

ANATOMI DAN TIPE SPORA PTERIDOPHYTA PADA KAWASAN HUTAN JALAN KAMPUNG BERAP-DISTRIK DEMTA KABUPATEN JAYAPURA

Leonardo E. Aisoil^{1*}, Semuel Jeujanan², Rosmina Raweyai³

¹ Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan P. MIPA, Universitas Cenderawasih

² Program Studi Pendidikan Geografi, Jurusan P. IPS, Universitas Cenderawasih

³ Mahasiswa Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan P. MIPA, Universitas Cenderawasih

* corresponding author | email : leonaisoi@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keanekaragaman tumbuhan paku (*Pteridophyta*) serta menganalisis karakter morfologi spora yang meliputi ornamentasi, bentuk, tipe, dan tekstur di kawasan hutan Jalan Kampung Berap, Distrik Demta, Kabupaten Jayapura. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 21 spesies tumbuhan paku yang tergolong ke dalam tujuh famili, yaitu Aspleniaceae, Polypodiaceae, Pteridaceae, Thelypteridaceae, Dryopteridaceae, Athyriaceae, dan Selaginellaceae. Tingginya keanekaragaman ini mencerminkan kondisi lingkungan kawasan penelitian yang mendukung pertumbuhan paku epifit maupun terestrial. Analisis morfologi spora menunjukkan variasi ornamentasi berupa faveolate, verrucate, reticulate, dan cristate yang berkaitan erat dengan perbedaan mikrohabitat. Paku epifit umumnya memiliki ornamentasi faveolate dan reticulate, sedangkan paku terestrial lebih banyak menunjukkan tekstur verrucate. Bentuk spora yang ditemukan meliputi elips/bilateral, segitiga (trilete), tetragonal, dan monolet, dengan bentuk trilete sebagai tipe dominan yang mencerminkan strategi penyebaran luas melalui angin. Berdasarkan tipe spora, ditemukan empat tipe utama, yaitu trilet, monolet, reticulate, serta faveolate/cristate, dimana tipe trilet mendominasi dan menunjukkan karakter evolusi dasar tumbuhan paku. Tekstur spora yang beragam mengindikasikan peran penting spora dalam adaptasi ekologis terhadap kondisi lingkungan hutan tropis Papua. Variasi morfologi spora ini memiliki nilai penting dalam kajian taksonomi, ekologi, serta hubungan filogenetik tumbuhan paku.

Kata Kunci : Anatomi spora, tipe spora, *Pteridophyta*

This study aims to examine the diversity of ferns (*Pteridophyta*) and analyze the morphological characteristics of spores including ornamentation, shape, type, and texture in the forest area of Jalan Kampung Berap, Demta District, Jayapura Regency. The results showed that there were 21 species of ferns belonging to seven families, namely Aspleniaceae, Polypodiaceae, Pteridaceae, Thelypteridaceae, Dryopteridaceae, Athyriaceae, and Selaginellaceae. This high diversity reflects the environmental conditions of the study area that support the growth of epiphytic and terrestrial ferns. Analysis of spore morphology showed variations in ornamentation in the form of faveolate, verrucate, reticulate, and cristate which are closely related to differences in microhabitat. Epiphytic ferns generally have faveolate and reticulate ornamentation, while terrestrial ferns show more verrucate texture. Spore shapes found include elliptical/bilateral, triangular (trilete), tetragonal, and monolet, with the trilete form being the dominant type reflecting a widespread wind-dispersal strategy. Based on spore type, four main types were identified: trilet, monolet, reticulate, and faveolate/cristate. The trilet type dominates and demonstrates the fundamental evolutionary characteristics of ferns. The diverse spore textures indicate their important role in ecological adaptation to the environmental conditions of Papua's tropical forests. This variation in spore morphology is crucial for studies of the taxonomy, ecology, and phylogenetic relationships of ferns.

Keywords : Spore anatomy, spore types, *Pteridophyta*.

PENDAHULUAN

Pteridophyta merupakan kelompok tumbuhan berpembuluh yang memiliki tingkat keanekaragaman tinggi, mencapai sekitar 10.000 jenis dan tersebar luas terutama di wilayah tropis. Tumbuhan paku umumnya tumbuh pada lingkungan dengan kelembapan tinggi, seperti hutan dataran rendah hingga dataran tinggi, baik sebagai paku epifit maupun terestrial. Kondisi lingkungan yang lembap sangat diperlukan dalam siklus hidup tumbuhan paku karena berperan penting dalam mempertahankan kelangsungan hidup dan proses reproduksi (Loveless, 1999).

Keanekaragaman tumbuhan paku dapat diketahui melalui kegiatan identifikasi hingga tingkat spesies, yang dilakukan berdasarkan karakter organ vegetatif dan generatif. Organ vegetatif meliputi akar, batang, dan daun, sedangkan organ generatif terdiri atas sporangium, spora, anteridium, dan arkegonium. Tumbuhan paku bereproduksi secara generatif melalui pembentukan spora, yang menjadi ciri khas utama dalam penentuan dan klasifikasi jenis tumbuhan paku. Spora berperan penting dalam taksonomi karena memiliki karakter morfologi yang relatif stabil dan spesifik antarspesies (Raven et al., 1992).

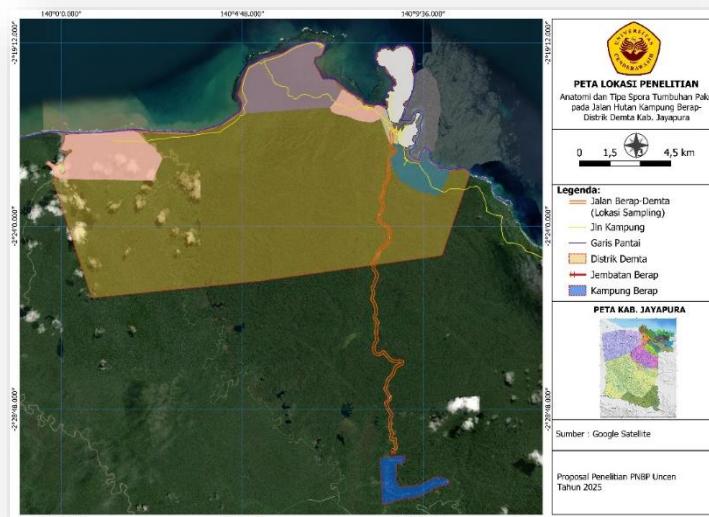
Karakter morfologi spora tumbuhan paku dapat diamati melalui bentuk, ukuran, tipe apertura, serta tipe ornamentasi pada lapisan eksin. Spora memiliki dua lapisan dinding, yaitu eksin dan intin, dengan apertura sebagai zona germinasi. Berdasarkan tipe apertura, spora tumbuhan paku dibedakan menjadi monolete dan trilete (Kapp, 1969), sedangkan tipe ornamentasi eksin menunjukkan variasi struktur yang mencerminkan adaptasi dan hubungan filogenetik antarspesies. Oleh karena itu, kajian morfologi spora memiliki nilai penting dalam identifikasi, sistematika, dan pemahaman evolusi tumbuhan paku.

Kajian mengenai karakter spora tumbuhan paku telah banyak dilakukan di berbagai wilayah, namun di Papua masih sangat terbatas. Mengingat Papua merupakan salah satu kawasan dengan tingkat keanekaragaman hayati tertinggi di Indonesia, diperlukan penelitian yang mengkaji karakter morfologi spora tumbuhan paku sebagai data dasar. Salah satu kawasan yang berpotensi memiliki keanekaragaman paku tinggi adalah hutan di sepanjang jalan penghubung Kampung Berap, Distrik Nimbokrang-Distrik Demta, Kabupaten Jayapura. Kawasan ini didominasi hutan lebat dengan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan tumbuhan paku. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan menganalisis karakteristik anatomi dan tipe spora tumbuhan paku, yang diharapkan dapat menjadi data awal bagi kajian Pteridophyta di Papua serta dimanfaatkan sebagai sumber dan media pembelajaran biologi.

METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-September 2025 di Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura dan Laboratorium Biologi FMIPA Universitas Cenderawasih Kota Jayapura.



Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Mikroskop Elektron Olympus CX 32, kamera SDLR (Nikon D750), Alat Tulis, Kertas HVS ukuran A4, saringan teh, kantong sampel, tusuk gigi, karet gelang, kertas label, tissue, tali, hand sprayer, kamera, pinset, mikroskop cahaya, mikroskop stereo, kertas milimeter block, neraca analitik, termometer dan penggaris. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah spora dari jenis-jenis paku, aquades.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah semua jenis tumbuhan paku yang terdapat di sepanjang jalan hutan kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura, sedangkan sampel berupa koleksi segar tumbuhan paku.

Metode Penelitian

- Jenis penelitian ini adalah deskriptif eksploratif. Metode eksplorasi dan koleksi flora dilakukan dengan cara menjelajahi sepanjang jalan kampung Berap sampai Distrik Demta dengan tipe ekosistem di kawasan yang diteliti. Metode pengumpulan data dilakukan dengan teknik analisis deskriptif meliputi perbandingan karakter tipe/jenis, bentuk, ukuran dan tipe ornamentasi spora pada tumbuhan paku.
- Variabel dalam penelitian ini adalah tipe/jenis spora, bentuk spora, ukuran spora, serta tipe ornamentasi spora dari spesies tumbuhan paku. Prosedur kerja meliputi, semua tumbuhan paku yang dijumpai di lapangan diambil spesimen segar, terutama bagian daun fertil. Spesimen tumbuhan paku segar dimasukkan dalam kantong plastik untuk diamati morfologi spora. Teknik pengambilan data spora tumbuhan paku menggunakan Mikroskop Elektron Olympus CX 32.
- Identifikasi spora tumbuhan paku menggunakan buku acuan Flora of Malaya (Holtum, 1968), Pteridophyta Guide to Pollen Analysis (Moore & Webb, 1978), Spores of Pteridophyta (Tryon & Lugardon, 1991).

Analisis Data

Analisis data secara Deskriptif kuantitatif dengan mencatat tipe/jenis spora, bentuk spora, ukuran spora, serta tipe ornamentasi spora dari spesies tumbuhan paku. Pengamatan dilakukan secara langsung menggunakan mata telanjang dan dengan bantuan mikroskop cahaya maupun mikroskop stereo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ornamentasi Spora Tumbuhan Paku

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat 21 spesies tumbuhan paku, dan proses identifikasi telah dilakukan untuk menentukan spesies-spesies tersebut. Spesies-spesies tumbuhan paku yang ditemukan pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura, yaitu *Asplenium nidus*, *Asplenium daucifolium* Lam., *Dicranopteris linearis* (Burm F.), *Lygodium venustum*, *Lygodium volubile* Sw., *Neprolepis biserrata* (Sw.) Schott., *Neprolepis brownii* (Desv.), *Phlebodium pseudoaureum* (Cav.) Lellinger, *Phymatosorus scolopendria*, *Pteris liniaris*, *Serpocaulon triseriale*, *Selaginella* sp., *Thelypteris kunthii* (Desv.) C.V. Morton, *Thelypteris unita* (L.) Morton., *Dryopteris* sp., *Cristella dentate*, *Athyrium dilatatum*, *Pteris vittata*, *Pteris* sp., *Platycerium wandae*, dan *Dicksonia* sp. yang telah diamati dapat dilihat pada Tabel 1. Sebenarnya masih banyak spesies lainnya, namun saat pengambilan data, beberapa spesies belum terdapat spora.

Tabel 1. Tabel Jenis Tumbuhan Paku (Pteridophyta) yang terdapat pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura

No	Spesies	Famili	Bentuk Sorus	Bentuk Spora	Tipe Spora	Tipe Ornamentasi
1	<i>Asplenium nidus</i>	Aspleniaceae	Garis	Elips/Bilateral	Monolet	Faveolate
2	<i>Asplenium daucifolium</i> Lam.	Aspleniaceae	Garis	Elips/Bilateral	Monolet	Faveolate
3	<i>Dicranopteris linearis</i> (Burm F.)	Gleicheniaceae	Bulat	Segitiga	Trilete	Verrucate
4	<i>Lygodium venustum</i>	Schizaeaceae	Memanjang	Segitiga	Trilete	Reticulate
5	<i>Lygodium volubile</i> Sw.	Schizaeaceae	Memanjang	Segitiga	Trilete	Reticulate
6	<i>Neprolepis biserrata</i> (Sw.) Schott	Nephrolepidaceae	Bulat	Elips/Bilateral	Monolet	Verrucate
7	<i>Neprolepis brownii</i> (Desv.)	Nephrolepidaceae	Bulat	Elips/Bilateral	Monolet	Verrucate
8	<i>Phlebodium pseudoaureum</i> (Cav.) Lellinger	Polypodiaceae	Bulat	Elips/Bilateral	Monolet	Verrucate
9	<i>Phymatosorus scolopendria</i>	Polypodiaceae	Bulat	Tetragonal	Trilete	Reticulate
10	<i>Pteris liniaris</i>	Pteridaceae	Garis	Segitiga	Trilete	Verrucate
11	<i>Serpocaulon triseriale</i>	Polypodiaceae	Memanjang	Segitiga	Trilete	Verrucate
12	<i>Selaginella</i> sp.	Selaginellaceae	Bulir/Kerucut	Tetragonal	Reticulate	Verrucate
13	<i>Thelypteris kunthii</i> (Desv.) C.V. Morton	Thelypteridaceae	Memanjang	Tetragonal	Trilete	Verrucate
14	<i>Thelypteris unita</i> (L.) Morton	Thelypteridaceae	Memanjang	Tetragonal	Trilete	Verrucate
15	<i>Dryopteris</i> sp.	Dryopteridaceae	Bulat	Monolet	Reticulate	Elips/bilateral
16	<i>Cristella dentate</i>	Thelypteridaceae	Bulat	Monolet	Faveolate/cristate	Elips/bilateral
17	<i>Athyrium dilatatum</i>	Athyriaceae	Melengkung	Monolet	Reticulate	Elips/bilateral
18	<i>Pteris vittata</i>	Pteridaceae	Memanjang	Segitiga	Trilete	Elips/bilateral
19	<i>Pteris</i> sp.	Pteridaceae	Memanjang	Segitiga	Trilete	Verrucate
20	<i>Platycerium wandae</i>	Polypodiaceae	Bulat	Elips/Bilateral	Trilete	Reticulate
21	<i>Dicksonia</i> sp.	Dicksoniaceae	Bulat	Segitiga	Trilete	Faveolate/cristate

Bentuk Spora

Bentuk spora yang terdapat pada masing-masing spesies tumbuhan paku pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura yaitu berbentuk Ellipsoidal, Subglobose, dan Globose. Adapun bentuk spora pada masing-masing tumbuhan paku di Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Bentuk spora Tumbuhan Paku pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura

No	Bentuk Spora	Nama Spesies	Jumlah Spesies
1	Elips/Bilateral	<i>Asplenium nidus</i> , <i>Platycerium wanda</i> , <i>Asplenium daucifolium</i> , <i>Neprolepis biserrata</i> (Sw.) Schott, <i>Neprolepis brownii</i> (Desv), <i>Phlebodium pseudoaureum</i> (Cav.) Lellinger	6
2	Segitiga	<i>Dicranopteris linearis</i> (Burm F.), <i>Lygodium venustum</i> , <i>Lygodium volubile</i> Sw., <i>Pteris linearis</i> , <i>Serpocaulon triseriale</i> , <i>Pteris vittata</i> , <i>Pteris sp.</i> dan <i>Dicksonia sp.</i>	8
3	Monolet	<i>Dryopteris sp.</i> , <i>Cristella dentata</i> , <i>Athyrium dilatatum</i>	3
4	Tetragonal	<i>Phymatosorus scolopendria</i> , <i>Selaginella sp.</i> , <i>Thelypteris kunthii</i> (Desv.) C.V. Morton, <i>Thelypteris unita</i> (L.) Morton	4

Berdasarkan tabel 2 diperoleh 4 bentuk spora dari 21 spesies tumbuhan paku pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura secara keseluruhan. Bentuk spora elips atau bilateral ditemukan pada enam spesies paku, di antaranya *Asplenium nidus*, *Platycerium wanda*, dan *Phlebodium pseudoaureum*. Spora elips biasanya simetris dengan satu sumbu utama, yang sering kali dijumpai pada famili Aspleniaceae dan Polypodiaceae (Kramer & Green, 1990). Spora tipe ini memiliki permukaan halus hingga sedikit berornamen, dengan ketebalan dinding yang sedang. Bentuk elips memberikan keunggulan aerodinamis dalam proses penyebaran oleh angin, sehingga banyak ditemukan pada paku epifit yang hidup di kanopi hutan lembap tropis. Misalnya, *Platycerium wanda* memiliki spora ringan yang mudah terbawa angin, memungkinkan kolonisasi pada batang atau cabang pohon yang jauh dari induk. Selain itu, bentuk elips juga sering dikaitkan dengan efisiensi perkecambahan. Struktur bilateral membantu proses pembelahan simetris embrio selama tahap perkembangan gametofit, sehingga mendukung keberhasilan regenerasi (Page, 2002).

Bentuk spora segitiga merupakan tipe yang paling banyak ditemukan dalam pengamatan ini, yaitu sebanyak delapan spesies. Tipe trilete memiliki tiga garis belahan (laesurae) yang bertemu di titik pusat spora. Spora seperti ini merupakan bentuk ancestral yang umum dijumpai pada kelompok paku leptosporangiata (Tryon & Tryon, 1982). Spesies seperti *Dicranopteris linearis*, *Pteris vittata*, dan *Serpocaulon triseriale* termasuk dalam kelompok ini. Bentuk segitiga memungkinkan pembukaan simetris pada tiga sisi ketika spora berkecambah, sehingga mempercepat pertumbuhan protonema. Selain itu, struktur dinding yang relatif tebal pada tepi spora membantu melindungi isi spora dari kekeringan. Dominasi bentuk segitiga (8 spesies) menunjukkan bahwa tipe ini paling adaptif terhadap kondisi lingkungan tropis seperti di Papua atau wilayah lembap Indonesia Timur. Paku-pakuan dengan spora segitiga sering menghuni area terbuka, tebing, atau tempat dengan sirkulasi udara tinggi, di mana penyebaran spora bergantung pada kekuatan angin.

Spora monolet ditemukan pada tiga spesies: *Dryopteris sp.*, *Cristella dentata*, dan *Athyrium dilatatum*. Spora tipe ini hanya memiliki satu garis belahan (laesura) yang memanjang di tengah permukaannya. Ciri ini merupakan karakter khas dari famili Dryopteridaceae dan Athyriaceae (Sundue *et al.*, 2010). Bentuk monolet sering ditemukan pada paku terestrial yang hidup di lantai hutan lembap dengan naungan tinggi. Spora yang lebih berat dan besar menyebabkan penyebaran terbatas, tetapi memiliki cadangan nutrisi yang lebih banyak, yang meningkatkan peluang hidup gametofit di lingkungan tertutup. Selain itu, bentuk monolet menunjukkan evolusi menuju bentuk spora yang lebih efisien dalam kondisi stabil (mikrohabitat yang lembap dan teduh), di mana tekanan seleksi terhadap penyebaran jauh relatif kecil. Hal ini menandakan strategi konservatif dalam reproduksi vegetatif.

Empat spesies yang memiliki spora tetragonal ialah *Phymatosorus scolopendria*, *Selaginella* sp., *Thelypteris kunthii*, dan *Thelypteris unita*. Spora berbentuk tetragonal memiliki empat sisi yang hampir simetris dan sering dijumpai pada paku heterospora, seperti *Selaginella* sp., serta beberapa paku homospora dari famili Thelypteridaceae.

Spora tetragonal biasanya memiliki lapisan perisporium yang kompleks dan tebal, memberikan ketahanan terhadap kondisi lingkungan ekstrem seperti kekeringan atau suhu tinggi. Hal ini merupakan bentuk adaptasi evolusioner yang memungkinkan spesies tersebut bertahan di habitat terbuka atau daerah pesisir. Pada *Phymatosorus scolopendria*, struktur tetragonal juga memengaruhi pola ornamentasi permukaan spora yang sering digunakan sebagai karakter diagnostik dalam identifikasi spesies. Bentuk ini memiliki nilai taksonomis yang tinggi karena variasinya yang khas antar genus.

Secara keseluruhan, bentuk spora yang paling dominan adalah segitiga (8 spesies), diikuti oleh elips/bilateral (6 spesies), tetragonal (4 spesies), dan monolet (3 spesies). Dominasi bentuk segitiga menunjukkan bahwa tipe trilete merupakan bentuk yang paling umum dan stabil secara evolusi dalam kelompok paku tropis. Keragaman bentuk spora ini juga berkaitan dengan variasi habitat dan strategi reproduksi. Spesies epifit seperti *Asplenium* dan *Platycerium* memiliki spora ringan dan elips untuk mendukung penyebaran udara, sedangkan spesies terestrial seperti *Dryopteris* memiliki spora monolet yang lebih berat. Sementara itu, spesies yang hidup di lingkungan ekstrem seperti *Selaginella* mengembangkan spora tetragonal yang lebih kuat untuk menghadapi kondisi kering. Dengan demikian, variasi morfologi spora menjadi indikator penting dalam memahami adaptasi ekologis dan hubungan filogenetik antarspesies paku.

Morfologi spora telah lama digunakan sebagai dasar taksonomi dalam studi paku-pakuan (Tryon & Lugardon, 1991). Bentuk, ukuran, dan ornamentasi spora dapat membantu mengelompokkan spesies ke dalam famili atau genus tertentu. Misalnya, bentuk elips sering menjadi ciri khas famili Polypodiaceae, sedangkan bentuk segitiga mencirikan famili Pteridaceae.

Dari sudut pandang ekologi, variasi bentuk spora menggambarkan strategi adaptif terhadap penyebaran dan kondisi mikrohabitat. Paku dengan spora elips dan segitiga lebih efisien dalam penyebaran jarak jauh, sementara spora monolet dan tetragonal lebih adaptif terhadap lingkungan stabil dan lembap.

Hubungan antara morfologi spora dan habitat juga mendukung hipotesis bahwa bentuk spora dapat digunakan sebagai indikator ekologi suatu komunitas paku. Dalam konteks konservasi, pengetahuan ini dapat membantu identifikasi habitat potensial bagi spesies paku langka atau endemik.

Tipe Spora

Tumbuhan paku (Divisio Pteridophyta) merupakan kelompok tumbuhan berpembuluh yang bereproduksi menggunakan spora sebagai alat penyebaran generatif. Spora berfungsi penting dalam mempertahankan keberlangsungan populasi paku, serta menjadi indikator penting dalam sistematika dan evolusi kelompok ini (Tryon & Lugardon, 1991). Morfologi dan tipe spora sangat bervariasi, mulai dari bentuk, struktur dinding, hingga ornamentasinya. Variasi ini berkaitan erat dengan faktor genetika, lingkungan, dan adaptasi evolusioner terhadap habitat tertentu (Page, 2002). Dalam taksonomi paku, tipe spora sering digunakan untuk menentukan hubungan kekerabatan antarspesies karena karakter spora relatif stabil dan khas bagi setiap kelompok (Sundue *et al.*, 2010). Berdasarkan hasil pengamatan, terdapat empat tipe utama spora yang diidentifikasi, yaitu Monolet, Trilet, Reticulate, dan Faveolate/Cristate. Keempat tipe ini menunjukkan keragaman struktur dan mencerminkan perbedaan filogenetik antarspesies paku.

Terdapat 4 Tipe spora (apartuta) pada keseluruhan spesies tumbuhan paku pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura yaitu berbentuk monolet,

trilet, Reticulate, dan Faveolate/Cristate. Adapun data tipe spora (Apertuta) pada masing-masing tumbuhan paku pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Tipe spora Tumbuhan Paku pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura

No	Tipe Spora	Nama Spesies	Jumlah Spesies
1	Monolet	<i>Asplenium nidus</i> , <i>Asplenium daucifolium</i> Lam., <i>Neprolepis biserrata</i> (Sw.) Schott, <i>Neprolepis brownii</i> (Desv), <i>Phlebodium pseudoaureum</i> (Cav.) Lellinger,	5
2	Trilet	<i>Pteris vittata</i> , <i>Pteris</i> sp., <i>Platycerium wandae</i> , <i>Dicksonia</i> sp., <i>Thelypteris kunthii</i> (Desv.) C.V. Morton, <i>Thelypteris unita</i> (L.) Morton, <i>Phymatosorus scolopendria</i> , <i>Pteris liniaris</i> , <i>Serpocaulon triseriale</i> , <i>Dicranopteris linearis</i> (Burm F.), <i>Lygodium venustum</i> , dan <i>Lygodium volubile</i> Sw.	12
3	Reticulate	<i>Athyrium dilatatum</i> , <i>Thelypteris kunthii</i> (Desv.) C.V. Morton, dan <i>Selaginella</i> sp.	3
4	Faveolate/Cristate	<i>Cristella dentate</i>	1

Berdasarkan tabel 3 diperoleh 4 tipe spora (apertuta) secara keseluruhan dari setiap spesies tumbuhan paku pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura. Tipe spora monolet ditandai oleh adanya satu garis belahan (laesura) memanjang pada permukaan spora. Ciri ini umumnya ditemukan pada famili Aspleniaceae dan Polypodiaceae, seperti pada *Asplenium nidus*, *Nephrolepis biserrata*, dan *Phlebodium pseudoaureum*. Spora monolet memiliki bentuk yang memanjang dan simetris, dengan permukaan dinding yang halus atau sedikit berornamen. Karakter ini mendukung efisiensi aerodinamis dan mempercepat proses perkecambahan di lingkungan lembap (Tryon & Lugardon, 1991). Selain itu, spora monolet cenderung memiliki dinding tipis dan ukuran sedang, yang memudahkan proses hidrasi saat spora jatuh di substrat. Spesies dengan spora monolet umumnya merupakan paku epifit dan terestrial yang tumbuh di lingkungan hutan tropis lembap. Kehadiran tipe monolet pada lima spesies mengindikasikan bahwa tipe ini cukup umum di kalangan paku modern yang beradaptasi terhadap lingkungan lembap dengan tingkat kompetisi tinggi.

Spora trilet merupakan tipe yang paling dominan dengan 12 spesies yang teridentifikasi. Tipe ini memiliki tiga garis belahan (laesura) yang bertemu di pusat spora membentuk pola segitiga. Spora trilet banyak ditemukan pada paku leptosporangiata dari famili Pteridaceae, Thelypteridaceae, Lygodiaceae, dan Polypodiaceae. Spesies seperti *Pteris vittata*, *Thelypteris kunthii*, *Platycerium wandae*, dan *Serpocaulon triseriale* termasuk dalam kelompok ini. Bentuk trilet merupakan bentuk evolusi awal dari spora paku dan dianggap sebagai bentuk paling purba dalam filogeni paku (Kramer & Green, 1990). Tipe spora ini memiliki keunggulan dalam dispersi. Bentuk simetri radial dengan tiga garis belahan mempermudah pelepasan isi spora saat perkecambahan, meningkatkan kemungkinan tumbuhnya gametofit di habitat baru. Hal ini menjelaskan mengapa tipe trilet menjadi bentuk paling umum dan tersebar luas pada paku tropis.

Dari sisi ekologis, spesies dengan spora trilet umumnya menghuni berbagai tipe habitat, mulai dari dataran rendah, tebing, hingga hutan pegunungan. Kemampuan penyebaran yang tinggi memungkinkan kelompok ini mendominasi berbagai ekosistem.

Spora retikulat ditandai oleh permukaan dinding yang memiliki pola jala (retikula) menyerupai jaringan. Tipe ini ditemukan pada tiga spesies, yaitu *Athyrium dilatatum*, *Thelypteris kunthii*, dan *Selaginella* sp.. Ornamen retikula pada dinding spora berfungsi sebagai perlindungan tambahan terhadap kekeringan dan tekanan mekanik. Struktur ini juga

meningkatkan kemampuan spora dalam menyerap air melalui pori-pori halus pada permukaannya. Menurut Sundue et al. (2010), tipe retikulate sering dijumpai pada paku yang hidup di area dengan fluktuasi kelembapan tinggi, misalnya di tepi sungai, rawa, atau lereng lembap. Keberadaan *Selaginella* sp. dalam kelompok ini menarik, karena meskipun termasuk paku heterospora, ia menunjukkan kesamaan morfologi dinding spora dengan beberapa paku homospora dari famili Thelypteridaceae. Kehadiran spora retikulate pada tiga spesies menunjukkan bentuk adaptasi struktural terhadap kondisi lingkungan dengan variasi kelembapan ekstrem, di mana ketahanan spora menjadi faktor penting untuk kelangsungan hidup.

Tipe spora faveolate/cristate hanya ditemukan pada satu spesies, yaitu *Cristella dentata*. Spora dengan tipe ini memiliki dinding yang berornamen seperti sisik atau tonjolan (cristae), yang membentuk pola lubang-lubang dangkal (faveolae). Menurut penelitian Tryon & Lugardon (1991), tipe faveolate atau cristate merupakan bentuk spora evolusioner lanjut yang berkembang pada paku tertentu sebagai respon terhadap adaptasi habitat spesifik, terutama lingkungan dengan intensitas cahaya tinggi dan kondisi kering. Struktur berornamen ini membantu melindungi spora dari radiasi matahari langsung dan mengurangi penguapan. Selain itu, ornamentasi juga berperan dalam proses pengikatan partikel air atau embun, yang dapat meningkatkan peluang perkembahan. Meskipun hanya ditemukan pada satu spesies, keberadaan tipe spora faveolate/cristate menjadi penting karena menunjukkan adanya diversifikasi morfologi tinggi dalam kelompok paku dan potensi karakter taksonomis yang khas untuk *Cristella dentata*.

Dari hasil analisis, tipe spora trilet merupakan tipe paling dominan dengan jumlah 12 spesies (60% dari total), diikuti oleh monolet (5 spesies), retikulate (3 spesies), dan faveolate/cristate (1 spesies). Dominasi spora trilet menegaskan bahwa tipe ini merupakan bentuk dasar yang paling banyak dijumpai dan memiliki nilai adaptif tinggi dalam evolusi paku. Sementara itu, keberadaan spora monolet dan retikulate menunjukkan variasi struktural yang berhubungan dengan adaptasi terhadap kelembapan dan penyebaran. Tipe faveolate/cristate, meskipun jarang, mencerminkan bentuk khusus yang mungkin berperan dalam adaptasi ekologis tertentu. Secara taksonomis, variasi tipe spora dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan hubungan kekerabatan antarspesies. Misalnya, kesamaan tipe trilet pada *Pteris*, *Lygodium*, dan *Thelypteris* mengindikasikan kedekatan filogenetik dalam kelompok paku leptosporangiata. Sebaliknya, perbedaan tipe spora pada *Selaginella* sp. menunjukkan jarak evolusi yang cukup jauh dari kelompok paku homospora lainnya.

Tekstur Spora

Terdapat 3 bentuk struktur spora yang diperoleh dari keseluruhan jumlah tumbuhan paku pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura dimana diantaranya Faveolate/cristate, Verrucate dan Reticulate. Adapun data struktur spora pada masing-masing tumbuhan paku Pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Tekstur spora Tumbuhan Paku Pada Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta Kabupaten Jayapura

No	Tekstur Spora	Nama Spesies	Jumlah Spesies
1	Faveolate	<i>Asplenium nidus</i> , <i>Asplenium daucifolium</i> Lam., <i>Lygodium venustum</i> , <i>Lygodium volubile</i> Sw., dan <i>Platycerium wandae</i>	5
2	Verrucate	<i>Dicranopteris linearis</i> (Burm F.), <i>Neprolepis biserrata</i> (Sw.) Schott., <i>Neprolepis brownii</i> (Desv), <i>Phlebodium pseudoaureum</i> (Cav.) Lellinger., <i>Pteris liniaris</i> , <i>Serpocaulon triseriale</i> , <i>Selaginella</i> sp., <i>Thelypteris kunthii</i> (Desv.) C.V. Morton., <i>Thelypteris unita</i> (L.) Morton., dan <i>Pteris</i> sp.	10

No	Tekstur Spora	Nama Spesies	Jumlah Spesies
3	Retikulate	<i>Lygodium venustum</i> , <i>Lygodium volubile</i> Sw., <i>Phymatosorus scolopendria</i> , dan <i>Platycerium wandae</i>	4
4	Elips/bilateral	<i>Dryopteris</i> sp., <i>Cristella dentate</i> , <i>Athyrium dilatatum</i> , dan <i>Pteris vittata</i>	4

Hasil pengamatan terhadap spora dari berbagai spesies paku menunjukkan adanya variasi tekstur permukaan spora yang cukup tinggi. Berdasarkan hasil identifikasi, ditemukan empat tipe utama tekstur spora, yaitu faveolate, verrucate, retikulate, dan elips/bilateral. Variasi ini menggambarkan keanekaragaman morfologi spora dalam kelompok paku-pakuan yang berhubungan erat dengan faktor taksonomi dan adaptasi ekologis spesies terhadap lingkungan tempat tumbuhnya. Spora merupakan salah satu karakter penting dalam sistematika paku (Pteridophyta), karena bentuk, ukuran, dan struktur permukaannya memiliki nilai diagnostik yang tinggi dalam mengidentifikasi dan mengelompokkan spesies (Tryon & Lugardon, 1991). Morfologi spora terbentuk melalui proses sporogenesis dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, faktor genetik, serta tipe habitat tempat spesies tersebut berkembang (Walker, 1986).

Dari hasil pengamatan pada tabel, dapat dilihat bahwa jumlah spesies terbanyak terdapat pada tipe tekstur verrucate (10 spesies), diikuti oleh faveolate (5 spesies), retikulate (4 spesies), dan elips/bilateral (4 spesies). Hal ini menunjukkan bahwa tekstur verrucate merupakan tipe yang paling umum dijumpai pada spesies paku yang tumbuh di kawasan penelitian, kemungkinan karena memiliki daya adaptasi yang lebih tinggi terhadap variasi lingkungan.

Tekstur spora faveolate dicirikan oleh permukaan spora yang memiliki lekukan-lekukan seperti rongga-rongga kecil menyerupai sel-sel sarang lebah. Pada penelitian ini, tipe faveolate ditemukan pada lima spesies, yaitu *Asplenium nidus*, *Asplenium daucifolium* Lam., *Lygodium venustum*, *Lygodium volubile* Sw., dan *Platycerium wandae*. Spora tipe faveolate umumnya ditemukan pada paku yang tumbuh di lingkungan lembap dan teduh, seperti hutan hujan tropis bagian bawah atau daerah dengan kelembapan tinggi. Permukaan yang berlekuk-lekuk membantu meningkatkan luas permukaan spora dan memudahkan penyerapan air ketika spora mulai berkecambah. Menurut Moran dan Smith (2001), tipe faveolate juga memiliki fungsi dalam meningkatkan kemampuan spora menempel pada substrat, seperti tanah lembap, kulit pohon, atau lumut. Selain itu, struktur faveolate sering dijumpai pada famili Aspleniaceae dan Polypodiaceae. Hal ini mengindikasikan adanya nilai taksonomi pada karakter tersebut yang dapat digunakan untuk membedakan kelompok-kelompok paku tertentu. Menurut Tryon (1986), karakter permukaan spora yang kompleks seperti faveolate biasanya berkaitan dengan tingkat evolusi yang lebih tinggi dalam kelompok paku sejati (leptosporangiata).

Tipe verrucate merupakan tekstur spora yang paling dominan ditemukan, yaitu pada sepuluh spesies: *Dicranopteris linearis* (Burm. F.), *Neprolepis biserrata* (Sw.) Schott., *Neprolepis brownii* (Desv.), *Phlebodium pseudoaureum* (Cav.) Lellinger., *Pteris liniaris*, *Serpocaulon triseriale*, *Selaginella* sp., *Thelypteris kunthii* (Desv.) C.V. Morton., *Thelypteris unita* (L.) Morton., dan *Pteris* sp. Spora verrucate memiliki tonjolan-tonjolan halus di permukaannya yang disebut verrucae. Menurut Ponce dan Scataglini (2017), struktur permukaan seperti ini berfungsi sebagai perlindungan mekanis terhadap faktor lingkungan seperti kekeringan, suhu tinggi, dan paparan sinar matahari langsung. Permukaan dengan tonjolan juga dapat membantu mengurangi gesekan antarspora selama proses dispersinya melalui udara. Banyaknya spesies dengan tekstur verrucate menunjukkan bahwa tipe ini merupakan bentuk adaptasi umum pada paku-pakuan di daerah tropis. Spora dengan permukaan verrucate cenderung lebih tahan lama dan mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang fluktuatif, seperti peralihan antara musim hujan dan musim kering. Selain itu, karakter verrucate juga berperan penting

dalam sistematika beberapa famili paku seperti Thelypteridaceae, Pteridaceae, dan Gleicheniaceae. Keberadaannya dapat digunakan sebagai pembeda antara spesies dalam satu genus atau antar genus (Walker, 1986). Dengan demikian, spora bertekstur verrucate memiliki nilai ekologis dan taksonomi yang signifikan. Spora dengan tekstur retikulat memiliki pola permukaan menyerupai jala atau jaringan (retikulum) yang membentuk sel-sel kecil saling berhubungan. Pada penelitian ini, tipe ini ditemukan pada empat spesies, yaitu *Lygodium venustum*, *Lygodium volubile Sw.*, *Phymatosorus scolopendria*, dan *Platycerium wandae*. Pola retikulat terbentuk oleh dinding eksospora yang menonjol dan membentuk jaringan, sedangkan bagian dalamnya relatif datar. Pola ini memungkinkan terjadinya pertukaran gas dan kelembapan yang lebih baik antara spora dan lingkungan sekitarnya (Zhang *et al.*, 2013). Karena itu, tipe retikulat sering dijumpai pada spesies yang tumbuh di daerah dengan cahaya cukup tinggi atau lingkungan semi-terbuka. Menurut Moran dan Smith (2001), tekstur retikulat juga berperan dalam memperkuat dinding spora sehingga mencegah kerusakan mekanis selama transportasi melalui udara. Selain itu, pola retikulat merupakan karakter khas pada beberapa kelompok Polypodiaceae dan Lygodiaceae, sehingga sangat berguna dalam analisis filogenetik.

Tipe elips atau bilateral ditandai oleh bentuk spora yang simetris dengan dua sisi yang relatif datar. Empat spesies yang memiliki tipe ini adalah *Dryopteris* sp., *Cristella dentata*, *Athyrium dilatum*, dan *Pteris vittata*. Bentuk elips sering diasosiasikan dengan sistem penyebaran spora yang efisien karena aerodinamis, memungkinkan spora untuk melayang lebih stabil di udara sebelum jatuh ke permukaan tanah. Menurut Tryon (1986), spora tipe bilateral banyak ditemukan pada famili Dryopteridaceae dan Pteridaceae yang umumnya hidup di daerah teduh dengan substrat lembap. Selain dari segi morfologi, bentuk elips juga mencerminkan kesederhanaan struktur dinding spora, yang biasanya hanya memiliki lapisan eksospora tipis. Hal ini membuat spora lebih mudah pecah saat berkecambah, mempercepat pembentukan protonema sebagai tahap awal pertumbuhan gametofit.

Perbedaan tekstur spora tidak hanya menunjukkan keanekaragaman morfologi, tetapi juga mengandung makna taksonomi dan ekologis yang penting. Tekstur faveolate dan retikulat cenderung ditemukan pada paku epifit atau semi-epifit seperti *Asplenium nidus* dan *Platycerium wandae*, sedangkan verrucate dan elips lebih sering dijumpai pada paku terrestrial seperti *Dicranopteris linearis* dan *Pteris vittata*. Hal ini memperlihatkan bahwa struktur spora dapat mencerminkan adaptasi ekologis terhadap kondisi lingkungan seperti kelembapan udara, intensitas cahaya, dan substrat tempat tumbuh. Spora dengan permukaan kompleks seperti faveolate dan retikulat lebih cocok untuk mempertahankan kelembapan, sedangkan spora verrucate lebih adaptif terhadap kondisi kering dan terbuka. Dengan demikian, analisis tekstur spora menjadi salah satu pendekatan penting dalam penelitian sistematika dan ekologi paku-pakuan, karena memberikan informasi yang tidak hanya bersifat morfologis, tetapi juga ekologis dan evolusioner (Ponce & Scataglini, 2017; Tryon & Lugardon, 1991).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian terhadap ornamentasi, bentuk, tipe, dan tekstur spora tumbuhan paku di Kawasan Hutan Jalan Kampung Berap-Distrik Demta, Kabupaten Jayapura, menunjukkan bahwa:

1. Kawasan tersebut memiliki keanekaragaman tinggi dengan ditemukan 21 spesies paku dari berbagai famili, menandakan habitatnya sangat potensial bagi pertumbuhan paku-pakuan.
2. Bentuk spora yang dominan adalah segitiga (trilet), menandakan adaptasi yang baik terhadap lingkungan tropis lembap.
3. Tipe spora trilet dan tekstur verrucate paling banyak ditemukan, mencerminkan kestabilan evolusi dan daya adaptasi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi.
4. Korelasi morfologi spora dengan habitat menunjukkan bahwa tipe dan tekstur spora berkaitan erat dengan kondisi tempat tumbuh, baik epifit maupun terestrial.
5. Ciri-ciri morfologi spora memiliki nilai taksonomis penting untuk identifikasi dan pengelompokan spesies, serta mencerminkan strategi adaptasi ekologis paku-pakuan di hutan tropis Papua.

Saran

1. Diperlukan penelitian lanjutan dengan cakupan area dan waktu lebih luas untuk memperkaya data morfologi spora.
2. Analisis SEM disarankan guna memperoleh detail ornamentasi spora yang lebih akurat bagi kajian taksonomi dan filogenetik.
3. Perlu kajian lebih mendalam tentang hubungan morfologi spora dengan kondisi mikrohabitat seperti kelembapan, cahaya, dan substrat tumbuh.
4. Konservasi habitat alami penting dilakukan karena kawasan ini menyimpan spesies paku bernilai ekologis tinggi.
5. Hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai referensi dasar dalam studi palinologi, konservasi biodiversitas, dan pendidikan botani di Papua.

UCAPAN TERIMA KASIH

Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dan Pemerintah Kampung Maribu, Distrik Sentani Barat, Kabupaten Jayapura.

DAFTAR RUJUKAN

- Campbell Neil A. dan Reece Jane B.. 2008. Biologi Edisi Kedelapan. Jakarta: Erlangga.
- Hasanuddin dan Mulyadi. 2015. Botani Tumbuhan Rendah. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Kapp, R.O. 1969. How to Know Pollen and Spores. Dubuque Iowa. WM.C. Brown Company Publisher.
- Kramer, K.U. & Green, P.S. (1990). *The Families and Genera of Vascular Plants. Volume I: Pteridophytes and Gymnosperms*. Springer-Verlag.
- Moran, R. C., & Smith, A. R. (2001). *Phytogeographic relationships between neotropical and African-Madagascan pteridophytes*. *Brittonia*, 53(2), 304-351.
- Page, C.N. (2002). *The Diversity of Ferns: Structure, Evolution, and Ecology*. Cambridge University Press.
- Ponce, M. M., & Scataglini, M. A. (2017). *Spore morphology of South American ferns: Diversity and evolutionary implications*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 185(2), 237-259.

- Vashisjta. dkk. 2005. Botany for Degree Students Pteridophyta. New Delhi: S. Chand & Company LTD.
- Raven, P. H., R.F Evert. & S. E. Eichorn. 1992. Biology of Plants. New York: Worth Publisher.
- Rodriguez de la Cruz, Sanchez Reyes, Sanchez Agudo, dkk, Current Advemces in Fren Research,(Cham: Spinger International Publishing, 2018). 427-252
- Susandarini, R. 2014. Bahan Ajar Paleobotani, (Online), (<http://elisa1.ugm.ac.id/files/susandarini/1ySjRED5/Pengantar20Paleobotani.pdf>, diakses 19 Februari 2025).
- Sundue, M.A., et al. (2010). "Spore Morphology and Evolution in Ferns." *International Journal of Plant Sciences*, 171(5): 547-566.
- Tjitosoepomo Gembong. 2018. Taksonomi Tumbuhan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tryon, A.F. & Lugardon, B. (1991). *Spores of the Pteridophyta: Surface, Wall Structure, and Diversity Based on Electron Microscope Studies*. Springer-Verlag.
- Tryon, A. F. (1986). *The biology of spores of pteridophytes*. In *Plant spores and pollen* (pp. 451–482). Springer.
- Tryon, R.M. & Tryon, A.F. (1982). *Ferns and Allied Plants: With Special Reference to Tropical America*. Springer.
- Walker, T. G. (1986). *The use of spore characters in the classification of ferns*. In *Systematics of the Pteridophytes* (pp. 223–239). Academic Press.
- Zhang, X. C., Zhou, X. M., & Li, C. X. (2013). *Spore morphology of Chinese ferns and its systematic significance*. *Journal of Systematics and Evolution*, 51(4), 345–358.