *S. alba* tetapi dikoleksi dari kawasan Batu Lumbang) oleh Hati et al. (2024) turut ditambahkan sebagai perlakuan perbandingan.



Gambar 1. Skema penempatan uji *dual culture* jamur endofit terhadap *Alternaria alternata*. Keterangan: (a) perlakuan kontrol negatif; (b) perlakuan dengan antagonis; (P) biakan jamur patogen; (A) biakan jamur endofit (Antagonis).

Cawan Petri berisi biakan uji tiap perlakuan diinkubasi pada suhu 27 °C selama 7 hari. Diameter koloni jamur *A. alternata* diukur menggunakan penggaris pada hari terakhir inkubasi. Persentase penghambatan dihitung dengan rumus berikut (Singh & Vijay, 2011)

$$PIRG (\%) = \frac{D1-D2}{D1} \times 100$$

Keterangan:

PIRG : *Percentage Inhibition of Radial Growth* (%)

D1 : Diameter koloni *A. alternata* tanpa antagonis (kontrol negatif)

D2 : Diameter koloni *A. alternata* dengan antagonis (*dual culture*)

Nilai PIRG dikelompokkan menjadi 4 kategori sesuai dengan Triasih et al. (2022), yaitu rendah (1-25%), sedang (26-50%), tinggi (51-75%), dan sangat tinggi (76-100%). Selain itu, berdasarkan Amaria et al. (2013) isolat uji dengan daya hambat lebih dari 70% dikelompokkan sebagai jamur antagonis potensial. Pengelompokan lainnya yaitu mekanisme antagonis oleh interaksi koloni jamur antagonis dan patogen dilakukan berdasarkan pada kriteria dari Porter (1942) dan Whipps et al. (2001): (a) Kompetisi, terjadi apabila jamur endofit lebih cepat memenuhi cawan Petri, sehingga pertumbuhan jamur patogen terhambat dan tidak memiliki ruang untuk tumbuh. (b) Antibiosis, terjadi apabila terdapat zona bening (hambat) atau perubahan warna pada media antara pertemuan jamur endofit dan jamur patogen. (c) Parasitisme, terjadi apabila jamur endofit menutupi seluruh permukaan media termasuk jamur patogen.

Uji Metabolit Sekunder Filtrat Jamur Endofit dari Tumbuhan *Sonneratia alba* terhadap *Alternaria alternata*

Pengujian diawali dengan proses pembuatan filtrat jamur endofit. Filtrat dibuat berdasarkan Dennis & Webster (1971) untuk memperoleh metabolit sekunder non-volatil dari jamur endofit yang memiliki nilai PIRG lebih dari 70%. Biakan jamur endofit berusia 7 hari diinokulasikan sebanyak 1 *loof* ke dalam 100 mL media PDB. Inkubasi dilakukan pada suhu 28 °C di atas alat *orbital shaker* selama 14 hari dengan kecepatan 150 rpm. Setelah masa inkubasi berakhir, supernatan dipisahkan dari massa jamur, kemudian disentrifuge untuk mengendapkan pellet pada kecepatan 6000 rpm selama 20 menit. Supernatan disaring menggunakan kertas saring *milipore* 0,45 µm hingga diperoleh filtrat murni.

Filtrat diujikan daya hambatnya menggunakan metode koloni menurut Rahmadanty et al. (2023) yang diadaptasi dari Dennis & Webster (1971). Caranya dengan diisi 1 mL filtrat uji (60 % (v/v), 80% (v/v), dan 100% (v/v)) pada cawan Petri steril. Perlakuan kontrol negatif hanya diisi 1 mL air steril sementara perlakuan kontrol positif diisi dengan 1 mL *Mancoseb* 2% (w/v). Media PDA dengan suhu 40 °C dituangkan ke dalam cawan Petri yang telah berisi perlakuan filtrat dihomogenkan, lalu dibiarkan memadat. Setelah media PDA memadat, tepat di bagian tengah cawan Petri ditempatkan potongan koloni jamur *A. alternata* berdiameter 5 mm usia 7 hari. Selanjutnya, cawan Petri diinkubasi pada suhu 27 °C selama 7 hari. Tahapan kultur filtrat dan uji daya hambat filtrat dilakukan secara aseptik di LAF. Persentase daya hambat dihitung dengan rumus berikut (Cahaya et al., 2017).

$$\text{Daya hambat (\%)} = \frac{D1-D2}{D1} \times 100$$

Keterangan:

D1 : Diameter koloni *A. alternata* tanpa perlakuan filtrat (kontrol negatif)

D2 : Diameter koloni *A. alternata* dengan perlakuan filtrat

Analisis data

Diameter koloni *A. alternata* oleh pengaruh aktivitas antagonis dan filtrat jamur endofit dianalisis menggunakan *one-way ANOVA (Analysis of Variance)* dengan *software IBM SPSS Statistics 26*. Apabila terdapat beda nyata antar perlakuan pada taraf uji 5% ($P \leq 0,05$), maka dilanjutkan dengan uji Duncan.

HASIL

Berdasarkan hasil isolasi 9 sampel *S. alba*, diperoleh jamur tumbuh seragam dari tepi potongan sampel sehat, sehingga terkonfirmasi bahwa jamur yang tumbuh adalah jamur endofit. Selanjutnya ditetapkan 6 isolat jamur untuk diidentifikasi. Isolat jamur endofit terpilih pada Tabel 1 teridentifikasi menjadi 5 spesies serta 1 miselia steril berdasarkan Barnett & Hunter (1972).

Tabel 1. Jenis dan jumlah jamur endofit dari tumbuhan *Sonneratia alba*

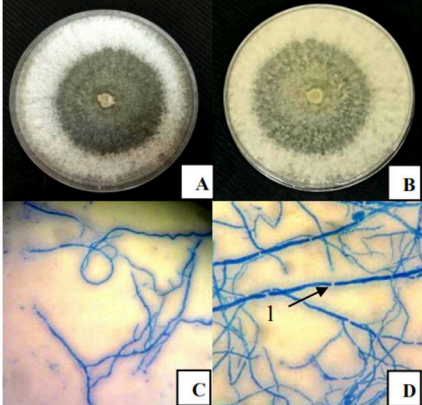
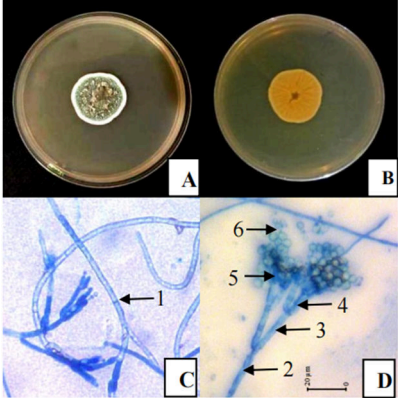
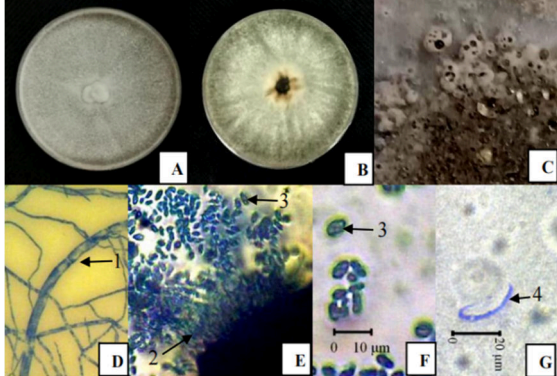
Sampel	Jumlah isolat	Kode isolat	Jenis jamur yang teridentifikasi
Daun	2	DPM-1.1	<i>Phyllosticta</i> sp.
		DPM-3.2	<i>Dothichiza</i> sp.
		KPM-1.3	Miselia steril
Kulit batang	3	KPM-2.1	<i>Penicillium</i> sp.
		KPM-3.1	<i>Diaporthe</i> sp.
Buah	1	BPM-1.3	<i>Colletotrichum</i> sp.
Total	6		

Keterangan: DPM = Daun dari pohon *S. alba* kawasan Mertasari; KPM = Kulit batang dari pohon *S. alba* kawasan Mertasari; BPM = Buah dari pohon *S. alba* kawasan Mertasari

Koloni jamur endofit pada usia 7 hari setelah inkubasi menunjukkan karakteristik morfologi makroskopis pada media PDA serta karakteristik mikroskopisnya, seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik makroskopis dan mikroskopis jamur endofit dari tumbuhan *Sonneratia alba*

Jenis	Karakteristik	Gambar
<i>Phyllosticta</i> sp.	Warna permukaan koloni abu-abu kehitaman, sebalik koloni berwarna hitam, tepi tidak beraturan berwarna putih, tekstur berbutir kasar saat tua, serta diameter koloni sebesar 3,5 cm. Hifa bersekat dan berhialin, terdapat konidia berbentuk <i>ellipsoid</i> berukuran 7,26-8,11 × 4,55-4,83 μm, serta memiliki spermatia berbentuk halter, berukuran 7,87-11,80 × 3,41-4,11 μm. Konidia maupun spermatia muncul dari sel konidiogen/konidiofor pendek.	<p>Keterangan: (A) Permukaan koloni, (B) Sebalik koloni, (C) Morfologi mikroskopis perbesaran 100 ×, (D dan E) Morfologi mikroskopis perbesaran 400 ×, (1) Spermatia, (2) Konidia, (3) Hifa bersekat (4) Sel konidiogen.</p>
<i>Dothichiza</i> sp.	Warna permukaan koloni putih dengan hifa aerial, sebalik koloni berwarna merah muda hingga kekuningan, tekstur koloni bergerombol dengan pola kosentris, diameter koloni sebesar 6,6 cm pada usia 7 hari, serta memiliki <i>pycnidia subglobose</i> gelap pada usia 14 hari. Hifa bersekat dan non-hialin, konidiofor panjang berbentuk batang tipis, serta konidia bersel tunggal berbentuk bulat hingga <i>ovoid</i> dengan ukuran 0,89-1,21 × 1,17-2,09 μm.	<p>Keterangan: (A) Permukaan koloni, (B) Sebalik koloni, (C) Morfologi mikroskopis perbesaran 100 ×, (D dan E) Morfologi mikroskopis perbesaran 400 ×, (1) Konidiofor, (2) Konidia, (3) Hifa bersekat.</p>

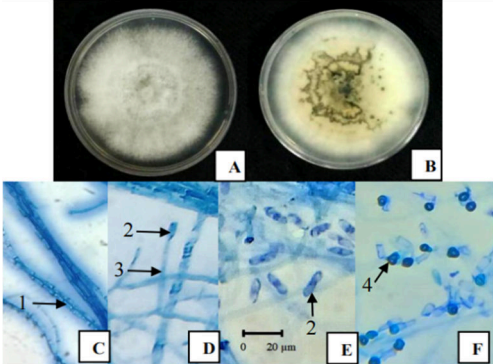
Jenis	Karakteristik	Gambar
Miselia steril	<p>Warna permukaan koloni putih, warna sebalik koloni putih, tekstur berbulu, miselia jarang di tengah dan menebal di tepi, serta diameter koloni sebesar 9 cm pada usia 7 hari. Hifa bersekat dan berhialin, tidak teramati struktur reproduksi jamur serta karakteristik penanda genus lainnya.</p>	
<i>Penicillium</i> sp.	<p>Warna permukaan koloni biru keabuan dengan tepi putih, sebalik koloni berwarna kuning keemasan, bentuk koloni bulat dengan pola radial, tekstur beludru, menghasilkan eksudat, serta diameter koloni sebesar 3 cm pada usia 7 hari. Hifa bersekat, konidiofor panjang dan bersekat, konidiofor bercabang 2-3, tiap percabangan menghasilkan 2 fialid di ujung konidia, memiliki metula, konidia bersel tunggal berbentuk bulat dihasilkan di ujung fialid dalam susunan rantai basipetal, serta ukuran konidia 3,49-4,90 μm.</p>	
<i>Diaporthe</i> sp.	<p>Warna permukaan koloni putih saat muda dan keabuan saat tua, sebalik koloni putih, pola radial gelap terang, tekstur menggumpal seperti kapas (<i>cottony</i>) sepanjang pola radial, menghasilkan eksudat, diameter koloni sebesar 9 cm pada usia 7 hari, serta memiliki <i>pycnidia</i> berpori kecil (<i>ostiolate</i>) pada usia 14 hari yang membenam pada koloni. Hifa bersekat dan berhialin, memiliki konidiofor panjang yang didukung oleh sel-sel konidiogen di bawahnya, teramati alfakonidia berukuran 5,42-6,74 \times 2,71-3,31 μm, serta betakonidia berukuran 38,18-39,37 \times 1,44-2,42 μm.</p>	

Keterangan: (A) Permukaan koloni, (B) Sebalik koloni, (C) *Pycnidia conidiomata* pada biakan koloni usia 14 hari (D-F) Morfologi mikroskopis perbesaran 400 \times , (1) Hifa bersekat, (2) Konidia (3) Konidiofor.

Keterangan: (A) Permukaan koloni, (B) Sebalik koloni, (C-D) Morfologi mikroskopis perbesaran 400 \times , (1) Hifa bersekat.

Keterangan: (A) Permukaan koloni, (B) Sebalik koloni, (C-D) Morfologi mikroskopis pada perbesaran 400 \times , (1) Hifa bersekat, (2) Konidiofor, (3) Cabang konidiofor, (4) Metula, (5) Fialid, (6) Konidia.

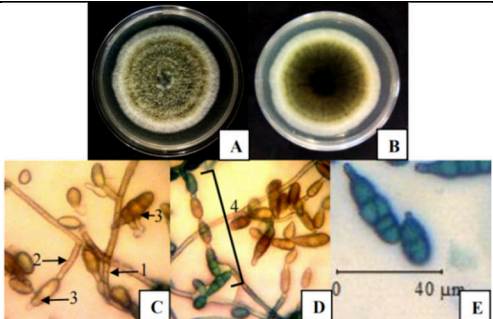
Keterangan: (A) Permukaan koloni, (B) Sebalik koloni, (C) *Pycnidia conidiomata* pada biakan koloni usia 14 hari (D-G) Morfologi mikroskopis pada perbesaran 400 \times , (1) Hifa

Jenis	Karakteristik	Gambar
<i>Colletotrichum</i> sp.	Warna koloni putih keabu-abuan, warna sebalik koloni putih dengan pola kosentris keabuan, tekstur berbulu, tidak menghasilkan eksudat pada usia 7 hari tetapi menghasilkan eksudat setelah 10 hari, serta diameter koloni sebesar 7,5 cm pada usia 7 hari. Hifa bersekat dan berhialin, konidiofor panjang, konidia berbentuk bulat memanjang (<i>oblongate</i>) dengan penciutan di tengah, ujung konidia sedikit meruncing, konidia berukuran $9,35-13,72 \times 2,26-3,45$, serta terdapat struktur apresoria.	bersekat, (2) Kompleks konidiofor dan sel-sel konodiogenus, (3) Alfakonidia, (4) Betakonidia. 

Keterangan: (A) Permukaan koloni, (B) Sebalik koloni, (C-F) Morfologi mikroskopis pada perbesaran 400 ×, (1) Hifa bersekat, (2) Konidiofor, (3) Konidia, (4) Apresoria.

Berdasarkan hasil reidentifikasi jamur *A. alternata*, maka terkonfirmasi jamur patogen yang digunakan adalah jamur penyebab penyakit *early blight* pada tanaman tomat. Hasil reidentifikasi *A. alternata* berdasarkan buku acuan identifikasi “*Fungi and Food Spoilage*” dari Pitt & Hocking (2009) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis jamur *Alternaria alternata*

Karakter morfologi	Keterangan	Gambar
Makroskopis	Warna koloni Warna sebalik koloni Bentuk koloni Tekstur koloni Garis radial Pola kosentris Diameter usia 7 hari	Cokelat keabuan, tepi putih Cokelat gelap, tepi putih Bulat <i>Cottony</i> Ada Ada 6 cm 
Mikroskopis	Jenis hifa Struktur konidiofor Fialid Bentuk konidia Ukuran konidia	Bersekat dan berhialin Panjang Tidak ada <i>Ovoid</i> , bersepta melintang dan membujur $34,56 - 47,74 \mu\text{m} \times 9,13 - 13,14 \mu\text{m}$ Keterangan: (A) Permukaan koloni, (B) Sebalik koloni, (C-E) Morfologi mikroskopis pada perbesaran 400 ×, (1) Hifa bersekat, (2) Konidiofor, (3) Konidia bersepta, (4) Konidia berantai.

Persentase penghambatan jamur endofit yang diperoleh secara *dual culture* menghasilkan perbedaan nyata terhadap perlakuan kontrol negatif pada taraf signifikansi 5%. Jamur endofit *T. harzianum* KPD-1 sebagai perlakuan pembanding menunjukkan persentase penghambatan terbesar dari seluruh perlakuan tetapi tidak berbeda nyata dengan *Penicillium* sp. Kedua perlakuan ini memiliki persentase penghambatan lebih dari 70%, sehingga dapat dilanjutkan ke pengujian daya hambat filtrat. Aktivitas antagonis jamur endofit terhadap jamur *A. alternata* disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 2.

Filtrat dari jamur *Penicillium* sp. dan *T. harzianum* KPD-1 (perlakuan pembanding) yang telah diujikan dalam menghambat *A. alternata* pada

konsentrasi 100% (v/v), 80% (v/v), dan 60% (v/v) menunjukkan daya hambat yang berbeda nyata terhadap perlakuan kontrol pada taraf signifikansi 5%.. Daya hambat filtrat antara tiap perlakuan ditampilkan pada Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 4. Persentase penghambatan dan mekanisme antagonis jamur endofit dari tumbuhan *Sonneratia alba* terhadap jamur *Alternaria alternata*

Perlakuan	Rerata diameter koloni <i>A. alternata</i> ± SD (cm)	PIRG ± SD (%)	Kategori	Mekanisme antagonis
Kontrol negatif	6,59 ± 0,28 ^c	0,00 ± 0,00	-	-
Kontrol positif (<i>Mancozeb</i> 2%)	4,63 ± 0,30 ^d	29,71 ± 2,50	Sedang	Antibiosis
<i>Trichoderma harzianum</i> KPD-1	1,64 ± 0,24 ^a	75,09 ± 3,05	Tinggi	Kompetisi dan parasitisme
<i>Phyllosticta</i> sp.	4,58 ± 0,07 ^d	30,59 ± 1,98	Sedang	-
<i>Dothichiza</i> sp.	3,92 ± 0,09 ^c	40,58 ± 2,79	Sedang	Kompetisi
Miselia steril	2,84 ± 0,32 ^b	56,89 ± 6,38	Tinggi	Kompetisi
<i>Penicillium</i> sp.	1,72 ± 0,08 ^a	73,96 ± 2,24	Tinggi	Kompetisi
<i>Diaporthe</i> sp.	2,71 ± 0,25 ^b	58,91 ± 2,75	Tinggi	Kompetisi dan parasitisme
<i>Colletotrichum</i> sp.	4,18 ± 0,45 ^{cd}	36,54 ± 8,87	Sedang	Kompetisi

Keterangan: Nilai pada tabel di atas merupakan nilai rata-rata dari 3 kali ulangan. Nilai yang diikuti notasi huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan nilai rata-rata yang berbeda nyata ($P \leq 0,05$) berdasarkan uji Duncan setelah dilakukan analisis sidik ragam (ANOVA); SD = Standar Deviasi.

Tabel 5. Daya hambat filtrat jamur endofit *Trichoderma harzianum* KPD-1 dan *Penicillium* sp. terhadap jamur *Alternaria alternata*

Perlakuan	Rata-Rata diameter koloni <i>A. alternata</i> ± SD (cm)	Persentase Daya Hambat Filtrat ± SD (%)
Kontrol negatif	6,09 ± 0,04 ^a	0,00 ± 0,00
Kontrol positif (<i>Mancozeb</i> 2%)	0,00 ± 0,00 ^f	100,00 ± 0,00
Filtrat <i>T. harzianum</i> 100% (v/v)	1,40 ± 0,13 ^b	77,02 ± 2,23
Filtrat <i>T. harzianum</i> 80% (v/v)	1,67 ± 0,13 ^b	72,64 ± 1,90
Filtrat <i>T. harzianum</i> 60% (v/v)	1,90 ± 0,20 ^c	68,81 ± 3,21
Filtrat <i>Penicillium</i> sp. 100% (v/v)	3,79 ± 0,12 ^d	37,76 ± 1,97
Filtrat <i>Penicillium</i> sp. 80% (v/v)	4,52 ± 0,23 ^e	25,85 ± 4,20
Filtrat <i>Penicillium</i> sp. 60% (v/v)	4,76 ± 0,15 ^e	21,89 ± 2,00

Keterangan : Nilai pada tabel di atas merupakan nilai rata-rata dari 3 kali ulangan. Nilai yang diikuti notasi huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan nilai rata-rata yang berbeda nyata ($P \leq 0,05$) berdasarkan uji Duncan setelah dilakukan analisis sidik ragam (ANOVA); SD = Standar Deviasi.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil isolasi jamur endofit dari 9 sampel *Sonneratia alba*, ditemukan jamur endofit tumbuh dari semua jenis sampel tetapi paling banyak tumbuh dari sampel kulit batang. Jamur endofit secara umum dapat hidup pada berbagai sistem jaringan tumbuhan yang terpapar udara luar tanpa menimbulkan penyakit (Rampa et al., 2023). Organ batang memiliki jaringan korteks sebagai tempat hidup miselium jamur endofit. Korteks berisi sel-sel parenkim berinding tipis dengan ruang antar sel berisi udara dan air (Suliati et al., 2017). Carrohuerga et al. (2020) menambahkan bahwa jamur endofit ditemukan pada jaringan parenkim yang berdekatan dengan jaringan pengangkut. Sebagaimana jaringan pengangkut berperan mengedarkan air, unsur hara, garam mineral, serta mengangkut hasil fotosintesis.

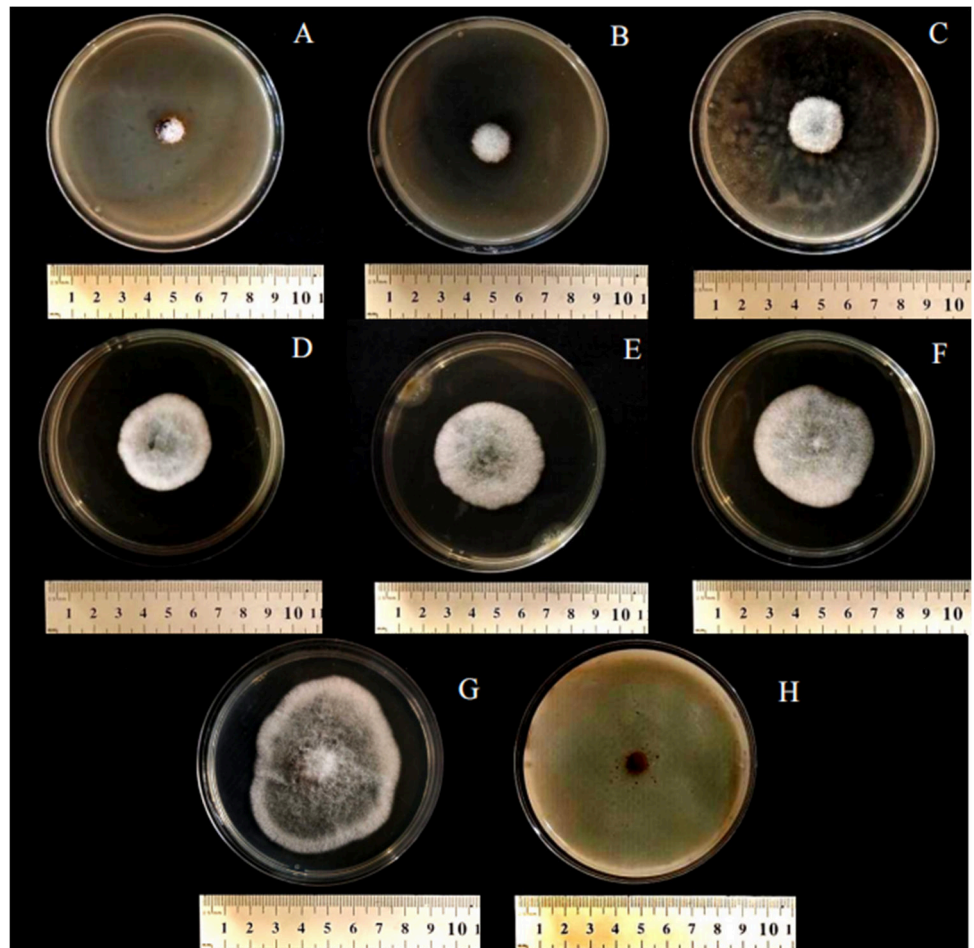
Genera jamur endofit yang berhasil teridentifikasi dari daun, kulit batang, dan buah *Sonneratia alba* adalah *Phyllosticta*, *Dothichiza*, *Penicillium*, *Diaporthe*, dan *Colletotrichum* (Tabel 1), dimana seluruhnya berasal dari filum Ascomycota (Gherbawy & Voigt, 2010). Penelitian sebelumnya oleh Hati et al.

(2024) juga ditemukan sejumlah jamur endofit dari daun, kulit batang, dan buah *S. alba* meliputi *Colletotrichum* sp., *Phyllosticta* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma harzianum*, serta *Neopestalotiopsis sonneratae*. Jenoh et al. (2019) turut melaporkan 15 jamur endofit yang diisolasi dari ranting *S. alba*, diantaranya *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Talaromyces* spp., *Trichoderma* spp., *Cladosporium* spp., serta *Gibberella intricans*. Jamur endofit *Aspergillus* spp. dari buah *S. alba* juga pernah diperoleh Pakadang et al. (2021) dalam penelitiannya.



Gambar 2. Aktivitas antagonis jamur endofit dari tumbuhan *Sonneratia alba* terhadap jamur *Alternaria alternata* secara *dual culture*, setelah 7 hari masa inkubasi pada media PDA.

Keterangan: (A dan B) Kontrol positif (*Mancoseb* 2%) dan sebalik koloninya; (C dan D) Kontrol negatif (biakan jamur patogen *A. alternata*) dan sebalik koloninya, (E dan F) Antagonisme *T. harzianum* KPD-1 dan sebalik koloninya, (G dan H) Antagonisme *Phyllosticta* sp. dan sebalik koloninya; (k+) Kontrol positif, (I dan J) Antagonisme *Dothichiza* sp. dan sebalik koloninya, (K dan L) Antagonisme jamur miselia steril dan sebalik koloninya, (M dan N) Antagonisme *Penicillium* sp. dan sebalik koloninya, (O dan P) Antagonisme *Diaporthe* sp. dan sebalik koloninya, (Q dan R) Antagonisme *Colletotrichum* sp. sebalik koloninya, (a) Jamur endofit antagonis, (p) Jamur patogen *A. alternata*.



Gambar 3. Daya hambat filtrat jamur endofit *Trichoderma harzianum* KPD-1 dan *Penicillium* sp. terhadap jamur *A. alternata*, setelah 7 hari masa inkubasi pada media PDA.

Keterangan: (A) Perlakuan filtrat *T. harzianum* 100%, (B) Perlakuan filtrat *T. harzianum* 80%, (C) Perlakuan filtrat *T. harzianum* 60%, (D) Perlakuan filtrat *Penicillium* sp. 100%, (E) Perlakuan filtrat *Penicillium* sp. 80%, (F) Perlakuan filtrat *Penicillium* sp. 60%, (G) Koloni *A. alternata* tanpa filtrat (kontrol negatif), (H) Kontrol positif (*Mancoseb* 2%).

Karakteristik morfologi jamur endofit yang telah diidentifikasi berdasarkan acuan dari Barnett & Hunter (1972) pada Tabel 2, didukung oleh beberapa penelitian sebelumnya. Isolat DPM-1.1 memiliki kesesuaian morfologi secara makroskopis dan mikroskopis dengan genus *Phyllosticta*. Wikee *et al.* (2013) menemukan bahwa *Phyllosticta cussoniae* dengan ciri morfologi permukaan koloni berwarna abu-abu, sebalik koloni berwarna abu kehitaman, serta memiliki *pycnidia conidiomata* berbentuk bulat dan berwarna hitam. Ciri mikroskopis berupa konidiofor berbentuk subsilinder, konidia hialin, asepat, berbentuk bulat telur, dan memiliki spermatia. Menurut Tran *et al.* (2017) spermatia berfungsi sebagai gamet jantan yang akan melakukan proses penempelan pada organ reseptif untuk menyumbangkan nukleus ke dalam sel reseptif jamur. Spermatia dan konidia terukur dari *Phyllosticta* sp. isolat DPM-1.1 memiliki kemiripan ukuran dengan *P. schimae* yang diteliti oleh Su & Cai (2012), yaitu memiliki spermatia berukuran $7-11 \times 1-2,5 \mu\text{m}$ dan konidia berukuran $7-13 \times 4-7 \mu\text{m}$.

Isolat jamur DPM-3.2 memiliki kesesuaian karakteristik makroskopis dan mikroskopis dengan genus *Dothichiza*. Salah satu spesies *Dothichiza* yang paling sering ditemui adalah *D. populea*. Menurut Pap & Marković (2008),

morfologi makroskopis jamur ini memiliki koloni berwarna putih hingga kuning pucat, miselium makin menebal ke tepi, koloni berbentuk bulat dengan pola kosentris, serta memiliki miselium aerial berwarna putih. Setelah 15 hari banyak struktur *pycnidia conidiomata* memenuhi isolat. Menurut Pem et al. (2019), secara mikroskopis *D. populea* memiliki hifa bersekat, konidiofor hialin berukuran $4-6 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$, konidia $2-3 \mu\text{m} \times 1-2 \mu\text{m}$, berbentuk *subglobose* hingga bulat telur, ujung tumpul, pangkal berwarna krem sampai kecoklatan, tebal, serta ber dinding halus.

Hasil identifikasi isolat jamur KPM-1.3 tidak menunjukkan karakteristik yang dapat menjadi penanda genus. Menurut Barnet & Hunter (1972) jamur yang terlihat hanya hifa dan tidak terdapat alat reproduksi merupakan miselia steril. Miselia steril memiliki hifa berbentuk filamen tabung yang dapat tumbuh ke berbagai arah di dalam substratnya tanpa menghasilkan alat reproduksi. Isolat jamur KPM-2.1 menunjukkan karakteristik morfologi khas dari genus *Penicillium*, yang sesuai dengan Kiti et al. (2021). Morfologi makroskopis menunjukkan koloni berwarna biru hingga hijau keabuan, warna sebalik koloni kuning dan tekstur permukaan koloni seperti beludru. Morfologi secara mikroskopis yaitu memiliki ciri hifa yang bersepat, terdapat fialid, menghasilkan konidia pada ujung fialid, serta konidia berbentuk bulat. Diameter terukur konidia *Penicilium* spp. menurut Nadhifah et al. (2016) berkisar antara $2,2-3,75 \mu\text{m}$.

Isolat jamur KPM-3.1 teridentifikasi sebagai genus *Diaporthe*. Morfologi makroskopis dan mikroskopis yang teramati sejalan dengan penelitian Luo et al., (2022), yang menemukan bahwa koloni *Diaporthe* spp. pada media PDA memiliki diameter 85-90 mm setelah 5 hari, serta mulai terbentuk struktur tubuh buah *pycnidia conidiomata* pada hari ke-15. Sementara itu, secara mikroskopis teramati sel konidiogen hialin dan fialidik, membawa dua tipe konidia yakni alfonidia berbentuk fusiformis berukuran $6-7 \times 2-4 \mu\text{m}$, serta betakonidia berbentuk filiformis berukuran $20-30 \times 1-2 \mu\text{m}$.

Isolat jamur BPM-1.3 teridentifikasi sebagai genus *Colletotrichum*. Ciri morfologi tersebut sesuai dengan penelitian Liu et al. (2020) yang melaporkan jenis *C. neorubicola* yang secara makroskopis berbentuk bulat, berwarna abu-abu, dan setelah 14 hari muncul eksudat pada permukaan miselium. Morfologi secara mikroskopis memiliki konidia, konidiofor, dan apresoria. Ciri konidia pada penelitian ini mirip dengan ciri *C. siamense* (Li et al., 2023). Konidia *C. siamense* berukuran $15,5-17,4 \mu\text{m} \times 5,5-6,3 \mu\text{m}$ dan memiliki penciutan di tengah dengan ujung sedikit meruncing.

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 4, jamur endofit yang menunjukkan sifat antagonisnya terhadap *A. alternata* dengan kategori sedang hingga tinggi. Menurut Ningsih et al. (2016), efisiensi daya antagonis mikroba yang berbeda-beda terhadap mikroba patogen tertentu dapat disebabkan oleh kecepatan tumbuh, macam senyawa kimia, dan enzim yang dihasilkan oleh tiap jamur, serta mekanisme antagonisnya. Mekanisme antagonis yang dihasilkan oleh jamur endofit mencakup ketiga mekanisme antagonis yang sering terjadi seperti kompetisi, antibiosis, dan parasitisme (Amaria et al., 2016).

Mekanisme kompetisi ditunjukkan hampir semua perlakuan jamur endofit termasuk perlakuan pembanding *T. harzianum* KPD-1. Mekanisme kompetisi dari jamur-jamur endofit pada perlakuan *T. harzianum* KPD-1, *Colletotrichum* sp., *Diaporthe* sp., dan *Dothichiza* sp. ditunjukkan dari kecepatan pertumbuhannya yang menguasai ruang tumbuh jamur *A. alternata* pada usia 7 hari inkubasi. Kompetisi oleh miselia steril dapat dipahami oleh komposisi miselia steril yang seluruhnya terdiri atas hifa vegetatif yang fungsi utamanya

dalam penyerapan nutrisi dari substrat. Hal ini mendukung lebih banyak nutrisi diserap serta kompetisi perebutan nutrisi yang terjadi dengan mikroorganisme jamur lain (Suryani et al., 2020). Sementara itu, kompetisi pada *Penicillium* sp. dapat dipengaruhi oleh kemampuan yang cepat dalam membentuk koloni baru pada media pertumbuhan. Sesuai dengan Houbraken and Samson (2014), *Penicillium* adalah jamur yang pertumbuhan relatif lambat namun memiliki massa spora yang padat, sehingga kemampuannya dalam menyebar dan membentuk koloni disebabkan oleh adanya spora kering (*dry spore*). Secara kuantitatif nilai PIRG jamur *Penicillium* sp. adalah sebesar $73,96 \pm 2,24$ %. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan persentase penghambatan *Penicillium* sp. terhadap *A. alternata* yang menginfeksi tanaman stroberi yakni sebesar $58,48 \pm 3,30$ % (Ilmiyah et al., 2015).

Mekanisme parasitisme ditunjukkan oleh perlakuan *Diaporthe* sp. dan perlakuan pembanding *T. harzianum* KPD-1. Parasitisme ditandai dari hifa jamur antagonis yang tumbuh di atas koloni patogen serta melilit hifa patogen antara daerah kontak, serta hifa patogen lisis dengan cara mengeluarkan senyawa atau enzim tertentu yang dapat menerobos dinding sel patogen (Amaria et al., 2016; Hasan et al., 2014). Menurut Xu et al. (2021), jamur *Diaporthe* sp. mampu memproduksi kelompok senyawa toksin benzafuranona yang memiliki sifat antifungi. Sementara itu, Dendang (2015) menyampaikan bahwa *T. harzianum* memiliki kemampuan memproduksi enzim hidrolitik untuk merusak dinding sel jamur patogen, diantaranya enzim kitinase, selulase, proteinase, serta enzim ekstraseluler β -(1,3) glukonase yang ditemukan tertinggi dalam media pertumbuhan. Hasil PIRG jamur *T. harzianum* KPD-1 adalah sebesar $75,09 \pm 3,05$, mirip dengan yang diperoleh Triasih et al. (2021) dalam penelitiannya, dimana penekanan *Alternaria* sp. oleh *Trichoderma* sp. menunjukkan persentase penghambatan sebesar 79,39%.

Selain mekanisme antagonis di atas, diperoleh pula bahwa jamur endofit *Phyllosticta* sp. tidak menunjukkan mekanisme antagonis manapun. Hal ini dapat disebabkan pertumbuhan koloninya yang lambat pada media tumbuh (Wikee et al., 2013). Namun demikian, nilai PIRG jamur *Phyllosticta* sp. sebesar $30,59 \pm 1,98$ % atau masih tergolong kategori sedang. Hasil tersebut mirip dengan penelitian Thambugala et al. (2022), dimana spesies jamur endofit tanaman the yakni *Phyllosticta capitalensis*, hanya menunjukkan aktivitas antagonis sedang terhadap *Sclerotinia sclerotiorum* sebesar 42,30%.

Hasil uji aktivitas antagonis secara *dual culture* memperoleh jamur endofit yang berpotensi diaplikasikan dalam menghambat *A. alternata* yaitu *Penicillium* sp. dan *T. harzianum* KPD-1 (jamur endofit pembanding). Keduanya menunjukkan persentase hambatan di atas 70%. Amaria et al. (2013) dalam penelitiannya menyeleksi isolat uji dengan penghambatan lebih dari 70% sebagai jamur antagonis potensial. Hal ini didukung oleh Ratnasari et al. (2014), bahwa persentase hambatan jamur antagonis yang lebih dari 60% permukaan cawan Petri, dikategorikan efektif menghambat jamur patogen.

Pengaplikasian Agen Pengendali Hayati (APH) di lapangan dapat dilakukan dengan melepaskan mikroorganisme secara langsung maupun diaplikasikan metabolit sekundernya. Metabolit yang terdapat di dalam filtrat jamur merupakan senyawa non-volatil (Hamzah et al., 2018). Menurut Saifudin (2014), pengendalian hayati menggunakan filtrat jamur dianggap lebih menguntungkan karena sifat metabolit non-volatil yang lebih stabil dan mudah dalam pengaplikasian. Berdasarkan hasil pada Tabel 5, daya hambat dari perlakuan filtrat jamur endofit semakin meningkat sejalan dengan peningkatan konsentrasi. Fenomena ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi suatu

bahan hayati maka semakin banyak bahan aktif yang melakukan penetrasinya ke dalam sel (Lingga et al., 2016).

Penicillium sp. memiliki persentase penghambatan filtrat murni yang lebih rendah dibandingkan persentase penghambatannya secara *dual culture*. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh kurang spesifiknya senyawa metabolit antifungi yang dihasilkan oleh jamur (Deshmukh et al., 2018). Selain itu, lingkungan kultur yang minim efek cekaman mempengaruhi minimnya produksi metabolit sekunder. Mikroorganisme pada kondisi tercekam mampu melepaskan metabolit antimikroba sebagai bentuk pertahanan terhadap pertumbuhan mikroba pesaing di sekitarnya. Lingkungan kultur dapat dioptimalkan dengan optimasi faktor suhu, pH, hingga nutrisi media. Perubahan suhu dan pH dapat memodulasi aktivitas enzimatis yang terlibat dalam biosintesis senyawa antifungi. Adapun nutrisi media dapat dioptimalkan dengan mengganti sumber karbon dan pepton untuk mendukung tersedianya prekursor metabolit yang mengaktifkan enzim atau toksin tertentu pada jamur (Nurfarahin et al., 2018).

Berdasarkan hasil uji statistik dan efisiensi penggunaan bahan, filtrat *T. harzianum* KPD-1 dengan konsentrasi 80% adalah perlakuan perbandingan yang efektif digunakan dalam pengaplikasian. Sementara itu, perlakuan filtrat *Penicillium* sp. pada setiap konsentrasi yang diujikan kurang efektif dalam menekan pertumbuhan jamur *A. alternata*. Hal ini dapat dipengaruhi oleh keberadaan berbagai metabolit sekunder *T. harzianum* seperti kombinasi senyawa gliotoxin, viridin, dan trichodermin, yang memiliki aktivitas antimikroba yang lebih kuat dibandingkan metabolit yang dihasilkan *Penicillium* sp. (Rahman et al., 2023). Selain itu, Vinale et al. (2014) menambahkan bahwa kultur filtrat *T. harzianum* menghasilkan metabolit sekunder *isoharzianic acid* (iso-HA) yang dapat menghambat pertumbuhan hifa *Sclerotinia sclerotiorum* dan *Rhizoctonia solani*, serta menginduksi ketahanan tanaman tomat.

Penicillium juga menjadi salah satu jenis jamur yang pernah dimanfaatkan sebagai agensia hayati pengendali patogen tumbuhan. *Penicillium* dapat bersifat antagonis dengan menghasilkan senyawa alkaloid seperti agrokavine dan ergometrine. Senyawa-senyawa tersebut telah diketahui memiliki sifat antijamur terhadap *Botrytis cinerea*, *Fusarium solani*, dan *Alternaria tenuissima* (Ilmiyah et al., 2015).

SIMPULAN

Jamur endofit yang berasosiasi dengan tumbuhan *Sonneratia alba* J. E. Smith teridentifikasi sebagai *Phyllosticta*, *Dothichiza*, *Penicillium*, *Diaporthe*, *Colletotrichum*, dan miselia steril dengan kemampuan antagonis terhadap *A. alternata* sebesar 30,59-75,09%. Filtrat jamur endofit potensial yakni *Penicillium* sp., mampu menunjukkan daya hambat optimal terhadap *A. alternata* pada konsentrasi 100% (v/v), yakni sebesar 37,76%. Hasil tersebut lebih kecil dibandingkan perlakuan perbandingan filtrat *Trichoderma harzianum* KPD-1 80% (v/v) yang menunjukkan daya hambat sebesar 72,64%. Peneliti menyarankan untuk dilakukan analisis lanjutan mengenai komposisi senyawa dan formulasi dari filtrat jamur endofit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala Laboratorium Biokimia dan Laboratorium Mikologi, Program Studi Biologi, Universitas Udayana, serta kepada kepala UPT Forensik Sains dan Kriminologi, Universitas Udayana, yang telah memfasilitasi penggunaan alat dan bahan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan tepat waktu. Penulis turut mengucapkan terima kasih kepada

pimpinan UPTD Taman Hutan Raya Ngurah Rai atas aksesibilitas kawasan mangrove untuk keperluan penelitian.

KEPUSTAKAAN

- Amaria W, Harni R, Samsudin S. 2016. Evaluasi Jamur Antagonis dalam Menghambat Pertumbuhan *Rigidoporus microporus* Penyakit Jamur Akar Putih pada Tanaman Karet. *Journal of Industrial and Beverage Crops* **2(1)**: 51-60.
- Amaria W, Taufiq E, Harni R. 2013. Seleksi dan Identifikasi Jamur Antagonis Sebagai Agens Hayati Jamur Akar Putih *Rigidoporus Microporus* Pada Tanaman Karet. *Journal of Industrial and Beverage Crops* **4(1)**: 55-64.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Bali. 2023 *Statistik Hortikultura Provinsi Bali*. Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Bali 2022: Denpasar.
- Barnett HL, Hunter BB. 1972. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi, 2nd Edition*. Burgess Publishing Company: West Virginia.
- Cahaya A., Hasanuddin, Syamsuddin. 2017. Daya Hambat Minyak Serai Wangi (*Andropogon nordus* L.) Terhadap Pertumbuhan Koloni Patogen Terbawa Benih secara *In Vitro* dan Pengaruhnya Terhadap Viabilitas dan Vigor Benih Terung (*Solanum melongena* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah* **2(4)** : 11-21.
- Carro-Huerga G, Compant S, Gorfer M, Cardozo RE, Schmoll M, Gutiérrez S, Casquero PA. 2020. Colonization of *Vitis vinifera* L. by the Endophyte *Trichoderma* sp. Strain T154: Biocontrol Activity Against *Phaeoacremonium minimum*. *Frontiers in plant science* **11(560876)**:1-15.
- Dendang B. 2015. Uji Antagonisme *Trichoderma* spp. Terhadap *Ganoderma* sp. yang Menyerang Tanaman Sengon Secara *in Vitro*. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* **4(2)**: 147-156.
- Dennis C, Webster J. 1971. Antagonistic Properties of Species-Groups of *Trichoderma*: I. Production of Non-volatile Antibiotics. *Transactions of The British Mycological Society* **57(1)**: 25-39.
- Deshmukh SK., Gupta MK., Prakash V, Saxena, S. 2018. Endophytic Fungi: A Source of Potential Antifungal Compounds. *Journal of Fungi* **4(77)**: 1-42.
- Gherbawy Y, Voigt, K. 2010. *Molecular Identification of Fungi*. Springer: NewYork.
- Gulzar N, Kamil AN, Mir MY. 2018. The Process of Early Blight Disease Development in Tomato. *Journal of Research and Development* **18(1)**: 112-115.
- Hamzah TNT, Lee SY, Hidayat A, Terhem R, Faridah-Hanum I, Mohamed R. 2018. Diversity and Characterization of Endophytic Fungi Isolated from the Tropical Mangrove Species, *Rhizophora mucronata*, and Identification of Potential Antagonists Against The Soil-borne Fungus, *Fusarium solani*. *Frontiers in Microbiology*. **9(1707)**:1-17.
- Harizon, Pujiastuti, B., Kurnia D, Sumiarsa D, Shiono Y, Supratman, U. 2015. Antibacterial Triterpenoids from the Bark of *Sonneratia alba* (Lythraceae). *Natural Product Communications* **10(2)**: 277-280.
- Hasan S, Gupta G, Anand S, Kaur, H. 2014. Lytic Enzymes of *Trichoderma*: Their Role in Plant Defense. *International Journal of Applied Research and Studies* **3(2)**: 1-5.
- Hati AAPS, Inabuy FS, Hardini, J. 2024. Identifikasi dan Skrining Fitokimia Jamur Endofit pada Mangrove *Sonneratia alba* J. E. Smith. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences* **11(1)**: 82-91.
- Houbraken J, de Vries RP, Samson RA. 2014. Modern Taxonomy Of Biotechnologically Important *Aspergillus* and *Penicillium* Species. *Advances in Applied Microbiology* **86(1)**: 199-249.
- Ihwah A, Deoranto P, Wijana S, Dewi IA. 2018. Comparative Study Between Federer and Gomez Method for Number of Replication in Complete Randomized Design Using Simulation: Study of Areca Palm (*Areca catechu*) as Organic Waste for Producing Handicraft Paper. *In IOP Conf Ser: Earth Environ Science* **131(1)**: 1-6.
- Ilmiyah Z, Mahanani TA, Evie R. 2015. Uji Antagonisme Jamur Endofit Tanaman Stroberi Terhadap *Alternaria alternata* Jamur Penyebab Bercak Daun pada Tanaman Stroberi secara *in Vitro*. *Lentera Bio* **4(1)**: 19-24.
- Imran M, Abo-Elyousr KA, Mousa MA, Saad MM. 2023. Use of *Trichoderma* Culture Filtrates as A Sustainable Approach to Mitigate Early Blight Disease of Tomato and Their Influence on Plant Biomarkers and Antioxidants Production. *Frontiers in Plant Science* **14(1)**: 1-19.

- Istifadah N, Novilaressa PG, Widiyanti F, Hartati S. 2020. Keefektifan Bakteri dan Khamir Asal Air Rendaman Kompos dalam Menekan Perkembangan Penyakit Bercak cokelat (*Alternaria solani* Sorr.) pada Tomat. *Agricoltura* **31(1)**: 52-60.
- Jenoh EM, de Villiers EP, de Villiers SM, Okoth S, Jefwa J, Kioko E, Kaimenyi D, Hendrickx M, Dahdouh-Guebas F, Koedam N. 2019. Infestation Mechanisms of Two Woodborer Species in The Mangrove *Sonneratia alba* J. E. Smith in Kenya and Co-occurring Endophytic Fungi. *Plos one*. **14(10)** 1-20.
- Kiti HM, Munga CN, Odalo JO, Guyo PM, Kibiti CM. 2021. Diversity of Mangrove Fungal Endophytes from Selected Mangrove Species of Coastal Kenya. *Journal of Marine Science*. **20(1)**: 125-136.
- Kumar N, Dutta R, Ajay BC, Radhakrishnan T. 2022. Alternaria Leaf Blight (*Alternaria spp.*) an Emerging Foliar Fungal Disease of Winter-Summer Groundnut (*Arachis hypogaea*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* **92(9)**: 1043–1050.
- Li H, Liao YCZ, Wan Y, Li DW, Zhu LH. 2023. *Colletotrichum siamense*, a Novel Causal Agent of *Viburnum odoratissimum* Leaf Blotch and Its Sensitivity to Fungicides. *Journal of Fungi* **9(882)**: 1-13.
- Lingga AR., Pato U, Rossi, E. 2016. Uji Antibakteri Ekstrak Batang Kecombrang (*Nicolaia speciosa* Horan) terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Universitas Riau. [Disertasi].
- Liu LP, Wang Y, Qiu PL, Zhang B, Zhang L, Wang N, Li Y, Gao J, Hsiang, T. 2020. *Colletotrichum neorubicola* sp. nov., a New Leaf Anthracnose Pathogen of Raspberry from Northeast China. *Mycological Progress* **19(1)**: 947-955.
- Luo M, Guo W, Zhao M, Manawasinghe IS, Guarnaccia V, Liu J, Hyde KD, Dong Z, You C. 2022. Endophytic Diaporthe Associated with *Morinda officinalis* in China. *Journal of Fungi* **8(806)**: 1-28.
- Muthahanas I, Isnain M. 2019. Identifikasi Jamur Patogen Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) di Lahan Kering Amor-Amor Lombok Utara. *Crop Agro: Jurnal Ilmiah Budidaya* **12(2)**: 111-121.
- Nadhifah YM, Hastuti US, Syamsuri I. 2016. Isolasi, Karakterisasi, dan Identifikasi Mikoflora dari Rizosfer Tanah Pertanian Tebu (*Saccharum officinarum* L.) sebagai Bahan Ajar Kingdom Fungi untuk Siswa Kelas X SMA. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan* **1(10)**: 2023-2030.
- Ningsih H, Hastuti US, Listyorini D. 2016. Kajian Antagonis *Trichoderma* spp Terhadap *Fusarium solani* Penyebab Penyakit Layu Pada Daun Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*) secara *in vitro*. In *Proceeding Biology Education Conference* **13(1)**: 814-817.
- Nurfarahin, AH, Mohamed MS, Phang LY. 2018. Culture Medium Development for Microbial-derived Surfactants Production—an Overview. *Molecules*. **23(1049)**: 1-26.
- Ola AR., Soa CA, Sugi Y, Cunha TD, Belli HL, Lalel HJ. 2020. Antimicrobial Metabolite from The Endophytic Fungi *Aspergillus flavus* Isolated from *Sonneratia alba*, A Mangrove Plant of Timor-Indonesia. *Rasayan Journal Chemistry* **13(1)**: 377-381.
- Pakadang SR, Marsus I, Isanawati. 2021. Antibacterial Activity of Endophytic Fungus Isolates of Mangrove Fruit (*Sonneratia alba*) Against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Jurnal Info Kesehatan*. **19(1)**: 55-63.
- Pap PL, Marković MP. 2008. Effects of Some Ecological Factors on *Dothichiza populea* Sacc. et Br. Growth. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*. **115(1)**: 75-89.
- Park, J., Kim, S., Jo, M., An, S., Kim, Y., Yoon, J., Jeong, M. H., Kim, E. Y., Choi, J., Kim, Y. and Park, S. Y. 2024. Isolation and Identification of *Alternaria alternata* from Potato Plants Affected by Leaf Spot Disease in Korea: Selection of Effective Fungicides. *Journal of Fungi*. **10(53)**: 1-16.
- Pavithra G, Bindal S, Rana M, Srivastava S. 2020. Role of Endophytic Microbes Against Plant Pathogens: A Review. *Asian Journal Plant Science*. **19(1)**: 54-62.
- Pem D, Jeewon R, Bhat DJ, Doilom M, Boonmee S, Hongsanan S, Promputtha I, Xu JC, Hyde KD. 2019. Mycosphere Notes 275–324: A Morpho-taxonomic Revision and Typification of Obscure Dothideomycetes Genera (Incertae Sedis). *Mycosphere* **10(1)**: 1115-1246.
- Pitt JI, Hocking AD. 2009. *Fungi and Food Spoilage*. Springer: New York.
- Porter CL. 1924. Concerning The Characters of Certain Fungi as Exhibited by Their Growth in The Presence of Other Fungi. *American Journal of Botany* **11(3)**: 168-188.

- Rahmadanty NH, Darmayasa IBG, Parwanayoni NMS. 2023. Potensi Filtrat *Trichoderma asperellum* TKD dalam Menghambat Kontaminasi *Aspergillus parasiticus* pada Biji Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Symbiosis*. **11(1)**:15-30
- Rampa E, Manurun S, Sinaga H. 2023. Isolasi Fungi Endofit dari Buah dan Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.). *Jurnal Penelitian Kesehatan "SUARA FORIKES"* **14(1)**: 92-96.
- Ratnasari JD, Isnawati, Ratnasari E. 2014. Uji Antagonis Agens Hayati Terhadap Jamur *Cercospora musae* Penyebab Penyakit Sigatoka secara *in Vitro*. *Lenterabio* **3(2)**: 129-135.
- Saifudin A. 2014. *Senyawa Alam Metabolit Sekunder, Teori, Konsep, dan Teknik Pemurnian*. Deepublish: Sleman.
- Singh P, Vijay K., 2011. Biological Control of Fusarium Wilt of Chrysanthemum with *Trichoderma* and Botanicals. *Journal Agricultural Technology*. **7(6)**: 1603–1613.
- Su YY, Cai L. 2012. Polyphasic Characterisation of Three New *Phyllosticta* spp. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi* **28(1)**: 76-84.
- Suliati, Rahmawati, Mukarlina. 2017. Jenis- Jenis Jamur Endofit Tanaman Jeruk Siam (*Citrus nobilis* var. *microcarpa*) di Perkebunan Dungun Prapakan Sambas. *Protobiont* **6(3)**: 173-181.
- Suryani Y, Taupiqurrahman O, Kulsum Y. 2020. *Mikologi*. PT. Freeline Cipta Granesia: Padang.
- Thambugala K, Daranagama D, Kannagara S. 2022. Biocontrol Potential of Endophytic Fungi in Tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) Leaves Against Selected Fungal Phytopathogens. *Malaysian Journal of Microbiology* **18(6)**: 665-669.
- Tran NT, Miles AK, Dietzgen RG, Dewdney MM, Zhang K, Rollins JA, Drenth A. 2017. Sexual Reproduction in The Citrus Black Spot Pathogen, *Phyllosticta citricarpa*. *Phytopathology*. **107(6)** 732-739.
- Triasih U, Widyaningsih S, Mutia ED. 2021. Pengaruh Formulasi Media Cair Terhadap Pertumbuhan Agen Hayati yang Berasal dari Jamur Antagonis *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. Serta Potensinya dalam Mengendalikan Penyakit Bercak Daun *Alternaria* sp. pada Tanaman Apel. *Gontor Agrotech Science of Journal* **7(2)**: 163-182.
- Triasih U, Wuryantini S, Agustina, 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.
- Whipps JM. 2001. Microbial Interactions and Biocontrol In The Rhizosphere. *Journal of Experimental Botany* **52(1)**: 487-511.
- Wikee S, Lombard L, Nakashima C, Motohashi K, Chukeatirote E, Cheewangkoon R, McKenzie EHC, Hyde, KD, Crous PW. 2013. A Phylogenetic Re-evaluation of *Phyllosticta* (Botryosphaerales). *Studies in Mycology* **76(1)**: 1-29.
- Wulandari D, Sulistyowati L, Muhibuddin, A. 2014. Keanekaragaman Jamur Endofit pada Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) dan Kemampuan Antagonisnya terhadap *Phytophthora infestans*. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan* **2(1)**: 110-118.
- Xu TC, Lu YH, Wang JF, Song ZQ, Ho YG, Liu SS, Liu CS, Wu SH. 2021. Bioactive Secondary Metabolites of The Genus *Diaporthe* and Anamorph Phomopsis from Terrestrial and Marine Habitats and Endophytes: 2010–2019. *Microorganisms* **9(217)**:1-50.