

BAB 2

TINJAUAN TEORETIS

2.1 Kajian Pustaka

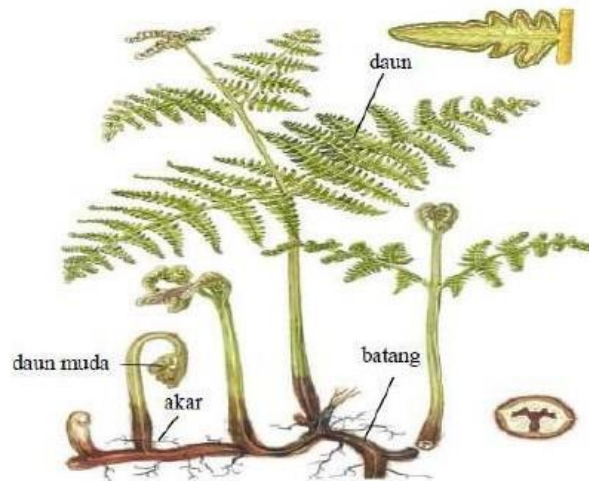
2.1.1 Tinjauan Umum *Pteridophyta*

Tumbuhan paku tergolong tumbuhan kormus berspora yang disebut *Pteridophyta*. Istilah ini berasal dari bahasa Greek yaitu pteron= sayap atau bulu. *Pteridophyta* adalah tumbuhan kormus yang menghasilkan spora dan memiliki susunan daun yang umumnya membentuk bangun sayap (menyirip) dan pada bagian pucuk tumbuhan itu terdapat bulu-bulu daun mudanya membentuk gulungan atau melingkar (Syamsuri, 2004).

Tumbuhan paku merupakan suatu divisi yang warganya telah jelas mempunyai kormus, artinya tubuhnya dengan nyata dapat dibedakan dalam tiga bagian pokoknya yaitu akar, batang, dan daun. Namun demikian tumbuhan paku belum dapat menghasilkan biji karena berkembangbiak dengan spora (Tjitrosoepomo, 1991). Ciri-ciri *Pteridophyta* yang membedakan dengan tumbuhan lain:

- 1) Daun menggulung pada saat masih muda, khususnya pada golongan tumbuhan paku sejati;
- 2) Umumnya mempunyai daun steril disebut *tropofil*, dan daun fertil disebut sporofil. kumpulan *sporofil* pada ujung batang atau cabang dinamakan *strobilus* dan kumpulan sporangium dinamakan *sorus*;
- 3) Batang tidak jelas, umumnya mempunyai rhizoma;
- 4) Memiliki akar serabut. Pada beberapa jenis paku yang hidup di tanah, batang tumbuhan paku sejajar dengan tanah. Karena tumbuhnya menyerupai akar maka batang tersebut dinamakan rhizoma. Batang ini sering tertutup oleh rambut atau sisik berfungsi sebagai pelindungnya. Dari rhizoma ini pula tumbuh akar – akar yang lembut. Daun paku ada yang berbentuk tunggal, majemuk ataupun menyirip ganda. Helaian daun secara menyeluruh disebut ental, terkadang tumbuh dua macam ental, yaitu yang subur dan mandul. Pada ental yang subur tumbuh sporangia pada permukaan daun bagian bawah. Kumpulan dari sporangia disebut *sorus* sedangkan sekumpulan sorus itu sendiri disebut dengan *sori*. Spora terletak

pada kotak spora (*sporangium*) dan tidak jarang sorus tersebut dilindungi oleh suatu lapisan penutup yang disebut indusium yang umumnya berbentuk ginjal (Setijati Sastrapradja, dkk.1979).



Gambar 2.1. Struktur Morfologi Tumbuhan Paku

Sumber : Tjitrosoepomo, 1989

Adapun morfologi dari tumbuhan paku mulai dari akar, batang, daun, dan spora berturut-turut diuraikan sebagai berikut:

1) Akar

Pada umumnya tumbuhan paku memiliki akar yang kecil dan kasar, tetapi terdapat beberapa tumbuhan paku yang memiliki akar yang berdaging dan halus pada golongan (*ophioglossaceae*) atau pada golongan *Acrostichum* dan *Marattia* yang memiliki diameter sekitar 13 mm (0,5 inci). Akarnya berupa rizoid yang bersifat seperti akar serabut dengan ujung dilindungi kaliptra (Priawarsana dan Purnaningsasi, 2013). Pada pohon paku seperti *Cyathea*, sejumlah akar ditemukandekat dengan dasar caudis, berfungsi untuk kestabilan. *Rhizom* biasanya menjalar bercabang baik pada tipe iregular/secara dikotomi. *Rhizoid* tumbuhan paku sudah berkembang ke arah akar untuk kepentingan hidupnya. Rambut-rambut akar akan menyerap air dan garam mineral terlarut. Kelompok lain dari tumbuhan paku mempunyai akar yang berupa benang yang tumbuh dari batang, misalnya *Selaginella sp* (Tjitrosoepomo, 1991).

2) Batang

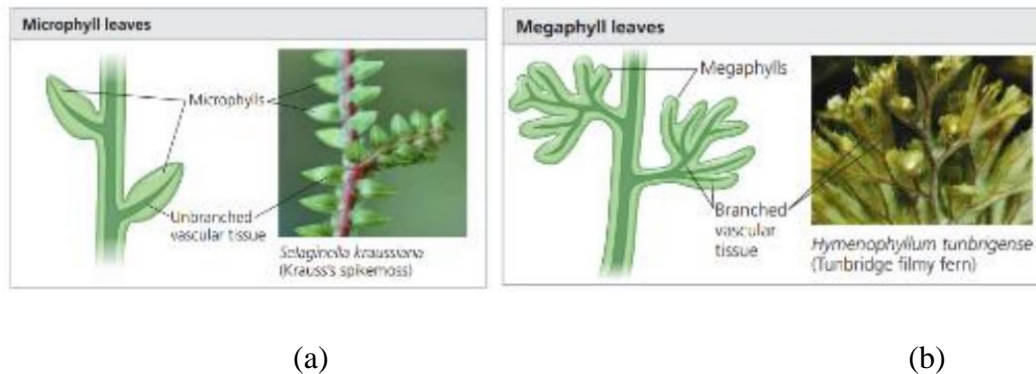
Batang Pteridophyta bercabang-cabang menggarpu (dikotom) atau jika membentuk cabang-cabang ke samping, cabang-cabang baru itu tidak pernah keluar dari ketiak daun. Pada batang Pteridophyta terdapat banyak daun, yang dapat tumbuh terus sampai lama (Tjitrosoepomo, 1991). Batang kebanyakan spesies paku berada di bawah tanah atau merayap. Pertumbuhan tersembunyi ini dikenal dengan rhizom (rimbang) dimana ujung-ujung rhizom ini akan tumbuh tunas dan keluar secara perlahan menembus tanah pada waktu tumbuh sehingga cenderung untuk memperluas wilayahnya.

3) Daun

Tumbuhan paku mempunyai dua macam daun yaitu sporofil dan tropofil. Sporofil atau yang dikenal dengan sebutan daun fertil menghasilkan spora sedangkan tropofil yang dikenal dengan sebutan daun steril berfungsi untuk fotosintesis (Tjitrosoepomo, 1991). Daun terkadang memiliki bagian berupa titik-titik hitam yang disebut *sorus*, dalam *sorus* terdapat kumpulan sporangia yang merupakan tempat atau wadah dari spora. Sorus umumnya terdapat di bagian bawah daun.

Berdasarkan ukuran daunnya, tumbuhan paku dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

- 1) Daun mikrofil memiliki ukuran kecil, memiliki ketebalan selapis sel dan berbentuk rambut.
- 2) Daun makrofil memiliki ukuran besar dan tipis, sudah memiliki bagian-bagian daun seperti tulang daun, tangkai daun, mesofil dan epidermis. Perbedaan daun mikrofil dan makrofil dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.

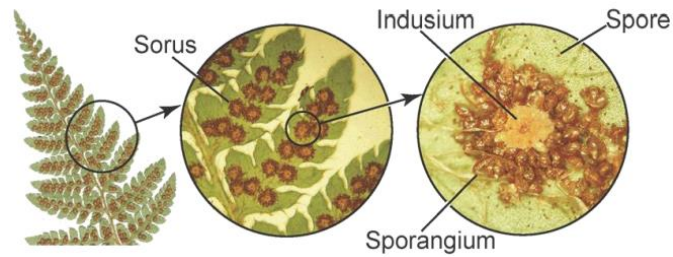


(a) (b)
 Gambar 2.2 Variasi Daun Tumbuhan Paku
 (a) Daun microphyll (b) Daun megaphyll
 Sumber : Campbell et al., 2020

4) Spora

Penyebaran tumbuhan paku dilakukan melalui spora yang terdapat di dalam kotak sporangium. Organ ini sangat efisien untuk kepentingan penyebaran karena dapat mencapai tempat-tempat yang jauh dengan bantuan angin, serta dapat diproduksi dengan jumlah yang banyak. Dengan cara demikian sebagian dari spora tersebut dapat menemukan tempat yang cocok untuk pertumbuhannya. Seperti halnya pola penyebaran tumbuhan pada umumnya, pola penyebaran tumbuhan paku juga tergantung pada sifat fisika kimia lingkungan maupun keistimewaan biologis masing-masing individu. Pola penyebaran dikelompokkan menjadi tiga kategori meliputi: a. penyebaran teratur atau seragam: individu-individu terdapat pada tempat-tempat tertentu dalam komunitas; b. penyebaran acak: individu-individu menyebar dalam beberapa tempat dan mengelompok pada tempat-tempat lainnya; c. penyebaran berumpun: individu-individu selalu ada dalam kelompok-kelompok dan sangat jarang terlihat sendiri atau terpisah (Michael, A.E. 1994).

Sporangium dan spora tumbuhan paku terbentuk pada daun, namun ada juga yang terdapat dalam ketiak dan ada yang terbentuk pada ujung tunas. Daun-daun yang mempunyai sporangium dinamakan sporofil. Sporangium yang tumbuh berkelompok dalam satu bentukan disebut sorus. Kumpulan sorus disebut sori. Sorus memiliki peran penting untuk melindungi kotak-kotak spora sampai spora itu siap untuk dilepaskan (Tjitrosoepomo, 2005)

Gambar 2.3 Spora pada *Pteridophyta*

Sumber : (Rachael & Ray, 2016)

2.1.2 Klasifikasi *Pteridophyta*

Menurut Ruggiero *et.al* (2015), *Pteridophyta* memiliki 2 Class dan 4 Subclass yaitu:

Tabel 2.1 Klasifikasi *Pteridophyta* menurut Ruggiero *et.al*

Class	SubClass	Order
<i>Lycopodiopsida</i>		
		<i>Isotales</i>
		<i>Lycopodiales</i>
		<i>Selaginellales</i>
<i>Polypodiopsida</i>		
	<i>Equisetidae</i>	
		<i>Equisetales</i>
	<i>Marratiidae</i>	
		<i>Marratiales</i>
	<i>Ophioglossidae</i> (= <i>Psilotidae</i>)	
		<i>Ophioglossales</i>
		<i>Psilotales</i>
	<i>Polypodiidae</i>	
		<i>Chyatheales</i>
		<i>Gleicheniales</i>
		<i>Hymenophyllales</i>
		<i>Osmundales</i>
		<i>Polypodiales</i>
		<i>Salviniales</i>
		<i>Schizaeales</i>

Pteridophyta terdiri dari dua subclass yang memisahkan kerabat paku (class *Lycopodiopsida*) dengan paku sejati (class *Polypodiopsida* dengan subclass *Equisetidae*, *Marratiidae*, *Ophioglossidae*, dan *Polypodiidae*)

1) Class Lycopodiopsida

Class Lycopodiopsida menurut Ha, Morrow, & Algiers (2023) memiliki karakteristik Mikrofil daun dengan urat jaringan pembuluh tunggal yang tidak bercabang. Mikrofil mungkin telah berevolusi dari enasi, pelengkap seperti sisik yang kemudian memperoleh jaringan vaskuler kemungkinan lain adalah mikrofil yang berevolusi dari sporangia. Catatan: Istilah mikrofil, yang membingungkan, bukanlah indikasi ukuran daun.

Rimpang . Perbanyak sporofit secara aseksual melalui batang bawah tanah. Strobili . Struktur seperti kerucut di mana sporangia diproduksi pada daun disebut sporofil (Gambar 2.1). Homospora atau heterospora. Spora haploid tumbuh menjadi gametofit biseksual di Lycopodium. Di Selaginella, mikrospora berkembang menjadi mikrogametofit yang menghasilkan sperma dan megaspora berkembang menjadi megagametofit yang menghasilkan telur.

a. Ordo Isoetales

Spesies isoetes memiliki tubuh tumbuhan yang relatif kecil, terdiri dari sumbu kompak pendek (umbi) dan jumbai daun dan akar. Banyak spesies yang mirip dengan rumput air tertentu dan tanaman berbunga air lainnya. Sebagian besar spesies hidup di daerah yang lebih dingin di dunia dan sering terendam terus menerus di dalam air. Setiap daun sebenarnya adalah sporofil, mengandung mikrosporangium atau megasporangium yang tertanam di dasarnya di sisi adaksial. Setiap daun juga memiliki ligule, mirip dengan Selaginella. Isoetes berbeda dari Selaginella dan Lycopodium dalam terjadinya pertumbuhan sekunder pada batang dan memiliki meristem penghasil akar yang pasti. Himpunan akar muncul dalam urutan tertentu, berbeda dengan akar yang diproduksi kurang lebih tidak beraturan dari semua tanaman vaskular rendah lainnya yang masih ada. Urutan ini mirip dengan leluhurnya Lepidodendron dan Pleuromeia (Ha, Morrow, & Algiers, 2023).

Ordo Isoetales memiliki satu family yaitu Isotaceae dan contoh spesies yang dimiliki adalah Isoetes coromandeliana (Afifah, 2018).

b. Ordo Lycopodiales

Ordo Lycopodiales mempunyai ciri-ciri batang seperti berkas pengangkut sederhana, tumbuhnya berdiri atau menjalar di tanah mempunyai cabang yang meninggi ke atas, daunnya berbulu, membentuk garis atau jarum dan akarnya bercabang menggarpu. Seperti *Lycopodium nummularifolium* (Tjietrosoepomo, 2011).

Lycopodiales hanya terdiri dari 1 famili yaitu Lycopodiaceae (Michael G. Simpson, 2019)

c. Ordo Sellaginellales

Selaginella merupakan salah satu marga tanaman paku yang memiliki ciri yang khas. Selaginella termasuk bangsa selaginellaleshanaya terdiri dari satu suku Selaginellaceae dan satu marga Selaginella. sebagian paku ini memiliki batang terbaring dan batang tegak, bercabang-cabang menggarpu, anisotom. Tumbuh tanaman ini ada yang memanjat dan membentuk rumpun. Tunas Selaginella dapat mencapai panjang hingga beberapa meter. Pada batang terdapat daun-daun kecil yang tersusun dalam garis spiral atau berhadapan yang tersusun dalam empat baris. Dua baris terdiri atas daun-daun yang lebih besar dan tersusun kesamping, dua baris lagi tersusun daun-daun yang lebih kecil terdapat pada cabang yang menghadap ke muka. Cabang-cabang sering kali tersusun dorsiventral. Akar akar keluar dari bagian-bagian batang yang tidak berdaun yang dinamakan akar pendukung (Tjietrosoepomo, 1994).

Ordo sellaginellales memiliki 1 Famili yaitu Selaginellaceae.



Gambar 2.4 Paku kawat sedang mengembangkan stobili nya
Sumber : Ha, Morrow, & Algiers 2023

2) Polypodiopsida

Megafil daun memiliki urat bercabang dari jaringan pembuluh. Megafil diperkirakan telah berevolusi dari percabangan batang. susunan mengisi ruang di antara cabang-cabang, membentuk bilah daun yang rata. Susunan urat daun (ikatan pembuluh) mencerminkan pola percabangan batang yang asli. Rimpang memperbanyak sporofit secara aseksual melalui batang yang berada di bawah tanah.

Homospora. Spora haploid tumbuh menjadi gametofit biseksual yang menghasilkan antheridia dan archegonia, atau mampu memproduksi satu atau yang lain, tergantung pada kondisi (Ha, Morrow, & Algiers 2023).

Polypodiopsida mempunyai empat subclass yaitu Equisetidae, Marratiidae, Ophioglossidae, dan Polypodiidae.

a. Subclass Equisetidae

Equisetales hidupnya ada di darat dan ada di lahan basah. Tumbuhan paku terdapat rimpang yang menjalar pada tanah dengan cabang yang berdiri tegak. Ukuran daun kecil (Mikrofil), fungsi batang dan cabang yaitu asimilator yang berwarna hijau dikarenakan terdapat kandungan klorofil. Seperti *Equisetum debile*, *E. dan Ramosissium* (Tjietrosoepomo, 2011).

Subclass equisetidae memiliki 1 ordo yaitu Equisetales dan memiliki 1 famili yang masih hidup yaitu Equisetaceae (Christenhusz, MJM; Byng, JW, 2016).

b. Subclass Ephioglossidae

Tumbuhan ini biasanya mempunyai batang di dalam tanah yang pendek, pada bagian bawah masih mempunyai protosteles, tetapi ke atas mengadakan diferensiasi dalam berkas pengangkutnya. Daun biasanya mempunyai bagian yang khusus untuk asimilasi, dan bagian lain yang fertil yang menghasilkan alat-alat reproduksi. Bagian daun yang fertil itu berbentuk malai atau bulir dan keluar dari tangkai, dari pangkal, dari tengah, atau dari tepi daun yang steril. Sporangium besar, hampir bulat, tidak mempunyai anulus, dindingnya kuat, membuka dengan suatu retak melintang atau membujur (Tjietrosoepomo, 2011).

Dalam klasifikasi Pteridophyte Phylogeny Group 2016 (PPG I), Ophioglossaceae merupakan satu-satunya famili dalam ordo Ophioglossales, yang bersama dengan Psilotales ditempatkan dalam subkelas Ophioglossidae, dan Psilotales hanya memiliki 1 famili yaitu Psilotaceae.

c. Ordo Marattiidae

Karakteristik daun tumbuhan ini adalah daunnya yang sangat besar, menyirip ganda sampai beberapa kali. Sporangium yang berada di bawah daun memiliki dinding yang tebal, tidak terdapat anulus atau conch, cara membuka dengan adanya celah atau liang. Contoh spesiesnya *Christensenia aesculifolia*, *Angiopteris angustifolia*, *Angiopteris evecta* dan *Marattia fraxinea*.



Gambar 2.5 *Angiopteris evecta*

Sumber : (Kinho, 2009)

Akar serabut, batang tegak, berbentuk rimpang, bagian pada pangkal batang bersisik. Daun warnanya hijau, menyirip tunggal, ujung daun meruncing. Sorus terletak di bawah daun, menyebar, tidak beraturan, bentuk sorus bulat, warna coklat muda. Habitat terestrial (Kinho, 2009).

Marattiaceae adalah satu-satunya famili tumbuhan paku yang masih ada

(hidup) dalam ordo Marattiales (PPG I 2016)

d. Subclass Polypodiidae

Pakis sejati adalah megafil : daunnya berasal dari cabang yang rata dan memiliki urat jaringan pembuluh yang bercabang. Pakis sejati memiliki sporangia yang unik : leptosporangia (Gambar 2.6). Leptosporangia berasal dari sel tunggal pada daun, bertangkai panjang, tipis, dan berdinding satu lapis sel. Mereka juga membuka secara aktif: ketika sporangium matang (mengering), deretan sel dengan dinding menebal di bagian luar sporangium (disebut annulus) akan menyusut lebih lambat dari sel sekitarnya dan akhirnya akan pecah dan melepaskan semua spora sekaligus. Leptosporangia dikelompokkan dalam kelompok yang disebut sori yang sering ditutupi dengan indusia seperti payung atau kantong. Gametofit kecil dan tumbuh di atas tanah. Sementara sebagian besar pakis homospora, beberapa genera pakis sejati (seperti pakis air *Azolla* , semanggi air *Marsilea* dan beberapa lainnya) adalah heterospora. Sporofit pakis terdiri dari megaphylls, seringkali daun majemuk menyirip yang muncul sebagai daun muda yang melingkar di musim semi. Sporangia diproduksi dalam kelompok yang disebut sori (sorus, tunggal) pada daun.

Subclass Polypodiidae memiliki 7 ordo yaitu :

1. *Cyatheaales* memiliki 7 famili yang terdiri dari Thyrsopteridaceae, Loxsomataceae, Culcitaceae, Plagiogyriaceae, Cibotiaceae, Metaxyaceae, Dicksoniaceae, Cyateaceae, dan Tempskyaceae (Christenhusz et al, 2014).
2. *Gleicheniales* memiliki 3 famili yang terdiri dari Dipteridaceae, Gleicheniaceae, dan Matoniaceae. (Christenhusz et al, 2014).
3. *Hymenophyllales* memiliki 1 famili yang tersisa yaitu Hymenophyllaceae.
4. *Osmundales* memiliki 1 famili yang tersisa dari ordo Osmundales yaitu Osmundaceae (Bomfleur et al. 2017).
5. *Polypodiales* memiliki 26 famili yang terdiri dari Cystodiaceae, Dennstaedtiaceae, Lindsaeaceae, Lonchitidaceae, Pteridaceae, Saccolomataceae, Aspleniaceae, Athyriaceae, Blechnaceae, Cystopteridaceae, Desmoflebiaceae, Diplaziopsidaceae, Hemidictyaceae, Onokleaceae, Rhachidosoraceae, Thelypteridaceae, Woodsiaceae, Davalliaceae,

Didymochlaenaceae, Dryopteridaceae, Hypodematiaceae, Lomariopsidaceae, Nephrolepidaceae, Oleandraceae, Polypodiaceae, dan Tectariaceae (PPG I, 2016)

6. *Salviniales* memiliki 2 famili yang terdiri dari Marsileaceae dan Salviniaceae (Smith et, al, 2006).
7. *Schizaeales* memiliki 3 famili yang terdiri dari Schizaeaceae, Anemiaceae, dan Lygodiaceae (Smith et, al, 2006)

2.1.3 Siklus Hidup *Pteridophyta*

Seperti halnya dengan tumbuhan lain yang bereproduksi secara seksual, tumbuhan paku memiliki dua generasi, yaitu generasi sporofit dan generasi gametofit. Generasi sporofit adalah generasi yang menghasilkan spora sedangkan generasi gametofit adalah tumbuhan yang menghasilkan sel gamet (kelamin). Pada tumbuhan paku, sporofit berukuran lebih besar dan generasi hidupnya lebih lama dibandingkan generasi gametofit. Oleh karena itu, generasi sporofit tumbuhan pakudisebut generasi dominan (Tjitrosomo, 1982).

Menurut (Indah, 2009) siklus hidup spora *Pteridophyta* terbagi 3 yaitu :

- 1) Skema Metagenesis Paku Homospor/Isopor

Metagenesis tumbuhan lumut meliputi beberapa fase yaitu :

1. Spore (n)

Spora merupakan satu atau beberapa sel (Haploid atau Diploid) yang terbungkus oleh lapisan pelindung dan dihasilkan oleh bagian pada lumut yang disebut Sporangium. Pada fase ini spora akan mengalami Mitosis (pembelahan sel) dan tumbuh hingga menjadi Protonema.

2. Protonema (n)

Protonema merupakan rangkaian sel berbentuk benang hasil dari perkecambahan spora yang telah matang lewat mitosis. Protonema bisa juga disebut sebagai lumut muda. Protonema atau lumut muda selanjutnya akan tumbuh menjadi lumut dewasa untuk membentuk alat perkembang biakan Anteridium (Alat perkembangbiakan jantan) dan Arkegonium (Alat perkembangbiakan betina).

3. Tumbuhan Lumut

(Pertemuan Anteridium dan Arkegonium (n))Tumbuhan lumut dewasa akan

menghasilkan Anteridium (alat perkembangbiakan jantan) dan arkegonium (alat perkembangbiakan betina). Anteridium yang merupakan alat kelamin jantan akan menghasilkan sperma (Spermatozoid) dan Arkegonium sebagai alat kelamin betina akan menghasilkan sel telur (Ovum). Pertemuan antara sperma dan ovum pada tumbuhan lumut akan menghasilkan Zigot (Fertilization).

4. Zigot dan Sporangium (2n)

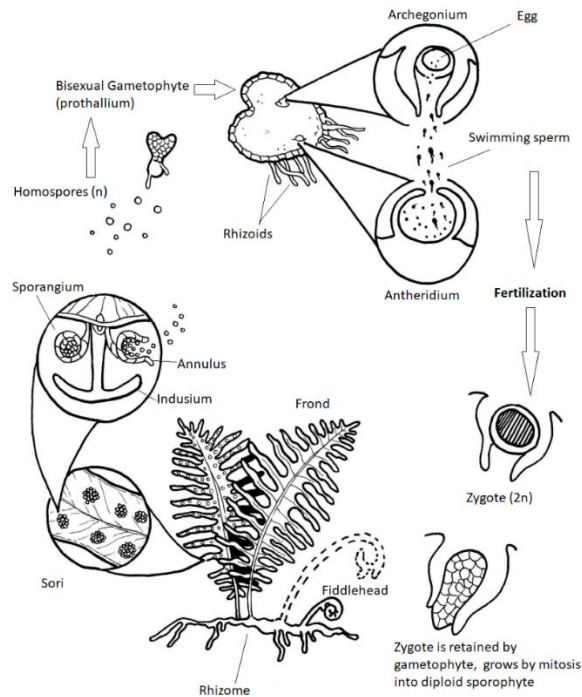
Zigot adalah sel yang terbentuk sebagai hasil bersatunya dua sel (ovum dan sperma) yang telah matang dan akhirnya berkembang menjadi Sporangium. Sporangium merupakan tempat pembentukan spora pada lumut. Pembentukan spora pada sporangium terjadi melalui pembelahan sel-sel induk spora. Spora yang telah siap akan lepas dan kembali memulai metagenesis baru (Meiosis).

2) Skema Metagenesis Paku Heterospor

Tumbuhan paku heterospora menghasilkan spora berbeda ukuran. Spora jantan berukuran kecil disebut mikrospora dan spora betina ukurannya besar disebut makrospora, misalnya *Selaginella* sp. Tumbuhan paku peralihan menghasilkan spora jantan dan betina yang sama ukurannya, misalnya *Equisetum debile* (paku ekor kuda), (paku rane), *Marsilea* sp. (semanggi) (Tjitrosoepomo, 1989).

3) Skema Metagenesis Paku Peralihan

Spora yang dihasilkan berukuran dan bentuknya sama, tetapi jenisnya berbeda. Prothalliumnya hanya menghasilkan anteridia atau arkegonia aja. Contohnya *Equisetum* (Paku Ekor Kuda) (Yudianto, 1992).



Gambar 2.6 Siklus hidup *Pteridophyta*
 Sumber : : Ha, Morrow, & Algiers 2023

2.1.4 Faktor Biotik dan Abiotik

Lingkungan tanah merupakan lingkungan yang terdiri dari komponen biotik dan abiotik. Gabungan dari komponen biotik dan abiotik menghasilkan suatu wilayah yang dapat dijadikan tempat tinggal bagi berbagai jenis tumbuhan paku. Tanah dapat didefinisikan sebagai akumulasi tubuh alam bebas, menduduki sebagian besar permukaan bumi yang mampu menumbuhkan tanaman. Faktor bio ekologi secara umum terbagi atas dua yakni faktor fisik atau abiotik yang terdiri atas faktor-faktor lingkungan yang bersifat non biologis seperti iklim (suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya), tanah dan kondisi fisiklingkungan lainnya. Diketahui bahwa Setiap makhluk hidup termasuk vegetasi tumbuhan berada pada kondisi lingkungan abiotik yang dinamis dalam skala ruang yang bervariasi disetiap tempat hidupnya. Oleh karena itu setiap tumbuhan harusdapat beradaptasi menghadapi perubahan kondisi faktor lingkungan tersebut. Namun demikian, ada vegetasi tumbuhan tidak mungkin dapat hidup dalam kisaran faktor-faktor abiotik yang tinggi, ada jenis vegetasi tumbuhan yang mampu

tumbuh dikisaran faktor abiotik yang tinggi. Faktor bioekologi yang kedua adalah faktor biotik yaitu organisme yang berpengaruh terhadap organisme lain contoh tumbuhan lain. Tumbuhan dapat tumbuh dengan berhasil bila lingkungan mampu menyediakan berbagai keperluan untuk pertumbuhan sesama daur hidupnya. Oleh karena sifat lingkungan tidak hanya bergantung pada kondisi fisik dan kimia tetapi juga karena kehadiran organisme lain, sehingga faktor yang berperan dapat dibagi menjadi tiga kelompok utama, yakni iklim, tanah dan biotik (Parinding,, 2007).

1) Faktor Abiotik

Pertumbuhan tanaman berbanding lurus dengan ketersediaan air. Pertumbuhan akan terbatas pada keadaan air yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi. Hal ini mungkin disebabkan karena bila air terlalu tinggi, konsentrasi oksigen dan tata udara tanah menjadi jelek, sedangkan bila ketersediaan air terlalu rendah, maka tanaman selain tidak dapat mengabsorpsi unsur hara juga dapat menyebabkan stress karena tidak dapat menjalankan fotosintesis dengan baik (Mengel dan Kirkby, 1987). Makin banyak tersedianya air dalam tanah. Maka makin baik pengambilan unsur hara oleh tanaman. Bila persediaan air tanah cukup, pemberian unsur hara akan menaikkan efisiensi air. Efisiensi penggunaan air adalah jumlah bahan kering dapat dihasilkan dari sejumlah air tertentu (Mitchell, 1983).

1. Energi Matahari

Energi matahari merupakan faktor yang penting dalam pertumbuhan tanaman. Kualitas, intensitas, dan lamanya penyinaran semuanya penting. Studi mengenai efek kualitas cahaya terhadap pertumbuhan tanaman sangat penting, tetapi percobaan ini sukar dilakukan karena perlu diatur secara simultan panjang gelombang dan intensitas dari penyinaran. Walaupun demikian hasil penelitian menyatakan bahwa spektrum matahari yang penuh memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan tanaman. Penelitian pengaruh kualitas cahaya tidak akan dapat dilakukan untuk areal yang luas. Intensitas cahaya sebagai suatu faktor pada pertumbuhan tanaman telah banyak diteliti. Ternyata bahwa kebanyakan tanaman tumbuh dengan baikbaik pada intensitas cahaya dibawah cahaya penuh satu hari. Tiap jenis tanaman memperlihatkan respon yang berbeda terhadap intensitas cahaya

yang berbeda (Barker dan Pilbeam, 2007).

Spektrum cahaya yang paling efektif dalam fotosintesis adalah berkisar dari 400- 700 nm, yaitu 45 – 50% total energi spektrum matahari. Kurang dari 25 % hilang karena refleksi. Reduksi jumlah C menjadi karbohidrat memerlukan 112 kcal. Satu mol foton menghasilkan 41 kcal. Tiga kuantum dan *visible light* diperlukan untuk mereduksi CO₂. Perubahan fisiologi memerlukan 8–12 kuantum dan efisiensinya jarang mencapai 1 persen (Barber, 2004).

Menurut Sophia (1992, diacu dalam Ratih 2002) pertumbuhan paku-pakuan berdasarkan tingkat kebutuhan sinar matahari dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

- a) Kelompok paku-pakuan yang menyukai tempat terlindung (*heliofob*) dan didominasi oleh paku-pakuan yang berdaun halus atau kecil. Contohnya *Adiantum* sp, *Pteris* sp dan *Polypodium* sp.
- b) Kelompok paku-pakuan yang hidup dalam keadaan sedikit terlindung (*subheliofil*) contohnya *Nephrolepis falcata*.
- c) Kelompok paku-pakuan yang menyukai sinar matahari langsung (*heliofil*). Contohnya *Selaginella* (paku Rane) dan *Pityrogramma calomelanos* (paku Perak)

2. PH tanah

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Level optimum pH tanah untuk penggunaan lahan berkisar antara 5-7,5. Tanah dengan pH rendah (*Acid*) dan pH tinggi (*Alkali*) membatasi pertumbuhan tanaman. Tanaman bawah dan sayuran lainnya lebih menyukai tanah dengan pH sekitar 6,5, pada umumnya tanaman budidaya yang dipelajari pertumbuhannya baik atau sehat pada level pH 4,8 atau lebih. (Anon, 2011)

3. Suhu Tanah

Suhu adalah derajat panas atau dingin yang diukur berdasarkan skala tertentu dengan menggunakan termometer. Tumbuhan-tumbuhan paku dapat hidup pada kisaran suhu minimum 360C hingga suhu maksimum 450C. (Zulkarnain, 2009)

4. Suhu Lingkungan

Suhu adalah faktor ekologis yang mudah diukur dan bisa menjadi pembatas

terhadap pertumbuhan dan penyebaran tumbuhan. Suhu akan memberikan pengaruh terhadap kemampuan tumbuhan untuk mempertahankan diri di suatu tempat (Polunin, 1990). Kebanyakan pertumbuhan tumbuhan terjadi pada suhu antara 10°C -40°C. (Wijayanto,2012)

2) Faktor Biotik

Faktor biotik yang dimaksudkan di sini adalah setiap kegiatan atau upaya untuk mengatur suatu kondisi yang menguntungkan bagi kehidupan tanaman, baik secara langsung dengan memanipulasi lingkungan oleh manusia maupun secara tidak langsung dengan meningkatkan peran biologis tanaman dan aktivitas mikrobial. Pemberian pupuk yang berat dapat menyebabkan pertumbuhan vegetatif yang memberikan lingkungan lebih baik terhadap hama dan penyakit tanaman. Ketidakseimbangan unsur hara tersedia bagi tanaman juga dapat menambah serangan penyakit (Buckman dan Brady, 2004).

2.1.5 Identifikasi dan Inventarisasi

Identifikasi tumbuhan adalah suatu proses pengenalan tanaman untuk mengetahui jenis tanaman secara detail dan lengkap serta dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah (LIPI Bogor, 2016). Menurut Syamsiah (2009:34), identifikasi jenis paku-pakuan epifit pada berbagai jenis pohon, tingkat pertumbuhan dan bagian-bagian pohon yang menjadi inang karena ketergantungannya pada kondisi iklim mikro tegakan hutan, menyebabkan keberadaan sejumlah koloni paku-pakuan epifit hanya dapat dijumpai pada jenis pohon tertentu. Dalam suatu penelitian yang baik, identifikasi terhadap suatu species perlu ditunjang dengan perbandingan terhadap sumber data primer, yaitu data spesimen yang disimpan di herbarium atau museum. Walaupun demikian, panduan buku identifikasi lapangan tetap merupakan bagian yang penting bagi identifikasi di lapangan. Sebagai tahap awal, dilakukan inventarisasi jenis flora dengan cara melakukan pengumpulan buku panduan yang ada. Inventarisasi merupakan salah satu dasar penting bagi penilaian keanekaragaman hayati (Indrawan, *et.al.*, 2007).

Identifikasi tumbuhan paku yang diperoleh dari lapang berdasarkan karakteristik morfologi tumbuhan paku meliputi bentuk dan warna batang,

percabangan batang, bentuk dan warna daun, bentuk tulang daun, tepi daun, ukuran dan letak sorus, bentuk indusium, bentuk sisik, serta paraphysis (Holttum, 1954).

2.1.6 Gunung Galunggung

Secara administratif wilayah Gunung api Galunggung termasuk ke dalam pemerintahan Kecamatan Sukaratu Kabupaten Tasikmalaya, terletak sekitar ± 17 km dari pusat kota Tasikmalaya dan ± 8 km dari Ibukota Kabupaten Tasikmalaya. Galunggung memiliki ketinggian 2.168 meter di atas permukaan air laut atau 1.820 meter dari daratan Kota Tasikmalaya dengan letak astronomis berada pada koordinat 7.25° - $7^{\circ}15'0''$ LS dan $108,058^{\circ}$ - $108^{\circ}3'30''$ BT. Gunung api Galunggung mempunyai batas-batas wilayah sebagai berikut: Sebelah Utara : berbatasan dengan Desa Sinagar Kecamatan Sukaratu Sebelah Selatan : berbatasan dengan Desa Mekarjaya Kecamatan Padakembang Sebelah Barat : berbatasan dengan Kabupaten Garut Sebelah Timur : berbatasan dengan Desa Linggajati Kecamatan Sukaratu. (Mulyanie & Hakim, 2016)

Menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Indonesia dalam (Putra & Fitriani, 2019), Gunung Galunggung ini secara administratif termasuk Priangan Tatar Sunda Kabupaten Tasikmalaya dan Garut dengan ketinggian 2.168 meter di atas permukaan laut. Sejarah mencatat gunung ini pernah meletus sebanyak empat kali yaitu tahun 1822, 1894, 1918, dan 1982. Berkat keindahan alamnya gunung Galunggung merupakan salah satu ikon wisata Kabupaten Tasikmalaya yang selalu ramai dikunjungi baik oleh wisatawan lokal maupun mancanegara, namun tidak banyak yang mengetahui terutama mengenai keragaman jenis tumbuhan apa saja yang terdapat di kawasan gunung tersebut. Hal ini diperkuat juga dengan minimnya publikasi ilmiah jenis-jenis tumbuhan yang berada di kawasan gunung Galunggung ini.

Luas hutan lindung Gunung Galunggung sekitar 1226 ha. Sampai tahun 1963 kawasan ini masih merupakan hutan primer, kemudian berubah seiring dengan banyaknya penebangan pohon. (Widayat, dkk., 2007). Kondisi vegetasi umumnya sedang dalam proses suksesi vegetasi menuju ke hutan primer, kecuali kawasan sekitar pemandian Cipanas sampai kawah Gunung galunggung di mulai dari

ketinggian kira-kira 700 m dpl. sampai dengan 1.250 m dpl., kondisinya masih didominasi oleh hutan tanaman/produksi. (Suryana, 2018) Kondisi geografis dan vegetasi yang masih cukup alami tersebut menyimpan potensi keanekaragaman tumbuhan lainnya. (RR Putra, 2019)

2.2 Sumber Belajar Biologi

Bahan ajar merupakan bagian penting dalam pelaksanaan pendidikan di sekolah. Melalui bahan ajar guru akan lebih mudah dalam melaksanakan pembelajaran dan siswa akan lebih terbantu dan mudah dalam belajar. Bahan ajar dapat dibuat dalam berbagai bentuk sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik materi ajar yang akan disajikan. Dalam PP nomor 19 tahun 2005 Pasal 20, diisyaratkan bahwa guru diharapkan mengembangkan materi pembelajaran, yang kemudian dipertegas melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional (Permendiknas) nomor 41 tahun 2007 tentang Standar Proses, yang antara lain mengatur tentang perencanaan proses pembelajaran yang mensyaratkan bagi pendidik pada satuan pendidikan untuk mengembangkan rencana pelaksanaan pembelajaran (RPP). Salah satu elemen dalam RPP adalah sumber belajar. Dengan demikian, guru diharapkan untuk mengembangkan bahan ajar sebagai salah satu sumber belajar (Depdiknas, 008).

Menurut Sitepu (2014) sumber belajar yaitu berbagai atau semua sumber baik berupa data, orang dan wujud tertentu yang dapat digunakan siswa dalam belajar, baik secara terpisah maupun terkombinasi sehingga mempermudah siswa dalam mencapai tujuan belajar. Tidak dipungkiri lagi pentingnya sumber belajar dalam proses pembelajaran.

Salah satu metode untuk meningkatkan kualitas pembelajaran adalah dengan memberikan pengalaman belajar secara langsung (*real experience*) kepada peserta didik. Pembelajaran secara langsung dapat terjadi ketika guru memberikan kesempatan belajar melalui aneka bahan ajar dari sumber belajar lingkungan. Metode ini dapat merangsang peserta didik untuk berpikir ilmiah dan mampu memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari sesuai dengan tuntutan pembelajaran kurikulum 2013 (Kemendikbud, 2014).

Kajian mengenai tumbuhan paku terdapat dalam materi pembelajaran biologi SMA, namun gambar-gambar mengenai contoh siklus hidup (metagenesis) tumbuhan paku tersebut masih bersifat umum, karena tidak berdasarkan pada spesies tumbuhan paku tertentu. Hal tersebut tentunya tidak sejalan dengan prinsip pembelajaran biologi yang kontekstual. Sementara itu jenis-jenis tumbuhan paku sendiri sangat beraneka ragam. Di Indonesia sendiri diperkirakan terdapat sekitar 1300 jenis dari 10.000 spesies tumbuhan paku yang tumbuh di permukaan bumi (LBN 1979) dan di pulau Jawa tercatat sekitar 515 jenis (Khoiriyah, 2004). Penggunaan sumber belajar yang tepat dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif dalam membantu penyajian materi sistematika tumbuhan secara kontekstual. Hal ini juga bertujuan untuk mencegah kebosanan bagi mahasiswa dan menambah variasi belajar (Murni, et al, 2015).

2.3 Penelitian Yang Relevan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Marpaung, Dwi R.A.K (2019) tentang Inventarisasi Tumbuhan Paku (*Pteridopyta*) yang dilakukan di kawasan Sopotinjak Taman Nasional Batang Gadis (TNBG) Kabupaten Mandailing Natal. Pada penelitian ini ditemukan 17 tumbuhan paku yang terbagi dari 5 bukit dengan hasil sebagai berikut : Bukit I diperoleh famili dengan jumlah jenis yang paling banyak pada famili *Selaginellaceae*, *Polypodiaceae* dan *Thelypteridaceae* masing-masing sebanyak 2 jenis. Pada bukit II, jumlah famili terbanyak adalah famili *Polypodiaceae* sebanyak 2 jenis. Pada bukit III jumlah famili terbanyak adalah *Polypodiaceae* dan *Atheriaceae* masing-masing sebanyak 3 jenis diikuti oleh famili *Selaginellaceae* sebanyak 2 jenis. Pada bukit IV jumlah famili terbesar adalah *Selaginellaceae* sebanyak 3 jenis, famili *Aspidiaceae* dan famili *Aspleniaceae* masing-masing sebanyak 2 jenis. Pada bukit V jumlah famili terbanyak adalah famili *Athyriaceae* sebanyak 3 jenis.

Dalam penelitian lain yang dilaksanakan RD Riastuti, S Sepriyaningsih, D Ernawati (2018) mengenai Identifikasi Divisi *Pteridophyta* di Kawasan Danau Aur Kabupaten Musi Rawas, dijumpai 19 spesies yang tergolong dari 5 ordo, 9 famili, dan 12 genus yaitu *Pteris biaurita*, *Ploecnemia irregular*, *Diplazium*

esculentum, *Asplenium nidus*, *Gleichenia linearis*, *Christella dentata*, *Stenochlaena palastris*, *Diplazium esculentum*, *Davallia denticulata*, *Gleichenia linearis*, *Lygodium scandens*, *Lygodium circinatum*, *Nephrolepis exaltata*, *Nephrolepis cordifoli*, *Nephrolepis biserrata*, *Phymatosorus scolopendria*, *Selaginella wildenowii*, *Selaginella caudata* dan *Selaginella plana* dengan suhu tanah di Kawasan Danau Aur Kabupaten Musi Rawas berkisar 27,5°C-31,5°C dengan derajat keasaman (pH) tanah berkisar 5,11- 6,18.

Penelitian lain dilakukan oleh Susan Fari Sandy dkk pada tahun 2016 mengenai “Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Paku (*Pteridophyta*) di Kawasan Air Terjun Lawean Sendang Kabupaten Tulungagung”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman jenis tumbuhan paku dan faktor lingkungan abiotik. Dalam penelitian tersebut, pengambilan sampel dilakukan dengan metode jelajah (*cruise methods*) dengan teknik sampling *Nonprobability sampling* berupa *Insidental sampling*. Tumbuhan paku yang ditemukan kemudian dianalisis secara deskriptif. Hasil dari penelitian tersebut adalah 20 jenis tumbuhan paku yang terdiri dari 2 kelas yaitu *Lycopodiinae* dan *Filicinae*.

2.4 Kerangka Konseptual

Tumbuhan paku merupakan tumbuhan yang sering kita jumpai di sekitar kita dan dapat hidup dimana saja seperti di sekitar rumah, pinggir jalan, kawasan dekat sungai, pegunungan, hingga daerah pesisir. Tumbuhan paku kaya akan manfaatnya seperti dapat dijadikan tanaman hias, tanaman obat, tanaman pangan dan mencegah erosi tanah. Tumbuhan paku juga dapat berguna untuk menjadi tanaman suksesi di suatu wilayah seperti di Gunung Galunggung.

Gunung Galunggung merupakan Taman Wisata Alam yang berada di Tasikmalaya, Jawa Barat. Kawasan hutan di Gunung Galunggung merupakan kawasan penting bagi keberlangsungan kehidupan. Hutan konservasi yang menyimpan kekayaan ekologi, ekonomi, dan sosial bagi masyarakat sekitarnya. Keragaman flora dan fauna di kawasan hutan Gunung Galunggung menunjukkan masih terjaganya kelestarian hutan disana dan dapat memberikan fungsi sebagai bahan ajar berupa buku saku mengenai keanekaragaman tumbuhan paku yang dapat

digunakan untuk alternatif yang dapat menunjang pembelajaran dan pemahaman peserta didik.

Penelitian paku di Gunung Galunggung sejauh ini belum pernah dilakukan, belum ada data tentang keanekaragaman tumbuhan paku di Gunung Galunggung. Berdasarkan uraian diatas, akan dilaksanakan penelitian mengenai keanekaragaman tumbuhan paku di kawasan Gunung Galunggung. Hasil dari penelitian ini akan digunakan sebagai bahan untuk membuat buku saku yang akan dihibahkan sebagai bahan ajar biologi.

2.5 Pertanyaan Penelitian

- 1) Bagaimana indeks ekologi meliputi indeks keanekaragaman, pemerataan, kekayaan, dominansi, dan similaritas mengenai keanekaragaman *Pteridophyta* di kawasan Gunung Galunggung?
- 2) Bagaimana perbedaan *Pteridophyta* pada setiap ketinggian di kawasan Gunung Galunggung?