

Characterization of Fern Spores in the Treehouse Ecotourism Area of Waai Village, Central Maluku

Adriana Hakapaa¹, Thalia Sahureka², Philia C. Latue³, Hermalina Sinay^{4*}

¹Mahasiswa Magister Pendidikan Biologi, Program Pasca Sarjana Universitas Pattimura, Ambon Indonesia;

²Program Sarjana Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Pattimura, Ambon Indonesia;

³Laboratorium Biologi Dasar, Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Pattimura, Ambon Indonesia;

³Program Studi Magister Pendidikan Biologi, Program Pasca Sarjana Universitas Pattimura, Ambon Indonesia;

Article History

Received : February 23th, 2026

Revised : April 21th, 2026

Accepted : May 01th, 2026

*Corresponding Author:

Hermalina Sinay, Program Studi Magister Pendidikan Biologi, Program Pasca Sarjana Universitas Pattimura, Ambon Indonesia;

Email: elinbio08@gmail.com

Abstract: Ferns (Pteridophyta) are vascular plants possessing true roots, stems, and leaves, and they reproduce by spores, whose morphological characteristics constitute critical diagnostic features for taxonomic identification. The Treehouse Ecotourism Area of Waai Village harbors significant fern diversity that is increasingly threatened, rendering spore characterization an essential approach for conservation, species identification, and the advancement of scientific research as well as ecotourism development. The aim of this study was to examine the characteristics of fern spores found in the Tree houses ecotourism area, Waai Village, Central Maluku, as a contribution to conservation efforts, ecotourism education, and the enrichment of fern micromorphological references in Maluku. The research was conducted using an exploratory survey method along an approximately 20-km trail from the entrance gate to the tourism site. Fern leaf samples were collected to observe soral and spore structures using whole-mount preparations, followed by acetolysis, washing, staining, and mounting procedures. Characterization was carried out microscopically, focusing on sorus form, position, and color, as well as spore morphology, including grain shape and aperture type. The results revealed nine spore-bearing fern species: *Pteris vittata*, *Cyclosorus interruptus*, *Pteridium aquilinum*, *Blechnopsis orientalis*, *Sticherus underwoodianus*, *Nephrolepis exaltata*, *Lygodium microphyllum*, *Lygodium flexuosum*, and *Pityrogramma calomelanos*. The observed soral characters varied from linear, laminar, and granular to powdery forms, and were located either abaxially or adaxially. Spore shapes included oval, round, and triangular forms, with both monolete and trilete laesura types. This variation in soral and spore characteristics provides a basis for the taxonomic identification of ferns and supports further studies in biogeography and phylogenetics.

Keywords: Characterization; Spore; Soral; Pteridophytes, Tree House ecotourism area, Waai Village.

Pendahuluan

Tumbuhan Paku-pakuan (Pteridophyta) merupakan kelompok tumbuhan yang telah memiliki akar, batang, dan daun sejati, sehingga diklasifikasikan sebagai tumbuhan berkormus (*Cormophyta*) (Ulfa *et al.*, 2023).

Selain struktur organ yang lengkap, tumbuhan paku juga memiliki sistem pembuluh angkut (vaskuler) yang berkembang baik, sehingga digolongkan ke dalam kelompok tumbuhan berpembuluh (*Tracheophyta*) (Nitta *et al.*, 2022). Segi keberadaan alat reproduksi, tumbuhan paku masih tergolong tumbuhan

tingkat rendah (*Cryptogamae*). Hal ini dikarenakan paku-pakuan tidak menghasilkan bunga atau biji, melainkan berkembang biak menggunakan spora, sehingga lebih dikenal sebagai kormofita berspora (Ulfa *et al.*, 2023; Windari *et al.*, 2021).

Spora memegang peranan krusial sebagai awal fase gametofit dalam siklus hidup paku-pakuan. Spora dibentuk di dalam kotak spora (*sporangium*) yang biasanya berkumpul membentuk sorus (Pranita *et al.*, 2017). Secara taksonomi, karakteristik morfologi spora merupakan ciri diagnostik yang penting dalam identifikasi spesies. Menurut Szkudlarz *et al.*, (2024), perbedaan bentuk, ukuran, dan tipe apertura (celah) spora dapat menjadi pembeda antar taksa. Penelitian Sofiyanti *et al.*, (2020) dan Nurchayati (2016) membuktikan bahwa variasi tipe apertura seperti *monolete* dan *trilete*, serta bentuk spora yang beragam (bulat, ginjal, elips, segitiga), sangat efektif untuk membedakan spesies paku di berbagai kawasan hutan di Indonesia.

Salah satu wilayah di Maluku yang memiliki potensi keragaman paku-pakuan, namun belum dieksplorasi secara mikromorfologi, adalah Kawasan Wisata Rumah Pohon di Desa Waai, Kabupaten Maluku Tengah. Berada pada ketinggian 750 mdpl, kawasan ini memiliki mosaik habitat berupa hutan sekunder dan kebun campuran yang mendukung pertumbuhan paku terestrial maupun epifit. Namun, keberadaan komunitas ini semakin terancam akibat konversi lahan menjadi permukiman, penebangan pohon, serta perubahan iklim ekstrem yang mengurangi kelembaban habitat alami paku.

Upaya konservasi dan pendataan biodiversitas lokal, karakterisasi spora menjadi langkah penting. Studi mikromorfologi spora tidak hanya menyediakan data identifikasi yang akurat, tetapi juga menambah referensi taksonomi (Lestari *et al.*, 2024; Luckita *et al.*, 2021; Faizzal *et al.*, 2024), khususnya bagi flora Maluku yang belum terdeskripsikan sepenuhnya. Selain itu, data ini dapat mendukung pengembangan edukasi ekowisata serta memberikan kontribusi pada studi biogeografi dan filogenetik. Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendeskripsikan

karakteristik spora tumbuhan paku di kawasan wisata Rumah Pohon Desa Waai.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di kawasan wisata Rumah Pohon Desa Waai Kecamatan Salahutu Kabupaten Maluku Tengah pada bulan Juni sampai Agustus 2025. Populasi dalam penelitian adalah semua jenis tumbuhan paku yang berada di lokasi penelitian, sedangkan sampel adalah jenis tumbuhan paku yang ditemukan di sepanjang jalur jelajah. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah pengampilan sampel bertujuan (*purposive sampling*) dengan metode eksplorasi survei jelajah (*exploratory survey*) dimulai dari jalan masuk sampai ke kawasan wisata rumah pohon. Setiap tanaman paku yang ditemukan di sepanjang jalur jelajah (*tracking*) dikoleksi daunnya untuk diamati sorus dan sporanya. Sorus yang mengandung spora diambil dari permukaan daun dan disimpan dalam plastik *ziplock* dan dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut. Prosedur penelitian meliputi koleksi sampel, dan pembuatan sediaan anatomis spora berdasarkan metode dari Riding (2021) yaitu metode sediaan utuh tanpa melalui pengirisan (*whole mount*), yang dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

Asetolisis

Spora yang telah difiksasi, disentrifugasi pada kecepatan 2000 rpm selama 30 menit. Pada tahap ini akan diperoleh supernatan dan pelet. Supernatan dibuang sedangkan peletnya tetap dipertahankan dalam tabung. Pelet yang ada di dasar tabung kemudian ditambah dengan campuran asam asetat glasial dan asam sulfat dengan perbandingan 9:1 sebanyak 1 mL. Penambahan larutan tersebut bertujuan untuk melisiskan selulosa pada dinding sel kotak spora (asetolisis). Penambahan larutan kemudian diikuti dengan pemanasan campuran larutan tersebut di dalam penangas air (*waterbath*) selama 10 menit yang bertujuan untuk mempercepat terjadinya lisis dinding sel pada kotak spora. Setelah pemanasan, sampel dalam tabung didinginkan selama 15 menit kemudian disentrifugasi kembali pada kecepatan 2000 rpm selama 30 menit. Supernatan yang terbentuk setelah proses sentrifugasi dibuang dan dilakukan proses pencucian (*cleaning*).

Pencucian (*Cleaning*)

Pencucian spora dilakukan dengan menambahkan akuades ke dalam tabung reaksi berisi sampel, kemudian disentrifugasi pada 3000 rpm selama 10 menit. Proses ini diulang sebanyak tiga kali dengan durasi yang sama untuk menghasilkan spora yang bersih dan bebas dari sisa fiksatif (Vega, 1992).

Pewarnaan (*Staining*)

Tujuan dari pewarnaan adalah untuk meningkatkan kontras warna, dan memperjelas bentuk ornamen dinding spora, sehingga memudahkan dalam pengamatan di bawah mikroskop. Pewarnaan menggunakan safranin (1% dalam alkohol 90%) selama 1 menit. Untuk menghilangkan sisa zat pewarna dilakukan pembilasan dengan aquades sebanyak dua kali (Riding, 2021).

Penempelan (*Mounting*)

Setelah pewarnaan, dilanjutkan dengan penempelan (*mounting*). Penempelan dilakukan dengan meletakkan sampel spora di atas kaca objek yang telah ditetesi gliserin, kemudian ditutup dengan kaca penutup dan dibagian tepinya diolesi dengan kuteks. Pemberian kuteks bertujuan untuk merekatkan gelas penutup pada gelas benda.

Pengamatan

Pengamatan karakteristik anatomis spora dilakukan menggunakan mikroskop Olympus pada pembesaran 400 kali. Variabel yang diamati berupa bentuk kotak spora, bentuk butir spora, dan tipe aperture pada butir spora. Selain itu pengamatan morfologis juga dilakukan terhadap sorus yang meliputi letak sorus pada permukaan daun (abaksial, adaksial), warna, dan bentuk sorus. Data yang diperoleh dari hasil pengamatan disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel dan gambar.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan terhadap tumbuhan paku di kawasan wisata Desa Waai dilakukan terhadap 9 jenis tumbuhan paku (Gambar 1). Identifikasi untuk mengetahui nama jenis kesembilan jenis tumbuhan paku dilakukan dengan menggunakan aplikasi *picturethis*. Setelah itu dilakukan pengecekan ulang terhadap

jenis yang sudah diketahui dengan membandingkan hasil yang sudah diperoleh dengan beberapa referensi secara *online* yang dapat ditelusuri pada situs *Newyork Botanical Gardens* (<https://www.nybg.org>) *Australian Tropical Ferns and Lycophytes*, (<https://apps.lucidcentral.org/ferns/text/intro/index.html>) dan *Herbari Virtual del Medditerania* (<https://apps.lucidcentral.org/>).



Gambar 1. Morfologi tumbuhan paku yang ditemukan di Kawasan Wisata Rumah Pohon Desa Waai (Dokumentasi penelitian)

Pengamatan terhadap spora tumbuhan paku dilakukan secara morfologis dengan membandingkan hasil dokumentasi penelitian dengan sejumlah referensi. Identifikasi spora ini bermanfaat untuk memastikan kevalidan atau tingkat ketepatan dalam mengidentifikasi jenis tumbuhan paku yang diteliti (Gambar 2 – 10).



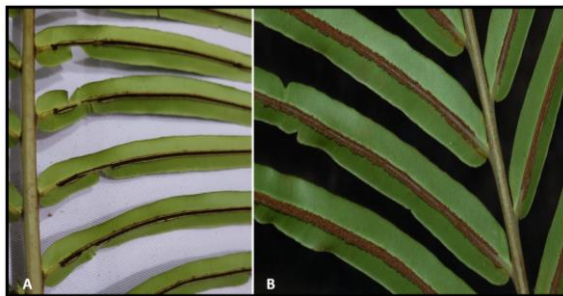
Gambar 2. Morfologi sorus *P. vittata*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (<https://apps.lucidcentral.org/ferns/text/intro/index.html>)



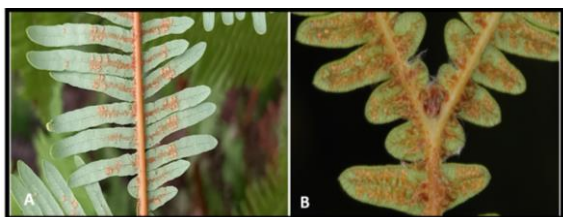
Gambar 3. Morfologi sorus *C. interruptus*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (Dairy Farm Nature Park. (https://www.natureloveyou.sg/Plant%20Story/Nature%20Walk_DFNP_1201.html))



Gambar 4. Morfologi sorus *P. aquilinum*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (Lubenski, 2024)



Gambar 5. Morfologi sorus *Blechnopsis orientalis*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (<https://www.nparks.gov.sg/florafaunaweb/flora/5/5/5542>)



Gambar 6. Morfologi sorus *S. underwoodianus*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (<https://www.fernsoftheworld.com/2014/06/30/stichurus-underwoodianus/>)



Gambar 7. Morfologi sorus *Nephrolepis exaltata*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (<https://www.istockphoto.com/id/foto/bidikan-close-up-daun-pakis-yang-indah-dengan-spora-gm1398353118-452523697>)



Gambar 8. Morfologi sorus *Lygodium microphyllum*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (Wunderlin *et al.*, 2024)



Gambar 9. Morfologi sorus *L. flexuosum*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (Royal Botanic Gardens. 2024. Plant of the world online. (<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:17142930-1>)



Gambar 10. Morfologi sorus *P. calomelanos*. (A) Dokumentasi penelitian, (B) Hasil telusuran referensi (<https://tropical.theferns.info/image.php?id=>)

Tumbuhan paku adalah tumbuhan *Cryptogamae* yaitu tumbuhan yang alat reproduksinya tidak jelas kelihatan. Tumbuhan ini tidak memiliki alat reproduksi yang nampak kelihatan seperti tumbuhan berbunga pada umumnya. Alat perkembang biakan atau alat reproduksi tersebut adalah berupa spora. Spora adalah alat reproduksi seksual pada tumbuh-tumbuhan seperti lumut, dan paku-pakuan. Spora umumnya berukuran kecil (mikroskopis), dan uniseluler. Spora tumbuhan paku dibentuk dalam kotak spora yang disebut sporangium.

Sporangium tumbuh berkelompok dan tersusun dalam suatu kumpulan yang disebut sorus (Munir *et al.* 2024).

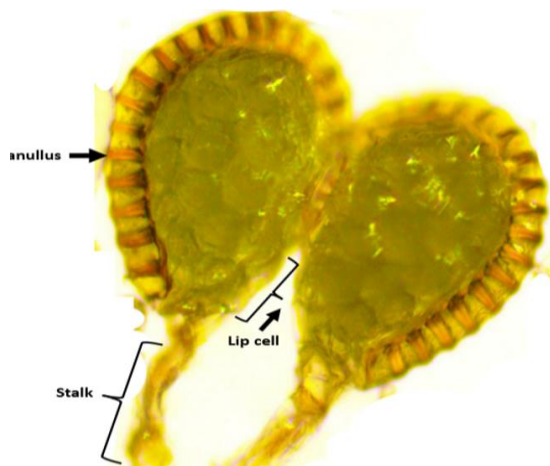
Setelah dilakukan identifikasi tumbuhan paku berdasarkan pada sorusnya, kemudian dilakukan karakterisasi sorus dan butir spora tumbuhan paku-pakuan di kawasan wisata Rumah Pohon Desa Waai yang meliputi letak sorus pada daun, bentuk sorus, warna sorus, bentuk kotak spora, bentuk butir spora, dan tipe aperture terhadap 9 jenis tumbuhan paku sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil karakterisasi sorus dan butir spora 9 jenis tumbuhan paku di kawasan Wisata Desa Waai

No.	Nama jenis tumbuhan paku	Hasil karakterisasi sorus dan butir spora					
		Letak sorus pada daun	Bentuk sorus	Warna sorus	Bentuk kotak spora	Bentuk butir spora	Tipe aperture
1.	<i>P. vittata</i>	Sepanjang tepi Permukaan bawah daun/abaksial	Garis/linier memanjang	Kuning	Oval	Triangular	<i>Trilete</i>
2.	<i>C. interruptus</i>	Setiap lekukan permukaan bawah daun/abaksial	Garis berlekuk-lekuk	Cokelat	Oval	Oval	<i>Monolete</i>
3.	<i>P. aquilinum</i>	Setiap lekukan permukaan bawah daun/abaksial	Garis berlekuk-lekuk	Cokelat	Oval	Bulat	<i>Monolete</i>
4.	<i>B. orientalis</i>	Tengah-tengah ibu tulang, Permukaan bawah daun/abaksial	Garis/liner memanjang	hitam	Oval	Oval	<i>Monolete</i>
5.	<i>S. underwoodianus</i>	Pangkal sampai ke tengah permukaan bawah daun/abaksial	Lempengan	Orange	Oval	Bulat	<i>Monolete</i>
6.	<i>N. exaltata</i>	Tepi permukaan bawah daun/abaksial	Butiran	Cokelat	Oval	Oval	<i>Monolete</i>
7.	<i>L. microphyllum</i>	Bergerombol pada tepi daun yang serupa jari-jari pada permukaan atas daun/adaksial	Sisik	hijau	Oval	Trianguler	<i>Trilete</i>
8.	<i>L. flexuosum</i>	Bergerombol pada tepi daun yang serupa jari-jari pada permukaan atas daun/adaksial	Sisik	hijau	Oval	Trianguler	<i>Trilete</i>
9.	<i>P. calomelanos</i>	Tersebar semua permukaan bawah daun/abaksial	Serbuk	Putih	Oval	Trianguler	<i>Trilete</i>

Struktur kotak spora (sporangium) tumbuhan paku yang diteliti dalam penelitian ini secara umum tidak bervariasi. Umumnya, kotak spora memiliki

bentuk oval yang terdiri dari tiga bagian yaitu *anullus*, *lip cell* dan tangkai kotak spora (*stalk*) (Gambar 11).



Gambar 11. Struktur anatomi kotak spora (sporangium) tumbuhan paku dari kawasan Wisata Rumah Pohon Desa Waai (Dokumentasi penelitian)

Menurut Yang *et al.* (2022), *anullus* adalah satu deret sel khusus pada dinding sporangium yang biasanya membentuk cincin, pita, atau sabuk melingkar atau melintang pada dinding sporangium tumbuhan paku. Struktur ini mudah dikenali karena dinding selnya menunjukkan penebalan yang tidak merata atau tebal pada satu sisi (biasanya dinding radial/basal) sehingga memberi sifat mekanik berbeda antar sisi sel (D'Ario *et al.*, 2024). Saat sporangium matang, sporangium mengalami desikasi (mengering), *anullus* menyimpan energi elastis karena dinding yang menegang, kemudian pada titik tertentu tegangan internal dan kohesi cairan di dalam sel *anullus* terlepas, menyebabkan sporangium pecah (*dehiscence*) dan mendorong spora keluar dari sporangium (D'Ario *et al.*, 2024).

Sel Bibir atau stomium (*lip cell*) adalah sel-sel khusus yang terdapat tepat di seberang *anullus* pada sporangium. Fungsi utama sel bibir adalah sebagai titik awal pecahnya sporangium. Mekanisme pelepasan spora ini sangat bergantung pada interaksi antara *anullus* dan sel bibir. Prosesnya terjadi dalam beberapa langkah yaitu pengeringan dan kontraksi, terjadi saat spora di dalam sporangium matang, air mulai menguap dari sel-sel anulus. Penguapan ini menciptakan tekanan negatif (tegangan) yang sangat tinggi di dalam sel-sel anulus. Kemudian diikuti oleh peregangan dan pecahnya sporangium. Tekanan negatif ini menyebabkan sel-sel anulus mengerut seperti pegas, sehingga menimbulkan ketegangan mekanis pada seluruh

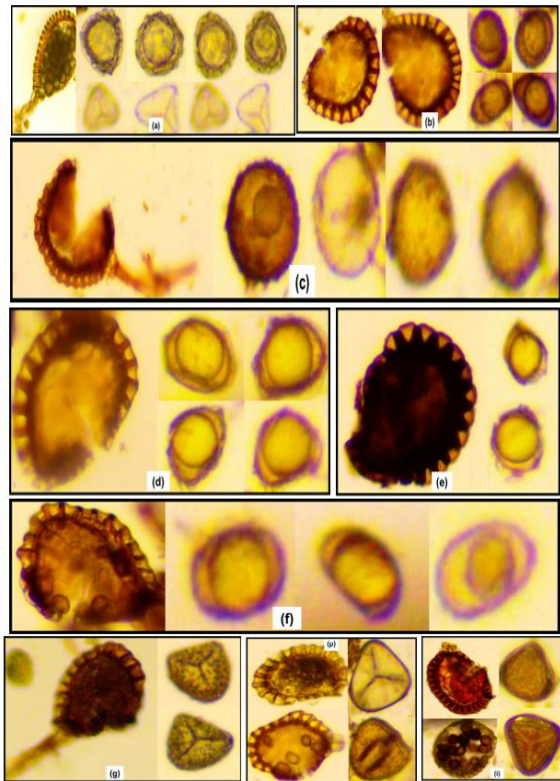
dinding sporangium. Ketika tegangan mencapai ambang batas, dinding sporangium akan pecah di bagian sel bibir yang berdinding tipis, dan diikuti oleh pelepasan spora. Setelah sporangium pecah, *anullus* akan tertarik ke belakang (*evert*), secara eksplosif melontarkan spora ke udara. Mekanisme ini memastikan spora tersebar jauh dari tumbuhan induk untuk mencari habitat baru (Noblin *et al.*, 2012; Llorens *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2022).

Selain *anullus* dan sel bibir, bagian lain dari struktur sporangium adalah tangkai sporangium (*stalk*). Tangkai sporangium pada paku-pakuan menempatkan kapsul/sporangium pada bagian yang paling menonjol dari sorus/koloni sporangium, sehingga spora yang dilepas lebih mudah tertangkap angin atau dipindahkan oleh agen lain. Fungsi lain dari tangkai sporangium adalah untuk memberi dukungan mekanik dan penentuan arah dehiscensi (cara/arah terbukanya sporangium), memungkinkan mekanisme pelepasan spora yang khas, dan juga sebagai saluran pengangkutan nutrisi serta mendukung perkembangan sporangium (Llorens *et al.*, 2016; He *et al.*, 2023).

Spora berbentuk butiran terdapat di dalam sporangium. Hasil pengamatan struktur anatomis spora tumbuhan paku di Kawasan Wisata Rumah Pohon, Desa Waai, menunjukkan adanya variasi (Gambar 12). Hal ini sesuai dengan pendapat Vaganov (2022) yang menyatakan bahwa spora tumbuhan paku menunjukkan variasi morfologi yang khas. Bentuk butiran spora umumnya tetrahedral yakni hasil pemisahan tetrad, tetapi ada juga yang berbentuk bulat, elips atau bilateral tergantung takson. Ciri penting pada dinding spora adalah apertura (atau garis/selubung germinal). Hasil pengamatan bentuk-bentuk butiran spora tumbuhan paku di Kawasan Wisata Rumah Pohon Desa Waai menunjukkan bahwa spora pada tumbuhan paku di kawasan ini memiliki bentuk butiran spora bervariasi yaitu bulat, oval dan trianguler, dengan tipe apertura *monolete* dan *trilete* (Gambar 12).

Pranita dkk. (2017) menyatakan bahwa dinding butiran spora tumbuhan paku secara umum tersusun atas dua lapisan utama, yaitu eksin sebagai lapisan luar dan intin sebagai lapisan dalam. Kedua lapisan ini bersama-sama membentuk struktur pelindung sporoderm serta berperan penting dalam ketahanan dan proses perkecambahan spora (Xi-

Ling *et al.*, 2020). Daerah eksin yang terbuka dan tipis yang disebut apertura.



Gambar 12. Morfologis kotak spora dan butir spora 9 jenis tumbuhan paku dari Kawasan Wisata Rumah Pohon Desa Waai. Keterangan: (a) *P. vittata*, (b) *C. interruptus*, (c) *P. aquilinum*, (d) *B. orientalis*, (e) *S. underwoodianus*, (f) *N. exaltata*, (g) *L. microphyllum*, (h) *L. flexuosum* dan (i) *P. calomelanos*. Sumber: Dokumentasi penelitian

Menurut Renzaglia *et al.*, (2023) struktur apertura lebih fleksibel dibandingkan bagian eksin lainnya, dan berfungsi tidak hanya sebagai zona germinasi, tetapi juga sebagai jalan masuknya air ke dalam butir spora. Menurut Nowak *et al.* (2022) apertura adalah daerah pada dinding spora (sporoderm) yang tipis atau memiliki pengurangan deposisi eksin sehingga berbeda dari permukaan sekelilingnya, daerah ini berfungsi sebagai zona germinasi (tempat keluarnya protonema ketika spora berkecambah). Zenkteler (2012) menyatakan bahwa tipe apertura (saluran perkecambahan) pada spora paku-pakuan umumnya adalah *monoletate* (satu garis) atau *trilete* (tiga garis). Tipe *monoletate* umumnya terdapat pada spora berbentuk reniformis atau elipsoid, sedangkan tipe *trilete* sering dijumpai pada spora berbentuk tetrahedral. Apertura *monoletate* ditandai oleh satu garis tunggal (linear)

pada permukaan spora dan merupakan area tempat spora berkecambah (Shi *et al.*, 2022).

Spora *trilete* terdapat tiga garis radiatif membentuk huruf Y yang menunjukkan asal dari empat spora dalam tetrad. Pada spora *monoletate* apertura berbentuk garis yang menandakan pemisahan diad atau orientasi tertentu (Vaganov, 2022). Fungsi dan implikasi ekologis apertura meliputi peran germinatif (tempat dinding spora menipis/terbuka pada perkecambahan) dan sebagai karakter morfologi yang berguna untuk identifikasi taksonomi, filogenetika, serta studi paleobotani (fosil spora) (Zhou & Dobrsta, 2019). Beberapa artikel dan review terkini menunjukkan juga hubungan antara tipe apertura dan strategi dispersi/germinasi misalnya spora dengan apertura tertentu menunjukkan pola perkecambahan yang khas pada kondisi laboratorium sehingga karakter ini penting dalam studi regenerasi dan konservasi tumbuhan paku (Pedrero-Lopez *et al.*, 2021; Krieg & Chambers, 2022; Brock, 2025).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat 9 jenis tumbuhan paku dengan variasi karakter sorus dan morfologi spora, sedangkan struktur sporangium relatif seragam dengan bagian utama annulus, lip cell, dan stalk. Variasi bentuk spora yang ditemukan meliputi bulat, oval, dan triangular dengan tipe apertura *monoletate* dan *trilete* yang berfungsi sebagai zona germinasi sekaligus karakter penting dalam taksonomi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada laboran dan staf Laboratorium Biologi Dasar, Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Pattimura atas semua bantuan yang diberikan saat pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- Brock, J. M. R. (2025). Effective dispersal of fern spore and the ecological relevance of zoochory. *Biological Reviews*, 100(5), 2116–2130.
<https://doi.org/10.1111/brv.70038>
D'Ario, M., Lane, B., Fioratti Junod, M., Leslie,

- A., Mosca, G., & Smith, R. S. (2024). Hidden functional complexity in the flora of an early land ecosystem. *New Phytologist*, 241, 937–949. <https://doi.org/10.1111/nph.19379>
- Faizzal, K. N., Ajizah, A., & Rezeki, A. (2024). Keragaman jenis tumbuhan paku (Pteridophyta) di tepian Sungai Kembang Desa Aranio Kabupaten Banjar. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 15(2), 271–284. DOI: <http://dx.doi.org/10.24127/bioedukasi.v15i2.10055>
- He, Y., Bader, M. Y., Li, D., Stark, L. R., Li, X., Liu, X., Yuan, Q., Guo, S., Fang, Z., & Wang, Z. (2023). Relationships among sporophytic and gametophytic traits of 27 subtropical montane moss species. *American Journal of Botany*, 110(12). <https://doi.org/10.1002/ajb2.16252>
- Krieg, C. P., & Chambers, S. M. (2022). The ecology and physiology of fern gametophytes: A methodological synthesis. *Applications in Plant Sciences*, 10(2), e11464. <https://doi.org/10.1002/aps3.11464>
- Lestari, I., Murningsih, M., & Utami, S. (2020). The diversity of fern in Petungkriyono mixed forest Pekalongan, Central Java. *Journal of Physics: Conference Series*, 1524, 012141. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1524/1/012141>
- Llorens, C., Argentina, M., Rojas, N., Westbrook, J., Dumais, J., & Noblin, X. (2016). The fern cavitation catapult: Mechanism and design principles. *Journal of the Royal Society Interface*, 13(114), 20150930. <https://doi.org/10.1098/rsif.2015.0930>
- Luckita, S., Wardianti, Y., & Triyanti, M. (2021). Inventarisasi tumbuhan paku (Pteridophyta) di Air Terjun Satan Muara Beliti Baru Kabupaten Musi Rawas. *Quagga: Jurnal Pendidikan dan Biologi*, 13(2), 1–7. doi: 10.25134/quagga.v13i2.3720
- Munir, A., Damhuri, D., Samai, S., Lisdayanti, H., & Lizawarni, L. (2024). The sorus morphology of ferns of the families Dryopteridaceae and Polypodiaceae in the Tatangge University Forest, Southeast Sulawesi. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.55981/jbbi.2024.4845>
- Nitta, J. H., Schuettpelez, E., Ramírez-Barahona, S., & Iwasaki, W. (2022). An open and continuously updated fern tree of life. *Frontiers in Plant Science*, 13, 909768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.909768>
- Noblin, X., Yang, S., & Dumais, J. (2012). Surface tension propulsion of fungal spores. *Journal of Experimental Biology*, 215(12), 2164–2172. <https://doi.org/10.1242/jeb.070607>
- Nowak, H., Kustatscher, E., Roghi, G., & Van Konijnenburg-van Cittert, J. H. A. (2022). Variability of in situ spores in some leptosporangiate ferns from the Triassic in Italy and Austria. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 296, 104544. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2021.104544>
- Nurchayati, M. (2016). Identifikasi profil karakteristik morfologi dan prothallium tumbuhan paku familia Polypodiaceae. *Jurnal Bioedukasi*, 14(2), 25–30. <https://media.neliti.com/media/publications/379216-none-bbd77dcd.pdf>
- Pradipta, A. R., Hariani, S. A., & Novenda, I. L. (2023). Identifikasi tumbuhan paku berdasarkan letak dan posisi sorus dengan ketinggian berbeda di Kabupaten Bondowoso. *Biologi Edukasi: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 15(1), 18–28. DOI:10.24815/jbe.v15i1.30490
- Pranita, H. S., Mahanal, S., & Sari, M. S. (2017). Karakteristik spora tumbuhan paku *Asplenium* kawasan Hutan Raya R. Soerjo. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 2(4), 454–458. <https://media.neliti.com/media/publications/210949-karakteristik-spora-tumbuhan-paku-asplen.pdf>
- Pedrero-López, L. V., Pérez-García, B., Mehlreter, K., Sánchez-Coronado, M. E., Orozco-Segovia, A., & Esther, M. (2020). Effect of laboratory and soil storage on fern spores germination. *Flora*, 274, 151755. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151755>
- Renzaglia, K. S., Ashton, N. W., & Suh, D.-Y.

- (2023). Sporogenesis in *Physcomitrium patens*: Intergenerational collaboration and the development of the spore wall and aperture. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 11, 1165293. <https://doi.org/10.3389/fcell.2023.1165293>
- Riding, J. B. (2021). A guide to preparation protocols in palynology. *Palynology* (2021) 45 (S1): 1–110. <https://doi.org/10.1080/01916122.2021.1878305>
- Shi, Q., Ibrahim, M. S., Zhang, X., Hwang, Y., Chin, H., Chen, S., Tan, W. S., Li, H., Song, J., & Cho, N.-J. (2022). Unraveling the distinct germination processes of sporopollenin-based pollen grains and spores through morphological analyses upon natural nano-architectonics process. *Applied Materials Today*, 27, 101471. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2022.101471>
- Sofiyanti, N., Afni, A. M., Rissan, S., & Syafroni, P. (2020). Jenis-jenis tumbuhan paku di Pulau Rangsang, Kepulauan Meranti, Riau dan karakteristik morfologi-palinologi. *Jurnal Biologi Tropis*, 20(1), 102–110. DOI: 10.29303/jbt.v20i1.1711
- Szkudlarz, P., Celka, Z., Szczeńsiak, E., Shevera, M. V., & Drapikowska, M. (2024). Micromorphology of fern spores as a tool in taxonomy of East-Central European species from the family Aspleniaceae (Polypodiopsida). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 93, Article 187281. <https://doi.org/10.5586/asbp.187281>
- Ulfa, S. W., Ayunda, D. K., Hasibuan, S. A., & Harahap, A. A. (2023). Identifikasi spora (warna, bentuk) pada tumbuhan paku yang ada di beberapa kecamatan di Kota Medan. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8320899>
- Vaganov, A. V. (2022). Phylogenetic comparative morphological analysis of fern spores in subfamily Pteridoideae (Pteridaceae, Pteridophyta). *Microscopy Research and Technique*, 85(2), 487–498. <https://doi.org/10.1002/jemt.23921>
- Windari, W., Khotimperwati, L., & Murningsih, M. (2021). Keanekaragaman jenis tumbuhan paku (Pteridophyta) di kawasan wisata Air Terjun Jurang Nganten Kabupaten Jepara. *Bioma*, 23(2), 107–111. <https://doi.org/10.14710/bioma.23.2.107-111>
- Xi-Ling, D., Cao, J.-G., & Wang, Q.-X. (2020). Ultrastructural observations of spore wall development in *Phaeoceros carolinianus* (Michx.) Prosk. *Plant Science Journal*, 38(3), 293–300. <https://doi.org/10.11913/PSJ.2095-0837.2020.30293>
- Yang, N.-Y., Jia, X.-L., Sui, C.-X., Shen, S.-Y., Dai, X.-L., Xue, J.-S., & Yang, Z.-N. (2022). Documenting the sporangium development of the Polypodiales fern *Pteris multifida*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 878693. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878693>
- Zenkter, E. (2012). Morphology and peculiar features of spores of fern species occurring in Poland. *Acta Agrobotanica*, 65(2), 3–10. <https://doi.org/10.5586/aa.2012.001>
- Zhou, Y., & Dobritsa, A. A. (2019). Formation of aperture sites on the pollen surface as a model for development of distinct cellular domains. *Plant Science*, 288, 110222. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110222>