

## Morphotype Analysis of Endophytic Fungus Isolated from *Taxus sumatrana* of Mount Singgalang, West Sumatra Region

Wulan Komala Sari<sup>1,2</sup>, Periadnadi<sup>1</sup>, Nurmiati<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Biology Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences; Universitas Andalas, Padang, Indonesia;

<sup>2</sup>Plantation, Food Crop and Horticulture Services of West Sumatra, Padang, Indonesia;

### Article History

Received : June 01<sup>th</sup>, 2024

Revised : July 01<sup>th</sup>, 2024

Accepted : July 23<sup>th</sup>, 2024

\*Corresponding Author:

**Nurmiati**, Biology Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences; Universitas Andalas, Padang, Indonesia;

Email:

[nurmiati@sci.unand.ac.id](mailto:nurmiati@sci.unand.ac.id)

**Abstract:** *Taxus* sp. plants in temperate climates like Europe and America have been extensively studied and identified as promising sources of endophytic microbes that produce anticancer compounds such as Taxol. These endophytic microbes exhibit high adaptability to the specific growing conditions of their host plants. Research has highlighted metabolic differences between tropical and temperate endophytes. The presence of *Taxus sumatrana* plants in tropical areas like Mount Singgalang in West Sumatra, Indonesia was subjected to explore potential new sources of bioactive compounds from tropical microbes. This research aims to identify the morphotypes of endophytic fungi isolated from the barks of *Taxus sumatrana* plants originating from Mount Singgalang. The method used is small pieces of the inner bark of *Taxus sumatrana* were placed on the surface of growth medium (PDA). The small hyphae emerging from the piece of plant samples were regularly monitored for the morphological characteristics of the colony and conidia structure. Each fungal culture was checked for purity and transferred to another PDA plate by the hyphal tip method. The investigation isolated two endophytic fungi from the bark of *Taxus sumatrana*: *Pestalotiopsis microspora* and *Neopestalotiopsis* sp.

**Keywords:** Endophytic fungi, morphotype, *Taxus* sp., taxol.

### Pendahuluan

Genus *Taxus* merupakan tanaman obat yang banyak ditemukan di daerah pegunungan Himalaya, Nepal. Spesies *Taxus wallachiana* tumbuh di lereng gunung curam dengan ketinggian antara 1500 hingga 3000 mdpl. Spesies *Taxus* adalah sumber utama molekul diterpen yang sangat bermanfaat yang disebut Taxol. eksploitasi pohon-pohon *Taxus* secara berlebihan telah mengancam keberadaan hutan-hutan *Taxus* di Himalaya, sehingga sekarang masuk dalam daftar merah IUCN untuk konservasi alam. Situasi ini mendorong upaya mencari sumber alternatif Taxol secara cepat untuk menyelamatkan dan menjaga keanekaragaman hayati spesies ini untuk generasi mendatang (Gauchan *et al.*, 2021). Genus *Taxus* tersebar luas, terutama di zona pertengahan di belahan bumi bagian Utara.

Daerah sebaran tersebut membentang dari Amerika Utara menuju subtropika Amerika Tengah dan dari Eurasia menuju subtropika Asia Tenggara, yang beriklim sedang dengan kondisi habitat yang lembab dan dingin (Garawal, 2016).

Kapang endofit adalah mikroorganisme yang mengkolonisasi jaringan internal tumbuhan (misalnya daun, biji, batang, akar, buah dan bunga) di ruang intraseluler dan/atau ekstraseluler tanpa menimbulkan gejala penyakit pada tanaman inang (dos Reis *et al.*, 2022). Asosiasi yang menguntungkan antara mikroorganisme endofitik dan tanaman obat dianggap sebagai topik penting dalam studi interaksi mikroba dengan tanaman (Shen *et al.*, 2019). Endofit merupakan sumber daya mikrobial yang berkelanjutan dengan kontribusinya dalam mendukung tanaman inang secara efisien dalam berbagai kondisi

lingkungan (Andreozzi *et al.*, 2019). Mikroorganisme endofitik marak diteliti karena penting secara bioteknologi dan industri, hal ini berkat kemampuannya dalam menghasilkan metabolit sekunder yang bermanfaat sebagai agen biokontrol, antimikroba, antikanker, dan immunosupresan (Gouda *et al.*, 2016; Yadav, 2018; Adhikari *et al.*, 2022).

Penggunaan mikroba fermentasi dalam banyak penelitian telah menunjukkan bahwa isolasi dan identifikasi kapang endofit sebagai produsen Taxol adalah pendekatan baru yang menjanjikan dan layak untuk dikembangkan dalam produksi Taxol (Subban dan Kempken, 2023). Mikroba endofit tropis menghasilkan lebih banyak metabolit sekunder aktif dibandingkan dengan kapang dari substrata tropis lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa habitat tanaman inang memiliki peran penting dalam mempengaruhi metabolisme umum mikroba endofitik (Strobel dan Daisy, 2003). Hasil eksplorasi langsung di lapangan yang dilakukan oleh BPSI LHK Kuok semenjak tahun 2012 mengungkapkan bahwa di Indonesia juga ditemukan *Taxus sumatrana* yang hanya tumbuh di 4 provinsi di pulau Sumatera (Susilo *et al.*, 2015), salah satunya di provinsi Sumatera Barat. Pada tahun 2020 tim dari BP2TSTH menemukan populasi *Taxus sumatrana* di Gunung Singgalang. Keberadaan tanaman ini di daerah tropis diduga dapat menjadi peluang baru menemukan sumber baru kapang endofit potensial sebagai penghasil senyawa antikanker.

Menurut Olicón-Hernández *et al.*, (2022) berdasarkan prinsip kriteria seleksi mikroba, ada dua cara dalam melakukan skrining mikroba yaitu skrining primer dan sekunder. Skrining primer dirancang untuk mengisolasi mikroorganisme potensial yang diminati, salah satunya dengan cara menganalisis potensi mikroba potensial pada media tumbuh berupa pengamatan koloni dan morfologi secara mikroskopis. Sebaliknya, skrining sekunder didasarkan pada kriteria kualitatif dan kuantitatif untuk menentukan mikroba sebagai produsen terbaik dari potensi yang diminati. Menurut Almeida dos Rois *et al.*, (2022) pengelompokan kapang endofit berdasarkan ciri-ciri makroskopis membantu dalam mengelompokkan isolat menjadi

berbagai morfotipe, sementara itu pengelompokan dengan cara mikroskopis memungkinkan untuk melakukan klasifikasi morfologis yang lebih rinci dari isolat-isolat kapang endofit yang akan diidentifikasi.

Penelitian sebelumnya telah diisolasi kapang endofit dari tanaman *Taxus sumatrana* di kebun raya Cibodas (Sukiman, 2010), kemudian Yusepany (2018) melakukan identifikasi molekuler terhadap isolat kapang endofit dari batang tanaman *Taxus sumatrana* yang ada di kebun raya Cibodas tersebut dan melaporkan bahwa dua belas sampel teridentifikasi memiliki nama spesies yang berbeda diantaranya merupakan anggota dari filum Basidiomycota dan sisanya merupakan anggota dari filum Ascomycota. Erianti *et al.* (2023) telah mendeskripsikan terdapat 9 isolat kapang endofit pada daun *Taxus sumatrana* dari Gunung Singgalang yang dikelompokkan hanya berdasarkan karakter morfologi koloni. Sejauh ini belum ada laporan mengenai keragaman dan morfotipe isolat kapang endofit dari *Taxus sumatrana* yang hidup di habitat alaminya terutama untuk kapang endofit yang terdapat pada bagian batang. Kulit batang tanaman *Taxus* merupakan sumber inokulum paling produktif sebagai penghasil Taxol, berkisar antara 0,001 – 0,05% dari berat kering (El-Sayed *et al.*, 2020). Oleh karena itu, perlu dilakukan skrining primer terhadap kapang endofitik pada tanaman *Taxus sumatrana* Gunung Singgalang dengan melakukan isolasi dan deskripsi morfotipe kapang endofit pada jaringan batang meliputi karakterisasi permukaan koloni serta dilengkapi dengan analisis terhadap struktur reproduksi aseksual kapang endofit yang ditemukan.

## Bahan dan Metode

### Persiapan alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain cawan petri, mikroskop, tabung reaksi, pisau *cutter*, lampu spritus, *cork borer*, *Laminar air flow*, autoklaf, gelas objek, *hot plate*, *magnetic stirrer*, dan kaca penutup. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain medium PDA (Merck), alkohol 70%, Natrium Hipoklorit dan akuades.

## Isolasi dan pemurnian kapang endofit

Sampel kulit batang tanaman *Taxus sumatrana* dicuplik dari pohon *Taxus sumatrana* dicuci menggunakan air mengalir. Sampel kemudian diproses dalam laminar menggunakan etanol 70% (v/v) dalam 30 detik dan 1% natrium hypochloride (NaOCl) selama 60 detik untuk sterilisasi permukaan. Namun sebelumnya, lapisan kulit terluar dibuang terlebih dahulu dan diambil bagian kulit arah ke xylemnya saja. Selanjutnya, sampel dicuci secara merata dengan aquades steril dan dipotong secara aseptik menjadi potongan yang lebih kecil lalu diitanam ke dalam medium PDA dan diinkubasi selama 5 sampai 7 hari. Isolat murni didapatkan dengan mengambil satu koloni dari hasil isolasi pada bagian pinggiran kapang yang tumbuh dari jaringan inokulum dengan menggunakan *cork borer* kemudian menumbuhkannya dalam medium-medium baru dan di inkubasi dalam inkubator dalam suhu 35°C (Sah *et al.*, 2017).

## Analisis morfotipe kapang endofit

Analisis morfotipe merupakan penyusunan karakter isolat kapang endofit berdasarkan karakteristik kapang didalam kultur dan identifikasi tingkat spesies dilakukan berdasarkan karakter morfologi dan mikroskopis (Tibproma *et al.*, 2018). Identifikasi dilakukan berdasarkan morfologi koloni (bentuk dan warna koloni) pada kultur serta morfologi konidia (bentuk konidia, ukuran konidia, jumlah sel, dan jumlah setula) dengan menggunakan mikroskop compound Olympus BX41 dan aplikasi image-pro express. Identifikasi dilakukan dengan menggunakan kunci identifikasi menurut Maharachchikumbura *et al.* (2011) dan Febbiyanti *et al.*, (2021).

## Hasil dan Pembahasan

### Isolasi kapang endofit

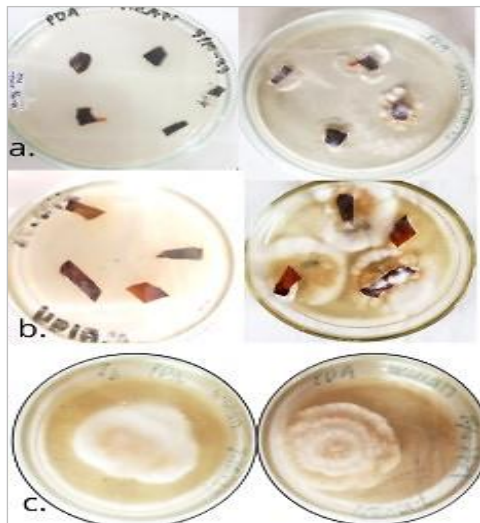
Penelitian ini berhasil menumbuhkan 2 isolat kapang endofit dari inokulasi bagian batang tanaman *Taxus sumatrana*. Salah satu tantangan dalam membiakkan kapang endofit adalah memisahkan inokulum dari mikroba epifit yang mungkin terdapat pada permukaan tanaman. Hal ini dapat dicegah dengan memperhatikan aplikasi metode sterilisasi permukaan yang sangat penting untuk dilakukan. Sehingga isolat yang diperoleh benar-benar adalah kapang endofit yang telah hidup di jaringan tanaman tersebut.

Menurut dos Reis *et al.*, (2022) dalam mempelajari endofit, terdapat beberapa tantangan metodologis yang harus dihadapi. Salah satu di antaranya adalah pemisahan menyeluruh koloni mikrobiota epifit. Hal ini menjadi hambatan karena mikrobiota epifit dapat mempengaruhi identifikasi dan analisis endofit. Oleh karena itu, metode yang tepat dan akurat perlu dikembangkan untuk mengatasi kendala ini dan memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai endofit.

Pertumbuhan isolat kapang endofit yang diperoleh pada penelitian ini umumnya terjadi dari tepi jaringan tanaman yang diinokulasi. inokulum kapang yang telah dimurnikan pada medium PDA setelah 24 jam akan berkembang menjadi jaringan hifa yang tumbuh mencapai  $\pm$  0,5 cm, kemudian berkembang menjadi miselium aerial berwarna putih hingga memenuhi petri yang berdiameter 9 cm setelah 11 hari. Pada medium PDA miselium masing - masing isolat akan berkembang membentuk pola sirkuler dan sekilas akan tampak seperti kelopak bunga dikarenakan variasi ketebalan pada margin miseliumnya yang serupa kapas. Miselium kedua isolat kapang endofit yang semula berwarna putih setelah 2 minggu akan berubah menjadi berwarna krem dan pada permukaannya akan muncul *acervuli*. Morfologi koloni *Pestalotiopsis* bervariasi secara signifikan bahkan dalam kondisi pertumbuhan yang serupa, seperti perubahan warna, tekstur, dan laju pertumbuhan pada beberapa kali sub kultur. pertumbuhan miselium dapat dipengaruhi oleh suhu dan inangnya (Maharachikumbura *et al.*, 2011; Herliyana *et al.*, 2022).

Karakteristik permukaan seperti tekstur, warna, zona, sporulasi, dan diameter dijadikan dasar untuk membedakan masing-masing kultur jamur, sehingga memastikan kemurnian dari setiap isolat yang diperoleh. Isolat murni yang telah diperoleh dapat digunakan untuk identifikasi lebih lanjut (Ezeonuegbu *et al.*, 2022). Isolat murni yang diperoleh pertama kali dapat dibedakan berdasarkan bentuk permukaan koloninya, pada` tahap pengelompokkan isolat-isolat yang telah disubkultur untuk pengamatan lanjutan dapat dilakukan dengan mengamati variasi bentuk konidia kapang dibawah mikroskop. Oleh karena itu pada hasil isolasi inokulum kulit batang didapatkan 2 (dua) isolat murni kapang endofit pada tanaman *Taxus*

*sumatrana* asal Gunung Singgalang dengan kondisi kultur seperti pada gambar 1.



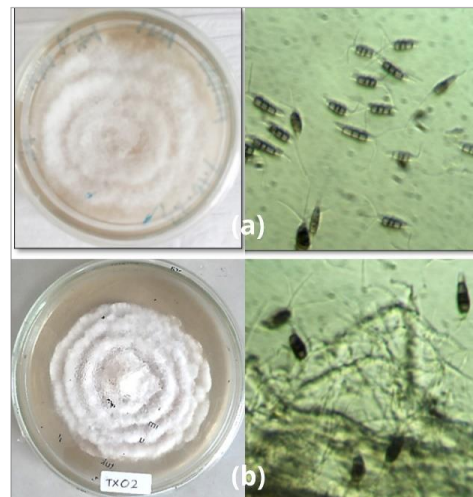
**Gambar 1.** Inkubasi kulit batang tanaman *T. sumatrana* pada media PDA (a.), penampakan jamur yang tumbuh 6 hari setelah inkubasi (b.), hasil pemurnian isolat yang tumbuh (c)

#### Analisis morfotipe isolat kapang endofit

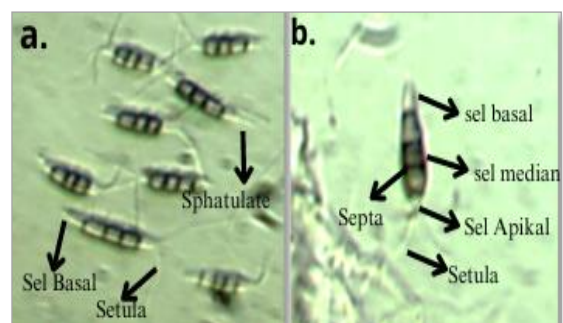
Morfotipe Isolat TX01 dan TX02 dikarakterisasi secara makroskopis dan mikroskopis. Aspek makroskopis berfokus pada bentuk koloni, warna, tekstur atas dan bawah hifa aerial pada cawan petri. Oleh karena setelah pengamatan dibawah mikroskop hifa isolat TX01 maupun TX02 menunjukkan struktur reproduksi berupa konidia maka dilanjutkan dengan karakterisasi mikroskopis. Pengamatan konidia meliputi warna sel tengah, jumlah dan bentuk tambahan sel apikal, serta panjang tambahan sel apikal dan basal. Karakterisasi morfologi ini mengacu kepada kunci determinasi oleh Maharachikumbura *et al.*, (2011) dan Febbiyanti *et al.*, (2021). Perbedaan morfologi koloni dan mikroskopis konidia dari kedua isolat kapang endofit yang ditemukan pada jaringan kulit batang tanaman *Taxus sumatrana* asal Gunung Singgalang dapat dilihat pada gambar 2.

Pertumbuhan miselia ditandai dengan koloni pada kultur yang berumur 24 jam mencapai diameter sekitar 0,4-0,5 cm. Pada biakan yang telah berumur 10-15 hari, koloni ini memenuhi seluruh permukaan petri yang berdiameter 9 cm. Warna koloni berubah dari putih menjadi krem muda seperti yang terlihat pada Gambar 2. Tepi koloni halus dengan gejala kadang-kadang bergelombang, dan tanpa warna

tertentu. Miselium udara berwarna putih seperti kapas. Acervuli terbentuk pada miselium udara kapang endofit TX01 yang menghasilkan massa konidia hitam yang berlendir. Awalnya, bagian atas koloni jamur ini berwarna putih, tetapi seiring waktu, bintik-bintik hitam muncul, sementara bagian dasarnya berwarna kuning kecoklatan. Pada kapang endofit TX02 tidak menunjukkan adanya pertumbuhan massa *acervuli* pada permukaan koloni.



**Gambar 2.** Pengelompokkan isolat yang ditemukan menjadi 2 pada media PDA. Karakter koloni dan konidia isolat TX01 (a), Karakter koloni dan konidia isolat TX02 (b)



**Gambar 3.** Perbandingan struktur konidia isolat TX01 (a), Struktur konidia isolat TX02 (b).

Konidia kedua kapang endofit sama-sama terdiri atas 5 sel dengan perbedaan jumlah setula dimana kapang TX01 memiliki 2 setula dan kapang TX02 memiliki 3 setula. Hasil analisis terhadap karakter makromorfologi dan mikromorfologi masing-masing isolat kapang endofit meliputi keadaan permukaan koloni bentuk hifa dan struktur alat reproduksi aseksual berupa konidia dapat dilihat pada tabel 1.



**Tabel 1.** Morfotipe Isolat Kapang Endofit *Taxus sumatrana* asal Gunung Singgalang

No.	Karakteristik (Morfotipe)	Kode Isolat		
		TX01	TX02	
1	Makroskopis Koloni	Bentuk	Bulat, beraturan	Bulat seperti bunga
		Warna	Putih	Putih
	Permukaan	Halus seperti kapas	Halus seperti kapas	
	Elevasi	Cembung	Cembung	
	Diameter miselium (7 hari)	70 mm	80 mm	
	Ketebalan Miselium	Tebal	Tebal	
	Acervuli	ada	tidak ada	
2	Mikroskopis	Tipe Hifa	Tidak bersekat, hyalin, bercabang	Tidak bersekat, hyalin, bercabang lonjong menggebu-gebu dimana apikal lebih besar dibanding basal ( <i>Clavate</i> )
		Konidia	Bentuk	Fusiform - Elipsoid
	Jumlah sel	5	5	
	Septa	4, warna coklat dengan densitas sama	4, warna coklat dengan densitas berbeda (gelap - terang)	
	sel apikal	Hyalin	Hyalin	
	sel median	3	3	
	sel basal	Hyalin	Hyalin	
	jumlah setula ujung setula	2	3	
	ujung setula pedicel	Ujung kenob	Tanpa kenob	
			Hyalin	Hyalin

Hasil penelitian ini menemukan kedua isolat yang diisolasi menunjukkan variasi dalam pola pertumbuhan dan perkembangan hifa di media PDA. Perbedaan tersebut meliputi kecepatan pertumbuhan, pola percabangan hifa, dan kemunculan massa konidiomata (*acervuli*) pada permukaan hifa. Isolat TX01, setelah 4 hari inkubasi, akan menunjukkan pola pertumbuhan seperti kapas yang cembung dan tak beraturan, sedangkan isolat TX02 akan menunjukkan pola pertumbuhan miselium yang seragam dan beraturan, menyerupai kelopak bunga yang sirkuler. Salah satu indikator pembeda secara signifikan antara kapang tersebut adalah perbedaan warna pigmen sel median pada konidia yang cukup mencolok dan jumlah apendik yang berbeda. Kapang endofit dari tanaman *Taxus sumatrana* menunjukkan keragaman dalam jenis koloni yang muncul. Saat dibiarkan tumbuh di media PDA, sejalan dengan penemuan Sukiman (2010) mengungkap bahwa dari keseluruhan 15 isolat endofit yang diperoleh dari *T. sumatrana* yang ditanam di kebun raya Cibodas memiliki hifa aerial

berwarna putih, namun terdapat variasi dalam pola pertumbuhan koloni ketika ditanam di media PDA.

Karakteristik vegetatif makroskopis seperti warna, tekstur, topografi, serta struktur difusi pigmen, warna dan topografi dorsal koloni. Selain itu, dilakukan analisis terhadap struktur reproduksi mikroskopis menggunakan metode mikrokultur atau sporulasi. Pengelompokan berdasarkan ciri-ciri makroskopis membantu dalam mengelompokkan isolat menjadi berbagai morfotipe, sementara pengelompokan berdasarkan ciri-ciri mikroskopis memungkinkan untuk melakukan klasifikasi morfologis yang lebih rinci dari isolat-isolat kapang endofit yang akan diidentifikasi (Almeida dos Reis, 2022). Berdasarkan tabel 1. Dapat disimpulkan bahwa Hasil identifikasi morfotipe diatas telah menunjukkan karakter isolat kapang endofit TX01 dan TX02 mengacu kepada spesies *Pestalotiopsis spp.*

Hasil identifikasi struktur konidia TX01 pada Tabel 1. Sejalan dengan penemuan Febbiyanti dan Fairuza (2021) yang melaporkan bahwa Konidia *Neopestalotiopsis spp.* memiliki bentuk lonjong

yang sedikit menggembung atau *clavate*, dengan bagian apikal yang lebih besar dibandingkan bagian basal. Konidia tersebut dapat lurus atau melengkung, terdiri dari 5 sel dengan 4 septa berwarna hitam yang tebal dan sempit, kadang tebal dan melebar, umumnya pada septa ketiga. Sel median berwarna coklat (kuning langsung). Konidia tidak memiliki kenob pada ujung embel-embel apikal (*setulae*) dan basal (*pedicel*), atau tanpa ujung *spathulate*, dengan ukuran  $\pm 22,26 \mu\text{m} \times \pm 7,50 \mu\text{m}$ .

Hasil identifikasi struktur konidia TX02 pada tabel 1. Sejalan dengan penemuan Febbiyanti dan Fairuza (2021) melaporkan bahwa morfologi konidia *Pestalotiopsis microspora* memiliki karakteristik yang khas. Bentuknya cenderung lonjong, dengan sedikit penebalan di bagian tengah. Konidia dapat berbentuk lurus maupun melengkung, dengan lima sel yang dibatasi oleh empat septa tebal dan berwarna hitam. Warna sel umumnya berkisar dari coklat terang hingga gelap, dengan sel tengah (sel ketiga) cenderung lebih pekat warnanya. Selain itu, konidia ini tidak memiliki tonjolan (kenob) pada ujung apikal maupun basal. Guo et al. (2016) juga melaporkan bahwa spesies *P. microspora* memiliki sel median yang bercorak dua warna dengan dua bagian atas lebih gelap dari yang bagian bawah. Jeon et al. (2007) mengamati bahwa sel median tengah memiliki warna yang lebih gelap daripada bagian atas dan bawahnya.

Genus *Pestalotiopsis* telah dipisahkan dari genus *Pestalotia* dan ditempatkan ke dalam kelas Ascomycota, Coleomycetes. Dalam penelitian terbaru telah dilakukan klasifikasi ulang *Pestalotiopsis* menjadi dua genus lainnya yaitu *Neopestalotiopsis* spp. dan *Pseudopestalotiopsis* spp. Genus *Neopestalotiopsis* spp. dicirikan oleh karakter utama pembeda dengan dua genus lainnya berupa sel median pada konidia yang berwarna-warni, *Pestalotiopsis* spp. memiliki sel median yang berwarna terang dan seragam, sedangkan *Pseudopestalotiopsis* spp. memiliki sel median yang berwarna gelap dan seragam (Darapanit et al., 2021). Pada gambar 2 terlihat jelas bahwa isolat TX01 memiliki pigmentasi sel median yang berwarna seragam yang mengindikasikan isolat TX01 diduga merupakan kapang dari jenis spesies *Pestalotiopsis* sp. dan pada isolat TX02 tampak warna sel median konidianya berwarna-warni dimana ada bagian sel yg pigmentasinya lebih gelap dibagian tengah dan lebih terang pada sel lainnya.

Analisis morfotipe kedua isolat ini masih perlu didukung oleh analisis molekuler untuk

mengkonfirmasi spesies kedua isolat yang didapatkan. Menurut Adhikari et al. (2023) melaporkan bahwa 69 spesies endofit yang berbeda dilaporkan menghasilkan produksi taxol dari 10 spesies *Taxus* yang berbeda, yaitu *T. brevifolia*, *T. baccata*, *T. cuspidata*, *T. chinensis*, *T. celebica*, *T. globosa*, *T. mairei*, *T. wallichiana*, *T. x media*, dan *T. yunnanensis*. sementara data tentang kemampuan produksi Taxol dari kapang endofit yang hidup pada *Taxus sumatrana* belum ada dilaporkan. Penemuan keberadaan dua isolat kapang endofit pada penelitian ini memberikan peluang untuk penelitian lebih lanjut tentang potensi produksi senyawa taxol kapang endofit asal *Taxus sumatrana* di Gunung Singgalang.

## Kesimpulan

Hasil isolasi kapang endofit pada tanaman *Taxus sumatrana* asal Gunung Singgalang didapatkan dua isolat. Isolat kapang endofit tersebut berasal dari genus *Pestalotiopsis* dan *Neopestalotiopsis* yang telah pernah dilaporkan sebelumnya memiliki kemampuan memproduksi senyawa bioaktif berupa Taxol.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terima kasih kepada Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Barat dan KTH *Taxus* di Nagari Pandai Sikek, Kecamatan X Koto, Sumatera Barat atas dukungan yang telah diberikan dalam pengambilan sampel kegiatan penelitian ini, sehingga berjalan lancar.

## Referensi

- Adhikari, P., Joshi, K., & Pandey, A. (2023). *Taxus* associated fungal endophytes: anticancerous to other biological activities. In *Fungal Biology Reviews* (Vol. 45). Elsevier Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2023.100308>
- Andreozzi, A., Prieto, P., Mercado-Blanco, J., Monaco, S., Zampieri, E., Romano, S., Vale, G., Defez, R., Bianco, C., (2019). Efficient colonization of the endophytes *Herbaspirillum huttiense* RCA24 and *Enterobacter cloacae* RCA25 influences the physiological parameters of *Oryza sativa* L. cv. Baldo rice. *Environ. Microbiol.* 21 (9), 3489e3504. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2023.100308>

- [//doi.org/10.1111/1462-2920.14688](https://doi.org/10.1111/1462-2920.14688).
- Darapanit, A., Boonyuen, N., Leesutthiphonchai, W., Nuankaew, S., & Piasai, O. (2021). Identification, pathogenicity and effects of plant extracts on *Neopestalotiopsis* and *Pseudopestalotiopsis* causing fruit diseases. *Scientific Reports*, 11(1). DOI:<https://doi.org/10.1038/s41598-021-02113-5>
- Dos Reis, J. B. A., Lorenzi, A. S., & do Vale, H. M. M. (2022). Methods used for the study of endophytic fungi: a review on methodologies and challenges, and associated tips. In *Archives of Microbiology* (Vol. 204, Issue 11). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. DOI:<https://doi.org/10.1007/s00203-022-03283-0>
- El-Sayed, A. S. A., El Sayed, M. T., Rady, A., Zein, N., Enan, G., Shindia, A., El-Hefnawy, S., Sitohy, M., & Sitohy, B. (2020). Exploiting the biosynthetic potency of taxol from fungal endophytes of conifers plants; genome mining and metabolic manipulation. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 13). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules25133000>
- Erianti, P., Putri, D.H, Anhar, A., & Irdawati (2023). Isolation of Endophyte Fungus from *Taxus sumatrana* Leaves and Their Potential as the Antimicrobial Producer. *Konservasi Hayati*, 19(1), 30–37 <https://doi.org/10.33369/hayati.v19i1.26352>
- Ezeonuegbu, B. A., Abdullahi, M. D., Whong, C. M. Z., Sohunago, J. W., Kassem, H. S., Yaro, C. A., Hetta, H. F., Mostafa-Hedeab, G., Zouganelis, G. D., & Batiha, G. E. S. (2022). Characterization and phylogeny of fungi isolated from industrial wastewater using multiple genes. *Scientific Reports*, 12(1). DOI:<https://doi.org/10.1038/s41598-022-05820-9>
- Febbiyanti, T. R., Tistama, R., & Sarsono, Y. (2021). Karakterisasi Isolat *Pestalotiopsis* Pada Karet (*Hevea Brasiliensis*) Menggunakan Karakter Morfologi Dan Molekuler. *Jurnal Penelitian Karet*, 151–162. DOI:<https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v39i2.798>
- Galindo-Solís, J. M., & Fernández, F. J. (2022). Endophytic Fungal Terpenoids: Natural Role and Bioactivities. In *Microorganisms* (Vol. 10, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020339>
- Garawal, T. (2016.). *Taxus: An Endangered Genus*. Research & Reviews: Journal of Botanical Sciences. <https://www.semanticscholar.org/paper/Taxus%3A-An-Endangered-Genus-Garawal/0765fc3fce59ce9cd4c0837b86ec61be63f78c62#citing-papers>.
- Gauchan, D. P., Vélèz, H., Acharya, A., Östman, J. R., Lundén, K., Elfstrand, M., & García-Gil, M. R. (2021). *Annulohyphoxylon* sp. strain MUS1, an endophytic fungus isolated from *Taxus wallichiana* Zucc., produces taxol and other bioactive metabolites. *3 Biotech*, 11(3). DOI:<https://doi.org/10.1007/s13205-021-02693-z>
- Gouda, S., Das, G., Sen, S.K., Shin, H.S., Patra, J.K., (2016). Endophytes: a treasure house of bioactive compounds of medicinal importance. *Front. Microbiol.* 7, 1538. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01538>.
- Guo JW, Yang LF, Liu YH, Yang J, Wang HF, Li L, Liu YH, Li WJ. 2016. First report of pseudostem black spot caused by *Pestalotiopsis microspora* on Tsao in Yunnan, China. *Plant Dis* 100 (5): 1021–1022. DOI: 10.1094/PDIS-08-15-0920-PDN.
- Herliyana, E. N., Oktavianto, P., & Siregar, U. J. (2022). Identification and characterization of *Pestalotiopsis* spp. causing leaf spot and leaf blight on jabon (*Neolamarckia* spp.) in Indonesia. *Biodiversitas*, 23(12), 6547–6556. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231253>
- Maharachchikumbura, S. S. N., Guo, L. D., Chukeatirote, E., Bahkali, A. H., & Hyde, K. D. (2011). *Pestalotiopsis*-morphology, phylogeny, biochemistry and diversity. *Fungal Diversity*, 50, 167–187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13225-011-0125->

- x
- Olicón-Hernández, D. R., Guerra-Sánchez, G., Porta, C. J., Santoyo-Tepole, F., Hernández-Cortez, C., Tapia-García, E. Y., & Chávez-Camarillo, G. M. (2022). Fundamentals and Concepts on Screening of Microorganisms for Biotechnological Applications. Mini Review. In *Current Microbiology* (Vol. 79, Issue 12). Springer. <https://doi.org/10.1007/s00284-022-03082-2>
- Sah, B., Subban, K., & Chelliah, J. (2017). Cloning and sequence analysis of 10-deacetylbaconin III-10-O-acetyl transferase gene and WRKY1 transcription factor from taxol-producing endophytic fungus *Lasiodiplodia theobromae*. In *FEMS Microbiology Letters* (Vol. 364, Issue 24). Oxford University Press. DOI:<https://doi.org/10.1093/femsle/fnx253>
- Shen, F.T., Yen, J.H., Liao, C.S., Chen, W.C., Chao, Y.T., (2019). Screening of rice endophytic biofertilizers with fungicide tolerance and plant growth promoting characteristics. *Sustainability* 11 (4), 1133.<https://doi.org/10.3390/su11041133>.
- Strobel, G., & Daisy, B. (2003). Bioprospecting for Microbial Endophytes and Their Natural Products. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67(4), 491–502. DOI:<https://doi.org/10.1128/membr.67.4.491-502.2003>
- Subban, K., & Kempken, F. (2023). Insights into Taxol® biosynthesis by endophytic fungi. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 107, Issue 20, pp. 6151–6162). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. DOI :<https://doi.org/10.1007/s00253-023-12713-y>
- Sukiman., H. (2010). Endophytes of *Taxus sumatrana* (Miquel) de Laubenfels and Its Potential on Producing Bioactive Compound as Antioxidant Agent. Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI Jin Raya Jakarta-Bogor Km In *Berita Biologi* (Vol. 10, Issue 3)
- Susilo, A. (2015). *Taxus sumatrana*: Sebaran, potensi dan strategi konservasi. *Penguatan apresiasi dan kesadaran konservasi jenis kayu lokal Sumatra bernilai tinggi*, 30-40.
- Tibpromma, S., Hyde, K. D., Bhat, J. D., Mortimer, P. E., Xu, J., Promputtha, I., Doilom, M., Yang, J. B., Tang, A. M. C., & Karunarathna, S. C. (2020). Identification of endophytic fungi from leaves of Pandanaceae based on their morphotypes and DNA sequence data from southern Thailand. *MycKeys*, 33, 25–67. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.32.23670>
- Yadav, A.N., (2018). Biodiversity and biotechnological applications of host-specific endophytic fungi for sustainable agriculture and allied sectors. *Acta Sci. Microbiol.* 1 (5), 1e5. <https://doi.org/10.31080/ASMI.2018.01.0044>.
- Yusepany, D.T. (2018). Identifikasi kapang endofit dari kulit batang *Taxus sumatrana* miquel de Laubenfels menggunakan sekuens DNA daerah ITS. Skripsi : UPI