

Antibacterial Potential of Endophytic Fungi from *Avicennia marina* Against Pathogenic Bacteria Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*

Yeni Mulyani¹, Annastasya Asti Dewi^{1*}, Nanda Annisa¹, Nur Asmi Khaerunnisa¹, Gerardo Gaudentius Sautraja¹, Adrians Maulana Aziz¹, Aziz Aprian Pangkerego¹

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia;

Article History

Received : June 07th, 2026

Revised : July 20th, 2026

Accepted : August 03th, 2026

*Corresponding Author:

Annastasya Asti Dewi,
Program Studi Ilmu Kelautan,
Universitas Padjadjaran,
Sumedang, Indonesia;
Email:

annastasya22002@mail.unpad.ac.id

Abstract: Antibiotic resistance has become a global health concern, driving the search for new antibacterial sources. Owing to their ability to biosynthesize diverse bioactive secondary metabolites, endophytic fungi isolated from mangrove plants have emerged as a sustainable resource for natural antibacterial compounds. This study aimed to evaluate the antibacterial activity of endophytic fungi isolated from *Avicennia marina* collected from the Nusawiru Mangrove Conservation Area, Pangandaran, Indonesia. Isolation was performed using the direct plating method on Potato Dextrose Agar (PDA), followed by purification to obtain six pure isolates. The isolates were screened for antibacterial activity against *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) and *Pseudomonas aeruginosa* using an agar plug diffusion assay. Among the six isolates obtained, only AVM BT 4.2 exhibited antibacterial activity against MRSA, producing total inhibition zones of 15.77 ± 1.51 mm at 24 h and 15.39 ± 0.73 mm at 48 h, categorized as strong inhibition. However, none of the isolates inhibited *P. aeruginosa*. These findings indicate the potential of *A. marina* endophytic fungi as a source of antibacterial compounds against resistant bacteria and support further studies on molecular identification and bioactive metabolite characterization of secondary metabolites from the active isolates to support the development of natural antibiotic candidates based on sustainable coastal biological resources.

Keywords: Antibacterial; *Avicennia marina*; Endophytic fungi; Resistance.

Pendahuluan

Fenomena resistensi antimikroba saat ini menjadi salah satu tantangan terbesar dalam dunia kesehatan karena menyebabkan efektivitas antibiotik konvensional terus menurun dalam menangani penyakit infeksi (Aini *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022). Meningkatnya kemampuan bakteri patogen dalam membentuk mekanisme pertahanan terhadap antibiotik menyebabkan infeksi menjadi lebih sulit diobati dan meningkatkan risiko komplikasi hingga kematian. Penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* masih menjadi tantangan serius dalam dunia medis karena

kemampuannya memicu berbagai komplikasi kesehatan, mulai dari infeksi lokal hingga infeksi sistemik yang fatal (Kerr & Snelling, 2009; Razak *et al.*, 2013). Bakteri *Staphylococcus aureus* kini telah bermutasi menjadi *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) yang pertama kali dilaporkan di Inggris pada tahun 1961. Bakteri ini menghasilkan protein PBP2a yang menyebabkan resistensi terhadap seluruh antibiotik golongan β -laktam (Kurniawan *et al.*, 2021). Selain itu, *Pseudomonas aeruginosa* juga dikenal sebagai bakteri oportunistik dengan kemampuan resistensi terhadap berbagai golongan antibiotik, sehingga menjadi salah satu patogen yang sulit ditangani dalam pengobatan infeksi (Giovagnorio *et al.*, 2023). Kondisi

tersebut mendorong perlunya pencarian sumber antibakteri baru yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Beberapa tahun terakhir, mikroorganisme mulai banyak dikaji sebagai sumber alternatif penghasil senyawa bioaktif untuk pengembangan agen antibakteri baru (Aini *et al.*, 2022). Salah satu mikroorganisme yang memiliki potensi besar adalah fungi endofit, yaitu mikroorganisme yang hidup secara simbiotik di dalam jaringan tumbuhan tanpa menyebabkan kerusakan pada inangnya. Fungi ini dapat ditemukan pada hampir seluruh jenis tumbuhan, terutama tumbuhan berkayu seperti mangrove (Mardina, 2022). Fungi endofit memiliki keunggulan karena mampu menghasilkan metabolit sekunder dalam jumlah lebih tinggi dengan waktu produksi yang relatif lebih singkat dibandingkan tanaman inangnya, sehingga berpotensi menjadi sumber senyawa bioaktif yang lebih efisien dan berkelanjutan. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa senyawa bioaktif yang dihasilkan fungi endofit dapat menyerupai senyawa yang diproduksi oleh tanaman inangnya sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan tempat hidupnya. Berbagai jenis metabolit sekunder dapat dihasilkan oleh fungi endofit, antara lain poliketida (Wen *et al.*, 2022), turunan asam sikimat, terpenoid (Souza *et al.*, 2011), alkaloid (Ye *et al.*, 2021), dan peptida (Keller *et al.*, 2005). Metabolit-metabolit tersebut diketahui memiliki beragam aktivitas biologis, seperti antibakteri, antifungi, antioksidan, imunomodulator, serta antikanker (Arora *et al.*, 2020; Isti'annah *et al.*, 2024). Senyawa-senyawa tersebut diketahui mampu mengganggu struktur membran dan dinding sel bakteri sehingga menyebabkan hilangnya kestabilan osmotik dan berujung pada kematian sel bakteri (Bibi *et al.*, 2020; Bills & Gloer, 2016).

Fungi endofit yang berasosiasi dengan mangrove dikenal mempunyai potensi yang tinggi dalam menghasilkan senyawa bioaktif karena mangrove hidup pada lingkungan yang ekstrem, seperti salinitas tinggi, fluktuasi pasang surut, suhu tinggi, dan substrat minim oksigen. Kondisi tersebut mendorong terbentuknya hubungan simbiotik antara mangrove dan fungi endofit, sekaligus memicu produksi berbagai metabolit sekunder untuk membantu tanaman menghadapi tekanan lingkungan maupun

serangan patogen (Mulyani *et al.*, 2023; Tangapo *et al.*, 2022).

Salah satu spesies mangrove yang mampu beradaptasi pada kondisi tersebut adalah *Avicennia marina* yang umumnya tumbuh di zona terdekat laut dan memiliki toleransi tinggi terhadap salinitas (Sunarni *et al.*, 2019). Spesies ini banyak ditemukan di kawasan konservasi mangrove Nusawiru, Pangandaran, Indonesia. Kawasan konservasi ini memiliki nilai ekologis yang tinggi dengan dominasi vegetasi mangrove berukuran besar, namun potensi fungi endofit yang berasosiasi dengan *A. marina* sebagai penghasil senyawa antibakteri di kawasan tersebut masih belum banyak dilaporkan. (Chotimah *et al.*, 2023). Keberadaan *A. marina* pada ekosistem tersebut menjadikannya menarik untuk dieksplorasi, mengingat berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa fungi endofit yang berasosiasi dengan mangrove ini berpotensi menghasilkan senyawa antibakteri.

Basheer *et al.* (2018) menemukan bahwa fungi endofit dari daun *A. marina* memiliki aktivitas antibakteri dengan diameter zona hambat ≥ 9 mm. Hasil tersebut diperkuat oleh Liu *et al.* (2021), yang menemukan senyawa parengyomarin A dan parengyomarin B dengan aktivitas antibakteri yang kuat terhadap *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) pada nilai MIC 0,39–1,56 μ M. Oleh karena itu, fungi endofit dari mangrove *Avicennia marina* memiliki prospek yang menjanjikan sebagai sumber senyawa antibakteri baru untuk menghadapi permasalahan resistensi bakteri patogen. Oleh karena itu, eksplorasi fungi endofit mangrove Nusawiru penting dilakukan untuk mengkaji potensi aktivitas antibakteri yang berasal dari fungi endofit pada mangrove *Avicennia marina* terhadap bakteri patogen, sekaligus memberikan informasi ilmiah mengenai potensi fungi endofit mangrove sebagai sumber senyawa bioaktif yang berpeluang dikembangkan lebih lanjut dalam bidang kesehatan dan farmasi.

Bahan dan Metode

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2025 – April 2026. Sampel akar, batang, dan daun mangrove *Avicennia marina* diambil pada

bulan Juli 2025 di Kawasan Konservasi Mangrove Desa Nusawiru, Kecamatan Cijulang, Kabupaten Pangandaran. Seluruh prosedur eksperimen dilakukan di Laboratorium Aktivitas Biologis, Laboratorium Sentral, Universitas Padjadjaran dan Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Molekuler, FPIK Universitas Padjadjaran. Peta lokasi pengambilan sampel ditampilkan pada **Gambar 1**.



(Titik Koordinat: 7°43.5481'S dan 108°29.4965'E)

Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Alat dan Bahan

Penelitian ini digunakannya alat seperti, GPS waypoint finder, *coolbox*, golok, gunting, *ziplock*, *ice gel*, DO meter, refraktometer, pH meter, *laminar air flow cabinet*, pisau steril, *cutting mat*, pinset steril, cawan petri, *plastic wrap*, bunsen, plastik HDPE, autoklaf, erlenmeyer, inkubator, neraca analitik, jarum ose, *beaker glass*, mikroskop, kaca preparat, *cover glass*, tabung reaksi, rak tabung reaksi, mikropipet, cawan petri kecil, kertas cakram, *cotton bud*, *microtips*, dan *vortex*. Sampel akar mangrove disimpan dalam *coolbox* selama transportasi untuk menjaga kondisi tetap stabil. Bahan yang digunakan meliputi air laut, sampel akar, batang, dan daun mangrove *Avicennia marina*, akuades, alkohol 70%, methanol p.a, Na_2CO_3 , *Potato Dextrose Agar* (PDA) HIMEDIA, *chloramphenicol*, *gentamicin*, *Lactophenol Cotton Blue*, minyak imersi, DMSO 2%, bakteri uji *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) ATCC 33591 dan *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27852, media *Mueller Hinton Agar* (MHA) serta *Mueller Hinton Broth* (MHB).

Pengambilan Sampel *Avicennia marina*

Pengambilan sampel *Avicennia marina* dilakukan terhadap tiga bagian tanaman, yaitu akar, batang, dan daun, pada lokasi penelitian yang sama. Sampel akar dan batang *Avicennia marina* dengan panjang sekitar 10-15 cm dipotong dengan menggunakan golok. Akar dan batang yang diambil berada dekat di sekitar pohon dan bersentuhan langsung dengan perairan. Sementara itu, sampel daun diambil langsung dari ranting pohon menggunakan gunting. Daun yang dipilih merupakan daun tua yang secara morfologis ditandai dengan warna hijau lebih gelap dan posisi berada pada pangkal ranting, mengingat bagian tersebut diketahui memiliki potensi kandungan fungi endofit yang lebih tinggi dibandingkan daun muda (Ramadhani *et al.*, 2017; Nurfitri *et al.*, 2024). Pengukuran kualitas perairan secara *in situ* turut dilakukan pada saat pengambilan sampel dengan mengamati parameter suhu, pH, salinitas, serta oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*).

Sterilisasi Permukaan

Sampel dari bagian akar pohon, batang pohon, dan daun yang digunakan dipilih dari bagian yang masih segar, utuh, dan tidak menunjukkan adanya kerusakan. Sampel akar dan batang kemudian dipotong menjadi ± 10 cm dan seluruh sampel disterilisasi permukaannya dengan membilasnya menggunakan air yang mengalir dalam waktu 10 menit. Setelah itu, sampel dicelupkan dalam alkohol 70% selama 1 menit, kemudian dalam larutan natrium hipoklorit selama 5 menit, dilanjutkan perendaman kembali dalam alkohol 70% selama 30 detik, dan akhirnya dibilas menggunakan akuades steril selama 3-5 detik, akuades bilasan terakhir dikumpulkan dan diinokulasikan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA), dan diinkubasi selama 7-14 hari dengan suhu 25–37 °C. Apabila tidak ada pertumbuhan mikroorganisme pada media, maka proses sterilisasi permukaan (disinfeksi) dinyatakan berhasil. Setelah disterilisasi, potongan akar, batang, dan daun dipindahkan ke atas kertas saring steril untuk proses pengeringan (Tangapo *et al.*, 2022).

Isolasi dan Pemurnian Fungi Endofit

Isolasi fungi endofit dilakukan dari jaringan daun, akar, dan batang *Avicennia marina* menggunakan media *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang dibuat dengan pelarut air laut steril. Selanjutnya, media disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit sebelum digunakan. Setelah sterilisasi, media ditambahkan antibiotik *chloramphenicol* untuk menghambat pertumbuhan bakteri selama proses isolasi. Seluruh proses inokulasi dilakukan secara aseptik di dalam *laminar air flow* yang telah disterilkan menggunakan alkohol 70%.

Sampel yang telah disterilisasi permukaannya dipotong menggunakan pisau atau *cutter* steril untuk membuka jaringan internal sebelum diinokulasikan pada media PDA. Potongan jaringan daun dibuat dengan ukuran $\pm 1 \times 1$ cm, sedangkan sampel akar dan batang dipotong sepanjang ± 1 cm yang dibelah menjadi dua bagian (Suliaty *et al.*, 2017; Potshangbam *et al.*, 2017; Mulyani *et al.*, 2023). Setiap cawan petri berisi dua potongan jaringan yang diletakkan secara aseptik pada permukaan media PDA dengan metode *direct planting* (Suliaty *et al.*, 2017). Selanjutnya, seluruh cawan diinkubasi pada suhu 25–37°C selama 7–14 hari dan diamati setiap hari untuk melihat pertumbuhan miselium fungi dari jaringan tanaman. Koloni fungi yang tumbuh dari sekitar potongan jaringan kemudian dapat dipisahkan dan dimurnikan lebih lanjut untuk memperoleh isolat fungi endofit (Manurung *et al.*, 2022; Hasiani *et al.*, 2015; Potshangbam *et al.*, 2017; Mulyani *et al.*, 2023).

Fungi yang tumbuh kemudian dimurnikan dengan memisahkan koloni berdasarkan morfologi dan inokulasikan kembali ke media PDA baru. Inkubasi dilakukan selama 5–7 hari dan diulang hingga diperoleh isolat murni. Isolat murni selanjutnya diinkubasi selama 3–5 hari dan dibuat triplo sebagai kultur stok dan kerja menggunakan media PDA dengan tambahan *chloramphenicol* (Hasiani *et al.*, 2015).

Identifikasi Morfologi Fungi Endofit secara Makroskopis dan Mikroskopis

Pengamatan dilakukan untuk menilai karakter morfologi koloni dan miselium.

Evaluasi makroskopis mencakup warna, bentuk koloni, bentuk tepian, serta tekstur permukaan yang sesuai dengan protokol baku *American Society for Microbiology* (Breakwell *et al.*, 2016). Pengamatan mikroskopis dilakukan menggunakan pewarna *Lactophenol Cotton Blue* pada perbesaran 100× (Sulistiyono & Mahyuni, 2019) dan identifikasi yang mengacu pada Gherbawy dan Voigt (2010) dalam buku *Molecular Identification of Fungi*.

Uji Antibakteri Fungi Endofit

Uji antibakteri dilakukan menggunakan metode *agar plug diffusion* pada media *Mueller Hinton Agar* (MHA). Media MHA disiapkan menggunakan akuades sesuai komposisi media, kemudian media disterilisasi sebelum dituangkan ke cawan petri steril. Sementara itu, suspensi bakteri uji dipersiapkan melalui inokulasi satu ose koloni bakteri ke dalam *Mueller Hinton Broth* (MHB) dan diinkubasi selama 24 jam. Setelah inkubasi selesai, tingkat kekeruhan suspensi distandarkan hingga mencapai 0,5 McFarland, yang setara dengan sekitar $1,5 \times 10^8$ CFU/mL. Suspensi bakteri kemudian diinokulasikan ke permukaan MHA dengan metode sebar menggunakan swab steril, dioleskan merata sambil memutar piring 90° setiap pengolesan untuk membentuk lawn pertumbuhan yang seragam.

Subjek uji antibakteri pada metode *agar plug diffusion* berupa potongan isolat fungi berumur 7 hari dengan ukuran $\pm 7 \times 7$ mm. Potongan fungi kemudian ditempatkan pada permukaan media MHA yang telah diinokulasi dengan bakteri uji. Pada pengujian ini digunakan kontrol positif berupa kertas cakram yang telah ditetesi larutan antibakteri sesuai dengan jenis bakteri uji, yaitu *chloramphenicol* 250 ppm dalam DMSO 2% untuk MRSA dan gentamicin 250 ppm dalam DMSO 2% untuk *Pseudomonas aeruginosa*. Kontrol negatif dibuat pada cawan petri terpisah dalam dua bentuk, yaitu potongan media kosong berukuran $\pm 7 \times 7$ mm sebagai kontrol media dan kertas cakram yang ditetesi DMSO 2% sebagai kontrol pelarut. Setiap sampel dan kontrol positif diuji dalam tiga kali ulangan, sedangkan kontrol negatif diuji sebanyak dua kali ulangan. Proses inkubasi dilakukan terhadap seluruh cawan pada suhu 35–37°C dengan lama inkubasi 24–48 jam. Zona

hambat yang terbentuk diamati dan diukur bersama *agar plug*/ kertas cakram pada jam ke-24 dan ke-48 menggunakan jangka sorong dalam satuan milimeter sebagai indikator aktivitas antibakteri (Hudzicki, 2016).

Hasil dan Pembahasan

Kualitas Perairan di Lokasi Pengambilan Sampel

Kawasan mangrove umumnya dicirikan oleh dominasi sedimen berlumpur serta dipengaruhi oleh dinamika pasang surut air laut. Substrat lumpur pada kawasan mangrove biasanya mengandung bahan organik yang tinggi serta tersusun dari partikel-partikel halus, sehingga menciptakan sistem yang aktif secara biogeokimia. Kondisi tersebut mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, yang berperan dalam proses transformasi nutrisi (Lin *et al.*, 2024). Selain itu, pasang surut air laut menyebabkan perubahan kandungan nutrisi serta kondisi fisikokimia sedimen, sehingga dapat meningkatkan kompleksitas dan aktivitas mikroorganisme dalam ekosistem mangrove (Li *et al.*, 2024). Penilaian kualitas perairan di lokasi pengambilan sampel disajikan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Kualitas perairan di lokasi penelitian

No	Parameter lingkungan	Nilai	Baku Mutu*
1.	Suhu	27,3°C	Alami
2.	Salinitas	20 ppt	≤34 ppt
3.	pH	8,03	7–8,5
4.	DO	4,96 mg/L	>5 mg/L

Keterangan : *Kepmen LH No. 51 Tahun 2004

Parameter kualitas perairan seperti suhu, salinitas, pH, dan kandungan nutrisi memiliki peranan penting dalam menentukan struktur komunitas organisme pada ekosistem mangrove. Perubahan pada parameter-parameter tersebut dapat mempengaruhi komposisi komunitas organisme, sehingga dapat mencerminkan kondisi kualitas perairan serta tingkat kesehatan ekosistem mangrove (Yan *et al.*, 2025). Perbandingan hasil pengukuran dengan baku mutu yang ditetapkan dalam Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 menunjukkan bahwa kondisi

kualitas air di lokasi penelitian secara umum masih mendukung kehidupan biota perairan karena sebagian besar parameternya berada dalam kisaran yang dipersyaratkan. Namun, nilai oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO) sebesar 4,9 mg/L masih sedikit berada di bawah baku mutu yang mensyaratkan nilai DO >5 mg/L. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas perairan secara umum masih tergolong cukup baik, tetapi belum sepenuhnya memenuhi baku mutu untuk parameter DO. Rendahnya nilai DO dapat menjadi indikasi bahwa ketersediaan oksigen terlarut di perairan belum optimal bagi biota akuatik.

Isolasi Fungi Endofit

Sebanyak enam isolat fungi endofit murni berhasil diperoleh dari proses isolasi jaringan *Avicennia marina* menggunakan media *Potato Dextrose Agar* (PDA), yaitu AVM AK 6.1, AVM AK 7.1, AVM BT 4.2, AVM BT 8.1, AVM D 4.2, dan AVM D 2.1.2 yang dinamai sesuai dengan asal jaringan tanaman. Karakterisasi morfologi makroskopis menunjukkan bahwa setiap isolat memiliki ciri koloni yang beragam, yang dibedakan berdasarkan warna, bentuk koloni, bentuk tepian, serta tekstur permukaannya. Variasi morfologi tersebut menunjukkan adanya keragaman fungi endofit yang berasosiasi dengan jaringan *A. marina*.

Pertumbuhan fungi endofit pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) menunjukkan kemampuan isolat dalam beradaptasi dan memanfaatkan kandungan nutrisi pada media sebagai sumber pertumbuhan. Kandungan karbohidrat serta kondisi media yang bersifat asam mendukung perkembangan miselium fungi sekaligus menghambat pertumbuhan bakteri kontaminan (Aini & Rahayu, 2015). Kemampuan fungi endofit untuk tumbuh secara *in vitro* menunjukkan karakter biotrof fakultatif yang memungkinkan fungi tetap hidup setelah dipisahkan dari jaringan inangnya (Syarifah *et al.*, 2024). Sedangkan variasi pertumbuhan koloni dipengaruhi oleh kemampuan pemanfaatan substrat dan karakter fisiologis masing-masing isolat (Pandey *et al.*, 2014).

Karakteristik Morfologi Fungi Endofit

Identifikasi morfologi fungi endofit dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis

untuk mengetahui karakter masing-masing isolat. Pengamatan meliputi karakter koloni, bentuk hifa, serta struktur reproduktif fungi yang diamati pada media PDA dan preparat mikroskop.

Berdasarkan hasil pengamatan morfologi, setiap isolat fungi endofit menunjukkan perbedaan karakteristik koloni maupun struktur mikroskopis. (Tabel 2; Tabel 3).

Tabel 2. Hasil Identifikasi Fungi Endofit

Kode Isolat	Makroskopis			Mikroskopis	
	Warna Koloni	Bentuk Koloni	Bentuk Tepian	Tekstur Permukaan	
AVM AK 6.1	Merah kecoklatan	<i>Circular</i>	<i>Filamentous</i>	<i>Cottony</i>	Hifa transparan bercabang yang bersepta, dan terdapat rhizoid.
AVM AK 4.3	Hijau tua kekuningan	<i>Circular</i> menyebar	<i>Entire</i> putih	<i>Velvety</i>	Konidiofor tegak lurus, sporangium, dan konidia bulat.
AVM BT 4.2	Hijau tua kekuningan	<i>Punctiform</i>	<i>Entire</i>	<i>Powdery</i>	Spora oval tersebar dan membentuk agregat.
AVM BT 8.1	Hijau kehitaman	<i>Circular</i>	<i>Filamentous</i>	<i>Cottony</i>	Konidiofor tegak, konidia bulat bergerombol dan ada sporangium.
AVM D 4.2	Hijau keabu-abuan	<i>Circular</i>	<i>Filamentous</i>	<i>Cottony</i>	Konidiofor tunggal, sporangium, konidia bulat dan tersusun padat.
AVM D 2.1.2	Putih kuning-oranye	<i>Irregular</i>	<i>Filamentous</i>	<i>Cottony</i>	Hifa hialin bersepta dan bercabang, ada rhizoid, konidia menyebar.

Variasi warna, bentuk koloni, bentuk tepian, dan tekstur permukaan mengindikasikan adanya perbedaan karakter pertumbuhan antar isolat fungi endofit yang diperoleh dari jaringan mangrove *Avicennia marina*. Perbedaan morfologi koloni pada media PDA dipengaruhi oleh kemampuan fungi dalam memanfaatkan nutrisi, menghasilkan pigmen, dan membentuk struktur reproduktif. Warna koloni yang lebih gelap diduga berkaitan dengan aktivitas sporulasi, sedangkan tekstur berbulu menunjukkan pertumbuhan spora pada permukaan media yang didukung oleh ketersediaan oksigen karena sebagian besar fungi bersifat aerobik (Yastanto, 2020).

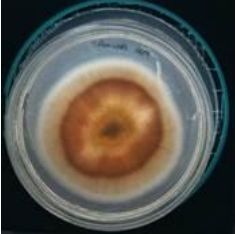
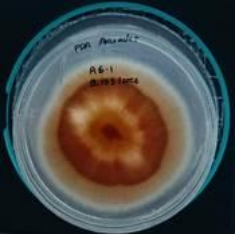
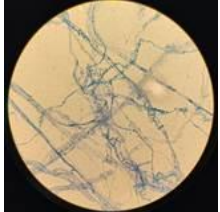
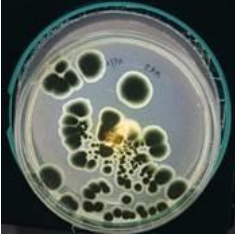
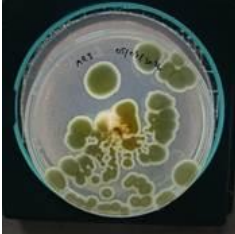
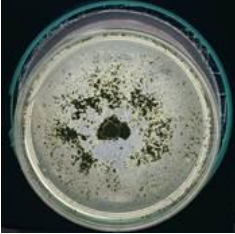
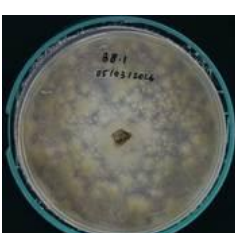
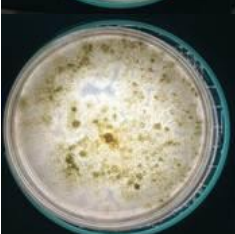
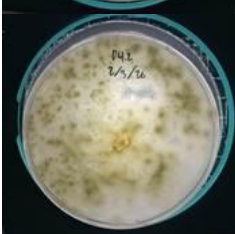
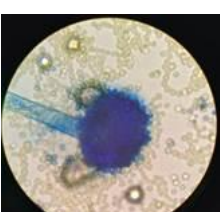
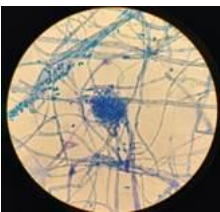
Hasil pengamatan morfologi pada Tabel 2 dan Tabel 3, masing-masing isolat fungi endofit menunjukkan karakteristik makroskopis dan mikroskopis yang berbeda sehingga identifikasi ini hanya sebatas dugaan genus yang belum pasti dan harus dilakukan analisis lebih lanjut secara molekuler dengan menggunakan region ITS (Donastin *et al.*, 2022). Isolat AVM AK 6.1 diduga memiliki kemiripan dengan genus *Fusarium* karena memiliki hifa hialin bersepta

dan makrokonidia multiseluler dengan struktur khas pada bagian basal yang menjadi ciri diagnostik genus tersebut (Putignani *et al.*, 2010). Pada isolat AVM BT 4.3 memiliki kemiripan morfologi dengan genus *Penicillium* yang terlihat dari pola sporulasi dan pigmentasi koloni yang khas, sejalan dengan hasil penemuan Suliati *et al.* (2017) pada fungi genus tersebut.

Isolat AVM BT 4.2 karakter morfologinya menunjukkan kemiripan dengan genus *Trichoderma*, yang umumnya dicirikan oleh konidiofor bercabang dan pembentukan konidia hijau yang tersusun dalam massa agregat sebagaimana dijelaskan oleh Dagsy & Kurnia (2025). Sedangkan isolat AVM BT 8.1 dan AVM D4.2 menunjukkan kemiripan dengan genus *Aspergillus*, ditandai oleh pertumbuhan koloni berfilamen serta pembentukan konidia bulat yang tersusun padat pada ujung struktur reproduktif, sebagaimana dilaporkan oleh Djami *et al.* (2024). Dan pada isolat AVM D2.1.2 menunjukkan kemiripan dengan genus *Clonostachys* seperti pada penelitian Wang *et al.* (2023) dengan ciri hifa hialin bersepta, percabangan konidiofor

menyerupai *Verticillium*, serta konidia berbentuk subglobose hingga ellipsoid.

Tabel 3. Morfologi Makroskopis dan Mikroskopis Isolat Fungi Endofit

No	Kode Isolat	Makroskopis		Mikroskopis (Perbesaran 100x)
		Permukaan	Reverse	
1.	AVM AK 6.1			
2.	AVM AK 4.3			
3.	AVM BT 4.2			
4.	AVM BT 8.1			
5.	AVM D 4.2			
6.	AVM D 2.1.2			

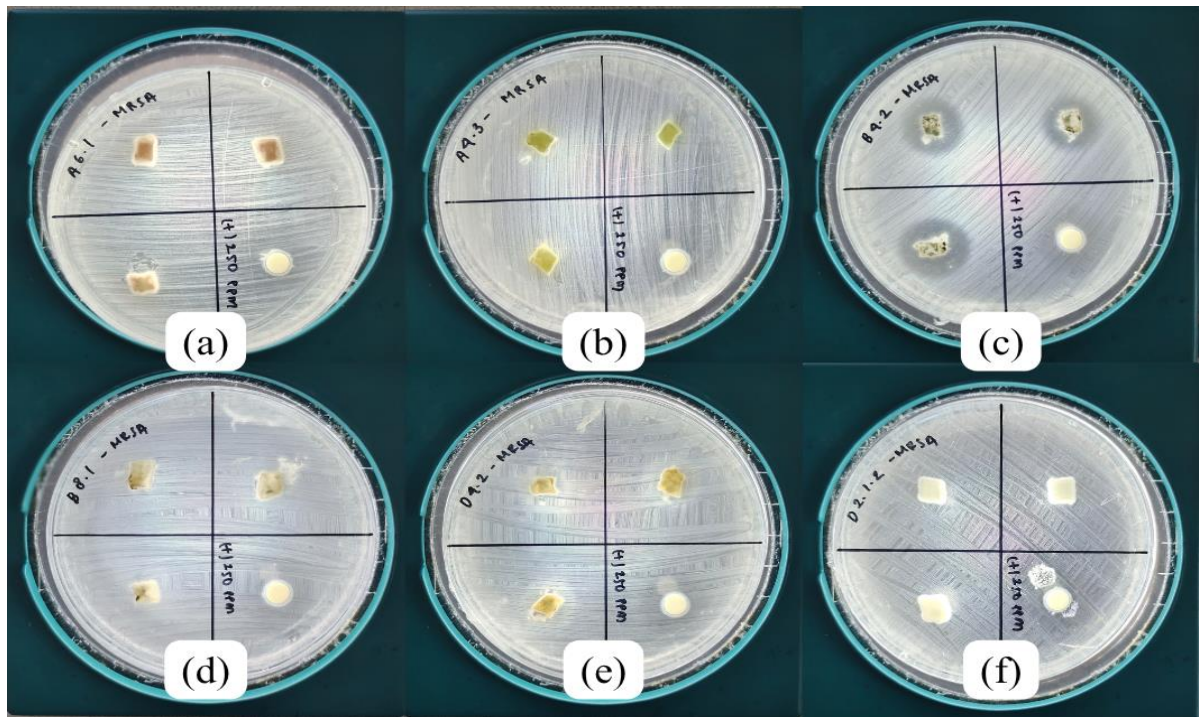
Uji Antibakteri Fungi Endofit

Tabel 4 menunjukkan bahwa hanya isolat AVM BT 4.2 yang memiliki aktivitas antibakteri terhadap MRSA hingga masa inkubasi 48 jam, sedangkan isolat fungi endofit lainnya tidak menunjukkan terbentuknya zona hambat baik pada pengamatan 24 maupun 48 jam. Isolat AVM BT 4.2 menghasilkan diameter total zona hambat sebesar $15,77 \pm 1,51$ mm pada 24 jam dan $15,39 \pm 0,73$ mm pada 48 jam, yang menunjukkan kemampuan penghambatan yang kuat (Davis & Stout, 1971) serta relatif stabil terhadap pertumbuhan MRSA. Pada pengamatan 24 jam, diameter total zona hambat isolat tersebut lebih besar dibandingkan kontrol positif

chloramphenicol 250 ppm yang memiliki rata-rata zona hambat sebesar $8,47 \pm 0,49$ mm, sedangkan pada 48 jam zona hambat *chloramphenicol* meningkat menjadi $17,81 \pm 4,6$ mm. *Chloramphenicol* ini bekerja dengan menghambat sintesis protein bakteri melalui ikatan reversibel pada subunit ribosom 50S, sehingga pembentukan ikatan peptida terganggu dan pertumbuhan bakteri terhambat (Singhal *et al.*, 2020). Selain itu, jika dibandingkan dengan kontrol media dan kontrol pelarut yang tidak memiliki zona hambat sama sekali menandakan bahwa zona hambat yang didapatkan dari isolat fungi BT 4.2 ini tidak dipengaruhi oleh media tumbuh fungi dan zona hambat dari kontrol positif juga tidak dipengaruhi oleh pelarutnya.

Tabel 4. Uji Antibakteri terhadap MRSA (ATCC 33591)

Kode Isolat	Zona Hambat			
	24 Jam		48 Jam	
	Fungi (mm)	(+) 250 ppm (mm)	Fungi (mm)	(+) 250 ppm (mm)
AVM AK 6.1	0	8,48	0	19,92
AVM AK 4.3	0	8,11	0	19,19
AVM BT 4.2	$15,77 \pm 1,51$	9,14	$15,39 \pm 0,73$	25,38
AVM BT 8.1	0	8,61	0	13,67
AVM D 4.2	0	8,8	0	13,52
AVM D 2.1.2	0	9,49	0	15,18



Gambar 2. Hasil uji aktivitas antibakteri isolat fungi endofit terhadap bakteri MRSA setelah inkubasi 24 jam, dengan kode isolat: (a) AVM AK 6.1, (b) AVM AK 4.3, (c) AVM BT 4.2, (d) AVM BT 8.1, (e) AVM D 4.2, dan (f) AVM D 2.1.2.

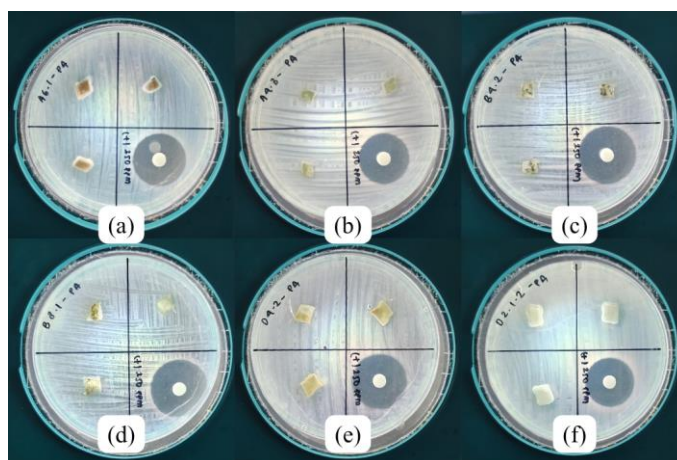
Walau tidak menggunakan GC-MS atau LC-MS, kemampuan isolat AVM BT 4.2 dalam menghambat MRSA menunjukkan bahwa isolat fungi tersebut diduga memproduksi metabolit sekunder yang efektif terhadap bakteri MRSA. Menurut Zhang (2022), metabolit sekunder yang efektif terhadap MRSA memiliki struktur khas seperti kerangka triterpen pentasiklik yang besar dan kaku, gugus asam karboksilat, gugus karbonil atau ester, kerangka benzophenone, serta gugus metoksi ($-\text{OCH}_3$). Namun, dugaan tersebut masih bersifat spekulatif karena penelitian ini belum melakukan identifikasi metabolit sekunder dari isolat AVM BT 4.2. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan seperti analisis GC-MS atau LC-MS untuk mengetahui senyawa aktif dan mekanisme kerjanya secara lebih spesifik.

Sementara itu, Tabel 5 menunjukkan bahwa seluruh isolat fungi endofit tidak menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap

Pseudomonas aeruginosa pada kedua waktu inkubasi, yaitu 24 dan 48 jam, yang ditandai dengan tidak terbentuknya zona hambat pada seluruh perlakuan. Sebaliknya, kontrol positif *gentamicin* 250 ppm menghasilkan zona hambat dengan rata-rata sebesar $24,01 \pm 2,00$ mm pada 24 jam dan $22,40 \pm 1,44$ mm pada 48 jam, dengan rentang diameter masing-masing 20,74–26,06 mm dan 20,61–24,18 mm. Terbentuknya zona hambat pada kontrol positif menunjukkan bahwa *gentamicin* masih mampu menghambat pertumbuhan *P. aeruginosa*. Sementara itu, *gentamicin* merupakan antibiotik aminoglikosida yang bekerja secara bakterisidal dengan berikatan irreversibel pada subunit ribosom 30S bakteri. Ikatan tersebut menyebabkan gangguan translasi dan kesalahan pembacaan mRNA (*misreading*) sehingga sintesis protein menjadi abnormal dan akhirnya menyebabkan kematian sel bakteri (NCBI, 2026).

Tabel 5. Uji Antibakteri terhadap *P.aeruginosa* (ATCC 27852)

Kode Isolat	Zona Hambat			
	24 Jam		48 Jam	
	Fungi (mm)	(+) 250 ppm (mm)	Fungi (mm)	(+) 250 ppm (mm)
AVM AK 6.1	0	24,75	0	22,27
AVM AK 4.3	0	20,74	0	20,61
AVM BT 4.2	0	26,06	0	23,67
AVM BT 8.1	0	25,3	0	24,18
AVM D 4.2	0	24,76	0	22,8
AVM D 2.1.2	0	22,47	0	20,89



Gambar 3. Hasil uji aktivitas antibakteri isolat fungi endofit terhadap bakteri *Pseudomonas aeruginosa* setelah inkubasi 24 jam, dengan kode isolat: (a) AVM AK 6.1, (b) AVM AK 4.3, (c) AVM BT 4.2, (d) AVM BT 8.1, (e) AVM D 4.2, dan (f) AVM D 2.1.2.

Pseudomonas aeruginosa memiliki resistensi intrinsik tinggi terhadap berbagai antibiotik akibat rendahnya permeabilitas membran luar, produksi enzim β -laktamase, modifikasi target antibiotik, serta keberadaan sistem *efflux pump*, yaitu sistem transpor yang secara aktif membuang antibiotik keluar dari sel bakteri. (Langendonk et al., 2021). Selain itu, bakteri ini mampu membentuk biofilm melalui produksi matriks polisakarida seperti alginat, *pellicle polysaccharide*, dan *psl (polysaccharide synthesis locus)* yang melindungi bakteri dari sistem imun dan menghambat penetrasi antibiotik, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap pengobatan. Menurut Goel et al. (2022), metabolit yang efektif terhadap *Pseudomonas aeruginosa* memiliki sifat hidrofobik yang dominan serta mengandung cincin aromatik.

Peningkatan aktivitas antibakteri terhadap *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* pada metode Kirby-Bauer dapat dilakukan melalui optimasi konsentrasi dan ekstraksi metabolit aktif, pengaturan waktu fermentasi fungi endofit, serta pemilihan pelarut yang sesuai untuk meningkatkan difusi senyawa antibakteri. Selain itu, penggunaan agen antibiofilm atau kombinasi antibiotik dan peptida antimikroba dilaporkan mampu meningkatkan penetrasi antibiotik dan efektivitas penghambatan biofilm pada kedua bakteri tersebut. Faktor teknis seperti kepadatan inokulum, ketebalan media, pH, waktu inkubasi, dan ukuran molekul senyawa juga mempengaruhi pembentukan zona hambat (Mirzaei et al., 2023; Ghorbani et al., 2017; Hoiby et al., 2019).

Kesimpulan

Proses isolasi pada mangrove *Avicennia marina* berhasil memperoleh enam isolat fungi endofit. Dari seluruh isolat yang diuji, hanya isolat AVM BT 4.2 yang menunjukkan aktivitas penghambatan kuat terhadap MRSA, sedangkan seluruh isolat belum mampu menghambat *P. aeruginosa*. Temuan ini menunjukkan potensi fungi endofit mangrove sebagai sumber alternatif senyawa antibakteri terhadap bakteri resisten, sekaligus membuka peluang pengembangan bioprospeksi metabolit sekunder yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat diselesaikan berkat dukungan Universitas Padjadjaran melalui penyediaan berbagai fasilitas penelitian. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh anggota tim peneliti yang telah berperan aktif serta menjalin kerja sama yang baik selama kegiatan penelitian berlangsung. Penelitian ini merupakan bagian dan didanai oleh Program Hibah BIMA Skema Penelitian Fundamental Reguler, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek), Republik Indonesia, dengan nomor kontrak 1705/UN6.3.1/PT.00/2025.

Referensi

- Aini, K., Elfita, Widjajanti, H., Setiawan, A., & Kurniawati, A. R. (2022). Antibacterial activity of endophytic fungi isolated from the stem bark of jambu mawar (*Syzygium jambos*). *Biodiversitas*, 23(1), 521–532. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230156>
- Aini, N., & Rahayu, T. (2015). Media alternatif untuk pertumbuhan jamur menggunakan sumber karbohidrat yang berbeda. In *Prosiding Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS* (pp. 861–866). Universitas Sebelas Maret. <https://media.neliti.com/media/publications/175619-ID-none.pdf>
- Arora, D., Gupta, P., Jaglan, S., Roullier, C., Grovel, O., & Bertrand, S. (2020). Expanding the chemical diversity through microorganisms co-culture: Current status and outlook. *Biotechnology Advances*, 40, 107521. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107521>
- Basheer, M. A., Mekawey, A. A., El-Kafrawy, S. B., & Abouzeid, M. A. (2018). Antimicrobial activities of endophytic fungi of Red Sea aquatic plant. *Egyptian Journal of Microbiology*, 53(1), 231–240. <https://doi.org/10.21608/ejm.2018.3833.1082>
- Bibi, S. N., Gokhan, Z., Rajesh, J., & Mahomoodally, M. F. (2020). Fungal endophytes associated with mangroves: Chemistry and biopharmaceutical potential. *South African Journal of Botany*, 134, 187–

212.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.12.016>
- Bills, G. F., & Gloer, J. B. (2016). Biologically active secondary metabolites from the fungi. *Microbiology Spectrum*, 4(6).
<https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0009-2016>
- Chotimah, L. C., MS, Y., Andriani, Y., Faizal, I., & Prasetiawan, N. R. (2023). Identification of marine debris at *Avicennia* mangrove root in Pangdaran Beach, West Java. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 10(3), 269–274.
<https://doi.org/10.29103/aa.v10i3.11812>
- Davis, W. W., & Stout, T. R. (1971). Disc plate method of microbiological antibiotic assay: I. Factors influencing variability and error. *Applied Microbiology*, 22(4), 659–665.
<https://doi.org/10.1128/am.22.4.659-665.1971>
- Djami, H. (2025). Isolasi jamur selulolitik pada daun mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) di Pantai Noelbaki. *Indigenous Biologi: Jurnal Pendidikan dan Sains Biologi*, 5(3), 133–143.
<https://doi.org/10.33323/indigenous.v5i3.297>
- Donastin, A., Koentjoro, M. P., Hidayat, M. T., Nugroho, E., Kedokteran, P. S., Kedokteran, F., Nahdlatul, U., Surabaya, U., Kesehatan, F., Nahdlatul, U., Surabaya, U., & Biologi, D. (2022). Comparison of Three DNA Isolation Methods of *Aspergillus Niger* Adyan. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 9(1), 69–78.
<https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2021.v09.i01.p07>
- Ghorbani, H., Memar, M. Y., Sefidan, F. Y., Yekani, M., & Ghotaslou, R. (2017). In vitro synergy of antibiotic combinations against planktonic and biofilm *Pseudomonas aeruginosa*. *GMS Hygiene and Infection Control*, 12, Doc17.
<https://doi.org/10.3205/dgkh000302>
- Giovagnorio, F., De Vito, A., Madeddu, G., Parisi, S. G., & Geremia, N. (2023). Resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: A narrative review of antibiogram interpretation and emerging treatments. *Antibiotics*, 12(11), Article 1621.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics12111621>
- 1
 Goel, N., Ghosh, M., Jain, D., Sinha, R., & Khare, S. K. (2023). Inhibition and eradication of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms by secondary metabolites of *Nocardiosis lucentensis* EMB25. *RSC Medicinal Chemistry*, 14(4), 745–756.
<https://doi.org/10.1039/d2md00439a>
- Hasiani, V. V., Ahmad, I., & Rijai, L. (2015). Isolasi jamur endofit dan produksi metabolit sekunder antioksidan dari daun pacar (*Lawsonia inermis* L.). *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(4), 146–153.
<https://doi.org/10.30872/jsk.v1i4.41>
- Høiby, N., Henneberg, K. Å., Wang, H., Stavnsbjerg, C., Bjarnsholt, T., Ciofu, O., Johansen, U. R., Sams, T., & ... (2019). Formation of *Pseudomonas aeruginosa* inhibition zone during tobramycin disk diffusion is due to transition from planktonic to biofilm mode of growth. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 53(5), 564–573.
<https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.12.015>
- Hudzicki, J. (2016). *Kirby-Bauer disk diffusion susceptibility test protocol*. American Society for Microbiology.
<https://asm.org/protocols/kirby-bauer-disk-diffusion-susceptibility-test-pro>
- Isti'anah, I., Tarman, K., Suseno, S. H., Nugraha, R., & Effendi, I. (2024). Penapisan senyawa bioaktif antibakteri fungi laut endofit asal Pulau Buton Sulawesi Tenggara. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(7), 553–563.
<https://doi.org/10.17844/jphpi.v27i7.50489>
- Keller, N. P. (2019). Fungal secondary metabolism: Regulation, function and drug discovery. *Nature Reviews Microbiology*, 17(3), 167–180.
<https://doi.org/10.1038/s41579-018-0121-1>
- Keller, N. P., Turner, G., & Bennett, J. W. (2005). Fungal secondary metabolism: From biochemistry to genomics. *Nature Reviews Microbiology*, 3(12), 937–947.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro1286>
- Kerr, K. G., & Snelling, A. M. (2009). *Pseudomonas aeruginosa*: A formidable and ever-present adversary. *Journal of Hospital Infection*, 73(4), 338–344.
<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.04.020>

- Kurniawan, K., Tyas, E. A., & Supriyadi. (2021). Prevalensi bakteri Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) pada peralatan laboratorium. *The Journal of Muhammadiyah Medical Laboratory Technologist*, 4(2), 188–200. <https://doi.org/10.30651/jmlt.v4i2.7554>
- Langendonk, R. F., Neill, D. R., & Fothergill, J. L. (2021). The building blocks of antimicrobial resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: Implications for current resistance-breaking therapies. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 665759. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.665759>
- Liu, S., Mao, Y., Lu, H., Zhao, Y., Bilal, M., Proksch, P., & Hu, P. (2021). Two new torribiellin derivatives from the mangrove endophytic fungus *Parengyodontium album*. *Phytochemistry Letters*, 46, 149–152. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2021.10.008>
- Manurung, L., Rahmawati, & Kurniatuhadi, R. (2022). Inventarisasi jamur endofit dari daun *Avicennia marina* di Mempawah Mangrove Center, Desa Pasir, Kalimantan Barat. *LenteraBio*, 11(3), 378–384. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenteraBio/article/view/15276>
- Mardina, V. (2022). Isolasi fungi endofit pada tumbuhan *Rhizophora apiculata* Blume di Kuala Langsa, Aceh. *Konservasi Hayati*, 18(1), 26–30. <https://doi.org/10.33369/hayati.v18i1.14711>
- Mirzaei, R., Esmaeili Gouvarchin Ghaleh, H., & Ranjbar, R. (2023). Antibiofilm effect of melittin alone and in combination with conventional antibiotics toward strong biofilm of MDR-MRSA and *Pseudomonas aeruginosa*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1030401. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1030401>
- Mulyani, Y., Wulandari, A. P., Sinaga, S. E., Safriansyah, W., Azhari, A., Purbaya, S., Abdullah, F. F., Farabi, K., Shiono, Y., & Supratman, U. (2023). Antibacterial activities and molecular identification of endophytic fungi isolated from mangrove *Avicennia marina*. *Biodiversitas*, 24(12), 6923–6933. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241254>
- National Center for Biotechnology Information. (2026). *PubChem compound summary for CID 3467, gentamicin*. PubChem. Retrieved May 9, 2026, from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Gentamicin>
- Nurfitri, R., Hardini, J., & Muksin, I. K. (2024). Identifikasi jamur endofit yang berasosiasi dengan daun jeruk limau *Citrus × amblycarpa* (Hassk.) Ochse di Kebun Kalpataru, Denpasar, Bali. *Simbiosis*, 12(1), 100–107. <https://doi.org/10.24843/JSIMBIOSIS.2024.v12.i01.p11>
- Pandey, P. K., Singh, S., Yadav, R. N. S., Singh, A. K., & Singh, M. C. K. (2014). Fungal endophytes: Promising tools for pharmaceutical science. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 25(2), 128–138. <http://www.globalresearchonline.net>
- Pantosti, A., Sanchini, A., & Monaco, M. (2007). Mechanisms of antibiotic resistance in *Staphylococcus aureus*. *Future Microbiology*, 2(3), 323–334. <https://doi.org/10.2217/17460913.2.3.323>
- Potshangbam, M., Devi, S. I., Sahoo, D., & Strobel, G. A. (2017). Functional characterization of endophytic fungal community associated with *Oryza sativa* L. and *Zea mays* L. *Frontiers in Microbiology*, 8, 325. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00325>
- Putignani, L., Paglia, M. G., D'Arezzo, S., & Visca, P. (2010). DNA-based detection of human pathogenic fungi: Dermatophytes, opportunists and causative agents of deep mycoses. In Y. Gherbawy & K. Voigt (Eds.), *Molecular identification of fungi* (pp. 357–415). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05042-8_17
- Ramadhani, S. H., Samingan, & Iswadi. (2017). Isolasi dan identifikasi jamur endofit pada daun jambang (*Syzygium cumini* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Unsyiah*, 2(2), 77–90. <https://media.neliti.com/media/publications/202546-none.pdf>

- Razak, A., Djamal, A., & Revilla, G. (2013). Uji daya hambat air perasan buah jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* S.) terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* secara in vitro. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 2(1), 5. <https://doi.org/10.25077/jka.v2i1.54>
- Rosdee, S., Wisessombat, S., Tayeh, M., Malakul, R., Phanaksri, T., & Sianglum, W. (2025). Antibacterial activity of the endophytic fungal extracts and synergistic effects of combinations of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*. *PeerJ*, 13, e19074. <https://doi.org/10.7717/peerj.19074>
- Sanchez, C. J., Akers, K. S., Romano, D. R., Woodbury, R. L., Hardy, S. K., Murray, C. K., & Wenke, J. C. (2014). D-amino acids enhance the activity of antimicrobials against biofilms of clinical wound isolates of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 58(8), 4353–4361. <https://doi.org/10.1128/AAC.02468-14>
- Santos, I. P., Silva, L. C. N., Silva, M. V., Araújo, J. M., Cavalcanti, M. S., & Lima, V. L. M. (2015). Antibacterial activity of endophytic fungi from leaves of *Indigofera suffruticosa* Miller (Fabaceae). *Frontiers in Microbiology*, 6, 350. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00350>
- Silva, D. P. D., Cardoso, M. S., & Macedo, A. J. (2022). Endophytic fungi as a source of antibacterial compounds—A focus on Gram-negative bacteria. *Antibiotics*, 11(11), 1509. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111509>
- Singhal, K. K., Mukim, M., Dubey, C. K., & Nagar, J. C. (2020). An updated review on pharmacology and toxicities related to chloramphenicol. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 8(4), 104–109. <https://doi.org/10.22270/ajprd.v8i4.671>
- Souza, J. J. de, Vieira, I. J. C., Rodrigues-Filho, E., & Braz-Filho, R. (2011). Terpenoids from endophytic fungi. *Molecules*, 16(12), 10604–10618. <https://doi.org/10.3390/molecules161210604>
- 04
- Suhartina, Kandou, F. E. F., & Singkoh, M. F. O. (2018). Isolasi dan identifikasi jamur endofit pada tumbuhan paku *Asplenium nidus*. *Jurnal MIPA Unsrat Online*, 7(2), 24–28. <https://doi.org/10.35799/jm.7.2.2018.20640>
- Suliaty, Rahmawati, & Mukarlina. (2017). Jenis-jenis jamur endofit tanaman jeruk siam (*Citrus nobilis* var. *microcarpa*) di Perkebunan Dungun Prapakan Sambas. *Protobiont*, 6(3), 173–181. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jprb/article/view/22472>
- Sulistiyono, F. D., & Mahyuni, S. (2019). Isolasi dan identifikasi jamur endofit pada umbi talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *Sains Natural: Journal of Biology and Chemistry*, 9(2), 66–70. <https://doi.org/10.31938/jsn.v9i2.235>
- Sunarni, Maturbongs, M. R., Arifin, T., & Rahman, R. (2019). Zonasi dan struktur komunitas mangrove di pesisir Kabupaten Merauke. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(3), 165–178. <https://doi.org/10.15578/jkn.v14i3.7961>
- Syarifah, S., Yusfarani, D., Kharism, S. P., & Fauzan, A. R. (2024). Potensi jamur endofit dari daun jambu nasi-nasi (*Syzygium zeylanicum*) sebagai antibiotik alami dalam mengobati jerawat. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 12(2), 156–165. <https://doi.org/10.25077/jbioua.12.2.156-165.2024>
- Tangapo, A. M., Mambu, S. M., Kolondam, B., Pasappa, N., & Pelealu, J. (2022). Eksplorasi fungi endofit tumbuhan mangrove *Avicennia marina* sebagai penghasil senyawa antibakteri. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 13(2), 25–31. <http://journal.unhas.ac.id/index.php/jai2/article/view/22341>
- Wang, Y., Tang, D.-X., Luo, R., Wang, Y.-B., Thanarut, C., Dao, V.-M., & Yu, H. (2023). Phylogeny and systematics of the genus *Clonostachys*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1117753. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1117753>
- Wen, J., Okyere, S. K., Wang, S., Wang, J., Xie, L., Ran, Y., & Hu, Y. (2022). Endophytic

- fungi: An effective alternative source of plant-derived bioactive compounds for pharmacological studies. *Journal of Fungi*, 8(2), 205. <https://doi.org/10.3390/jof8020205>
- Yastanto, A. J. (2020). Karakteristik pertumbuhan jamur pada media PDA dengan metode pour plate. *Indonesian Journal of Laboratory*, 2(2), 33–39. <https://doi.org/10.22146/ijl.v2i1.54491>
- Ye, G., Huang, C., Li, J., Chen, T., Tang, J., Liu, W., & Long, Y. (2021). Isolation, structural characterization and antidiabetic activity of new diketopiperazine alkaloids from mangrove endophytic fungus *Aspergillus* sp. 16-5c. *Marine Drugs*, 19(7), 402. <https://doi.org/10.3390/md19070402>
- Zhang, R., Wang, H., Chen, B., Dai, H., Sun, J., Han, J., & Liu, H. (2022). Discovery of anti-MRSA secondary metabolites from a marine-derived fungus *Aspergillus fumigatus*. *Marine Drugs*, 20(5), 302. <https://doi.org/10.3390/md20050302>