

Identifikasi jamur endofit pada tanaman kelor *Moringa oleifera* dengan metode *PCR-sequencing*

Juniati Binti Lukman^{1*}, Arafah Nurfadillah², Ade Irma¹, Wahdaniar¹, Nur Insani Amir²

¹Program Studi S1 Sains Biomedis

Fakultas Teknologi Kesehatan, Universitas Megarezky
Jl. Antang Raya No. 43, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. 90234

²Program Studi S1 Bioinformatika

Fakultas Teknologi Kesehatan, Universitas Megarezky
Jl. Antang Raya No. 43, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. 90234

*E-mail: juniatielukman@gmail.com

Abstrak: Mikroorganisme endofit merupakan mikroorganisme yang berada pada bagian dalam jaringan tanaman tingkat tinggi. Jamur endofit tergolong ke dalam salah satu kelompok simbiosis tanaman, hal ini menjadikannya sebagai komponen keanekaragaman mikroba. Jamur endofit mempunyai kemampuan untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder tanpa memberikan dampak negatif terhadap ekosistem tumbuhan inangnya. Selain itu, proses isolasi jamur endofit dari tumbuhan inangnya terbukti lebih efisien dalam menghasilkan senyawa metabolit karena siklus hidupnya lebih pendek dan menghasilkan senyawa aktif dalam jumlah besar. Penelitian ini menggunakan metode eksplorasi dan eksperimen dengan tujuan untuk mengetahui spesies jamur endofit yang terdapat pada tanaman kelor (*Moringa oleifera*). Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi prodi S1 Sains Biomedis, pada bulan April-September 2024 dengan tanaman kelor diambil dari pemukiman penduduk di sekitar Tamalanrea. Penelitian ini mengenai isolasi jamur endofit dari tanaman kelor *Moringa oleifera* dan diidentifikasi dengan metode PCR yang menggunakan primer ITS1 dan ITS4, lalu dilakukan *sequencing*. Hasil penelitian menunjukkan khususnya pada bagian batang tanaman kelor terdapat 2 isolat jamur endofit yang tumbuh pada media PDA setelah diinkubasi selama 2 minggu, kemudian hasil uji PCR dan *sequencing* terlihat bahwa kedua jenis jamur tersebut adalah *Penicillium* sp. dan *Colletotrichum* sp.

Kata Kunci: analisis filogenetik, ITS rDNA, jamur endofit, *Moringa oleifera*, *sequencing*

Abstract: Endophytic microorganisms are microorganisms that live inside the tissues of higher plants. Endophytic fungi are classified as one of the plant symbiont groups, making them a component of microbial diversity. Endophytic fungi have the ability to produce secondary metabolites without negatively impacting the ecosystem of their host plants. In addition, the process of isolating endophytic fungi from their host plants has been proven to be more efficient in producing metabolite compounds because their life cycle is shorter and they produce large amounts of active compounds. This study used exploratory and experimental methods with the aim of identifying endophytic fungal species found in moringa (*Moringa oleifera*) plants. This research was conducted at the Microbiology Laboratory of the Biomedical Science undergraduate program from April to September 2024, with moringa plants taken from residential areas around Tamalanrea. This research involved the isolation of endophytic fungi from *Moringa oleifera* plants and identification using the PCR method with ITS1 and ITS4 primers, followed by sequencing. The results showed that, specifically on the stems of the moringa plants, there were two endophytic fungal isolates that grew on PDA medium after incubation for two weeks. The PCR and sequencing results indicated that the two fungal species were *Penicillium* sp. and *Colletotrichum* sp.

Keywords: phylogenetic analysis, ITS rDNA, endophytic fungi, *Moringa oleifera*, sequencing

PENDAHULUAN

Banyak tumbuhan obat atau herbal telah dikenal sebagai sumber mikroba endofit dengan metabolit baru untuk pengendalian jamur fitopatogen. Ekstrak tanaman menunjukkan potensi besar dalam membatasi perkembangan patogen dan diketahui menghasilkan senyawa baru serta unik untuk pengembangan produk pertanian inovatif (Jamiołkowska, 2020). Tumbuhan yang mengandung mikroba endofit dapat menghasilkan agen antimikroba ampuh yang lebih baik daripada ekstrak tumbuhan (Arora & Kishan, 2017). Endofit adalah mikroorganisme yang secara integral berasosiasi dengan inangnya dan memiliki peran utama dalam meningkatkan toleransi stres dan perlindungan terhadap patogen. *Moringa oleifera* salah satu tumbuhan obat tradisional, dikenal karena sifat antijamur, antimikroba, dan antioksidannya. Baru-baru ini, tanaman ini semakin menarik perhatian karena bioproteksinya terhadap patogen jamur yang menginfeksi tanaman pangan (Nthuku et al., 2023).

Moringa oleifera memiliki berbagai macam khasiat obat dan hampir semua bagian tumbuhan memiliki efek terapeutik dan telah digunakan untuk mengobati berbagai penyakit secara tradisional. Tumbuhan ini juga telah digunakan dalam pengobatan modern karena penelitian menunjukkan pentingnya kandungan aktif yang bertanggung jawab atas banyak aktivitas farmakologis seperti antimikroba, antioksidan, antiinflamasi, antikanker, hepatoprotektif, kardiovaskular, diuretik, antiulkus, anthelmintik, dan antiurolitiasis (Purba, 2020). Jamur endofit yang terdapat pada tumbuhan ini diyakini mengandung senyawa yang sama dengan jamur tersebut tumbuh atau inangnya.

Salah satu kandidat biokontrol terhadap hama penyakit pada tumbuhan/ tanaman adalah menggunakan jamur endofit sebagai agen antimikroba, keberadaan jamur endofit pada jaringan tumbuhan memberikan respon pertahanan yang lebih baik terhadap serangan patogen dibandingkan tumbuhan yang tidak bersimbiosis dengan jamur endofit, hal ini disebabkan karena jamur tersebut mampu menghasilkan mikotoksin atau senyawa antibiotik sehingga dapat mengendalikan pertumbuhan atau bahkan dapat membunuh pathogen yang menyerang tanaman (Sari, 2023). Jamur endofit biasanya tidak aktif selama mereka berada di dalam jaringan tanaman inangnya, selama inangnya masih hidup. Namun, ada jamur endofit tertentu yang bisa tetap tidak aktif untuk jangka waktu yang lama hingga kondisi lingkungan mendukung aktivasi mereka (Harmileni et al., 2023).

Interaksi tumbuhan dan mikroba adalah mode komunikasi yang dimulai dengan sekresi molekul sinyal yang berbeda (Grabka, 2022). Telah dilaporkan bahwa selama proses evolusi, tanaman telah mengembangkan mekanisme pertahanan yang unik dan canggih yang melibatkan sistem kekebalan bawaan yang terdiri dari dua kelas reseptor kekebalan yang mengenali keberadaan molekul asing baik di dalam maupun di luar sel inang. Paparan dengan molekul nonself membangkitkan respons imun yang kuat sehingga mencegah berkembangbiakan mikroba patogen (Caruso et al., 2020).

Mikroba endofitik dapat menghasilkan berbagai metabolit sekunder dari inangnya, termasuk yang memiliki aktivitas biologis penting, interaksi antara mereka dengan tanaman inang telah dieksplorasi secara intensif. Pencarian senyawa bioaktif baru yang mungkin diisolasi dari jamur endofit adalah salah satu tujuan utama kemajuan bioteknologi saat ini. Berdasarkan uraian latar belakang maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nama spesies jamur endofit yang ada pada tanaman kelor. Sejauh ini masih kurang penelitian mengenai spesies jamur endofit dengan metode PCR hingga *sequencing* pada tumbuhan khususnya tanaman kelor sehingga peneliti tertarik untuk

mengetahui dan melakukan identifikasi jamur simbiosis yang mana memiliki senyawa aktif lebih efektif dan mudah dibudidayakan serta diolah dibandingkan dengan inangnya yaitu tanaman kelor *M. loifera* yang dikenal dengan sebutan *miracle tree* agar kedepannya dapat dimanfaatkan di bidang kesehatan untuk pembuatan antibiotik baru.

METODE PENELITIAN

Batang dan daun tanaman kelor di potong kecil kemudian di masukkan ke cawan petri yang telah berisi media PDA, lalu diinkubasi selama 48 jam dengan suhu 37°C. Kemudian dilakukan pemurnian pada media yang sama, diamati morfologinya pada permukaan media (Marhaeni, 2021). Isolasi jamur dilakukan berdasarkan metode sterilisasi permukaan dengan sedikit modifikasi (Ilyas et al., 2019). Tanaman disterilkan dengan merendamnya dalam etanol 70% selama 1 menit, kemudian disterilkan dengan larutan natrium hipoklorit (NaOCl) 1% selama 2 menit. Sampel dibilas dua kali dengan air suling steril dan diletakkan di atas tisu steril selama 3-4 jam untuk menghilangkan air dari permukaannya. Setelah itu, sampel dipotong secara aseptik menjadi segmen kecil sekitar 5 mm² dan kemudian ditempatkan pada cawan Petri yang berisi media PDA (*potato dextrose agar*). Setiap sampel tanaman dibuat sebanyak 3 ulangan kemudian diinkubasi pada 27°C selama 2 minggu. Jamur endofitik yang tumbuh dari sampel diisolasi dan dimurnikan dengan memindahkan ke cawan petri yang berisi PDA. *Strain* jamur yang telah dimurnikan kemudian dipilih untuk pengerjaan selanjutnya.

Ekstraksi DNA genom dilakukan dengan mengikuti protokol Geneaid™ DNA Isolation Kit Tissue. Preparasi sampel dilakukan terlebih dahulu, jamur sebanyak 10–20 mg ditambahkan ke dalam tabung mikrosentrifuge 1,5 mL yang telah berisi 600 µL Lysis Buffer, kemudian digerus selama beberapa menit. Sebanyak 12 µL Proteinase K ditambahkan ke dalam tabung dan campuran tersebut divorteks. Sampel kemudian diinkubasi pada suhu 60°C selama 30–60 menit atau hingga jamur hancur sempurna, dengan tabung dibalik secara berkala selama proses inkubasi. Setelah itu, 200 µL *Protein Removal Buffer* ditambahkan ke dalam sampel lisat dan campuran divorteks selama 10 detik. Sentrifugasi dilakukan pada 14.000–16.000 rpm selama 3 menit hingga terbentuk pellet. Supernatan jernih dipindahkan ke tabung mikrosentrifuge baru dan ditambahkan 600 µL Isopropanol, lalu campuran dihomogenkan dengan membalik perlahan selama 20 menit. Sentrifugasi kembali dilakukan pada 14.000–16.000 × g selama 5 menit, kemudian supernatan dibuang secara hati-hati dan pellet dicuci dengan 600 µL etanol 70%. Setelah sentrifugasi ulang selama 3 menit, supernatan dibuang dan pellet dikeringkan selama 10 menit. Sebanyak 100 µL *DNA Hydration Buffer* ditambahkan dan campuran divorteks selama 10 detik. Inkubasi dilakukan pada suhu 60°C selama 30–60 menit hingga pellet DNA larut sempurna. Primer yang digunakan untuk mendeteksi gen jamur mengacu pada Toppo et al. (2024).

Primer Forward = ITS 1 : 5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG- 3'

Primer Reverse = ITS 4 : 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC- 3'

Kondisi PCR yang digunakan sebagai berikut: predenaturasi (94°C selama 5 menit), denaturasi pada suhu 94°C selama 1 menit, annealing (57,1°C selama 1 menit) dan extension (72°C selama 1 menit), setelah 38 siklus terlampaui kemudian diakhiri dengan final extension pada suhu 72°C selama 7 menit. Komponen reaksi PCR mengandung 50 µL yang terdiri atas 1,5 µL primer forward; 1,5 µL primer reverse; DNA template 3 µL, KAPA Taq extra 25 µL dan *nuclease free water* 19 µL. Selanjutnya, elektroforesis dijalankan selama 50 menit dengan tegangan konstan 100 volt. Setelah 50 menit elektroforesis dihentikan dan gel diangkat untuk diamati di bawah sinar UV. Hasil positif

jika terdapat pita DNA yang sejajar dengan marker 500-700 bp dan negatif jika tidak terdapat pita pada gel. Proses sekuensing DNA dilakukan menggunakan metode Sanger dideoksi.

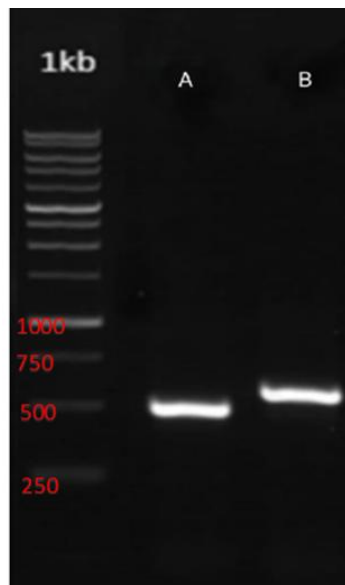
HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi jamur endofit pada media PDA yang tumbuh hanya pada bagian batang tanaman kelor, Gambar 1 memperlihatkan jamur endofit setelah dimurnikan.



Gambar 1. Jamur endofit isolat A dan B

Identifikasi jamur berdasarkan primer ITS1 dan ITS4 adalah sepasang primer PCR yang umum digunakan untuk identifikasi molekuler jamur melalui amplifikasi daerah *Internal Transcribed Spacer* (ITS) dari DNA ribosomal (rDNA). Daerah ITS, yang terletak di antara subunit gen rRNA berupa 18S, 5.8S, dan 28S sehingga memiliki tingkat variasi yang cukup tinggi antar spesies jamur. Urutan primer yang digunakan pada penelitian ini berupa Primer Forward = ITS1 : 5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3' dan Primer Reverse = ITS4 : 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3' dengan suhu annealing 50-60°C dengan panjang pita yang dihasilkan sekitar 500-700 bp. Kemudian sampel hasil PCR disekuensing untuk mengidentifikasi fragmen DNA yang teramplifikasi pada proses tersebut sehingga diketahui jenis spesies jamur endofitnya.



Gambar 2. Hasil amplifikasi PCR. Keterangan: 1 Kb = ukuran *marker*; A = Jamur endofit pertama; B = Jamur endofit kedua

Berdasarkan hasil visualisasi dari elektroforesis (Gambar 2.) dengan 1,5% agarose, memperlihatkan bahwa primer ITS1 dan ITS4 yang digunakan dapat teramplifikasi dengan baik disekitar 500 bp pada sampel A dan 600 bp pada sampel B dengan menggunakan *Gel Documentation*. DNA kedua sampel tersebut teramplifikasi dengan konsentrasi tinggi menyebabkan pita DNA setiap sampel terlihat tebal, hal ini membuktikan bahwa kesesuaian primer, efisiensi dan optimalisasi pada proses PCR. Suhu annealing DNA pada proses PCR juga sangat penting dalam keberhasilan memunculkan pita DNA sampel sesuai yang diinginkan (Lukman,et.al., 2023). Pada penelitian ini suhu optimal annealing primer ITS 1 dan ITS4 yang digunakan adalah 55°C.

Hasil PCR kemudian disekuensing dilakukan secara “Single Pass DNA Sequencing” menggunakan primer yang sama dengan amplifikasi gen 18S yakni ITS1. Hasil sekuensing berupa grafik electrophoregram dengan peak-peak yang berwarna-warni untuk membedakan jenis nukleotida yang dicirikannya. Nukleotida A (Adenin) berwarna hijau, nukleotida G (Guanin) berwarna hitam, C (Citosin) nukleotida berwarna biru dan nukleotida T (Timin) berwarna merah sedangkan lambang N yang merupakan lambang untuk simbol A, G, C, dan T yang muncul tidak banyak. Data hasil sequencing dibandingkan kesamaannya terhadap data yang ada di genbank (NCBI) untuk menverifikasi mengenai jamur yang mempunyai urutan DNA homolog dengan sampel sehingga dapat digunakan untuk mengetahui identifikasi jamur endofit tersebut.

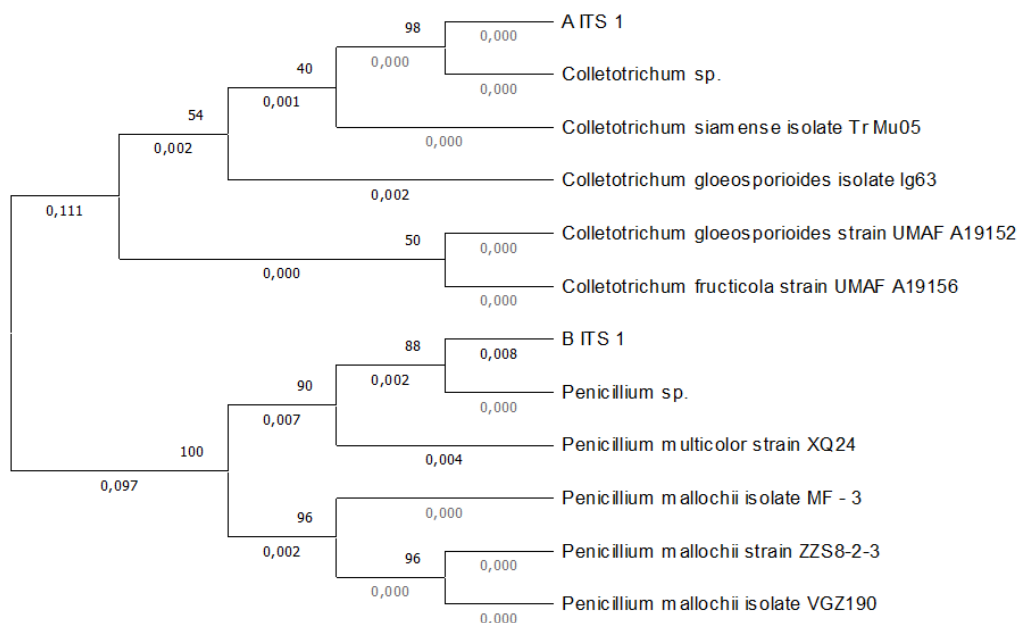
Tabel 1. Hasil *blast data sequencing*

Isolat	Spesies jamur yang homolog	Max score	Query coverage (%)	E value	Identities	Accession
A	<i>Colletotrichum</i> sp.	994	99	0,0	99,83 %	PV789307.1
	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> strain UMAF A19152	989	99	0,0	99,63 %	OR913019.1
	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> isolate lg63	989	99	0,0	99,63 %	MW767093.1
	<i>Colletotrichum fructicola</i> strain UMAF A19156	989	99	0,0	99,63 %	OR913023.1
	<i>Colletotrichum siamense</i> isolate Tr_Mu05	989	99	0,0	99,63%	PP808964.1
B	<i>Penicillium</i> sp.	1011	87	0,0	97,03 %	MH398044.1
	<i>Penicillium multicolor</i> strain XQ24	1007	87	0,0	95,08 %	KU216726.1
	<i>Penicillium mallochii</i> isolate MF – 3	992	73	0,0	99,82 %	OM955410.1
	<i>Penicillium mallochii</i> strain ZZS8-2-3	994	86	0,0	99,82%	MN944416.1
	<i>Penicillium mallochii</i> isolate VGZ190	990	86	0,0	99,18 %	MT416214.1

Hasil perbandingan sampel A dengan database 18S rRNA pada situs NCBI memiliki kesamaan tertinggi dengan persentase identities sebesar 99,83% pada *Colletotrichum* sp., dimana maksimal skor 994 menunjukkan panjang bagian yang disejajarkan antara urutan query dan urutan target. Pada *query coverage* sebesar 99% menjelaskan bahwa persentase dari urutan query yang terlibat dalam penyelerasan sangat

tinggi. Sedangkan pada sampel B dengan ukuran 600 bp dianalisis menggunakan BLAST NCBI memiliki kesamaan yang tertinggi dengan spesies jamur *Penicillium* sp. sebesar 1011 pada nilai maksimal skor dan nilai identities 97,03%, serta nilai E value adalah 0,0 atau tidak ada. Untuk melihat spesies jamur yang paling dekat kekerabatannya dengan kedua sampel tersebut maka dilakukan analisis filogenetik dengan mengambil 5 data hasil blast sequencing dari gene bank (NCBI).

Pohon filogenetik adalah representasi grafis dari hubungan evolusi antar entitas biologis, biasanya sekuens atau spesies. Hubungan antar entitas digambarkan oleh topologi (urutan percabangan) dan jumlah perubahan evolusi (panjang cabang) antar simpul (Edwards, 2019). Analisis pohon filogenetik dengan menggunakan aplikasi software MEGA6 untuk melihat kekerabatan dari suatu spesies dengan menggunakan metode neighbor-joining yang paling cocok untuk memprediksi pohon dengan benar (Coorens, et al., 2024). Neighbor-joining memilih sekuens yang jika digabungkan akan memberikan estimasi terbaik dari panjang cabang yang paling dekat merefleksikan jarak yang nyata diantara sekuens. Pada Gambar 2. menunjukkan pohon filogenetika yang dikonstruksi dengan metode Neighbor-joining (Dharmayanti, 2011). Pada sekuens DNA 18S rRNA diketahui sampel A paling dekat kekerabatannya pada spesies jamur *Colletotrichum* sp. dengan jarak genetic 0,000 dan nilai bootstrap 88. Pada sampel B menunjukkan jarak genetik senilai 0,008 dan hasil bootstrap sebesar 98 pada jamur spesies *Penicillium* sp., ini terbukti sejalan dengan semakin besar nilai bootstrap maka semakin tinggi pula tingkat kepercayaan topologi pohon hasil rekonstruksinya. Begitu juga dengan jarak genetik, semakin kecil nilainya semakin dekat kekerabatannya.



Gambar 3. Pohon filogenetik

Studi sebelumnya tentang jamur endofitik yang diisolasi dari tanaman tropis yaitu *Moringa oleifera* Lam. di Nusa Tenggara Barat melaporkan bahwa beberapa jamur endofitik yang sering ditemukan adalah *Alternaria*, *Cladosporium*, *Colletotrichum* (*Glomerella*), *Corynespora*, *Curvularia* (*Cochliobolus*), *Fusarium*, *Mucor*, *Ochrocladosporium*, *Phomopsis* (*Diaporthe*), dan *Trametes*. (Ramadhani et al., 2020).

Colletotrichum sp. merupakan jamur yang umum dijumpai sebagai jamur pathogen pada beberapa tanaman namun dapat ditemukan juga sebagai jamur endofit tanpa menyebabkan penyakit yang jelas pada inangnya dan bahkan menghasilkan metabolit sekunder dan enzim yang dapat meningkatkan ketahanan terhadap penyakit atau stres lingkungan dengan cara menstimulasi mekanisme pertahanan alami tanaman inang, serta menghasilkan senyawa bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan manusia (Urbano et al., 2023).

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tandon, et al. (2025) yang mengisolasi dan identifikasi jamur endofitik dari tanaman obat asli dimana salah satu tanamannya yaitu *M. oleifera* yang berasal dari India, adapun jamur yang mereka peroleh adalah *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Colletotrichum*, *Alternaria*, *Nigrospora*, *Rhizopus*, *Verticillium*, dan *Tricothecium*. Toghueo & Fabrice (2020) melaporkan bahwa senyawa bioaktif yang diisolasi dari jamur endofit spesies *Penicillium* sp. ini bermanfaat dalam berbagai proses pertanian dan bioteknologi. Jamur endofit dari genus ini telah diteliti sejauh ini dan lebih dari 280 senyawa yang menunjukkan aktivitas antimikroba, antikanker, antivirus, antioksidan, antiinflamasi, antiparasit, immunosupresan, antidiabetik, antiobesitas, antiinflamasi, neuroprotektif, serta insektisida dan biokontrol. Lebih lanjut, beberapa *Penicillium* sp. endofit telah dikarakterisasi sebagai biokatalis, pemacu pertumbuhan tanaman, fitoremediator, dan penghasil enzim.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah ditemukan dua sampel jamur endofit pada bagian batang dari inkubasi pada media PDA yaitu isolat A dengan persentase *identities* sebesar 99,83% pada *Colletotrichum* sp. dan isolate B adalah *Penicillium* sp. dengan nilai *identities* 97,03%.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalaguswan, A., Junaid, J., & Fachlevy, A. F. (2017). Analisis faktor risiko kejadian penyakit Tb paru di Wilayah Kerja Puskesmas Puuwatu Kota Kendari. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat*, 2(7), 250-731. <http://dx.doi.org/10.37887/jimkesmas.v2i7.3416>.
- Arora, J., & Kishan, G. R. (2017). An introduction to endophytes. In *Endophytes: Biology and Biotechnology*, 1–23. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66541-2_1.
- Caruso, D. J., Palombo, E. A., Moulton, S. E., & Zaferanloo, B. (2022). Exploring the promise of endophytic fungi: A review of novel antimicrobial compounds. *Microorganisms*, 10(10), 1-22. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10101990>.
- Coorens, T. H., Spencer Chapman, M., Williams, N., Martincorena, I., Stratton, M. R., Nangalia, J., & Campbell, P. J. (2024). Reconstructing phylogenetic trees from genome-wide somatic mutations in clonal samples. *Nature Protocols*, 19, 1866–1886. <https://doi.org/10.1038/s41596-024-00962-8>.
- Dharmayanti, I. (2011). Filogenetika molekuler: Metode taksonomi organisme berdasarkan sejarah evolusi. *WARTAZOA*, 21(1), 1–10.
- Edwards, R. J. (2019). Encyclopedia of bioinformatics and computation biology. *Life Sciences*, 2, 727–735. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20258-6>.
- Grabka, R., D'entremont, T. W., Adams, S. J., Walker, A. K., Tanney, J. B., Abbasi, P. A., & Ali, S. (2022). Fungal endophytes and their role in agricultural plant protection against pests and pathogens. *Plants*, 11(3), 1–29. <https://doi.org/10.3390/plants11030384>.
- Harmileni, G. S., Tengku, R. H., Meutia, M., Chrismis, N. G., & Edy, F. (2023). *Mikroba endofit dalam dunia kesehatan, manfaat dan aplikasi*. Medan: UNPRI Press.
- Ilyas, M., Praptiwi, Wulansari, D., Fathoni, A., & Agusta, A. (2019). An assemblage of fungal endophytes isolated from medicinal plants collected from Toba and Samosir, North Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 308(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/308/1/012070>.
- Jamiołkowska, A. (2020). Natural compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies. *Agronomy*, 10(2), 173. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020173>.

- Lukman, J. B., Zaraswati, D., Mochammad, H., & Cyril, B. R. (2023). Exploring the streptococci variants in children's oral cavity, its microbiome diversity. *Journal of Health Sciences and Medical Development*, 2(2), 54–63. <https://doi.org/10.56741/hesmed.v2i02.264>.
- Marhaeni, L. S. (2021). Daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai sumber pangan fungsional dan antioksidan. *Jurnal AGRISIA*, 13(2), 40–53.
- Nthuku, B. M., Kahariri, E. W., Kinyua, J. K., & Nyaboga, E. N. (2023). Fungal endophytes of *Moringa oleifera*, neem (*Azadirachta indica*), and lavender (*Lavandula angustifolia*) and their biological control of Fusarium wilt of banana. *Microbiology Research*, 14(4), 2113–2132. <https://doi.org/10.3390/microbiolres14040143>.
- Purba, E. C. (2020). Kelor (*Moringa oleifera* Lam.): Pemanfaatan dan bioaktivitas. *ProLife*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.33541/jpvol6iss2pp102>.
- Ramadhani, I., Hasnadiazahra, R., Yeni, Y., & Muhammad, I. (2020). Study on endophytic fungi associated with *Moringa oleifera* Lam. collected from Lombok Island, West Nusa Tenggara. *Annales Bogorienses*, 24(2), 66–73. <http://dx.doi.org/10.14203/ann.bogor.2020.v24.n2.66-73>.
- Sari, N. (2023). Pengaruh cendawan endofit tanaman maja terhadap *Colletotrichum acutatum* Pc3 penyebab antraknosa pada cabai merah in vitro. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(3), 365–374. <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v11i3.5783>.
- Tandon, T., Pranay, J., & Tarun, K. (2024). Isolation and identification of endophytic fungi from indigenous medicinal plants. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 22(1), 201–208. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/3354>.
- Toghueo, R. M. K., & Fabrice, F. B. (2020). Endophytic *Penicillium* species and their agricultural, biotechnological, and pharmaceutical applications. *3 Biotech*, 10(3), 107. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2081-1>.
- Toppo, P., Pooja, J., Namita, M., Rupam, K., & Piyush, M. (2024). Bioprospecting of endophytic fungi from medicinal plant *Anisomeles indica* L. for their diverse role in agricultural and industrial sectors. *Scientific Reports*, 14(588), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-51057-5>.
- Urbano, M. D., Pablo, V., Victor, M. R., & Jorge, P. (2023). Endophytic fungi in postharvest disease management in fresh produce. In *Postharvest Disease Management in Fresh Produce*, 81–112. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91132-0.00004-6>.