

EKSPLORASI JAMUR TANAH GAMBUT KALIMANTAN TENGAH SEBAGAI AGEN ANTIBAKTERI TERHADAP *Staphylococcus aureus* DAN *Salmonella typhimurium* YANG RESISTEN ANTIBIOTIK

EXPLORATION OF CENTRAL KALIMANTAN PEATLAND FUNGI AS ANTIBACTERIAL AGENTS AGAINST ANTIBIOTIC-RESISTANT *Staphylococcus aureus* AND *Salmonella typhimurium*

Hary Kusuma Atmaja*, Nawan, Francisca Diana Alexandra

Program Studi Kedokteran Program Sarjana, Fakultas Kedokteran, Universitas Palangka Raya, Jl. Yos Sudarso, Palangka Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia. *e-mail: mursiana220283@gmail.com

(Naskah disubmit: 24 Juni 2025, Direvisi: 1 Oktober 2025. Disetujui: 30 Oktober)

Abstrak. Patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhimurium* menunjukkan resistensi yang meningkat terhadap berbagai antibiotik, sehingga mendorong pencarian agen antibakteri baru dari sumber alami, termasuk jamur tanah gambut. Penelitian ini bertujuan mengkaji karakteristik dan potensi aktivitas antibakteri isolat jamur dari tanah gambut di tiga lokasi di Kota Palangka Raya: Kereng Bengkirai, Jalan Yos Sudarso, dan kawasan Universitas Palangka Raya, terhadap *S. aureus* dan *S. typhimurium*. Penelitian menggunakan desain true experimental dengan model post-test only control group. Isolat jamur diperoleh dari sampel tanah gambut, kemudian dikultivasi, diekstraksi, dan diuji aktivitas antibakterinya menggunakan metode difusi cakram. Hasil menunjukkan bahwa isolat dari ketiga lokasi tidak mampu menghambat pertumbuhan *S. aureus* maupun *S. typhimurium* pada konsentrasi dan metode yang digunakan. Disimpulkan bahwa isolat jamur gambut tidak menunjukkan aktivitas antibakteri dalam kondisi uji tersebut.

Kata Kunci: Jamur tanah gambut, antibakteri, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, resistensi antibiotik.

Abstract. Pathogens such as *Staphylococcus aureus* and *Salmonella typhimurium* show increasing level of resistance to various antibiotics, thus encouraging efforts to find new antibacterial agents from natural sources, including peat soil fungi. This study aims to examine the characteristics and potential antibacterial activity of fungal isolates from peat soil in three different locations in Palangka Raya City, namely Kereng Bengkirai, Yos Sudarso Street, and the environmental area of Palangka Raya, University, against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella typhimurium* bacteria. The research design used was a true experimental with a post-test only control group design model. Fungal isolates were obtained through inoculation and isolation from peat soil samples, then cultivated, extracted, and tested for antibacterial activity using the disk diffusion method. against two test bacteria. The results showed that fungal isolates from the third locations did not show growth inhibitory activity against *Staphylococcus aureus* or *Salmonella typhimurium* at the concentrations and testing method used. Fungal isolates from peat soil in Kereng Bengkirai Yos Sudarso street, and the Palangka Raya University area do not have antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella typhimurium* under the conditions and test methods applied.

Keywords: Peat soil fungi, antibacterial, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, antibiotic resistance.

PENDAHULUAN

Penyakit infeksi yang disebabkan oleh patogen bakteri seperti *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhimurium* tetap menjadi penyebab utama morbiditas dan mortalitas di seluruh dunia. Meningkatnya resistensi kedua bakteri ini terhadap berbagai antibiotik telah menimbulkan tantangan besar dalam bidang kesehatan masyarakat dan pengobatan klinis. Resistensi antibiotik yang semakin meluas, termasuk munculnya strain multiobat, memperumit pengelolaan infeksi dan menurunkan efektivitas terapi yang ada. Eksplorasi terhadap agen antimikroba alternatif menjadi sangat mendesak. Sumber alami seperti jamur tanah gambut menawarkan peluang yang menjanjikan untuk penemuan senyawa bioaktif baru dengan potensi antibakteri yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri yang resisten.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa jamur tanah merupakan sumber penting metabolit sekunder yang berpotensi sebagai agen antimikroba. Genus *Penicillium* menjadi contoh klasik penghasil antibiotik, dengan spesies



Penicillium chrysogenum yang telah menghasilkan penemuan penisilin sebagai antibiotik pertama^{1,2}. Selain itu, genus *Aspergillus* dikenal memiliki kemampuan metabolik tinggi dalam menghasilkan senyawa seperti griseofulvin yang bersifat antijamur³. Genus *Fusarium* juga dilaporkan menghasilkan asam fusidik dengan efektivitas tinggi terhadap berbagai patogen manusia⁴. Di sisi lain, *Trichoderma* berkontribusi besar melalui produksi senyawa antimikroba yang bermanfaat dalam bidang pertanian dan kedokteran⁵. Spesies lain seperti *Emericella varicolor* menghasilkan derivat poliketida dengan sifat antiinfeksi yang kuat memperluas potensi pemanfaatan jamur tanah sebagai sumber bahan bioaktif³.

Penilaian aktivitas antimikroba dari isolat jamur, metode difusi cakram merupakan pendekatan yang paling banyak digunakan karena kemudahan, efektivitas biaya, dan kemampuannya memberikan indikasi awal terhadap sensitivitas mikroba terhadap agen uji⁶. Namun, metode ini hanya memberikan ukuran kualitatif terhadap aktivitas penghambatan dan tidak dapat menentukan nilai konsentrasi hambat minimum (MIC) secara akurat. Oleh karena itu, metode lain seperti *broth microdilution* sering digunakan sebagai pelengkap untuk mengukur efektivitas kuantitatif dari senyawa antimikroba^{7,8}. Meskipun demikian, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode difusi cakram memiliki tingkat kesesuaian tinggi dengan metode lain, walaupun pada beberapa kasus dapat menimbulkan kesalahan klasifikasi terutama untuk mikroorganisme yang tumbuh lambat^{9,10}. Variasi dari metode ini, seperti *well diffusion*, juga memungkinkan pengujian berbagai konsentrasi senyawa secara bersamaan, meskipun prosedurnya lebih kompleks^{11,12}.

Produksi metabolit antimikroba oleh jamur tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan kondisi laboratorium, seperti komposisi media, pH, dan suhu. Pemilihan media pertumbuhan sangat penting karena setiap sumber nutrisi dapat memengaruhi tingkat biosintesis senyawa secara berbeda. Andrade et al¹³. menyoroti efektivitas formulasi media tertentu dalam mengoptimalkan biosintesis senyawa antimikroba pada jamur *Talaromyces pinophilus* dan *Penicillium paxilli*. Selain itu, kandungan karbon dan nitrogen pada media juga memengaruhi pertumbuhan dan produksi metabolit sekunder^{14,15}. Faktor pH memiliki peran krusial karena berhubungan langsung dengan aktivitas enzimatis dalam proses biosintesis; misalnya, *Trichoderma harzianum* terbukti menghasilkan senyawa antimikroba lebih optimal pada pH tertentu¹⁶. Suhu juga menjadi faktor penting, di mana peningkatan suhu dapat memicu peningkatan produksi metabolit sekunder hingga mencapai batas tertentu¹⁷.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menilai potensi antibakteri dari isolat jamur yang berasal dari tanah gambut tropis di Kalimantan Tengah terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhimurium*. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dalam upaya penemuan agen antimikroba baru dari sumber alami serta memperluas pemahaman mengenai faktor-faktor yang memengaruhi produksi metabolit bioaktif pada jamur tanah.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain *true experimental* atau eksperimen murni yang memungkinkan pengendalian terhadap semua variabel luar yang dapat memengaruhi hasil eksperimen. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan validitas internal penelitian dan menghasilkan data yang dapat dibandingkan secara akurat antarperlakuan. Desain eksperimen murni ini digunakan karena mampu memberikan bukti kausal yang kuat antara variabel independen—dalam hal ini isolat jamur tanah gambut—dan variabel dependen yaitu aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhimurium*. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Biomedik Basah, Fakultas Kedokteran, Universitas Palangka Raya, selama bulan Mei 2025. Sampel penelitian diambil dari tiga lokasi representatif di wilayah Kota Palangka Raya, yaitu Kereng Bengkirai, Jalan Yos Sudarso, dan kawasan lingkungan Universitas Palangka Raya (UPR). Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik tanah gambut yang berbeda dalam hal kelembapan, pH, dan tingkat kandungan bahan organik. Teknik pengambilan sampel menggunakan metode *purposive sampling*, dengan mempertimbangkan lokasi yang memiliki kondisi gambut aktif dan belum terdegradasi berat. Sampel tanah diambil pada kedalaman 10–20 cm dari permukaan tanah untuk memperoleh komunitas mikroba aktif. Sampel disimpan dalam wadah steril dan dibawa ke laboratorium untuk proses isolasi. Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi *autoclave*, *bunsen burner*, *incubator*, *vortex mixer*, *hot plate*, *micropipette*, *pH-meter*, *analytical balance*, *microscope*, *shaker*, *erlenmeyer*, *cawan petri*, *tabung reaksi*, dan *magnetic stirrer*. Semua alat disterilkan menggunakan autoclave pada suhu 121°C selama 15 menit sebelum digunakan untuk mencegah kontaminasi. Bahan yang digunakan meliputi isolate bakteri patogen (*Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhimurium*), tanah gambut sebagai sumber isolat jamur, media *Sabouraud Dextrose Agar* (SDA) untuk pertumbuhan jamur, serta *Nutrient Agar* (NA) untuk pengujian aktivitas antibakteri. Selain itu, digunakan juga larutan *NaCl*, *KOH*, *BaCl₂*, *H₂SO₄* untuk keperluan analisis kimia dasar media.

Proses isolasi jamur dilakukan dengan metode pengenceran berlapis. Satu gram tanah gambut dilarutkan dalam 9 ml larutan *phosphate-buffered saline* (PBS) steril, kemudian dilakukan pengenceran secara serial ke konsentrasi 10^{-1} , 10^{-2} , dan 10^{-3} . Hasil pengenceran ditanam pada media SDA dan diinkubasi selama 3–5 hari pada suhu 37°C. Koloni jamur yang tumbuh diamati secara makroskopis berdasarkan warna, bentuk tepi, dan tekstur koloni. Koloni yang menunjukkan karakteristik berbeda disubkultur untuk memperoleh isolat murni. Identifikasi awal dilakukan dengan pengamatan morfologi di bawah mikroskop untuk melihat struktur hifa, konidia, dan spora. Berdasarkan literatur, jamur tanah gambut umumnya termasuk dalam genus *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, dan *Trichoderma* yang dikenal memiliki potensi sebagai penghasil metabolit antibakteri (Chevrette et al., 2019; Pham et al., 2019; Rao et al., 2017; Álvarez-Martínez et al., 2020; Lamas et al., 2020). Jamur hasil isolasi ditumbuhkan pada media SDA selama 7 hari untuk mencapai fase pertumbuhan optimal. Setelah itu, biomassa jamur dikeringkan dan diekstraksi menggunakan

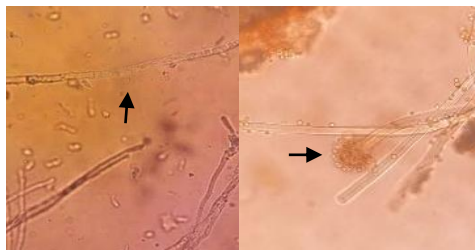
pelarut organik seperti etanol 70% melalui metode maserasi. Faktor lingkungan seperti pH dan suhu diatur agar sesuai dengan kondisi optimal bagi produksi metabolit sekunder. Studi menunjukkan bahwa faktor media, pH, dan suhu sangat berpengaruh terhadap sintesis senyawa bioaktif jamur^{14,15}. pH optimum dipertahankan pada kisaran 5–6 karena kondisi ini mendukung aktivitas enzim biosintetik pada jamur *Trichoderma harzianum*¹⁶. Sementara itu, suhu inkubasi diatur pada 30–37°C yang terbukti meningkatkan biosintesis metabolit sekunder¹⁷. Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi cakram atau *Kirby-Bauer method*, yang merupakan teknik standar untuk mengevaluasi sensitivitas mikroorganisme terhadap agen antimikroba⁶. Metode ini dipilih karena sederhana, hemat biaya, dan mampu memberikan hasil kualitatif mengenai kemampuan senyawa uji menghambat pertumbuhan bakteri. Meskipun demikian, metode ini memiliki keterbatasan karena tidak dapat menentukan nilai *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) secara akurat sebagaimana metode *broth microdilution*^{7,8}. Namun, sejumlah penelitian menunjukkan tingkat kesesuaian hasil yang tinggi antara kedua metode tersebut^{9,10}.

Prosedur uji dilakukan dengan cara menginokulasikan suspensi bakteri *S. aureus* dan *S. typhimurium* pada media NA yang telah dipersiapkan. Disk kertas steril berdiameter 6 mm yang telah direndam dalam ekstrak jamur diletakkan pada permukaan media dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Setelah inkubasi, zona hambat di sekitar cakram diukur menggunakan kaliper digital dalam satuan milimeter. Sebagai kontrol positif digunakan antibiotik tetrasiklin, sedangkan cakram tanpa perlakuan digunakan sebagai kontrol negatif. Data hasil pengukuran zona hambat dianalisis secara deskriptif untuk menentukan efektivitas antibakteri setiap isolat jamur terhadap dua bakteri uji. Zona hambat dengan diameter lebih besar menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih tinggi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil terhadap kontrol positif untuk memastikan keandalan metode. Untuk meningkatkan reliabilitas data, setiap uji dilakukan dalam tiga replikasi dan hasilnya dirata-ratakan. Pendekatan ini sesuai dengan standar uji aktivitas antimikroba yang digunakan dalam penelitian klinis dan mikrobiologi eksperimental. Meskipun metode difusi cakram memiliki keunggulan dari segi efisiensi dan kesederhanaan, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, metode ini hanya memberikan hasil kualitatif dan tidak mampu menentukan nilai konsentrasi hambat minimum (MIC) secara presisi (Humphries et al., 2018). Kedua, kecepatan pertumbuhan jamur dan bakteri dapat memengaruhi hasil interpretasi zona hambat. Oleh karena itu, pemilihan media, waktu inkubasi, dan suhu perlu distandardisasi agar hasil pengujian tetap konsisten. Dalam penelitian lanjutan, kombinasi metode *well diffusion* dapat digunakan untuk melengkapi hasil kualitatif dengan data kuantitatif yang lebih rinci^{11,12}. Pendekatan multimetode ini disarankan untuk memberikan gambaran yang lebih menyeluruh tentang efektivitas senyawa antimikroba yang dihasilkan jamur tanah gambut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses isolasi jamur dari tiga lokasi tanah gambut di Kalimantan Tengah—Kereng Bengkirai, Yos Sudarso, dan kawasan Universitas Palangka Raya—berhasil menghasilkan sejumlah isolat dengan karakter morfologis beragam. Penggunaan metode pelapisan pengenceran memungkinkan pertumbuhan koloni jamur dari berbagai tingkat kepadatan sampel. Hasil menunjukkan bahwa lokasi Kereng Bengkirai memiliki pertumbuhan koloni paling melimpah, dengan koloni berwarna putih hingga abu-abu muda dan tekstur halus, sedangkan dua lokasi lainnya menampilkan koloni dengan tekstur lebih kasar dan jumlah lebih sedikit. Perbedaan ini mengindikasikan adanya variasi kadar nutrisi dan kelembapan tanah, dua faktor penting yang menentukan keanekaragaman jamur pada ekosistem gambut tropis.

Hasil pengamatan mikroskopis (Gambar 1), menunjukkan bahwa beberapa isolat memiliki ciri khas morfologi genus *Aspergillus*, dengan hifa bersekat dan kepala konidia yang jelas, sedangkan beberapa lainnya menunjukkan hifa tidak bersekat yang khas dari genus *Mucor*. Kedua genus ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa *Aspergillus* dan *Mucor* merupakan jamur dominan di tanah gambut tropis¹⁸. Selain itu, koloni yang menyerupai *Penicillium* juga ditemukan berdasarkan warna koloni dan pola penyusunan spora. Keberagaman morfologi ini mengindikasikan komunitas jamur yang kaya dan adaptif terhadap kondisi tanah gambut yang asam dan kaya bahan organik.



Gambar 1. Gambaran mikroskopis jamur A. Hifa Jamur A10⁻¹. B. Jamur *Aspergillus* sp. di Kalimantan

Uji aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi cakram (*Kirby-Bauer method*), dengan tujuan untuk menilai kemampuan ekstrak jamur dalam menghambat pertumbuhan bakteri uji. Ekstrak jamur diuji terhadap dua jenis bakteri, yaitu *Staphylococcus aureus* (Gram positif) dan *Salmonella typhimurium* (Gram negatif). Cakram steril berdiameter 6 mm yang telah direndam dalam ekstrak jamur diletakkan pada permukaan media *Nutrient Agar* (NA) yang telah diinokulasikan dengan suspensi bakteri. Lempeng kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C, dan zona hambat yang terbentuk di sekitar cakram diukur menggunakan kaliper digital. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terdapat aktivitas antibakteri yang terdeteksi pada seluruh isolat jamur yang diuji. Seperti terlihat pada

Tabel 1 dan Gambar 2 serta Gambar 3, tidak ada zona hambat yang terbentuk pada media yang diinokulasikan dengan kedua jenis bakteri tersebut, sedangkan kontrol positif (tetrasiklin) menunjukkan zona hambat masing-masing sebesar 43,0 mm terhadap *S. aureus* dan 52,0 mm terhadap *S. typhimurium*.

Tabel 1. Diameter zona hambat (mm) penanaman jamur terhadap bakteri uji dari sampel tanah gambut di Kalimantan

Isolat	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella typhimurium</i>
A	-	-
A1	-	-
A2	-	-
B	-	-
B1	-	-
B2	-	-
C	-	-
C1	-	-
C2	-	-
Tetrasiklin	43,0	52,0

Keterangan: (-) mengartikan tidak terbentuk zona hambat

Tidak ditemukannya aktivitas antibakteri dapat dijelaskan melalui aspek biokimia dan ekologis. Secara biokimia, banyak jamur memiliki klaster gen biosintetik yang tidak aktif dalam kondisi kultur standar. Fenomena ini dikenal sebagai potensi metabolik tersembunyi (*cryptic biosynthetic potential*), di mana jalur biosintesis senyawa antibakteri tidak diaktifkan karena minimnya rangsangan lingkungan atau sinyal kimia yang biasa terjadi di habitat alami^{19,20}. Secara ekologis, jamur di lingkungan alami sering memproduksi metabolit sekunder sebagai mekanisme pertahanan terhadap mikroorganisme pesaing. Ketika diisolasi dan dibudidayakan secara murni, tekanan kompetitif tersebut hilang sehingga produksi metabolit sekunder menurun drastis^{21,22}. Oleh karena itu, ketiadaan aktivitas antibakteri pada kondisi uji ini tidak menunjukkan ketiadaan potensi bioaktif, melainkan keterbatasan kondisi laboratorium dalam menginduksi jalur biosintesis tersebut. Berbagai penelitian mendukung bahwa faktor lingkungan seperti komposisi media, pH, suhu, dan sumber karbon-nitrogen sangat memengaruhi produksi metabolit bioaktif. Andrade et al.¹³ menunjukkan efektivitas formulasi media tertentu dalam mengoptimalkan biosintesis senyawa antimikroba pada *Talaromyces pinophilus* dan *Penicillium paxilli*. Sementara itu, Priya et al.¹⁴ dan Rahman et al.¹⁵ melaporkan bahwa variasi sumber nutrisi dapat meningkatkan produksi metabolit sekunder, sedangkan Chalimah et al.¹⁶ menemukan bahwa *Trichoderma harzianum* menghasilkan senyawa antimikroba lebih optimal pada pH tertentu. Penagos-Tabares et al.¹⁷ menambahkan bahwa peningkatan suhu dapat memicu peningkatan produksi metabolit hingga batas optimal tertentu.

Selain faktor lingkungan, regulasi genetik dan epigenetik juga berperan penting. Studi oleh Riedling et al.²³ dan Zhang et al.²⁴ menunjukkan bahwa modifikasi epigenetik seperti metilasi DNA dan perubahan struktur histon dapat mengaktifkan klaster gen biosintetik tersembunyi. Eksperimen ko-kultur dengan mikroorganisme lain juga terbukti efektif dalam menginduksi jalur biosintetik yang tidak muncul pada kultur tunggal^{25,26}. Dengan demikian, pendekatan yang lebih kompleks yang meniru kondisi alami perlu diterapkan untuk memicu ekspresi senyawa antibakteri pada jamur tanah gambut.

Hasil ini sejalan dengan studi Li et al.²⁷ yang menemukan bahwa interaksi komunitas mikroba dapat memengaruhi produksi metabolit antimikroba. Namun, perbedaan geografis dan kondisi ekologis menyebabkan variasi kemampuan biosintetik antarspesies jamur^{28,29}. Jamur dari wilayah ekstrem seperti Antartika diketahui menghasilkan metabolit antibakteri unik sebagai respons terhadap tekanan lingkungan tinggi^{30,31}. Hal ini menegaskan bahwa ekosistem berbeda dapat menghasilkan respons biosintetik yang berbeda pula. Hasil negatif bukanlah akhir, melainkan dasar untuk pendekatan penelitian lanjutan yang lebih terarah. Integrasi metode genomik dan metabolomik dapat membantu mengidentifikasi klaster gen biosintetik (BGCs) yang belum terekspresikan^{32,33}. Analisis berbasis *antiSMASH* dan teknik kromatografi cair-spektrometri massa (LC-MS) juga berpotensi besar untuk mendeteksi dan mengkarakterisasi metabolit aktif yang tidak teridentifikasi dalam penelitian ini^{34,35}. Secara keseluruhan, kombinasi faktor lingkungan, tekanan ekologi, dan regulasi genetik menentukan kemampuan jamur tanah gambut dalam menghasilkan senyawa antibakteri. Hasil penelitian ini memperkuat pentingnya pendekatan multidisipliner—menggabungkan ekologi, biokimia, dan bioinformatika—untuk mengungkap potensi tersembunyi jamur tanah gambut sebagai sumber antibiotik baru dalam menghadapi tantangan resistensi antimikroba global.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi potensi antibakteri isolat jamur dari tanah gambut di Kalimantan Tengah, secara khusus menyoroti *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhimurium*. Temuan utamanya adalah tidak adanya aktivitas antibakteri dalam isolat jamur, karena tidak ada zona penghambatan yang diamati dalam pengujian antibakteri. Meskipun demikian, kontrol positif (tetrasiklin) menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan, mengkonfirmasi validitas prosedur eksperimental. Kurangnya aktivitas menunjukkan bahwa jamur yang diisolasi dalam penelitian ini tidak menghasilkan senyawa antimikroba yang efektif atau bahwa kondisi eksperimental tidak kondusif untuk produksi

senyawa ini. Studi ini berkontribusi pada semakin banyak pengetahuan tentang sifat antimikroba jamur, terutama yang diisolasi dari tanah gambut tropis, dan menggarisbawahi kompleksitas penemuan agen antimikroba baru. Ini menyoroti perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi berbagai spesies jamur, kondisi pengujian, dan metode ekstraksi untuk lebih memahami potensi antimikroba penuh jamur tanah gambut. Studi di masa depan harus memperluas jangkauan patogen yang diuji, memanfaatkan metode budidaya dan ekstraksi alternatif, dan memeriksa faktor lingkungan tambahan yang dapat mempengaruhi produksi senyawa bioaktif oleh jamur ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak menerima pendanaan dari lembaga mana pun. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Palangka Raya, khususnya Fakultas Kedokteran, atas dukungan fasilitas yang diberikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan, masukan ilmiah, serta dukungan akademik selama pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada keluarga dan semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chevrette MG, Carlson CM, Ortega HE, et al. The Antimicrobial Potential of Streptomyces From Insect Microbiomes. *Nat Commun.* 2019;10(1). doi:10.1038/s41467-019-08438-0
2. Pham J V, Yilma MA, Feliz A, et al. A Review of the Microbial Production of Bioactive Natural Products and Biologics. *Front Microbiol.* 2019;10. doi:10.3389/fmicb.2019.01404
3. Rao HCY, Rakshith D, Harini BP, Gurudatt DM, Satish S. Chemogenomics Driven Discovery of Endogenous Polyketide Anti-Infective Compounds From Endosymbiotic Emericella Varicolor CLB38 and Their RNA Secondary Structure Analysis. *PLoS One.* 2017;12(2):e0172848. doi:10.1371/journal.pone.0172848
4. Lamas A, Arteaga V, Regal P, et al. Antimicrobial Activity of Five Apitoxins From Apis Mellifera on Two Common Foodborne Pathogens. *Antibiotics.* 2020;9(7):367. doi:10.3390/antibiotics9070367
5. Álvarez-Martínez FJ, Barrajón-Catalán E, Micol V. Tackling Antibiotic Resistance With Compounds of Natural Origin: A Comprehensive Review. *Biomedicines.* 2020;8(10):405. doi:10.3390/biomedicines8100405
6. Humphries RM, Kircher S, Ferrell A, et al. The Continued Value of Disk Diffusion for Assessing Antimicrobial Susceptibility in Clinical Laboratories: Report From the Clinical and Laboratory Standards Institute Methods Development and Standardization Working Group. *J Clin Microbiol.* 2018;56(8). doi:10.1128/jcm.00437-18
7. Carcione D, Siracusa C, Sulejmani A, et al. In Vitro Antimicrobial Activity of the Siderophore Cephalosporin Cefiderocol Against Acinetobacter Baumannii Strains Recovered From Clinical Samples. *Antibiotics.* 2021;10(11):1309. doi:10.3390/antibiotics10111309
8. Berkow EL, Lockhart SR, Ostrosky-Zeichner L. Antifungal Susceptibility Testing: Current Approaches. *Clin Microbiol Rev.* 2020;33(3). doi:10.1128/cmr.00069-19
9. Bovo F, Lazzarotto T, Ambretti S, Gaibani P. Comparison of Broth Microdilution, Disk Diffusion and Strip Test Methods for Cefiderocol Antimicrobial Susceptibility Testing on KPC-Producing Klebsiella Pneumoniae. *Antibiotics.* 2023;12(3):614. doi:10.3390/antibiotics12030614
10. Snyder ER, Savitske BJ, Credille BC. Concordance of Disk Diffusion, Broth Microdilution, and Whole-genome Sequencing for Determination of in Vitro Antimicrobial Susceptibility of *Mannheimia Haemolytica*. *J Vet Intern Med.* 2020;34(5):2158-2168. doi:10.1111/jvim.15883
11. Eloff JN. Avoiding Pitfalls in Determining Antimicrobial Activity of Plant Extracts and Publishing the Results. *BMC Complement Altern Med.* 2019;19(1). doi:10.1186/s12906-019-2519-3
12. Güler Ş, Torul D, Bayrakdar SK, Tayyarcı EK, Çamsarı Ç, Boyacı İH. Evaluation of Antibacterial Efficacy of Lawsonia Inermis Linn (Henna) on Periodontal Pathogens Using Agar Well Diffusion and Broth Microdilution Methods: An in-Vitro Study. *Biomedicine.* 2023;13(3):25-30. doi:10.37796/2211-8039.1411
13. Andrade CP d., Lacerda CD, Valente R, et al. An OSMAC Strategy for the Production of Antimicrobial Compounds by the Amazonian Fungi Talaromyces Pinophilus CCM-UEA-F0414 and Penicillium Paxilli CCM-UEA-F0591. *Antibiotics.* 2025;14(8):756. doi:10.3390/antibiotics14080756
14. Priya R, Balachander S, Prabhakaran N. Optimization of Culture Conditions for the Production, Antifungal Activity and Characterization of Secondary Metabolites of *Trichoderma Longibrachiatum*. *J Biol Control.* Published online 2023:131-144. doi:10.18311/jbc/2023/34700
15. Rahman KAMA, Rahim MSAA, Zarkasi KZ, Ibrahim D. Enhancement of Anti-Mrsa Potential Produced by an Endophytic Fungus Ceratobasidium Ramicola IBRLCM127 via Submerged Fermentation System. *Malaysian J Med Heal Sci.* 2023;19(s9):66-74. doi:10.47836/mjmhs.19.s9.10
16. Chalimah N, Soesanto L, Suharti WS. The Effect of Various pH Medium on the Secondary Metabolites Production From Trichoderma Harzianum T10 to Control Damping Off on Cucumber Seedlings. *J Trop Hortic.* 2020;3(2):65. doi:10.33089/jthort.v3i2.52
17. Penagos-Tabares F, Khiaosa-ard R, Nagl V, et al. Mycotoxins, Phytoestrogens and Other Secondary Metabolites in Austrian Pastures: Occurrences, Contamination Levels and Implications of Geo-Climatic Factors. *Toxins*

- (*Basel*). 2021;13(7):460. doi:10.3390/toxins13070460
18. Kusai NORA, Ayob Z, Sasha NIK, Khairuddin K. Belowground fungal community .pdf. Published online 2024.
 19. Rutledge PJ, Challis GL. Discovery of Microbial Natural Products by Activation of Silent Biosynthetic Gene Clusters. *Nat Rev Microbiol*. 2015;13(8):509-523. doi:10.1038/nrmicro3496
 20. Qian W, Bai J, Yan D, et al. Genome Mining Combined Metabolic Shunting and OSMAC Strategy of an Endophytic Fungus Leads to the Production of Diverse Natural Products. *Acta Pharm Sin B*. 2021;11(2):572-587. doi:10.1016/j.apsb.2020.07.020
 21. Gerke J, Köhler AM, Wennrich J, et al. Biosynthesis of Antibacterial Iron-Chelating Tropolones in *Aspergillus nidulans* as Response to Glycopeptide-Producing Streptomycetes. *Front Fungal Biol*. 2022;2. doi:10.3389/ffunb.2021.777474
 22. Bills GF, Gloer JB. Biologically Active Secondary Metabolites From the Fungi. *Microbiol Spectr*. 2016;4(6). doi:10.1128/microbiolspec.funk-0009-2016
 23. Riedling O, Walker AS, Rokas A. Predicting Fungal Secondary Metabolite Activity From Biosynthetic Gene Cluster Data Using Machine Learning. *Microbiol Spectr*. 2024;12(2). doi:10.1128/spectrum.03400-23
 24. Zhang F, Cao H, Si H, et al. FGCD: A Database of Fungal Gene Clusters Related to Secondary Metabolism. *Database*. 2024;2024. doi:10.1093/database/baae011
 25. Okada BK, Seyedsayamdost MR. Antibiotic Dialogues: Induction of Silent Biosynthetic Gene Clusters by Exogenous Small Molecules. *Fems Microbiol Rev*. 2016;41(1):19-33. doi:10.1093/femsre/fuw035
 26. Pillay LC, Nekati L, Makhwitine JP, Ndlovu SI. Epigenetic Activation of Silent Biosynthetic Gene Clusters in Endophytic Fungi Using Small Molecular Modifiers. *Front Microbiol*. 2022;13. doi:10.3389/fmicb.2022.815008
 27. Li X, Garbeva P, Liu X, et al. Volatile-mediated Antagonism of Soil Bacterial Communities Against Fungi. *Environ Microbiol*. 2019;22(3):1025-1035. doi:10.1111/1462-2920.14808
 28. Khattak SU, Lutfullah G, Iqbal Z, et al. *Aspergillus flavus* Originated Pure Compound as a Potential Antibacterial. *BMC Microbiol*. 2021;21(1). doi:10.1186/s12866-021-02371-3
 29. Ratnaweera PB, Walgama RC, Jayasundera KU, et al. Antibacterial Activities of Endophytic Fungi Isolated From Six Sri Lankan Plants of the Family Cyperaceae. *Bangladesh J Pharmacol*. 2018;13(3):264-272. doi:10.3329/bjp.v13i3.36716
 30. Ordóñez-Enireb E, Cucalón R V, Cárdenas DM, et al. Antarctic Fungi With Antibiotic Potential Isolated From Fort William Point, Antarctica. *Sci Rep*. 2022;12(1). doi:10.1038/s41598-022-25911-x
 31. Durán P, Barra PJ, Jorquera MA, et al. Occurrence of Soil Fungi in Antarctic Pristine Environments. *Front Bioeng Biotechnol*. 2019;7. doi:10.3389/fbioe.2019.00028
 32. Liu T, Huang Z, Gui X, et al. Multi-Omics Comparative Analysis of *Streptomyces* Mutants Obtained by Iterative Atmosphere and Room-Temperature Plasma Mutagenesis. *Front Microbiol*. 2021;11. doi:10.3389/fmicb.2020.630309
 33. Hur JY, Jeong E, Kim YC, Lee SR. Strategies for Natural Product Discovery by Unlocking Cryptic Biosynthetic Gene Clusters in Fungi. *Separations*. 2023;10(6):333. doi:10.3390/separations10060333
 34. Molina D, Angamarca E, Marinescu GC, Popescu RG, Tenea GN. Integrating Metabolomics and Genomics to Uncover Antimicrobial Compounds in *Lactiplantibacillus plantarum* UTNGt2, a Cacao-Originating Probiotic From Ecuador. *Antibiotics*. 2025;14(2):123. doi:10.3390/antibiotics14020123
 35. Clevenger KD, Bok JW, Ye R, et al. A Scalable Platform to Identify Fungal Secondary Metabolites and Their Gene Clusters. *Nat Chem Biol*. 2017;13(8):895-901. doi:10.1038/nchembio.2408