

# Isolasi dan Identifikasi Cendawan Endofit Akar Anggrek Epifit *Vanda* sp. dan Anggrek Terrestrial *Spathoglottis plicata*

## Isolation and Identification of Root Endophytic Fungi in Epiphytic orchid *Vanda* sp. and Terrestrial Orchid *Spathoglottis plicata*

NADIYA DWI RAHAYU<sup>1</sup>, NAMPIAH SUKARNO<sup>1\*</sup>, SRI LISTIYOWATI<sup>1</sup>, MOHAMAD RAFF<sup>2</sup>, EDHI SANDRA<sup>3</sup>, SOFI MURSIDAWATI<sup>4</sup>, RISNA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Kampus Dramaga, Bogor 16680

<sup>2</sup>Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Kampus Dramaga, Bogor 16680

<sup>3</sup>Departemen Konservasi dan Sumberdaya Kehutanan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University, Kampus Dramaga, Bogor 16680

<sup>4</sup>Pusat Konservasi Tumbuhan, Kebun Raya Bogor, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jl. Ir. H. Juanda No. 13, Bogor 16003

Diterima 1 Agustus 2024/Diterima dalam Bentuk Revisi 21 Oktober 2024/Disetujui 7 November 2024

Endophytic fungi play an important role in the orchid lifecycle by aiding seed germination and plant development. Information on the diversity of endophytic fungi in Indonesian orchids, particularly *Vanda* epiphytic orchid and *Spathoglottis terrestrial* orchid, is still limited. This study aimed to isolate and identify endophytic fungi from the roots of *Vanda* sp. and *Spathoglottis plicata* orchids collected from Banjarbaru, South Kalimantan, and Kendari, Southeast Sulawesi. Isolation was performed using Potato Sucrose Agar (PSA) medium, and morphological identification was carried out through macroscopic and microscopic observations. A total of four endophytic fungal isolates were identified, including *Nigrospora* sp. and *Penicillium* sp. from *Vanda* sp. roots, and two isolates of *Fusarium* sp. from *Spathoglottis plicata* roots. The four fungal isolates obtained had aerial mycelium and septate hyphae, as well as conidia with diverse shapes. The diversity of endophytic fungi in orchid species could be influenced by the fungal affinity on the specific microhabitat conditions of each tissue and host plant species.

Key words: diversity, microhabitat, morphological characteristics, symbiosis

### PENDAHULUAN

Cendawan endofit merupakan cendawan yang hidup di dalam jaringan tumbuhan tanpa menimbulkan gejala penyakit pada tumbuhan inangnya (Naik *et al.* 2019; Mahmud *et al.* 2020; Wu *et al.* 2020). Cendawan endofit dapat melakukan simbiosis yang bersifat mutualistik atau netral dengan tumbuhan inang. Cendawan endofit mengkolonisasi jaringan tumbuhan inang secara interseluler (Khare *et al.* 2018) pada seluruh organ tanaman seperti akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji (Sarsaiya *et al.* 2019).

Cendawan endofit memiliki peran penting dalam siklus hidup anggrek yang sangat bergantung pada simbiosis dengan cendawan (Bayman & Otero

2006). Anggrek bergantung pada cendawan simbiosis mutualistik pada setiap tahapan siklus hidupnya. Sejak tahap awal perkembangannya yaitu perkecambahan biji, anggrek memerlukan cendawan endofit atau mikoriza karena biji anggrek berukuran sangat kecil dan tidak memiliki endosperma sehingga tidak mampu berkecambah di alam tanpa bersimbiosis dengan cendawan (Dearnaley 2007; Sopalan & Iamtham 2020).

Anggrek secara holistik berperan penting pada berbagai aspek, baik di bidang kesehatan, studi evolusi, hingga industri tanaman ornamental (Sandrasagaran *et al.* 2014). Anggrek merupakan tumbuhan dengan distribusi luas yang ditemukan hampir di seluruh ekosistem darat, kecuali gurun dan kutub (Ai *et al.* 2023). Terdapat setidaknya 5.000 spesies anggrek yang ditemukan di Indonesia yang tersebar di pulau Jawa, Sumatera, Maluku, Sulawesi, Papua, Nusa Tenggara, dan Kalimantan

\*Corresponding author:  
E-mail: [nampiah@apps.ipb.ac.id](mailto:nampiah@apps.ipb.ac.id)

(Hariyanto *et al.* 2020). Anggrek dari genus *Vanda* dan *Spathoglottis* termasuk sebagai jenis anggrek yang umum ditemukan di Indonesia. Anggrek dari genus *Vanda* diperkirakan terdiri atas 73 spesies yang sebagian besar dari spesiesnya ditemukan di wilayah Asia Tenggara (Gardiner *et al.* 2013). *Vanda* telah digunakan dalam berbagai pengobatan tradisional karena memiliki manfaat untuk penyembuhan luka, anti-inflamasi, anti-penuaan, dan antioksidan (Khan *et al.* 2019). Adapun anggrek *Spathoglottis* merupakan anggrek yang dilaporkan tersebar di India, Jepang, China, Malaysia, Indonesia, dan kepulauan di Pasifik dan Australia. *Spathoglottis plicata* merupakan salah satu dari banyaknya anggrek liar yang ditemukan di ekosistem tropis (Ginibun *et al.* 2018). Namun demikian, eksploitasi anggrek *Vanda* dan *Spathoglottis* secara luas dapat menimbulkan ancaman kepunahan. Delapan spesies anggrek *Vanda* termasuk ke dalam daftar merah IUCN, yaitu *Vanda hindsii*, *V. insignis*, *V. javierae*, *V. lombokensis*, *V. punctata*, *V. scandens*, *V. spathulata*, dan *V. tessellate* (IUCN 2024). Adapun anggrek *Spathoglottis plicata* tergolong sebagai anggrek yang terancam punah (*endangered*) (Ginibun *et al.* 2018).

Penelitian tentang cendawan endofit yang berasosiasi dengan tanaman anggrek telah dilakukan di berbagai negara, di antaranya Parthibhan dan Ramasubbu (2020) yang melaporkan bahwa cendawan endofit seperti *Tulasnella callospora*, *Penicillifer martini*, dan *Colletotrichum* sp. berasosiasi dengan tanaman anggrek epifit *Paphiopedilum druryi* (Bedd.) Stein dari India, serta *Pseudopestalotiopsis theae* pada anggrek epifit *Dendrobium aphyllum* dari Thailand (Sopalun & Iantham 2020). Akan tetapi, informasi mengenai keragaman cendawan endofit anggrek di Indonesia masih terbatas, khususnya anggrek *Vanda* dan *Spathoglottis* Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi cendawan endofit anggrek dari kedua jenis anggrek tersebut. Isolasi dan identifikasi

cendawan endofit dalam studi ini merupakan upaya untuk mempelajari keanekaragaman cendawan endofit yang berasosiasi dengan anggrek, khususnya di Indonesia.

## BAHAN DAN METODE

**Bahan Penelitian.** Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah akar anggrek *Vanda* sp. dan *Spathoglottis plicata*, NaOCl 5%, etanol 96%, etanol 70%, medium *Potato Sucrose Agar* (PSA).

**Isolasi Cendawan Endofit.** Sampel penelitian berupa tanaman anggrek epifit *Vanda* sp. dan anggrek terestrial *Spathoglottis plicata* yang dikoleksi dari hutan yang berlokasi di Banjarbaru, Kalimantan Selatan (3°25'55.9"S, 114°50'06.4"E) dan Kendari, Sulawesi Tenggara (4°01'36.5"S, 122°31'53.9"E) (Gambar 1). Sampel anggrek beserta tanah dari lokasi pengambilan sampel kemudian dipindahkan ke dalam *polybag* yang telah disterilkan dengan etanol 70% sebelum dikirimkan. Sampel anggrek dibersihkan dari tanah dan dikemas dalam kondisi akar dibungkus dengan kertas yang telah dibasahi untuk menjaga kelembapan tanaman anggrek selama di perjalanan. Sampel dikirimkan segera dengan menggunakan pesawat. Pengiriman kedua sampel anggrek dilakukan dengan izin dari Balai Karantina Pertanian (BKP) Kelas I Banjarmasin, Kalimantan Selatan dan Balai Karantina Pertanian (BKP) Kelas II Kendari, Sulawesi Tenggara. Isolasi cendawan endofit langsung dilakukan di hari yang sama setelah sampel tiba di laboratorium.

Isolasi cendawan endofit dilakukan pada bagian akar yang diambil secara acak dari setiap rumpun anggrek *Vanda* sp. dan *Spathoglottis plicata* segar. Metode yang digunakan mengacu pada Sopalun dan Iantham (2020) dengan modifikasi. Tahap pertama dari proses isolasi ialah melakukan sterilisasi permukaan organ tanaman anggrek. Sterilisasi permukaan diawali dengan pencucian sampel organ tumbuhan dengan



Gambar 1. (A) Anggrek *Vanda* sp. dan (B) *Spathoglottis plicata*

air mengalir. Sampel bagian organ akar yang telah dicuci dengan air mengalir dan dibilas dengan akuades steril, kemudian dalam etanol 96% selama 3 menit, kemudian direndam dengan NaOCl 5% selama 5 menit, dibilas dengan akuades steril sebanyak 3 kali, dan dikeringkan dengan cara diletakkan pada tisu steril. Masing-masing sampel yang telah disterilisasi dipotong dan diletakkan pada medium *Potato Sucrose Agar* (PSA) dengan konsentrasi sukrosa dan ekstrak kentang 50% yang mengandung kloramfenikol. Sebanyak 5 potongan sampel diletakkan pada medium dengan ulangan masing-masing organ sebanyak 5 kali. Setelah proses isolasi, setiap cendawan yang tumbuh dimurnikan dengan cara segera dipindahkan ke medium PSA baru. Setiap satu koloni cendawan dipindahkan ke satu medium PSA. Langkah tersebut terus dilakukan hingga isolat murni cendawan endofit diperoleh.

**Identifikasi Morfologi Cendawan.** Identifikasi morfologi yang dilakukan meliputi pengamatan makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan koloni secara makroskopis diawali dengan menumbuhkan koloni pada medium PSA dan diinkubasi pada suhu ruang. Pertumbuhan dan karakter miselium diamati dan dicatat selama 2–14 hari. Pengamatan morfologi secara mikroskopis dilakukan dengan menggunakan metode Riddle (1950). Cendawan ditumbuhkan pada potongan medium agar yang diletakkan di atas kaca objek. Bagian permukaan medium agar ditutup kaca penutup dan diinkubasi pada cawan Petri steril berisi tisu steril yang dilembapkan. Inkubasi dilakukan

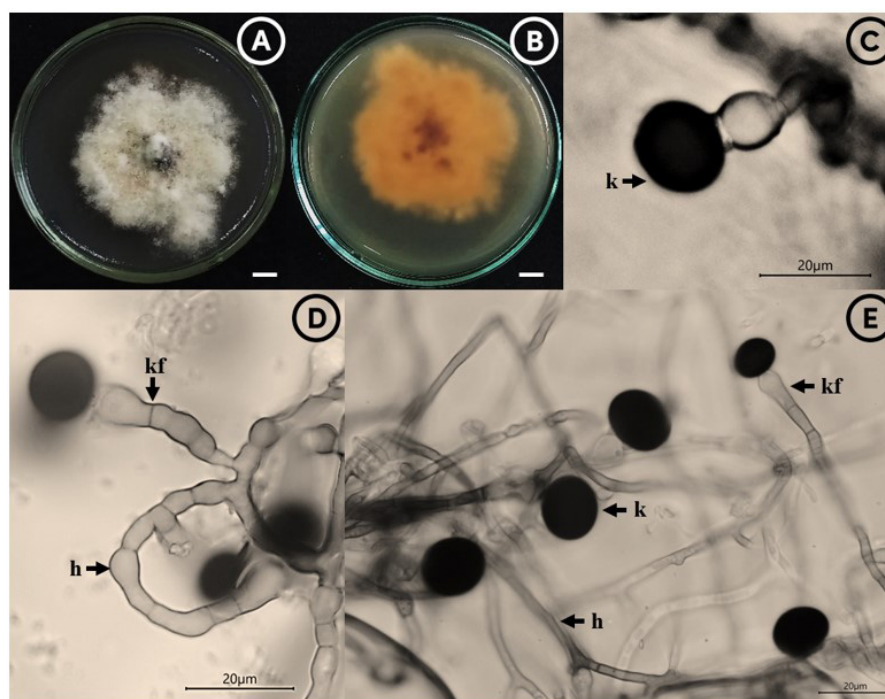
selama 3–5 hari. Karakteristik koloni, hifa, dan spora diamati dan dianalisis dengan mengacu pada kunci identifikasi Barnett dan Hunter (1972).

## HASIL

**Isolasi dan Identifikasi Morfologi Cendawan Endofit.** Total sebanyak empat isolat cendawan endofit diperoleh dari akar anggrek *Vanda* sp. dan *Spathoglottis plicata*. Isolat yang diperoleh dari akar anggrek *Vanda* sp. ialah *Nigrospora* sp. V3.1 (Gambar 2) dan *Penicillium* sp. V3.3 (Gambar 3). Adapun pada akar anggrek *S. plicata* kedua isolat yang diperoleh berasal dari genus *Fusarium*, yaitu *Fusarium* sp S1.1 (Gambar 4) dan *Fusarium* sp. S2.1 (Gambar 5). Keempat isolat cendawan yang diperoleh memiliki miselium aerial dan hifa yang berseptat, serta konidia dengan bentuk yang beragam. Karakteristik morfologi seluruh isolat yang diamati disajikan pada Tabel 1. Struktur seksual tidak diamati dalam penelitian ini.

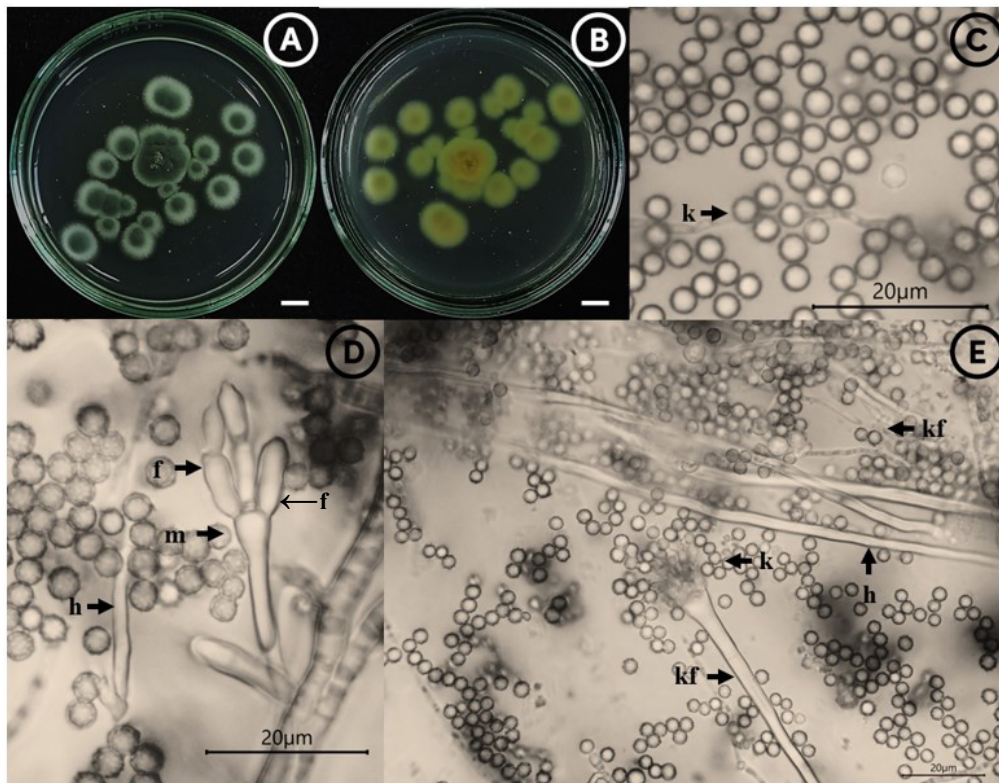
## PEMBAHASAN

Keragaman komunitas cendawan endofit pada tanaman sangat dinamis bergantung pada beberapa faktor, seperti habitat tanaman, mikrob di lingkungan, dan spesies tanaman (Gundale *et al.* 2016; Sarsaiya *et al.* 2019; Yan *et al.* 2019). Berdasarkan hasil penelitian, cendawan endofit yang diperoleh pada akar anggrek *Vanda* sp. dan *Spathoglottis plicata* yang digunakan

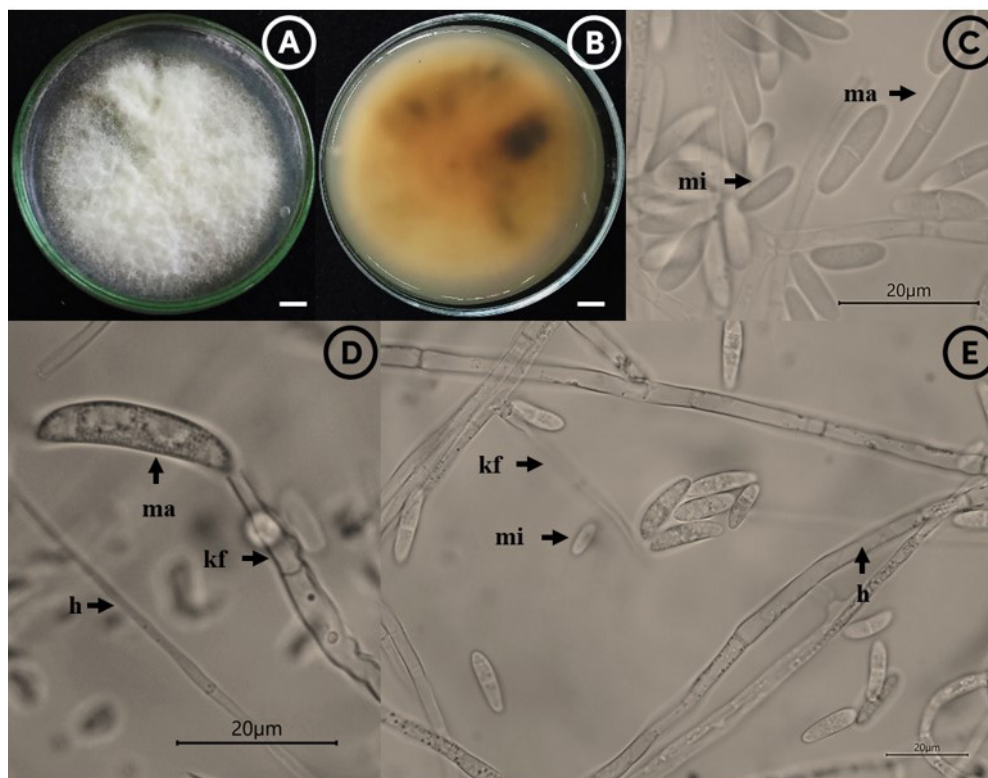


Gambar 2. Koloni *Nigrospora* sp. V3.1 pada medium PSA; permukaan atas (A), permukaan bawah (B), dan struktur mikroskopis (C–E), yaitu konidia (k), hifa (h), dan konidiofor (kf). Skala dalam 1 cm (A–B) dan 20  $\mu$ m (C–E)

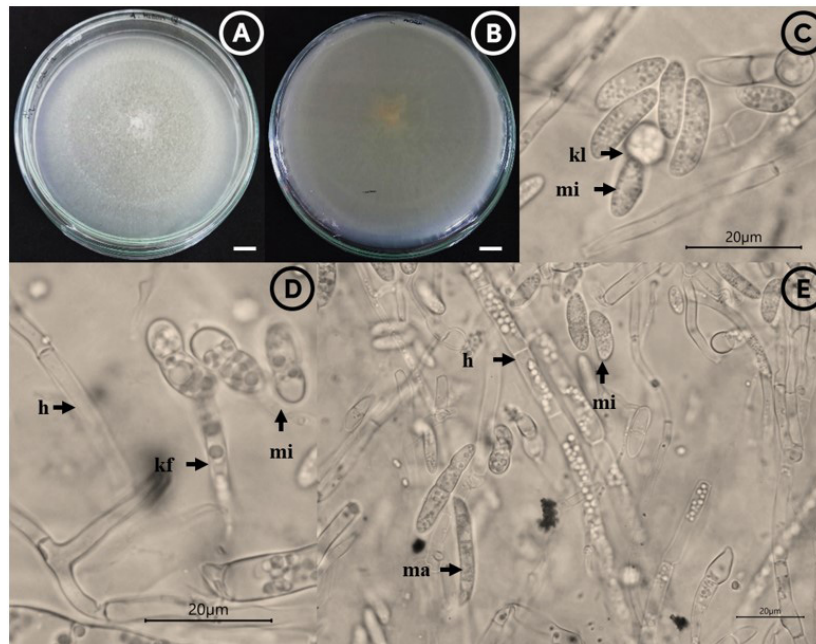




Gambar 3. Koloni *Penicillium* sp. V3.3 pada medium PSA; permukaan atas (A), permukaan bawah (B), dan struktur mikroskopis (C–E), yaitu konidia (k), hifa (h), metula (m), fialid (f) dan konidiofor (kf). Skala dalam 1 cm (A–B) dan 20  $\mu\text{m}$  (C–E)



Gambar 4. Koloni *Fusarium* sp. S1.1 pada medium PSA; permukaan atas (A), permukaan bawah (B), dan struktur mikroskopis (C–E), yaitu makrokonidia (ma), mikrokonidia (mi), dan konidiofor (kf). Skala dalam 1 cm (A–B) dan 20  $\mu\text{m}$  (C–E)



Gambar 5. Koloni *Fusarium* sp. S2.1 pada medium PSA; permukaan atas (A), permukaan bawah (B), dan struktur mikroskopis (C–E), yaitu makrokonidia (ma), mikrokonidia (mi), kladidospora (kl) dan konidiofor (kf). Skala dalam 1 cm (A–B) 20 μm (C–E)

Tabel 1. Karakteristik koloni dan struktur mikroskopik isolat cendawan endofit yang diisolasi dari akar anggrek *Vanda* sp. dan *Spathoglottis plicata*

Karakter morfologi		<i>Nigrospora</i> sp. V3.1	<i>Penicillium</i> sp. V3.3	<i>Fusarium</i> sp. S1.1	<i>Fusarium</i> sp. S2.1
Pigmentasi koloni pada medium PSA	Permukaan atas	Putih ketika muda dan menghasilkan konidia berwarna coklat hingga hitam	Abu-abu kehijauan dan tepi putih	Putih	Putih
	Permukaan bawah	Putih dengan gradasi coklat hingga hitam	Putih	Putih kecoklatan	Putih
Miselium		Septat dan hialin	Septat dan hialin	Septat dan hialin	Septat dan hialin
Miselium aerial		Ada	Tidak ada	Ada	Ada
Konidia	Bentuk	<i>Globose</i>	<i>Globose</i>	Makrokonidia: melengkung Mikrokonidia: <i>ovoid</i> atau sedikit melengkung	Makrokonidia: melengkung Mikrokonidia: <i>ovoid</i> atau sedikit melengkung
	Septa	Aseptat	Aseptat	Makrokonidia: 2-4 Mirokonidia: 0-1	Makrokonidia: 2-4 Mirokonidia: 0-1
	Ukuran (μm)	Diameter 12,5-13,46	Diameter 2,83-3,41	Makrokonidia: panjang 21,87 – 22,41 × lebar 3,70 – 4,32 Mikrokonidia: panjang 12,20 – 16,32 × lebar 3,70 – 3,83	Makrokonidia: panjang 30,31 – 32,28 × lebar 4,21 – 5,49 Mikrokonidia: panjang 13,21 – 13,51 × lebar 4,26 – 4,54
Klamidospora		Tidak terbentuk	Tidak terbentuk	Tidak terbentuk	Bentuk <i>globose</i> , terletak di bagian terminal dan interkalar, hialin Diameter (μm): 5,46-6,58
Inang		<i>Vanda</i> sp.	<i>Vanda</i> sp.	<i>Spathoglottis plicata</i>	<i>Spathoglottis plicata</i>

dalam penelitian ini berbeda. Pada akar *Vanda* sp. diperoleh cendawan dari genus *Nigrospora* dan *Penicillium*. Adapun pada anggrek *S. plicata*, kedua isolat cendawan yang diperoleh berasal dari genus *Fusarium*.

Cendawan *Nigrospora* sebelumnya telah dilaporkan sebagai cendawan endofit yang mengkolonisasi akar anggrek *Dendrobium hercoglossum* asal Thailand (Sour *et al.* 2015), akar anggrek terestrial *Cymbidium goeringii* dan *C. faberi* asal China (Yu *et al.* 2015), serta bunga anggrek *Geodorum densiflorum* asal Indonesia (Rahayu *et al.* 2021). Cendawan *Nigrospora* yang diperoleh pada penelitian bersesuaian dengan laporan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa *Nigrospora* memiliki ciri koloni berwarna putih ketika muda dan seiring pertumbuhannya menghasilkan konidia berwarna coklat hingga hitam. Konidiofor bercabang, berdinding halus, hialin hingga kecoklatan. Sel konidiogen monoblastik, hialin, berbentuk ampulliform hingga *subspherical*. Konidia aseptat dan berwarna gelap (Webster 1952). Konidiofor pendek dan umumnya sederhana. Konidia hitam dan tersusun atas satu sel. Konidia berbentuk *globose* (Barnett & Hunter 1972).

Adapun cendawan *Penicillium* ialah cendawan yang dilaporkan memiliki kisaran inang luas. *Penicillium* merupakan cendawan kosmopolitan yang dapat ditemukan di berbagai ekosistem, termasuk udara, tanah, dan habitat ekstrem seperti cekaman air, suhu, pH, serta salinitas (Sahoo & Gupta 2018; Yadav *et al.* 2018). *Penicillium* umumnya memiliki konidiofor *biverticillate* yang memiliki percabangan simetris. Akan tetapi pada beberapa spesies *Penicillium* memiliki cabang tambahan yang memiliki pola percabangan seperti cabang utama dan *monoverticillate*. Konidia umumnya berukuran 2-3 µm dengan permukaan beragam (halus hingga kasar) (Houbraken *et al.* 2011). Konidia hialin, berbentuk *globose* atau *subglobose* (Barnett dan Hunter 1972; Visagie *et al.* 2014). Cendawan *Penicillium* dilaporkan mengkolonisasi akar anggrek *Phalaenopsis amabilis*, *Diposium brevilabium*, dan *Aeris odorata* asal Indonesia (Michael *et al.* 2023). Selain itu, cendawan *Penicillium* sp. juga telah dilaporkan terdapat pada akar dan daun anggrek dari genus yang sama dengan sampel penelitian ini, yaitu *Vanda testacea* asal India (Sudheep & Sridhar 2012).

Berbeda dengan cendawan endofit yang ditemukan pada anggrek *Vanda* sp., cendawan endofit yang ditemukan pada akar *S. plicata* berasal dari genus *Fusarium*. Penelitian sebelumnya melaporkan keberadaan *Fusarium* sp. pada akar dan daun anggrek *Vanda testacea* dan akar *Bulbophyllum neilgherense* (Sudheep & Sridhar 2012). *Fusarium* merupakan cendawan simbiosis yang memiliki kisaran inang

luas dan dilaporkan mengkolonisasi sebagian besar spesies anggrek, termasuk anggrek tanah dan epifit. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa *Fusarium* ditemukan pada anggrek *Stanhopea tigrina*, *Cymbidium aloifolium*, *Dendrobium longicornu* Lindl. (Salazar *et al.* 2020), *Phaius tankervilleae* (Banks) Blume, *Calanthe triplicata* (Willemet) Ames, *Vanda tricolor* Lindl., *Cymbidium finlaysonianum* Lindl. (Sukarno *et al.* 2023), *Dipodium brevilabium*, dan *Vanilla planifolia* (Michael *et al.* 2023).

Keanekaragaman cendawan endofit pada jaringan dan spesies anggrek yang berbeda dapat dipengaruhi oleh afinitas cendawan terhadap kondisi mikrohabitat yang khas dari setiap jaringan dan spesies tanaman inang (Salazar *et al.* 2020), sebaliknya setiap spesies anggrek sebagai inang juga memiliki preferensi terhadap kelompok cendawan tertentu untuk dapat saling berasosiasi (Wang *et al.* 2022). Interaksi genotip-genotip antara cendawan endofit dan tanaman inang dapat mendukung terjadinya asosiasi spesifik cendawan endofit pada tanaman inangnya (Saikkonen 2007). Spesialisasi cendawan endofit tersebut merupakan proses adaptasi yang dapat mengarah pada pembatasan niche cendawan dan sangat bervariasi bergantung pada interaksi kompleks yang melibatkan faktor internal dan eksternal tanaman inang, seperti resistensi tanaman inang, proses ko-evolusi, adanya kompetisi dan parasitisme, serta kondisi lingkungan habitat tanaman inang (Materatski *et al.* 2019). Perbedaan spesifisitas cendawan endofit terhadap jaringan juga berkaitan dengan kondisi mikrohabitat yang berbeda pada jaringan serta spesies dari tanaman inang (Li *et al.* 2016) yang kemudian mendorong terjadinya seleksi kelompok spesies cendawan tertentu yang dapat berasosiasi pada tanaman tersebut (dos Reis *et al.* 2022).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Karantina Pertanian (BKP) Kelas I Banjarmasin, Kalimantan Selatan dan Balai Karantina Pertanian (BKP) Kelas II Kendari, Sulawesi Tenggara yang telah memberikan izin untuk pengambilan dan pengiriman sampel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ai YY, Liu Q, Hu HX, Shen T, Mo YX, Wu XF, Li JL, Dossa GGO, Song L. 2023. Terrestrial and epiphytic orchids exhibit different diversity and distribution patterns along an elevation gradient of Mt. Victoria, Myanmar. *Glob Ecol Conserv* 42:e02408. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02408>
- Barnett HL, Hunter BB. 1972. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Volume ke-64. Minneapolis (US): Burgess Publishing Company.
- Bayman P, Otero T. 2006. Microbial endophyte of orchid roots in: Soil Biology. Berlin (DE): Springer-Verlag.

- Dearnaley JDW. 2007. Further advances in orchid mycorrhizal research. *Mycorrhiza* 17:475-486. DOI:10.1007/s00572-007-0138-1
- dos Reis JBA, Lorenzi AS, do Vale HMM. 2022. Methods used for the study of endophytic fungi: a review on methodologies and challenges, and associated tips. *Arch Microbiol* 204:1-30. DOI:10.1007/s00203-022-03283-0
- Gardiner LM, Kocyan A, Motes M, Roberts DL, Emerson BC. 2013. Molecular phylogenetics of *Vanda* and related genera (Orchidaceae). *Bot J Linn Soc* 173:549-572. DOI:10.1111/boj.12102
- Ginibun FC, Arens P, Vosman B, Bhassu S, Khalid N, Othman RY. 2018. Genetic diversity of endangered terrestrial orchids *Spathoglottis plicata* in Peninsular Malaysia based on AFLP markers. *POJ* 11:135-144.
- Gundale MJ, Almeida JP, Wallander H, Wardle DA, Kardol P, Nilsson MC, Fajardo A, Pauchard A, Peltzer DA, Ruotsalainen S. 2016. Differences in endophyte communities of introduced trees depend on the phylogenetic relatedness of the receiving forest. *J Ecol* 104:1219-1232. DOI:10.1111/1365-2745.12595
- Hariyanto S, Pratiwi IA, Utami ESW. 2020. Seed morphometry of native Indonesian orchids in the genus *Dendrobium*. *Scientifica* 2020:1-14. DOI:10.1155/2020/3986369
- Houbraken J, Frisvad JC, Samson RA. 2011. Taxonomy of *Penicillium* section Citrina. *Stud Mycol* 70:53-138. DOI:10.3114/sim.2011.70.02
- IUCN 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-1. Tersedia di: <https://www.iucnredlist.org>. [Tanggal diakses: 2 Desember 2024]
- Khan H, Marya, Belwal T, Mohd Tariq, Atanasov AG, Devkota HP. 2019. Genus *Vanda*: a review on traditional uses, bioactive chemical constituents and pharmacological activities. *J Ethnopharmacol* 229:46-53. DOI:10.1016/j.jep.2018.09.031
- Khare E, Mishra J, Arora NK. 2018. Multifaceted interactions between endophytes and plant: developments and prospects. *Front Microbiol* 9:1-12. DOI:10.3389/fmicb.2018.02732
- Li P, Wu Z, Liu T, Wang Y. 2016. Biodiversity, phylogeny, and antifungal functions of endophytic fungi associated with *Zanthoxylum bungeanum*. *Int J Mol Sci* 17: 1541. DOI:10.3390/ijms17091541
- Mahmud SMN, Sohrab MH, Begum MN, Rony SR, Sharmin S, Moni F, Akhter S, Mohiuddin AKM, Afroz F. 2020. Cytotoxicity, antioxidant, antimicrobial studies and phytochemical screening of endophytic fungi isolated from *Justicia gendarussa*. *Ann Agric Sci* 65:225-232. DOI:10.1016/j.aos.2020.12.003
- Materatski P, Varanda C, Carvalho T, Dias AB, Campos MD, Rei F, Félix M do R. 2019. Spatial and temporal variation of fungal endophytic richness and diversity associated to the phyllosphere of olive cultivars. *Fungal Biol* 123:66-76. DOI:10.1016/j.funbio.2018.11.004
- Michael, Sukarno N, Mursidawati S, Sandra E, Rahayu ND. 2023. Identifikasi cendawan endofit akar epifit dan hemiepifit. *JSDH* 9:152-163.
- Naik S, Shaanker RU, Ravikanth G, Dayanandan S. 2019. How and why do endophytes produce plant secondary metabolites? *Symbiosis* 78:193-201. DOI:10.1007/s13199-019-00614-6
- Parthibhan S, Ramasubbu R. 2020. Mycorrhizal and endophytic fungal association in *Paphiopedilum druryi* (Bedd.) Stein a strict endemic and critically endangered orchid of the Western Ghats. *Ecol Genet Genomics* 16:1-7. DOI:10.1016/j.egg.2020.100059
- Riddle RW. 1950. Permanent stained mycological preparations obtained by slide culture. *Mycologia* 42:265-270.
- Rahayu ND, Sukarno N, Listiyowati S, Rafi M, Mursidawati S, Sandra E. 2021. Flower endophytic fungi of *Geodorum densiflorum* endangered orchid. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 948:012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/948/1/012037>
- Sahoo H, Gupta N. 2018. Diversity of endophytic phosphate solubilising fungi associated with *Pomatocalpa decipiens* (Lindl.) J.J. Smith – an endangered orchid in Barbara forest of Odisha, India. *Stud Fungi* 3:84-99.
- Saikkonen K. 2007. Forest structure and fungal endophytes. *Fungal Biol Rev* 21:67-74. DOI:10.1016/j.fbr.2007.05.001
- Salazar JM, Pomavilla M, Pollard AT, Chicca EJ, Peña DF. 2020. Endophytic fungi associated with roots of epiphytic orchids in two andean forests in Southern Ecuador and their role in germination. *Lankesteriana* 20:37-47.
- Sandrasagaran UM, Subramaniam S, Murugaiyah V. 2014. New perspective of *Dendrobium crumenatum* orchid for antimicrobial activity against selected pathogenic bacteria. *Pakistan J Bot* 46:719-724.
- Sarsaiya S, Shi J, Chen J. 2019. A comprehensive review on fungal endophytes and its dynamics on *Orchidaceae* plants: current research, challenges, and future possibilities. *Bioengineered* 10:316-334. DOI:10.1080/21655979.2019.1644854
- Sour V, Phonpho S, Soyong K. 2015. Isolation of endophytic fungi from some orchid varieties. *J Agri Tech* 11:1243-1254.
- Sopalun K, Iamtham S. 2020. Isolation and screening of extracellular enzymatic activity of endophytic fungi isolated from Thai orchids. *South African J Bot* 134:273-279. doi:10.1016/j.sajb.2020.02.005
- Sudheep NM, Sridhar KR. 2012. Non-mycorrhizal fungal endophytes in two orchids of Kaiga forest (Western Ghats), India. *J. For. Res* 23:453-460. <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0284-y>
- Sukarno N, Mursidawati S, Listiyowati S, Nugraha NH, Fadillah WN, Waite M. 2023. Root associated *Fusarium solani* species Complex (FSSC) in epiphytic and terrestrial orchids. *Biodiversitas* 24:2577-2586.
- Visage CM, Houbraken J, Frisvad JC, Hong SB, Klaassen CHW, Perrone G, Seifert KA, Varga J, Yaguchi T, Samson RA. 2014. Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Stud Mycol* 78:343-371. DOI:10.1016/j.simyco.2014.09.001
- Wang R, Zhang Qingchen, Ju M, Yan S, Zhang Qiangqiang, Gu P. 2022. The endophytic fungi diversity, community structure, and ecological function prediction of *Sophora alopecuroides* in Ningxia, China. *Microorganisms* 10:1-18. DOI:10.3390/microorganisms10112099
- Webster J. 1952. Spore Projection in the Hyphomycete *Nigrospora sphaerica*. *New Phytol* 51:229-235. DOI:10.1111/j.1469-8137.1952.tb06129.x
- Wu LS, Dong WG, Si JP, Liu JJ, Zhu YQ. 2020. Endophytic fungi, host genotype, and their interaction influence the growth and production of key chemical components of *Dendrobium catenatum*. *Fungi Biol* 124:864-876. DOI:10.1016/j.funbio.2020.07.002
- Yadav AN, Verma P, Kumar V, Sangwan P, Mishra S, Panjiar N, Gupta VK, Saxena AK. 2018. Biodiversity of the Genus *Penicillium* in Different Habitats. Sirmour (IN): Elsevier.
- Yan L, Zhu J, Zhao X, Shi J, Jiang C, Shao D. 2019. Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. *Appl Microbiol Biotechnol* 103:3327-3340. DOI:10.1007/s00253-019-09713-2
- Yu Y, Cui YH, Hsiang T, Zeng ZQ, Yu ZH. 2015. Isolation and identification of endophytes from roots of *Cymbidium goeringii* and *Cymbidium faberi* (Orchidaceae). *Nova Hedwigia* 101:57-64.